Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН;
Российская академия наук
Сибирское отделение;
Институт земной коры СО РАН;
Государственный комитет по инновационной политике и науке РС(Я);
Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова;
Ленское бассейновое водное управление Федерального агентства водных ресурсов;
Комитет по геологии и недропользованию РС(Я);
Якутский научный центр СО РАН;
Академия наук РС(Я);
Институт «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА» (ОАО);
Департамент по водным отношениям Республики Саха (Якутия);
Секция Сибири и Дальнего Востока Научного Совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии;
ВСЕГИНГЕО;
Гидрогеологическая и геоэкологическая компания «ГИДЭК»;
Международная ассоциация гидрогеологов (МАГ);
Общероссийская общественная организация Российский союз гидрогеологов (РОСГИДРОГЕО)

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXI Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием)

г. Якутск, 22 – 28 июня 2015 г.

Якутск 2015

УДК 556.3+504.43+504.46.06
ББК 46я431+Д9(2Р)47
Ф 94

Ф94 **Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии :** материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXI Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием), г. Якутск, 22 – 28 июня 2015 г. / Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, Институт земной коры СО РАН, Государственный комитет по инновационной политике и науке РС(Я) и др. ; [отв. ред.: д.г.-м.н. С. В. Алексеев, д.г.-м.н., проф. В. В. Шепелёв]. – Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2015. – 552 с.
ISBN 978-5-93254-161-6

В сборнике представлены доклады участников Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XXI совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока), состоявшегося 22 – 28 июня 2015 г. в г. Якутске.

В докладах обсуждается широкий спектр проблем, стоящих перед отечественной и мировой гидрогеологией, а также анализируются результаты гидрогеологических работ, проведенных научными, образовательными и производственными организациями за последние годы в различных регионах Сибири и Дальнего Востока.

Материалы совещания, в котором, помимо отечественных специалистов, приняли участие ученые из зарубежных стран, представляют интерес для широкого круга геологов, гидрогеологов, мерзлотоведов, гидрологов, водоснабженцев.

По вопросам приобретения сборника обращаться в Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН к ученому секретарю Алексеевой Ольге Ивановне (e-mail: o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru; тел.: 8 (4112) 33-49-12).

Fundamental and applied problems in hydrogeology. Proceedings of the National conference on groundwater in Eastern Russia (XXI conference on groundwater in Siberia and Far East with international participation). Yakutsk, june 22 – 28, 2015. – Yakutsk : Melnikov Permafrost Institute SB RAS Press, 2015. – 552 pp.

The Proceedings contain contributions to the XXI Conference on Groundwater in Siberia and Far East held from 22 – 28 June 2015 in Yakutsk.

The papers cover the wide range of current hydrogeological issues in Russia and in the world. Recent results are presented of groundwater studies carried out by scientific, education and industrial research organizations in various parts of Siberia and the Far East.

The Proceedings of the conference which had attendance both from Russia and abroad will be of interest to a wide readership, including geologists, hydrogeologists, permafrost researchers, hydrologists, and water managers.

Book requests should be addressed to Dr. Olga Alekseeva, Academic Secretary, Melnikov Permafrost Institute: E-mail: o.i.alekseeva@mpi.ysn.ru; tel. 7-4112-334912.

Редакционная коллегия

Ответственные редакторы: д.г.-м.н. С. В. Алексеев, д.г.-м.н., проф. В. В. Шепелёв.

Члены редколлегии: к.г.-м.н. Л. П. Алексеева; к.г.-м.н. Ю. Г. Богомолов; д.г.-м.н. В. Е. Глотов; к.г.-м.н. Л. В. Замана; д.г.-м.н. проф. А. В. Кирюхин; д.г.-м.н. Г. Н. Копылова; д.г.-м.н., проф. В. В. Кулаков; чл.-кор. РАН А. Р. Курчиков; д.г.-м.н. проф. В. М. Матусевич; к.г.-м.н. Н. А. Павлова; д.г.-м.н. А. М. Плюснин; чл.-кор. РАН В. Г. Румынин; д.г.-м.н. О. В. Чудаев; д.г.-м.н., проф. С. Л. Шварцев; к.г.-м.н. А. Л. Язвин.

Проведение совещания и издание данного сборника, в частности, осуществлено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 15-05-20388), Правительства Республики Саха (Якутия), а также при помощи спонсоров: ЗАО «ГИДЭК», г. Москва (директор д.г.-м.н., проф. Б. В. Боревский), ИКЗ СО РАН, г. Иркутск (директор д.г.-м.н. Д. П. Гладкочуб) и ИМЗ СО РАН, г. Якутск (директор д.г.-м.н. М. Н. Железняк).

ISBN 978-5-93254-161-6

© Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 9
ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ 10
Алексеев С. В., Вахромеев А. Г., Алексеева Л. П., Коцупало Н. П., Рябцев А. Д. Промышленные рассолы Сибирской платформы (гидрогеология и переработка) 10
Боревский Б. В., Язвин А. Л. Проблемы нормативно-правового регулирования недропользования при геологическом изучении, разведке и добыче подземных вод 20
Грачёва М. К., Голубев С. М., Алексеева Л. И., Кисленко А. В. Краткая справка о деятельности общероссийской общественной организации «Российский союз гидрогеологов» (РОСГИДРОГЕО) за 2011 – 2014 гг. 25
Зекцер И. С., Каримова О. А., Четверикова А. В. Роль подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении городского населения 32
Кирюхин А. В. Геофлюидодинамика вулканических областей 35
Кулаков В. В. Взаимодействие подземных вод с горными породами и поверхностными водами в Амуро-Тунгусском междуречье 39
Курчиков А. Р., Вашурина М. В., Козырев В. И. Пути решения Государственной программы «Чистая вода» (на примере Ханты-Мансийского автономного округа) 44
Толстихин О. Н., Шепелев В. В., Павлова Н. А. Основные направления развития гидрогеологических исследований в Институте мерзлотоведения СО РАН 49
Шварцев С. Л. Природа и механизмы эволюции состава подземной гидросферы 56

Секция 1. ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ, РАЗВЕДКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ 61
Абрамов В. Ю. Формирование химического состава криогенных рассолов вымораживания . . . 61
Бойцов А. В. Гидродинамика таликов и инъекционное льдообразование 66
Брагин И. В., Челноков Г. А., Харитонова Н. А., Сугимото А. Подземные льды лесотундровых ландшафтов нижнего течения р. Индигирки (Республика Саха (Якутия)): состав и условия залегания 70
Васильева О. И., Васильев А. А. Подземные воды Таттинского района Республики Саха (Якутия) 73
Гагарин Л. А. Оценка современных условий формирования субаэральных таликов в Центральной Якутии 76
Галанин А. А. Криогенно-эоловый механизм формирования водоносных межмерзлотных таликов Центральной Якутии 80
Глотов В. Е. Связь террейновой тектоники с гидрогеологическими особенностями зоны свободного водообмена в горных районах криолитозоны 85
Глотов В. Е., Глотова Л. П. Геокриологические и гидрогеологические особенности рудных месторождений в пределах Главного водораздела Земли 90
Голицын М. С., Дубровин В. А., Крицук Л. Н. Геокриологические условия, формирование и перспективы использования подземных вод полуострова Ямал 95
Данзанова М. В. Гидрогеологический режим надмерзлотных вод и температурные условия сезонноталого слоя на слабонарушенных территориях 97
Ефремов В. Н. Поиск и оконтуривание распространения подземных вод криолитозоны на основе измерений поверхностного импеданса мерзлых толщ 101
Жирков А. Ф., Железняк М. Н. Влияние инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим песчаных грунтов в Центральной Якутии 106
Кальнеус Е. В., Бизин М. А., Палкин С. С. Опыт применения ЯМР-зондирования при выявлении таликов в криолитозоне Заполярья Западной Сибири 111
Колесников А. Б. Влияние современных параметров климата на условия инфильтрационного питания водоносных таликов Центральной Якутии 114

Кондратьев В. Г., Бронников В. А., Иванова Л. М. Надмерзлотные воды на площадке НПС-14 «Олекминск» магистрального нефтепровода ВСТО–1 и их влияние на ее эксплуатацию 118
Коробейников А. Ю., Тагильцев В. С. Применение методов наземной электроразведки постоянным током с целью поисков и разведки подземных вод в условиях криолитозоны ЯНАО 122
Лобанов В. В., Стручкова А. С. О технологической и экологической целесообразности организации опережающего понижения подмерзлотных вод при отработке трубки «Юбилейной» АК «АЛРОСА» 126
Лобанов В. В., Кисиличин А. И., Каверин С. В. Разработка и реализация технологических решений по обеспечению безопасности отработки подкарьерных запасов месторождения трубки «Мир» АК «АЛРОСА» в условиях проскоков дренажных рассолов Метегеро-Ичерского водоносного комплекса 130
Матусевич В. М., Ковяткина Л. А. Стадийность развития и методические основы изучения природно-техногенных гидрогеологических систем ЗСМБ 134
Пермяков П. П., Константинова Т. И., Капитонова В. С. Технология очистки подземных вод для водоснабжения в условиях Якутии 140
Попов В. И. Математическое моделирование процесса инфильтрации высокоминерализованного раствора в мерзлый массив 144
Рузанов В. Т. Подземные воды криолитозоны северо-востока Корякского нагорья 147
Семенов И. С. Условия формирования и гидрогеотермический режим надмерзлотных вод сезонноталого слоя на водосборной площади озера Хатылыма (Центральная Якутия) 152
Семерня А. А., Гагарин Л. А. Оценка реакции межмерзлотных водоносных горизонтов Центральной Якутии на современную динамику климата 154
Скворцов В. А. Физико-химическое моделирование условий изменения климата на планете. . . .160
Сыромятников И. И., Галанин А. А. Строение и температурный режим пород под руслом р. Бол. Куонамки (бассейн р. Анабара) в связи с проблематикой отработки россыпных месторождений 165
Тарбеева А. М., Крыленко И. В., Сурков В. В. Наледи на малых водотоках зоны неглубокого сезонного промерзания грунтов: результаты экспериментальных исследований на Сатинском учебно-научном полигоне МГУ (Калужская область) 169
Толстихин О. Н., Поморцев О. А., Попов В. Ф. Ритмические закономерности изменчивости климата как основа для мерзлотно-гидрогеологических прогнозов 174
Федоров А. А., Федоров М. А. Особенности изучения и использования минеральных вод Центральной Якутии 177
Шепелёв В. В., Павлова Н. А., Иванова Л. Д. Состояние и перспективы изучения и использования подземных вод в Республике Саха (Якутия) 180
Шестернев Д. М., Васютич Л. А. Изменение химического состава подземных вод урбанизированной территории в условиях деградации криолитозоны (на примере г. Читы) 184
Huijun Jin, Dongliang Luo and Shaoling Wang. Changes in permafrost hydrogeology in the headwaters area of the yellow river (hayr), Northeastern Ginghai-Tibet plateau, China. 188

Секция 2. ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ 195
Арзамасцев А. А., Елохина С. Н., Киндлер А. А. Государственный мониторинг состояния недр на горнодобывающих территориях (на примере Уральского федерального округа) 195
Верхотуров А. Г. Гидрогеологические причины подтопления территорий, прилегающих к эксплуатируемым и отработанным месторождениям Забайкалья 200

Глотова Л. П. Геоэкологические следствия эксплуатации месторождений подземных вод на Северо-Востоке России 204
Елохина С. Н. Эволюция гидрогеологических систем под воздействием горнопромышленного техногенеза 209
Макаров В. Н., Семерня А. А., Торговкин Н. В. Влияние подземного захоронения рассолов трубки «Удачная» на гидрогеохимию речных вод 214
Макаров В. Н. Токсичные элементы – свинец и мышьяк – в гидросфере Якутии 217
Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т., Деменев А. Д. Возникновение глеевой геохимической обстановки в теле грунтовой плотины под действием микробиологических процессов и их последствия 220
Наделяев В. О., Белякова Е. В., Флешлер В. И. Изменение состава подземных и поверхностных вод при добыче урана на территории Витимского плоскогорья 224
Плюснин А. М., Чернявский М. К., Перязева Е. Г. Основные факторы загрязнения поверхностных и подземных вод в зоне влияния Холбольджинского угольного разреза (Республика Бурятия). 229
Размахнина И. Б. Оценка гидрогеологических условий угольных месторождений Восточного Забайкалья 235

Секция 3. ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ И ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ 240
Алексеева Л. П., Алексеев С. В., Кононов А. М., Ма Тенг, Лю Юньдэ Новые данные о стабильных изотопах хлора и брома в подземных водах Сибирской платформы 240
Бадминов П. С., Лопатин М. Н., Семенов Р. М., Тубанов Ц. А., Крюкова И. Г., Оргильянов А. И. Изучение газового состава подземных и глубинных вод озера Байкал с целью поиска предвестников землетрясений 245
Болдина С. В., Копылова Г. Н. Развитие методологии уровнемерных наблюдений в скважинах в целях мониторинга современных геодинамических процессов 249
Борзенко С. В. Термодинамическая оценка минеральных равновесий соленых озер Восточного Забайкалья 255
Вах Е. А., Харитонова Н. А., Вах А. С., Тарасенко И. А. Распределение редкоземельных элементов в поверхностных водах Приморья. 258
Губарева Т. С., Гарцман Б. И., Болдескул А. Г., Шамов В. В. Определение генетических составляющих речного стока малых бассейнов на основе гидрохимических трассеров 262
Домрочева Е. В. Геохимические особенности подземных вод Кемеровской области на примере Нарыкско-Осташкинской площади 268
Змиевский М. В. Физико-химические условия формирования ореолов рассеяния гидротермальных растворов океана. 272
Иванова И. С., Лепокурова О. Е. Микроэлементный состав пресных подземных вод территории Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) 275
Кац В. Е., Ролдугин В. В. Состояние подземных вод в Республике Алтай в период аномального дождевого паводка в 2014 г. 280
Копылова Г. Н., Гусева Н. В., Копылова Ю. Г., Ефстифеева А. С. Изменение насыщенности подземных вод вторичными минералами под влиянием сейсмичности (на примере Камчатки) 285
Кузьмина Е. А. Реконструкция состава термальных вод в геодинамически активных областях (на примере байкальского рифта и грабена Эгер) 290
Лебедева Л. С., Семенова О. М. Связь речного стока и надмерзлотных вод в различных ландшафтах колымской водно-балансовой станции: результаты полевых исследований и математического моделирования 293
Лепокурова О. Е., Наливайко Н. Г., Иванова И. С. Микробиологический состав уникальных щелочных подземных вод в скважине Чулымской («Омега», Томская область) 298

Литвинова И. В., Шаманова А. А. Картирование зон и очагов глубинной разгрузки южной части Лено-Тунгусской НГП 303
Озерский А. Ю., Караулов В. А. Формирование подземных вод в практически водонепроницаемых архейских кристаллических породах в южной части Енисейского кряжа 307
Рузанов В. Т. О взаимосвязи поверхностных вод водотоков и водоёмов с подземными водами района Анадыря 312
Сидкина Е. С. Моделирование в системе «рассол – карбонатная порода» в связи с вопросом формирования химического состава рассолов 317
Солдатова Е. А., Гусева Н. В. Особенности химического состава грунтовых вод центральной части Наньчанского артезианского бассейна, Китай 321
Тагильцев С. Н., Стеценко О. П., Лукьянов А. Е. Вертикальная фильтрационная зональность угленосных отложений Кузбасса 325
Тананаев Н. И. Гидрохимические трассеры в оценке источников питания малых рек тундрово-таежной зоны 330
Ульзетуева И. Д., Хахинов В. В., Ванжилов А. Ю., Будаева В. С. Исследование насыщенности кварцем и аморфным кремнеземом минеральных вод Баргузинской долины 335
Ушаков М. В. Особенности подземного питания рек на разных склонах Главного водораздела Земли (на примере рек Северо-Востока России) 338
Харитонова Н. А., Челноков Г. А., Чудаев О. В., Брагин И. В., Вах Е. А. Особенности накопления и фракционирования редкоземельных элементов в подземных водах Сихотэ-Алиня 342
Шамов В. В., Болдескул А. Г., Матвеева Л. В., Лупаков С. Ю., Кожевникова Н. К., Луценко Т. Н. Гидрохимическая индикация процессов локального влагооборота: опыт краткосрочных натурных исследований в малых речных бассейнах Южного Сихотэ-Алиня 347
Masayuki Seto, Song-Hyun Kim, Yukiya Tanaka Hydrological survey of the block stream in mt. Maneo South Korea 352

Секция 4. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ 356
Вахромеев А. Г., Сапункова Л. В., Михеева Е. Д. Закономерности локализации улучшенных коллекторов промышленных рассолов в карбонатных резервуарах кембрия Ангаро-Ленского месторождения юга Сибирской платформы 356
Гаев А. Я., Леонтьева Т. В., Алферов И. Н., Килин Ю. А. О проблемах водоснабжения в вододефицитных горно-складчатых районах (на примере Южного Урала) 361
Гаев А. Я., Килин Ю. А. Представления об эндогенной гидрогеологии 365
Галанин А. А., Оленченко В. В., Христофоров И. И. Новые данные о внутреннем строении, гидрологическом режиме и реологии каменных глетчеров Северного Тянь-Шаня – источников катастрофических ледово-грязекаменных селей 369
Диденков Ю. Н., Проскурякова З. В. Структурно-гидрогеологические исследования Байкальской рифтовой зоны 375
Касырева Е. С. Типы минеральных вод и их распространение на территории Среднерусского артезианского бассейна 380
Колдышева Р. Я., Голицын М. С., Голубев С. М. Геолого-структурное районирование, распространение и формирование подземных вод Индии 382
Колубаева Ю. В. Геохимические типы подземных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны как результат эволюционного развития системы «вода – порода» . . . 385
Кох А. А. Локальный прогноз перспектив нефтегазоносности западной части Енисей-Хатангского бассейна по гидрогеохимическим данным 390

Кудельский А. В. Академик Г. В. Богомолов и гидрогеология Беларуси (к 110-летию со дня рождения) 395
Лехатинов А. М., Лехатинова Э. Б. О проблеме использования целебных подземных вод автотуристического кластера «Тункинская долина» и прилегающих территорий 400
Манукьян В. А. Влияние природных и техногенных факторов на эксплуатацию подземных вод в межгорных впадинах Юго-Восточного Забайкалья 404
Новиков Д. А. Гидрогеохимия нефтегазоносных бассейнов Арктики 410
Норова Л. П. Структурно-гидрогеологические особенности артезианских бассейнов с гумидным климатом европейской части России 415
Портнягин А. С., Шиц Е. Ю., Федорова А. Ф. Исследование влияния высокоминерализованных пластовых флюидов на эффективность агентов вытеснения нефти минеральной и полимерной природы 421
Садыкова Я. В. Особенности гидрогеологического строения Лено-Анабарской и Лаптевской нефтегазоносных областей 425
Сурмаажав Д., Цэренжав Д. Условия формирования и распределения подземных вод Монголии в области распространения многолетнемерзлых пород 430
Сухорукова А. Ф., Новиков Д. А. Гидрогеохимия Приуральской нефтегазоносной области 432
Фишер Н. К., Кулаков В. В. Роль Fe^{3+} и Mn^{4+} в биотрансформации нефтепродуктов северной части Среднеамурского артезианского бассейна 436
Черенева В. А. Роль геолого-структурных условий в локализации подземных вод Иркутской впадины 440

Секция 5. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД 444
Аузина Л. И., Паршин А. В., Шульга В. В. Методика оптимизации гидрогеологических исследований для целей водоснабжения объектов НГК на месторождениях Чонской группы, Восточная Сибирь 444
Бешенцев В. А. Современное состояние изученности и использования подземных вод на территории Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона 448
Богомолов Ю. Г., Станкевич Р. А. Из истории открытия и использования минеральных вод в СССР (Минск, Республика Баларусь) 452
Джабарова Н. К., Сидорина Н. Г., Коханенко А. А., Король Е. А. Возможности использования минеральных природных столовых вод Сибири в лечебно-оздоровительных целях 460
Иванова Т. П., Озерский А. Ю., Фадина Т. А. Месторождения подземных вод Красноярского края 464
Исаева С. Д. Использование подземных и поверхностных вод в АПК. 469
Курчиков А. Р., Плавник А. Г., Курчиков Д. А. Анализ динамики эксплуатационных показателей захоронения шламовых отходов в водоносные отложения глубоких горизонтов 473
Курчиков А. Р., Саитов В. А., Павленко О. Л., Хасанов Д. А. Глубинное захоронение пульпообразных буровых отходов – экологически безопасный вид недропользования 478
Минькевич И. И., Килин Ю. А., Широкова П. С. Пресные подземные воды Северо-Ханты-Мансийского месторождения 482
Олиферова О. А. Оценка сходимости прогнозных расчетов и результатов эксплуатации действующего Сургутского водозабора подземных вод 485
Павлов С. Х., Чудненко К. В. Реальные и модельные составы азотных термальных вод 490
Потурай В. А. Органическое вещество в термальных водах Анненского месторождения (Дальний Восток). 495
Рыбникова Л. С., Рыбников П. А. Оценка риска утраты питьевых водозаборов в районах ликвидируемых рудников Среднего Урала 499

Секерина И. Н., Олиферова О. А. Особенности интерпретации откачек из безнапорного пласта в условиях островной мерзлоты (в южной части Амурской области) 504
Сычевский А. В. Оценка возможности использования таликовых зон для восполнения запасов подземных вод 508
Тагильцев С. Н., Тагильцев В. С., Лукьянов А. Е. Откачки в пластах с перетеканием на территории Западной Сибири 510
Трифонов Н. С. Перспективы утилизации попутно извлеченных и сточных вод при освоении Юрубченского месторождения методами численного физико-химического моделирования 515
Тукешева Г. Е., Гребенникова В. В., Кендирбаева Дж. Ж. Гидрогеологический мониторинг в сейсмоактивных районах Кыргызстана и Алматинском прогностическом полигоне (АПП) Казахстана 520
Фадина Т. А. Изученность качества подземных вод по результатам работ по оценке запасов подземных вод и ведению объектного мониторинга на действующих водозаборах ОАО «РЖД» в пределах территории Красноярского края 525
Харитонова Н. А., Челноков Г. А., Баркар А. В., Вах Е. А. Условия формирования холодных углекислых минеральных вод месторождения Малкинское (Камчатка) 529
Хахинов В. В., Ульзетуева И. Д. Минеральные воды Селенгинской Даурии 534
Челноков Г. А., Брагин И. В., Жарков Р. В., Харитонова Н. А. Радоновые исследования подземных флюидов Южно-Сахалинского грязевого вулкана 536
Черняк А. Г., Нахапетян А. К. Использование метода аналогии при оперативных поисково-оценочных работах на подземные воды в Восточной Сибири 541
Шолохов П. А. Использование подземных вод в качестве автономного источника питьевого водоснабжения 543
Шубин И. С., Ершов Г. Е. Особенности формирования запасов подземных вод Омчакского месторождения (Магаданская область) 547

ПРЕДИСЛОВИЕ

Совещания по подземным водам Востока России проводятся, начиная с 1955 г., с периодичностью раз в три года. Инициатором их проведения является Институт геологии Восточно-Сибирского филиала АН СССР (ныне Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск). В 2015 г. исполняется 60 лет со дня организации первого подобного форума сибирских гидрогеологов, состоявшегося в Иркутске. В последующем эти совещания еще пять раз проводились в Иркутске (1982, 1988, 1994, 2000 и 2012 гг.), три раза в Тюмени (1967, 1997 и 2009 гг.), по два раза в Чите (1958 и 1985 гг.) и Красноярске (1961 и 2003 гг.) и по одному разу во Владивостоке (1964 г.), Хабаровске (1970 г.), Новосибирске (1973 г.), Улан-Удэ (1976 г.), Петропавловске-Камчатском (1979 г.) и в Томске (1991 г.). За все прошедшие 60 лет принятая периодичность этих совещаний ни разу не была нарушена. Они проводились даже в труднейшие для нашей страны 90-е годы прошлого столетия. Традиционно в них принимают участие гидрогеологи не только из Сибири и Дальнего Востока, но и из Москвы, Санкт-Петербурга и других городов европейской территории России, а также из стран ближнего и дальнего зарубежья. Всё это свидетельствует о том, что подобные совещания были и остаются весьма востребованными гидрогеологическим сообществом.

В 2015 г. Всероссийское совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока впервые проводится в Якутии. Для подготовки к этому гидрогеологическому форуму Главой Республики Саха (Якутия) Е. А. Борисовым было издано распоряжение (№ 955-Р2 от 24 сентября 2014 г.) о формировании республиканского организационного комитета под председательством первого заместителя председателя Правительства РС(Я) П. А. Мариничева. В состав оргкомитета вошли как некоторые члены Правительства РС(Я), так и руководители научных, образовательных и профильных производственных учреждений и организаций республики. Согласно составленной и утвержденной программе совещания было предусмотрено проведение двух пленарных и пяти секционных заседаний, работа двух круглых столов, а также научные и ознакомительные экскурсии.

В настоящем сборнике содержится 122 доклада (9 пленарных и 113 секционных), представленных на совещание и отобранных редакционной коллегией для опубликования. Тематика докладов охватывает широкий круг фундаментальных и прикладных гидрогеологических проблем. Это, прежде всего, вопросы эволюции гидрогеологических систем различного типа в условиях изменений климата, геокриологической обстановки и повышения степени воздействия техногенеза на геологическую среду, вопросы совершенствования методики проведения гидрогеологических работ, проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой, использования минеральных и термальных подземных вод, вопросы нефтегазовой и нефтепромысловой гидрогеологии, охраны подземных вод и др.

Обобщенные итоги обсуждения представленных докладов, а также рекомендации двух круглых столов, посвященных рассмотрению вопросов подготовки кадров в области гидрогеологии и проблем использования подземных вод в Республике Саха (Якутия), найдут отражение в Решении XXI совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока, которое будет подготовлено и разослано всем участникам совещания, администрациям субъектов РФ в Сибирском и Дальневосточном регионах, профильным ведомствам, организациям и предприятиям.

Ответственные редакторы:
д.г.-м.н. С. В. Алексеев,
д.г.-м.н., проф. В. В. Шепелёв

ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ПРОМЫШЛЕННЫЕ РАССОЛЫ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ (ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ПЕРЕРАБОТКА)

Алексеев С. В.[1], Вахромеев А. Г.[1], Алексеева Л. П.[1], Коцупало Н. П.[2], Рябцев А. Д.[2]
[1]*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, salex@crust.irk.ru;*
[2] *ЗАО «Экостар-Наутех», г. Новосибирск, kocupalo@mail.ru*

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены геохимические особенности промышленных рассолов гидроминеральной провинции Сибирской платформы. Выделены перспективные месторождения в границах четырёх артезианских бассейнов: Ангаро-Ленского, Тунгусского, Якутского и Оленёкского. Выполнена оценка прогнозных эксплуатационных запасов промышленных рассолов юга и северо-востока Сибирской платформы. Освещены инновационная технология сорбционного обогащения поликомпонентных рассолов по литию с получением литиевых концентратов и способы их переработки для получения соединений лития и брома.

Ключевые слова: *промышленные рассолы, литий, бром, месторождения, Сибирская платформа, сорбционное обогащение, переработка, концентраты.*

Abstract. The geochemical peculiarities of industrial brines of the Siberian platform are considered in this paper. The prospective deposits of ground brines are sorted out within the boundaries of Angara-Lenskiy, Tungusskiy, Yakutskiy and Oleniokskiy artesian basins. The estimation of prospective commercial reserves of industrial brines in southern and north-eastern parts of Siberian Platform is made. The innovative technology of multicomponent brines sorption flotation by lithium to obtain lithium concentrates is presented. The processing methods for the lithium and bromine compounds production is considered.

Key words: *industrial brines, lithium, bromine, deposits, Siberian Platform, sorption flotation, processing, concentrates.*

Введение. Основным сырьевым источником для получения литиевых соединений в России до 90-х годов прошлого столетия являлось алюмосиликатное сырьё – сподуменовые концентраты, перерабатываемые пирометаллургическим способом. Многостадийная энергоёмкая технология переработки горнорудного сырья заставила производителей литиевой продукции мирового сообщества осваивать новые сырьевые источники лития, каковыми являются природные рассолы. Преимущество освоения гидроминерального сырья на основании опыта зарубежных производителей состоит в низкой энерго- и реагентоемкости его переработки, а также в экологичности технологических решений за счёт отсутствия твёрдых отходов и газовых выбросов. Весомым преимуществом гидроминерального сырья является также возможность снижения эксплуатационных и капитальных затрат на производство литиевой продукции за счёт попутного извлечения хлоридных солей бора, оксида и хлорида магния и др.

В мировой практике в настоящее время промышленно перерабатываются рассолы (салары) хлоридного натриевого типа с содержанием хлорида лития ³3 г/дм^3 и небольшим содержанием магния и кальция. В странах с аридным климатом (США, Чили, Аргентина) получение литиевого концентрата (раствора хлорида лития) происходит по галургической технологии путём испарения рассола в естественных условиях.

В России широко распространены хлоридные кальциевые и натриево-кальциевые рассолы, залегающие в недрах Сибирской платформы. Содержание хлорида лития в рассолах Сибирской платформы достигает 1,5 – 3 г/дм^3, однако для получения литиевого концентрата галургические технологии не применимы. Исследованиями ресурсной базы гидроминерального сырья с середины прошлого века занимались многие ученые и практики – Е. В. Пиннекер, П. И. Трофимук, А. С. Анциферов, А. А. Дзюба, В. И. Вожов, М. Б. Букаты и др. [1 – 9].

В последние десятилетия в ходе гидрогеологических исследований, выполненных авторами настоящей статьи, получены новые данные о промышленных рассолах Иркутской области (Ангаро-Ленский артезианский бассейн), Западной Якутии (Якутский и Оленёкский артезианские бассейны) и Красноярского края (Тунгусский артезианский бассейн). На их основе произведена переоценка прогнозных запасов рассолов на конкретных объектах недропользования [5, 10 – 13].

В результате многолетней научно-практической работы технологов ЗАО «Экостар-Наутех» разработаны комплексные технологии переработки рассолов Сибирской платформы с получением литиевых соединений из концентратов, обогащённых LiCl, полученных сорбционным путём, а также широкого ассортимента попутных продуктов – брома и бромпродуктов, магниевых и кальциевых продуктов, хлорида натрия и реагентов для реализации технологии [5, 10, 11, 14].

Распространение и геохимия промышленных рассолов гидроминеральной провинции Сибирской платформы. Важной особенностью строения геологического разреза осадочного чехла Сибирской платформы является широкое распространение мощных пластов сульфатных и галитовых отложений, а также многочисленных интрузий траппов. По отношению к пластам каменной соли выделяются подсолевая (терригенно-карбонатная), соленосная (галогенная) и надсолевая (карбонатная) гидрогеологические формации. С точки зрения освоения подземных промышленных вод наиболее перспективными являются подсолевая и соленосная гидрогеологические формации.

В Ангаро-Ленском артезианском бассейне *подсолевая гидрогеологическая формация ($V–Є_1$)* залегает на фундаменте Сибирской платформы. Мощность формации изменяется от 500 – 1000 до 2000 – 2500 м. Водовмещающие породы представлены песчаниками, доломитами, доломито-ангидритами. В бассейне отчетливо проявляется гидрогеохимическая инверсия. Она выражается в том, что в подсолевых горизонтах минерализация рассолов меньше, чем в рассолах перекрывающей соленосной толщи (табл. 1). Состав рассолов подсолевой формации преимущественно хлоридный магниево-кальциевый, реже – кальциево-натриевый.

В соленосной гидрогеологической формации ($Є_1$) на долю пластов каменной соли приходится более половины её суммарной мощности. Глубина залегания соленосной формации составляет 600 – 2500 м. Водовмещающие отложения имеют значительную мощность (1500 – 2000 м). Они представлены трещиноватыми и кавернозными доломитами, известняками. Характерно развитие крепких, весьма крепких и предельно насыщенных рассолов хлоридного магниево-кальциевого, реже – кальциевого состава. Минерализация рассолов в основном составляет 270 – 500 г/дм^3. Её максимальные значения (631 и 621 г/дм^3) зафиксированы при гидрохимическом опробовании двух скважин. Среднее содержание брома и лития в рассолах Ангаро-Ленского бассейна превышает минимальные промышленные концентрации в 16 и 10 – 11 раз соответственно.

Тунгусский артезианский бассейн – это крупнейший резервуар хлоридных соленых вод и рассолов, отличительными чертами которого являются широкое распространение траповых секущих и пластовых интрузий, а также неравномерная соленосность осадочных отложений чехла. Геологический разрез коррелирует с разрезом Ангаро-Ленского АБ, однако мощность пластов соли не превышает десятков метров. Рассолы вскрываются на глубинах от 500 до 3000 м преимущественно в нижних частях разреза – в верхнепротерозойских и нижнепалеозойских галогенно-карбонатных и терригенно-карбонатных толщах. В вышележащих терригенных угленосных породах карбона и перми мощностью до 700 – 1000 м обычно залегают (вне зон разломов) слабые рассолы, солёные и пресные воды.

По составу подземные воды *подсолевой гидрогеологической формации ($R–Є_1$)* образуют непрерывный ряд между чисто хлоридными натриевыми рассолами выщелачивания и хлоридными кальциевыми предельной метаморфизации. Минерализация рассолов изменяется от 36 до более 400 г/дм^3.

Таблица 1. Содержание некоторых ценных компонентов в подземных водах Сибирской платформы [8, 10]

Гидрогеологические структуры и стратификация		Содержание	Компонент		
			г/дм^3		мг/дм^3
			M	Br^-	Li^+
Ангаро-Ленский артезианский бассейн	Соленосная гидрогеологическая формация ($Є_1$)	Макс.	631,1	12,6	486
		Мин.	270	0,08	0,21
		Среднее	407,1	4,0	115
	Подсолевая гидрогеологическая формация (V-$Є_1$)	Макс.	422,8	7,2	566
		Мин.	195,2	0,05	1,0
		Среднее	340,1	4,0	101
Тунгусский артезианский бассейн	Соленосная гидрогеологическая формация ($Є_1$+ $Є_{1-2}$)	Макс	550	13,9	837
		Мин.	80	0,86	0,28
		Среднее	380	6,1	243,2
	Подсолевая гидрогеологическая формация (R-$Є_1$)	Макс	457	6,6	56,9
		Мин.	36	0,33	0,01
		Среднее	242	3,4	28,3
Якутский артезианский бассейн	Соленосная гидрогеологическая формация ($Є_1$)	Макс.	444,6	6,8	90,5
		Мин.	169,8	2,0	5,8
		Среднее	404,0	5,9	39,1
	Подсолевая гидрогеологическая формация (V-$Є_1$)	Макс.	433,9	6,7	90,0
		Мин.	169,8	0,9	0,9
		Среднее	356,3	3,1	22,3
Оленёкский артезианский бассейн	Водоносный комплекс ($Є_3$)	Макс	252,2	2,6	120,8
		Мин.	31,1	0,06	3,1
		Среднее	92,0	1,0	33,3
	Водоносные комплексы (V-$Є_2$)	Макс.	411	6,5	415,3
		Мин.	195,8	2,33	34,1
		Среднее	328,0	4,15	183,4

Примечание: М – минерализация подземных вод.

Рассолы *соленосной ($Є_1$ + $Є_{1-2}$) формации* отличаются наиболее высокими значениями минерализации (до 550 г/дм^3), различным катионным составом (натриевым, натриево-кальциевым и кальциевым) и повышенными концентрациями кальция, калия, редких щелочей и микрокомпонентов.

Наиболее высоким содержанием ценных компонентов характеризуются хлоридные натриево-кальциевые и кальциевые рассолы с минерализацией до 450 – 550 г/дм^3. Максимальная концентрация лития в таких рассолах достигает 900 мг/дм^3, брома – 14 г/дм^3.

Подсолевую гидрогеологическую формацию (V–$Є_1$) Тюнгского крыла Якутского артезианского бассейна слагают терригенные, реже – карбонатные разности пород, залегающие на глубине более 1,5 км. Водоносные горизонты представлены маломощными (10 – 50 м) пачками пород, ограниченными по вертикали и выдержанными по простиранию. Хлоридные натриево-кальциевые рассолы, вскрытые в подсолевых осадочных толщах, имеют минерализацию 170 – 434 г/дм^3.

Соленосная гидрогеологическая формация ($Є_1$) сложена слабопроницаемыми карбонатными породам нижнего кембрия. Притоки рассолов получены с глубины 600 – 800 м. Состав подземных вод соленосной гидрогеологической формации преимущественно хлоридный магниево-кальциевый. Минерализация рассолов изменяется от 170 до 445 г/дм^3.

Терригенно-карбонатные и галогенно-карбонатные толщи прорваны трапповыми интрузиями и кимберлитовыми трубками среднепалеозойского возраста.

Максимальное содержание лития и брома в рассолах подсолевой и соленосной формаций превышает 90 мг/дм^3 и 7 г/дм^3.

В Оленекском артезианском бассейне отсутствуют мощные выдержанные пласты каменной соли и типичные для Сибирской платформы хлоридные натриевые рассолы. Водовмещающие породы бассейна (преимущественно терригенно-карбонатные и карбонатные) прорваны многочисленными кимберлитовыми и трапповыми телами. Подземные соленые воды и рассолы вскрыты в интервале глубин 0,1 – 2,5 км. Гидрогеологический разрез представлен тремя водоносными комплексами: верхне-, средне- и нижнекембрийским, а также водоносными зонами кимберлитовых тел.

Верхнекембрийский водоносный комплекс ($Є_3$) приурочен к карбонатным отложениям. Глубина вскрытия подземных вод составляет 90 – 700 м. Подземные соленые воды и рассолы имеют хлоридный магниево-кальциевый или кальциево-магниевый состав. Их минерализация изменяется от 31 до 252 г/дм^3.

Среднекембрийский, нижнекембрийский и верхнепротерозойский водоносные комплексы ($V–Є_2$) приурочены к глинисто-карбонатным, карбонатным отложениям. Глубина вскрытия подземных вод изменяется от 500 до 2500 м. Подземные воды представлены крепкими и весьма крепкими рассолами хлоридного кальциевого состава. Их минерализация колеблется от 195 до 411 г/дм^3 и возрастает с глубиной залегания водоносных комплексов.

Подземные воды, вскрытые во множестве кимберлитовых тел, идентичны по составу и минерализации подземным водам вмещающих осадочных пород.

Максимальная концентрация лития в рассолах водоносных комплексов венда, среднего кембрия, а также обводненных зон кимберлитовых трубок достигает 415 мг/дм^3, брома – 6,5 г/дм^3.

Ресурсная база промышленных рассолов сибирской платформы. Сибирская платформа – крупная геологическая структура с предварительно оцененными ресурсами и прогнозными эксплуатационными запасами гидроминерального сырья в отдельных артезианских бассейнах [5, 6, 10, 13].

В подсолевой гидрогеологической формации Ангаро-Ленского артезианского бассейна оценены семь участков Иркутского месторождения, Братская группа участков и Парфеновский участок в Осинском районе, а также попутные рассолы нефтегазоконденсатных месторождений Непско-Ботуобинской антеклизы [5, 10] (табл. 2).

Для карбонатных толщ соленосной гидрогеологической формации выполнена оценка перспективных участков в пределах Верхнеленской впадины Ангаро-Ленского артезианского бассейна, Тетеро-Алтыбского и Сухотунгусского месторождений в Тунгусском артезианском бассейне [10].

В Оленекском артезианском бассейне по данным многолетних режимных наблюдений за величиной водопритока в карьер кимберлитовой трубки «Удачная», а также химическим составом дренажных вод рассчитано количество лития и брома, выносимое рассолами в горную выработку [4, 8, 10].

Масштабы ресурсной базы гидроминерального сырья Сибирской платформы демонстрируют два ярких примера.

На Знаменском лицензионном участке в Ангаро-Ленском артезианском бассейне (при проектной системе водозабора из 9 скважин) ресурсы промышленных рассолов по категории P_1 оценены в 11 тыс. м^3/сут (4 млн м^3/год) [5]. На расчетный срок эксплуатации месторождения (25 лет) они составляют около 100 млн м^3. При этом ресурсы Li (при содержании его 480 г/м^3) составляют 1953 т/год или в пересчёте на карбонат лития – 10300 т/год, что примерно соответствует производительности завода на озере Сильвер-Пик, США.

Прогнозные эксплуатационные запасы рассолов четырёх участков Верхнеленского месторождения (с расчетным дебитом водозабора выше 1000 м^3/сут) могут обеспечить годовое производство около 5000 т карбоната лития и 29000 т брома (марки А, Б) [10].

Таблица 2. Прогнозные эксплуатационные запасы промышленных рассолов и полезных компонентов (Li, Br) основных месторождений гидроминеральной провинции Сибирской платформы (экспертная оценка) [5, 10, 13]

Перспективные участки, зоны, месторождения	Эксплуатационные запасы рассолов, $м^3$/сут	Запасы полезных ископаемых	
		Компоненты	
		Li, т/год	Br, тыс.т/год
Иркутская область			
Подсолевая гидрогеологическая формация			
Братско-Иркутская зона, АЛБ	16000	250	28,0
Нефтяные месторождения НБА, ТБ	1000	100	13,6
Соленосная гидрогеологическая формация (Верхнеленское месторождение, АЛБ)			
Илгинская впадина	9500	1600	40,0
Зона БАМ (Ковыкта, Омолой, Марково, Илим)	13200	2200	40,0
Всего по месторождению	22700	3800	80,0
Соленосная гидрогеологическая формация (Тетеро-Алтыбское месторождение, ТБ)			
Западный склон НБА	7000	850	4,4
Красноярский край			
Сухотунгусское месторождение (ТБ)			
Карбонатная формация (костинская свита)	450	35	0,5
Западная Якутия			
Далдыно-Мархинское месторождение (ОБ)			
Кимберлитовая трубка «Удачная»	7200	400	8,0
Всего:	47350	5435	134,5

Примечание: АЛБ – Ангаро-Ленский бассейн, ТБ – Тунгусский бассейн, ОБ – Оленекский бассейн, БАМ – Байкало-Амурская магистраль, НБА – Непско-Ботуобинская антеклиза.

В период с 1985 до 2014 гг. из карьера трубки «Удачная» (Далдыно-Мархинское месторождение) было откачано более 27 млн $м^3$ дренажных вод. При этом потери лития и брома (только из расчета их минимального содержания –14 и 600 мг/$дм^3$) составили более 380 и 16000 т соответственно за весь период осушения месторождения.

За последние пять лет при средней концентрации лития – 220 мг/$дм^3$, брома – 3,7 г/$дм^3$ в дренажных водах карьера трубки «Удачная» и величине водопритока, изменяющейся от 4,0 до 7,4 тыс. $м^3$/сут, рассолами выносится в год: лития – от 307 до 592 т, брома – от 5170 до 9956 т.

Переработка промышленных рассолов сибирской платформы. Рассолы Сибирской платформы относятся к рассолам, не концентрируемым по литию. Они обогащены хлоридом кальция, имеют высокое содержание лития и брома, однако в течение длительного времени эти рассолы не относились к числу промышленных на литий. Совместное присутствие брома и лития в их составе позволяет говорить об уникальности этого вида гидроминерального сырья (табл. 3).

Особенности рассолов Сибирской платформы, а именно преобладающее содержание хлоридов кальция и магния в солевом составе и, соответственно, высокие значения коэффициента R (отношение суммы концентраций Ca и Mg к концентрации лития), в 10 – 20 раз превышающие таковые в рассолах хлоридного натриевого типа, не позволяют использовать галургическую технологию для их переработки [5, 11, 14].

Таблица 3. Солевой состав рассолов России (Сибирская платформа), Китая (провинция Цинхай) и Чили (пустыня Атакама) [11, 14]

№ п/п	Месторождение	Содержание, кг/м^3						Σ солей	R
		LiCl	NaCl	KCl	$MgCl_2$	$CaCl_2$	Br		
1	*Верхнеленское* (Знаменская площадь) Иркутская область	2,9	6,1	8,2	113	373	9,6	515	340
2	*Верхнеленское* (Ковыктинская площадь) Иркутская область	2,5	4,8	22,3	115	427	6,3	571	420
3	*Сухотунгусское*, Красноярский край	1,3	119	44,1	37	163	3,2	368	310
4	*Куюмбинское*, Красноярский край	1,7	119	28,6	40,8	164,5	3,3	358	246
5	*Далдыно-Мархинское* (трубка Удачная), РС(Я)	0,95	76	н.о.	54,0	210	4,9	346	600
6	*Дун-Тай*, Китай	4,85	5,15	н.о.	423,8	2,9	–	438	132
7	*Атакама*, Чили	3,0	288,4	61,3	45,1	1,4	–	400	24

Примечание: $R=C_{Ca+Mg}/C_{Li.}$

Наиболее оптимальным решением для переработки нетрадиционного гидроминерального сырья на литий на Азиатском континенте является селективное его извлечение с получением литиевого концентрата.

Селективными свойствами к литию и устойчивостью в хлоридных рассолах высокой минерализации обладает хлорсодержащая разновидность двойного гидроксида алюминия, лития состава $LiCl{\cdot}2Al(OH)_3{\cdot}mH_2O$ (ДГАЛ-Cl). Физико-химические свойства и получение ДГАЛ-Cl позволили сделать вывод об обратимости ДГАЛ-Cl с дефицитом лития в его составе (до 30%), способного восстанавливать свой первоначальный состав в литийсодержащих рассолах. Это свойство ДГАЛ-Cl было положено в основу сорбционного обогащения литийсодержащих рассолов нетрадиционного состава Сибирской платформы [5, 11, 14].

В 90-е годы ЗАО «Экостар-Наутех», созданной сотрудниками СО РАН, и предприятиями атомной промышленности г. Новосибирска (учредители А. Д. Рябцев, Н. П. Коцупало, В. И. Титаренко), была разработана промышленная технология получения гранулированного сорбента на основе ДГАЛ-Cl. Для опробования сорбента в опытно-промышленном масштабе наработана партия ~500 кг и создана опытно-промышленная установка для сорбционного извлечения лития из рассолов хлоридного кальциевого типа [11].

В те же годы была пробурена первая глубокая скважина для разведки водозаборного участка и попутной добычи рассола хлоридного кальциевого типа на Знаменской площади в Иркутской области [5, 12]. Это позволило реализовать в опытно-промышленном масштабе технологию сорбционного обогащения рассолов нетрадиционного состава и впервые в мировой практике получить первичный литиевый концентрат с содержанием 5 – 7 кг/м^3 LiCl (рис. 1). Количество примесей $MgCl_2$ и $CaCl_2$ составляло ~1,5 кг/м^3. После очистки от примесей и концентрирования по разработанной сибирскими учеными технологии был получен одноводный хлорид лития и его безводная соль [5, 11].

Процесс сорбционного обогащения опробован на опытном стенде с использованием рассолов различных типов. Полученные результаты показали, что технология применима к рассолам любого типа. Она позволяет получать первичные литиевые концентраты с практически одинаковым содержанием хлорида лития. Отличие их состоит только в количественном и качественном содержании примесей [11].

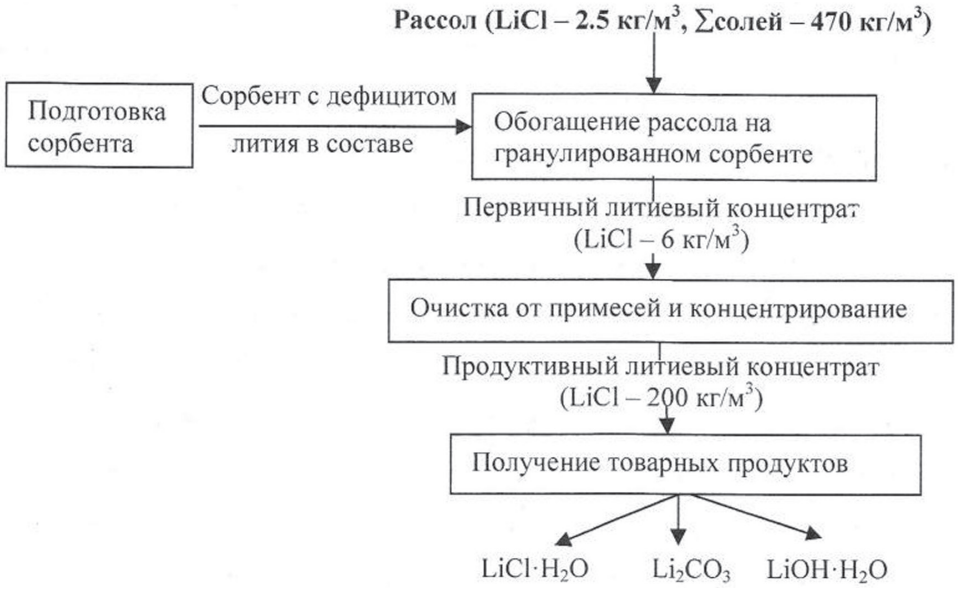


Рис. 1. Принципиальная схема технологии сорбционного обогащения по литию с получением литиевых продуктов [14]

Первичные литиевые концентраты содержат 6 – 7 кг/м³ хлорида лития и имеют показатель R = 0,5 – 1,7, что позволяло концентрировать их любым из известных методов, включая обратноосмотический, электродиализный, термический, а также естественное испарение в бассейнах. Очистку первичных концентратов от примесей Ca и Mg осуществляли оборотным карбонатом лития и/или ионообменным путём.

Выполненные исследования по сорбционному обогащению рассолов позволили вплотную подойти к промышленному освоению рассолов нетрадиционного состава. Наиболее доступными для переработки явились литиеносные озёрные рассолы хлоридного магниевого типа в Китае. Наработка промышленных партий сорбента и его гранулирование проводились на предприятии «Lan Ke Lithium» по технологии, запатентованной в России. На предприятии были изготовлены и опробованы опытные сорбционно-десорбционные модули с неподвижным слоем гранулированного сорбента и загрузкой 8 тонн (конструкция ЗАО «Экостар-Наутех»). После опытно-промышленных испытаний на рассолах озера Дун-Тай (содержание LiCl 4,85 кг/м³) были введены в эксплуатацию промышленные обогатительные модули (загрузка сорбента 28 тонн), на которых производится в настоящее время первичный литиевый концентрат [14].

Промышленная технология сорбционного обогащения по литию была реализована на рассолах озера Белатан (LiCl 0,15 кг/м³), предварительно использованных китайской калийной компанией «Qinghai Salt Lake Industry Group Co. Ltd.» (провинция Цинхай) для производства удобрений путём стадийного гелиоконцентрирования рассола и высаливания солей натрия, калия, магния с одновременным концентрированием хлорида лития до содержания ~2 кг/м³. Предельная концентрация хлорида магния составляла ~450 кг/м³.

Литиевый концентрат, полученный в сорбционно-десорбционном модуле, поступал на операцию его очистки от примесей (в основном $MgCl_2$). Раствор хлоридов лития и натрия направлялся на обратноосмотическое концентрирование с последующим термическим доупариванием и высаливанием хлорида натрия. Продуктивный концентрат с содержанием LiCl~200 кг/м³ используют для получения карбоната лития (содержание Li_2CO_3 99,6 %) [14].

Таким образом, калийной компанией и предприятием «Lan Ke Lithium» впервые в мире была реализована комплексная переработка рассолов хлоридного магниевого типа. К 2014 г. предприятие «Lan Ke Lithium» вышло на годовую производительность 7500 т карбоната лития (проектная производительность – 10000 т/год). При использовании богатых по литию

рассолов предел обогащения рассола по литию может реализоваться в начале технологического цикла. Достоинством сорбционной технологии является неизменность состава рассола после выделения лития в виде концентрата [11, 14].

Применительно к рассолам Сибирской платформы разработана комплексная переработка как хлоридного кальциевого, так и хлоридного натриево-кальциевого типов гидроминерального сырья [11, 14]. При организации комплексной переработки рассолов Сибирской платформы первичной является операция обогащения рассола по литию. Для получения литиевых продуктов используется продуктивный литиевый концентрат. Из рассола после сорбционного извлечения лития можно получать широкий ассортимент продукции, включая бром, соединения магния, кальция и натрия, причём реагенты для реализации комплексной технологии получают из того же рассола. На рис. 2 приведена блок-схема производства товарной продукции при комплексной переработке рассолов хлоридного кальциевого типа с получением реагентов для их выделения.

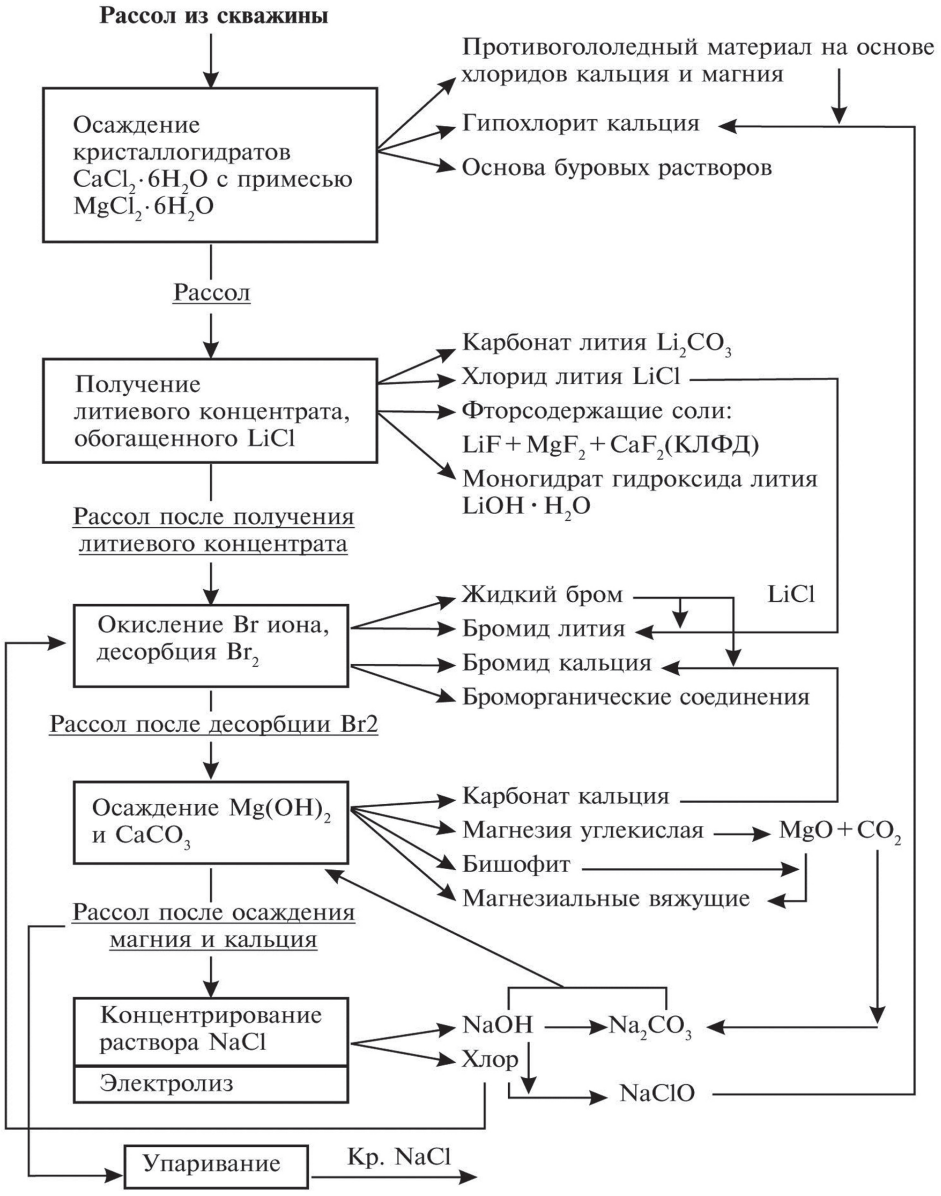


Рис. 2. Блок-схема производства товарной продукции при комплексной переработке рассолов хлоридного кальциевого типа с получением реагентов для их выделения [11, 14]

Переработке хлоридных кальциевых рассолов должна предшествовать операция самопроизвольного осаждения кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ и его отделение. Выделенный продукт является самостоятельным сырьём для получения противогололёдного материала в виде гранулированного хлорида кальция, а также для производства гипохлорита, бромида, карбоната кальция. Он может использоваться и в качестве основы для приготовления буровых растворов.

Из рассола после отделения осадка $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ и обогащения по литию получают бром путём окисления бромид-иона хлором и десорбции брома паром. С использованием литиевого концентрата и брома получают бромид лития. Затем из рассола осаждают магний в виде $Mg(OH)_2$ или коллективного осадка вместе с $CaCO_3$. Полученные осадки используют для производства магниевых продуктов: магнезии углекислой, оксида магния, бишофита ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), а также магнезиальных вяжущих материалов на их основе.

После осаждения магния рассол, содержащий $CaCl_2$ и NaCl, нагревают для высаливания NaCl и получения раствора хлорида кальция. Раствор хлорида кальция также как и осадок кристаллогидрата $CaCl_2 \cdot 6H_2O$ (с примесью $MgCl_2 \cdot 6H_2O$) используют для получения кальциевых продуктов – бромида, гипохлорита и карбоната. Хлорид натрия поступает на получение реагентов – NaOH, Cl_2, Na_2CO_3, HCl.

Разработанная технология является безотходной и гибкой в эксплуатации при переработке рассолов как кальциевого, так и натриево-кальциевого типов. Поскольку рассолы хлоридного натриево-кальциевого типа сопутствуют, как правило, нефтяным месторождениям, то часть получаемых продуктов может использоваться и для нужд нефтепромысла.

В ближайшей перспективе целесообразным является организация производства переработки литиеносных дренажных рассолов кимберлитовой трубки «Удачная» – наиболее доступного гидроминерального сырья [4, 8, 10, 11]. Учитывая суровые климатические условия Западной Якутии, из рассолов, поступающих в карьер трубки «Удачная», можно рекомендовать получение только соединений лития и брома. Извлечение лития и брома практически не меняет состава рассолов. После переработки изоляция рассолов возможна в многолетнемерзлых породах на участке «Левобережный».

Перспективным направлением для переработки рассолов Сибирской платформы является организация совместного химического и металлургического комплекса. Исходя из комплексной схемы переработки рассолов хлоридного кальциевого и натриево-кальциевого типов, можно получать хлориды лития, магния и кальция, которые являются сырьём для производства соответствующих металлов и сплавов на их основе.

Согласно предварительной оценке, экономические показатели производства литиевой продукции из рассолов Сибирской платформы могут быть существенно повышены за счёт выпуска попутной продукции. Получение только противогололёдного материала (гранулированного $CaCl_2$), карбоната лития и брома позволит вывести химическое производство на самоокупаемость и сократить сроки его строительства до 2 – 3 лет. Себестоимость карбоната лития после переработки рассолов будет в два раза ниже себестоимости этого продукта, полученного из рудного сырья.

С учётом экономических показателей и тенденции мировых производителей литиевой продукции, перспективы её производства в России следует связывать с вовлечением в промышленный оборот сибирских гидроминеральных сырьевых источников, технология переработки которых готова к промышленному освоению.

Заключение. Хлоридные рассолы артезианских бассейнов Сибирской платформы являются важнейшим сырьевым источником лития, брома и других компонентов. Интерес к использованию высокоминерализованных подземных вод в качестве литиеносного гидроминерального сырья определяется рядом причин:

1) наличием значительных возобновляемых запасов месторождений в пределах крупных артезианских бассейнов;

2) экологической чистотой добычи и производства продукции, исключающей нарушения состояния окружающей природной среды, дробление и измельчение огромных масс горных пород, применение сложных технологических схем обогащения, обжига и выщелачивания ценного компонента из руды;

3) возможностью применения метода испарительного концентрирования (вымораживания) вод с последовательным выделением натриевых, калиевых и магниевых солей и повышением содержания лития;

4) освоением самостоятельных месторождений, попутных вод нефтегазовых месторождений и дренажных вод алмазных месторождений;

5) максимальной автоматизацией добычи сырья из скважин и карьеров и переработкой его в заводских условиях;

6) удешевлением проводимых горных работ и низкой себестоимостью продукта, получаемого из промышленных вод.

Готовые для промышленной реализации технологии переработки рассолов Сибирской платформы позволят возродить литиевую и бромную промышленность в России, а также получить востребованные попутные продукты. Уникальная по составу «жидкая руда» является важнейшим сырьём XXI века.

Работа выполнена в рамках проектов «Гидроминеральные ресурсы Сибири и сопредельных территорий», «Арктика», «Разработка промышленной технологии производства лития из солевых рассолов» (шифр «Рассол»).

Список литературы

1. Пиннекер, Е. В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна / Е. В. Пиннекер. – М. : Наука, 1966. – 322 с.

2. Пиннекер, Е. В. Проблемы региональной гидрогеологии (Закономерности распространения и формирования поземных вод) / Е. В. Пиннекер. – М. : Наука, 1977. – 196 с.

3. Анциферов, А. С. Гидрогеология Иркутского нефтегазоносного бассейна / А. С. Анциферов [и др.]. – Иркутск : Вост.-Сиб. изд-во, 1971. – 124 с.

4. Алексеев, С. В. Криогенез подземных вод и горных пород (на примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии) / С. В. Алексеев. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 2000. – 119 с.

5. Получение литиевых продуктов из сибирских рассолов для экологизации производства алюминия / А. Н. Баранов [и др.]. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2004. – 125 с.

6. Вожов, В. И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции / В. И. Вожов. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2006. – 209 с.

7. Методы изучения и оценка ресурсов глубоких подземных вод / Под ред. С. С. Бондаренко, Г. С. Вартаняна – М. : Недра, 1986. – 479 с.

8. Алексеев, С. В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции / С. В. Алексеев. – Новосибирск : Академ. изд. «ГЕО», 2009. – 317 с.

9. Зелинская, Е. В. Теоретические основы изучения и рационального использования подземных рассолов / Е. В. Зелинская. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2002. – 98 с.

10. Промышленные рассолы Сибирской платформы : гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / С. В. Алексеев [и др.]. – Иркутск : Изд-во ООО «Географ», 2014. – 171 с.

11. Коцупало, Н. П. Химия и технология получения соединений лития из литиеносного гидроминерального сырья / Н. П. Коцупало, А. Д. Рябцев. – Новосибирск : Академическое изд-во ГЕО, 2008. –291 с.

12. Вахромеев, А. Г. Знаменский рассолопромысловый проект // Геоэкологические исследования на Лено-Ангарском плато / С. Б. Кузьмин, А. Г. Вахромеев. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2003. – С. 13–69.

13. Вахромеев, А. Г. Месторождения промышленных поликомпонентных рассолов глубоких горизонтов гидроминеральной провинции Сибирской платформы // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 9 (92). – С. 73–78.

14. Комплексная переработка поликомпонентных литиеносных рассолов с предварительным их обогащением по литию / Под ред. Н. П. Коцупало. – Новосибирск : Академическое изд-во «ГЕО», 2014. – 172 с.

ПРОБЛЕМЫ НОРМАТИВНО-ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ГЕОЛОГИЧЕСКОМ ИЗУЧЕНИИ, РАЗВЕДКЕ И ДОБЫЧЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Боревский Б. В., Язвин А. Л.
ЗАО «ГИДЭК», г. Москва, info@hydec.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются проблемы нормативно-правового регулирования деятельности, связанной с изучением и добычей подземных вод, используемых для питьевых и технических целей. Проведен анализ документов в сфере законодательства о недрах и его соотношения с нормами смежных отраслей права. Предложены основные направления совершенствования документов, регламентирующих проведение оценки запасов подземных вод и требования к их изученности.

Ключевые слова: *законодательство, нормативно-правовые документы, питьевые и технические подземные воды, недропользование, оценка запасов, требования к изученности.*

Abstract. This paper examines the problems of legal regulation of activities related with the study and extraction of groundwater used for potable and industrial purposes. The analysis of documents in the field of legislation on subsurface management and its correlation with standards related branches of law. The basic directions of improvement of the documents governing the evaluation of groundwater reserves and the requirements for their knowledge.

Key words*: legislation, regulatory and legal documents, potable and industrial groundwater, subsurface management, reserve evaluation, requirements knowledge.*

Создание системы управления в сфере отношений, касающихся подземных вод, применительно к новым общественно-экономическим условиям является важнейшей государственной задачей. Эта задача решается уже более 20 лет, но имеющиеся результаты далеки от желаемых. Этому есть как объективные, так и субъективные причины [1].

В общей сложности можно выделить три блока документов, регулирующих вопросы деятельности, затрагивающей подземные воды:

– закон «О недрах» и «Водный кодекс», которые содержат основополагающие правовые нормы;

– нормативно-правовые документы в сфере законодательства о недрах;

– нормативно-правовые документы смежных отраслей законодательства.

Рассмотрим последовательно 3 вышеуказанных блока.

1. Основой современной системы государственного управления ресурсами подземных вод является их отнесение к сфере законодательства о недрах. Однако дискуссия о юрисдикции подземных вод продолжается уже почти сто лет и имеет не только теоретический характер.

Во-первых, несмотря на то, что большинство статей «Водного кодекса», касающихся подземных вод, содержит отсылки к законодательству о недрах, отзвуки этой дискуссии находят отражение в ряде действующих правовых и нормативных актов.

Во-вторых, не прекращаются попытки исключить пресные подземные воды из сферы недропользования (из состава полезных ископаемых) и перевести их в сферу водного законодательства и(или) путем объединения функций по управлению поверхностными и подземными водами в рамках одной структуры.

Такие предложения не решат имеющиеся проблемы, а приведут к слому сложившейся в течение десятилетий системы, что негативным образом скажется на обеспечении хозяйственно-питьевого водоснабжения населения и объектов промышленности.

В рамках действующего законодательства представляются необходимыми следующие действия:

– привести в законе «О недрах» определение понятия «полезные ископаемые», включив в него подземные воды. За этим должно последовать приведение в соответствие подзаконных актов;

– разделить компетенции между Законом «О недрах» и другими законодательными актами, в первую очередь – «Водным кодексом».

В правовых документах возможные виды деятельности применительно к подземным водам обычно формулируются в виде триады «изучение – использование – охрана». В ней упущено 4-ое звено – «добыча», которая (видимо) по умолчанию включается в «использование». Линию раздела следует провести следующим образом: деятельность, связанная с доступом к недрам (к ней относятся изучение и добыча), подлежит юрисдикции законодательства о недрах.

Использование водных ресурсов, в силу своего комплексного характера, должно быть сосредоточено в рамках одной отрасли законодательства – водного. Наиболее важным элементом охраны подземных вод является их защита от поверхностного загрязнения, для чего доступ к недрам не требуется. Однако ухудшение их качества возможно в результате различных видов хозяйственной деятельности. В связи с этим охрана подземных вод включает мероприятия и ограничения, затрагивающие, в том числе, и сферу недропользования, и должна регулироваться несколькими отраслями законодательства, но с соответствующим разделением их функций.

2. Законодательство о недрах в настоящее время жестко регламентирует практически каждый шаг недропользователя. Государство старается максимально зарегулировать последовательность работ, их состав и требования к отчетности. Вектор развития нормативной базы очевиден – детальная регламентация действий как недропользователей, так и должностных лиц, ответственных за исполнение государственных функций.

При этом, если ранее во главу угла ставился дух закона (в широком смысле слова), то сейчас уже буква закона. При рассмотрении отчетов и проектов проверка наличия и должного оформления требуемых документов и согласований часто является наиболее сложным и принципиальным вопросом повестки дня. Соответственно, все меньше внимание уделяется содержательной части материалов, что самым негативным образом сказывается на качестве и эффективности геологических исследований, в частности и недропользования в целом.

Состав и порядок проведения геологоразведочных работ и получения сопутствующих государственных услуг выстроен для случая, когда объектом оценки запасов является участок недр без оцененных запасов (перспективный участок).

Эта схема не предусматривает исключений, которые должны касаться, в первую очередь, проектирования геологического изучения недр и эксплуатации – для участков действующих водозаборов, одиночных водозаборных узлов, а также для геологоразведочных работ, которые проводятся за счет средств недропользователей.

Помимо избыточности целого ряда указанных выше требований к проведению ГРР, обратим внимание на сроки предоставления основных сопровождающих их государственных услуг. Их суммарная продолжительность достигает 500 дней, что вполне сопоставимо с длительностью проведения собственно геологоразведочных работ на крупных объектах. Что же касается участков одиночных водозаборов, то срок получения разрешительной документации на порядок превышает срок проведения работ по оценке запасов, составляющий, как правило, не более 1 – 2 месяцев.

Таким образом, можно утверждать, что действующая система предоставления государственных услуг является весьма эффективным препятствием в сфере пользования недрами для изучения и добычи подземных вод.

3. Помимо»Водного кодекса», к базовым федеральным законам, в той или иной степени регулирующим вопросы подземных вод, относятся: Градостроительный, Земельный и Налоговый кодексы, законы «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», «Об охране окружающей среды», «Об экологической экспертизе», «О водоснабжении и водоотведении», «Об информации, информатизации и защите информации» и др.

Сложность правового регулирования отношений, связанных с подземными водами, состоит в необходимости применения норм нескольких отраслей права. Соответственно, задача

заключается в обеспечении его непротиворечивости и полноты, формировании межотраслевого института [2].

При этом можно выделить два вида соотношений законодательства о недрах и смежных отраслей:

– закон «О недрах» и подзаконные акты содержат отсылки к другим нормативным правовым актам;

– какая-либо сфера деятельности подпадает под регулирование одновременно несколькими отраслями законодательства.

Среди первоочередных проблем, возникающих при недропользовании, выделим вопросы предоставления земельных участков, оформления заключений органов Роспотребнадзора, согласования влияния отбора подземных вод на окружающую среду, доступности необходимой для оценки запасов информации.

Нуждаются в более корректной правовой и законодательной регламентации соотношения понятий «геологоразведочные работы» и «инженерные изыскания», «подземный водный объект» и «участок недр», «налог на добычу подземных вод» и «водный налог».

В первую очередь это относится к дублированию требований к поискам и разведке подземных вод для целей водоснабжения, которые включены в перечень специальных видов инженерных изысканий, что противоречит законодательству о недрах. В свете действующих с 01.01.2015 г. изменений в законе «О недрах» представляется, что к инженерным изысканиям следует относить работы на участках при величине запасов не более 100 $м^3$/сут.

4. Итак, общая система государственного управления ресурсами подземных вод формируется на базе многочисленных законов и подзаконных актов. При этом вследствие разобщенности вовлеченных в этот процесс ведомств, несовпадения их интересов, а также недостаточно высокой квалификации разработчиков действующая база противоречива, содержит ряд пробелов, устаревших норм и необоснованных требований, что препятствует эффективному и рациональному использованию недр.

Можно выделить следующие основные проблемы нормативно-правового регулирования в области изучения и использования подземных вод:

– несогласованность и разобщенность норм закона «О недрах» и смежных отраслей законодательства;

– отсутствие определений используемых понятий и унификации понятийного аппарата;

– наличие неправомерных, а иногда и противоречащих здравому смыслу положений – как в законах (кодексах), так и в подзаконных актах;

– жесткая регламентация административных процедур при одновременной нечеткости формулировок и, соответственно, неоднозначности их трактовок;

– избыточность формальных требований к проведению работ и представлению их результатов, не учитывающая разнообразие рассматриваемых объектов и решаемых задач, препятствующая изложению авторского видения проблемы, столь необходимого в геологии.

Исправление недостатков сложившейся системы государственного управления подземными водами требует как гармонизации закона «О недрах» с другими федеральными законами (кодексами), так и упорядочения норм многочисленных подзаконных актов. Для этого необходима координация и совместная работа ведомств, участвующих в ее формировании.

Совершенствование нормативно-правовой базы управления ресурсами подземных вод должно проводиться в нескольких направлениях:

1. Внесение поправок в подзаконные акты и подготовка новых редакций документов. В первую очередь это относится к сфере законодательства о недрах, однако требуют корректировки и ряд нормативных требований в смежных отраслях законодательства.

2. Внесение поправок в закон «О недрах» и «Водный кодекс» на основе разделения их компетенций; целесообразно в каждом из указанных правовых актов документе выделить отдельные главы, посвященные подземным водам.

3. Законодательство, регулирующее отношения, связанные с подземными водами, характеризуется отсутствием систематизации многочисленных нормативных правовых актов, что приводит к проблемам применения его положений как пользователями недр, так и органами государственной власти, осуществляющими управление в сфере недропользования.

Заметим, что Водный Кодекс по отношению к подземным водам (подземным водным объектам) не является собственно «Кодексом», так как по основным разделам содержит отсылочные нормы к законодательству о недрах; его содержанию в большей степени соответствует название «Кодекс о поверхностных водах».

Совершенствование нормативно-правовой базы, помимо рассмотренной выше корректировки действующих документов, может осуществляться путем подготовки кодифицированного акта (Кодекса), либо специального федерального закона «О подземных водах». Единый правовой акт можно рассматривать как оптимальный инструмент решения проблем в области рационального изучения, использования и охраны подземных вод.

4. В коренной переработке нуждаются многие из действующих документов, регламентирующих проведение оценки запасов подземных вод и требования к их изученности [3, 4]. Обозначим основные направления их совершенствования:

1) При проведении геологоразведочных работ первоочередным является вопрос о соответствии качества воды назначению ее использования.

Разделение подземных вод на питьевые и технические потеряло смысл, поскольку грань между свойствами указанных типов вод стирается все больше благодаря ужесточению требований к качеству пригодной для потребления воды и развитию методов водоподготовки.

Требование о согласовании качества подземных вод с органами Роспотребнадзора, наличие которого необходимо для представления отчетов о геологическом изучении недр на государственную экспертизу, является избыточным. При этом в нормативной базе собственно Роспотребнадзора оно отсутствует, а имеется только в документах Минприроды.

Неотъемлемой частью оценки эксплуатационных запасов является обоснование технологии обработки воды с целью доведения ее качества до требуемого.

2) Эксплуатационные запасы месторождений подземных вод подлежат геолого-экономической оценке, определяющей (как и для других видов полезных ископаемых), целесообразность их использования.

Учитывая высокую социальную значимость вод хозяйственно-питьевого назначения, по результатам этой оценки органы власти могут принять решение об изменении тарифов или о представлении недропользователю соответствующих льгот, либо о дотировании из бюджета.

3) Обязательным элементом оценки эксплуатационных запасов подземных вод является обоснование границ месторождений и их участков. Подходы к обоснованию положения границ должны базироваться на определении понятия «месторождение подземных вод».

Наличие геологически обоснованных, закрепленных на топографических картах и разрезах, юридически легитивных границ месторождений подземных вод необходимо для ведения государственного учета запасов и кадастра месторождений, определения возможности застройки территорий, передачи участков недр недропользователям, охраны от истощения и загрязнения и др.

4) Общепринятое понятие «месторождение подземных вод» в настоящее время подвергается ревизии, которая не имеет геологических оснований и обусловлена несовершенством законодательства, в первую очередь – проблемой статуса участков недр, эксплуатируемых одиночными водозаборами.

Такие участки должны иметь статус участка недр, предоставленного в пользование с целью добычи подземных вод «для собственных нужд» (не имеющий промышленного значения). Он может находиться как в пределах месторождений и их участков, так и вне их.

В системе государственного учета и мониторинга следует выделить отдельный раздел для ведения реестра оцененных запасов по участкам недр, эксплуатируемым одиночными

ВЗУ. Необходимо также ввести упрощенные требования к оценке запасов, составу и оформлению отчетных материалов.

Вступившие с 01.01.2015 г. в действие изменения в закон «О недрах», основным из которых является отнесение к участкам недр местного значения участков недр с запасами до 500 $м^3$/сут, с соответствующей передачей полномочий органам государственной власти субъектов РФ, могут привести к разрушению сложившейся системы ведения учета и баланса подземных вод.

5. В состав геологоразведочных работ необходимо включать исследования по оценке защищенности водозаборов подземных вод от поверхностного загрязнения.

Показателем защищенности является время движения возможного загрязнения от поверхности земли к эксплуатационным скважинам, включающее вертикальную и горизонтальную составляющие. Первый пояс предназначен для предотвращения возможности загрязнения водоносного горизонта через оголовки и устья скважин, поэтому защищенность не влияет на его размеры.

6. Все основные действующие классификации запасов/ресурсов полезных ископаемых являются двухмерными. Для подземных вод переход на трехмерную систему нецелесообразен, классификация запасов должна базироваться на геолого-гидрогеологической и технико-экономической изученности с одной стороны и социально-экономической эффективности – с другой.

Каждой категории запасов должна соответствовать определенная стадия геологоразведочных работ и стадия технико-экономического обоснования, проектирования и освоения предоставленных в пользование участков недр.

Прогнозные ресурсы, которые являются геологическим, а не геолого-экономическим (в отличие от эксплуатационных запасов) понятием, квалифицируются на основе геологической изученности.

7. Согласно построению классификационных систем, категория А определяет наибольшую степень достоверности подсчитанных запасов.

Большую часть работ по оценке запасов в настоящее время составляют работы на действующих водозаборах, однако при этом запасы категории А практически не подсчитываются. Материалы эксплуатации в подавляющем большинстве случаев недостаточны для квалификации запасов по данной категории.

Выделение запасов категории А в настоящее время не имеет практического значения, поскольку они ничем не отличаются от запасов категории В при обосновании дальнейших действий недропользователя.

В связи с этим сохранение категории А в классификации запасов может рассматриваться только как дань традиции и аналогии с другими видами полезных ископаемых.

8. Наибольшие затруднения для всех типов полезных ископаемых исторически вызывает «идентификация» категории C_2, по выражению Ю. Н. Новикова [5] применительно к углеводородам, «балансирующей на грани запасов и ресурсов».

Запасы, относимые к категории C_2, не отвечают определению понятия «запасы» как величине отбора из геолого-технически обоснованных водозаборных сооружений при заданном режиме и условиях эксплуатации, качестве воды, с учетом социально-экономической целесообразности использования.

Вследствие развития представлений о прогнозных ресурсах, конкретизации требований к ним и увеличению их значимости, выделение запасов категории C_2 утратило целесообразность. Все подсчитанные запасы следует перевести в прогнозные ресурсы категории P_1. Таким образом, для классификации запасов достаточно двух категорий: В и C_1.

9. В настоящее время невостребованные (неосвоенные) запасы составляют более 80%, в то время как согласно государственному учету, к забалансовым отнесены лишь 3 – 4%.

Следствиями учета при оценке запасов взаимодействия водоотбора на всех участках недр с утвержденными ранее запасами являются крайне низкая достоверность прогноза состояния подземных вод и неэффективные экономические решения [6].

К забалансовым следует относить запасы, освоение которых на момент оценки является нецелесообразным в связи с невостребованностью и/или невозможным. Необходима корректировка балансовой принадлежности по фактическим данным о востребованности и освоении запасов. Влияние на оцениваемый участок расчетного водоотбора на месторождениях (участках месторождений) с забалансовыми запасами не учитывается.

10. Вышеизложенное позволяет сделать вывод о необходимости разработки новых документов взамен действующих – «Классификации запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных подземных вод», методических указаний по ее применению, «Требований к составу и правилам оформления представляемых на государственную экспертизу материалов по подсчету запасов питьевых, технических и минеральных подземных вод». Необходима также подготовка новых нормативно-методических документов, первоочередными из которых являются «Положение об учете прогнозных ресурсов подземных вод и экспертизе результатов их оценки» и «Методические рекомендации по обоснованию границ месторождений».

Список литературы

1. Язвин, А. Л. Критический Обзор нормативных документов, регламентирующих изучение и использование питьевых и технических подземных вод / А. Л. Язвин // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 5. – С. 3–10.

2. Мухина, Э. Н. Право пользования подземными водами : субъект, объект, содержание правоотношений. Теоретические и практические проблемы правового регулирования / Э. Н. Мухина // Аграрное и земельное право. – 2011. – № 9. – С. 118–124.

3. Боревский, Б. В. Некоторые принципиальные проблемы совершенствования методики оценки эксплуатационных запасов подземных вод и ее нормативной базы (в порядке дискуссии) / Б. В. Боревский // Подземная гидросфера. Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России. – Иркутск, 2012. – С. 289–293.

4. Боревский, Б. В. Основные этапы развития учения об оценке эксплуатационных запасов питьевых и технических подземных вод в СССР и современной России. Прошлое, настоящее, будущее / Б. В. Боревский // Недропользование. XXI век. – 2012. – № 2. – С. 44–54.

5. Новиков, Ю. Н. Эволюция отечественной классификации запасов и ресурсов нефти и газа : от трёх – к восьми // Нефтегазовая геология. Теория и практика. – 2009. – Т. 4. – № 1. – http://www.ngtp.ru/rub/3/7_2009.pdf

6. Боревский, Б. В. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. Мифы и реальность / Б. В. Боревский, В. А. Грабовников // Разведка и охрана недр. – 2010 г. – № 10. – С. 3–8.

КРАТКАЯ СПРАВКА О ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОБЩЕРОССИЙСКОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ «РОССИЙСКИЙ СОЮЗ ГИДРОГЕОЛОГОВ» (РОСГИДРОГЕО) ЗА 2011 – 2014 ГГ.

Грачёва М. К., Голубев С. М., Алексеева Л. И., Кисленко А. В.
Общероссийская общественная организация «Российский союз гидрогеологов» (Росгидрогео), г. Москва, rosgidrogeo-union@mail.ru

Аннотация. В статье излагаются основные направления деятельности Общероссийской общественной организации «Российский союз гидрогеологов» за весь период ее работы (с 2011 г.).

Ключевые слова: *гидрогеологические проблемы, нормативные документы водной отрасли РФ, водное хозяйство, питьевые воды, Российский союз гидрогеологов (Росгидрогео).*

Abstract. The article describes the main activities of the Russian public organization «Russian Union of Hydrogeologists» during the whole period of its functioning (since 2011), and provides the decision taken

by the participants of the Second Congress Rosgidrogeo taken place in the Russian State Duma, Moscow, October 23, 2014.

Key words: *hydrogeological problems, normative documents of the Russian Federation's water sector, water management, drinking water, the Russian Union of Hydrogeologists (Rosgidrogeo).*

По просьбе оргкомитета XXI Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока сотрудниками Российского союза гидрогеологов подготовлена краткая справка о работе организации за четыре года ее деятельности. В рамках политики «открытой работы» приводим также решение второго Съезда организации, прошедшего в Московской Государственной Думе РФ 23 октября 2014 года.

Созданная исключительно силами учёных и производственников-гидрогеологов в 2011 г., Общероссийская общественная организация «Российский союз гидрогеологов» (Росгидрогео), призванная сплотить силы специалистов водоохранной отрасли государства, в течение 4 прошедших лет проявила высокую активность в водохозяйственном секторе страны. Основным ориентиром, в котором работает Росгидрогео, было и остается достижение качественного объединения научных, производственных и административных структур водного профиля для реализации профессионально-грамотного водопользования и обеспечения безопасности водных ресурсов.

Росгидрогео проводит работу в тесном контакте с Российским водным обществом (НП «РВО»), с ведущими научно-исследовательскими и проектно-изыскательскими организациями (Всероссийский научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной (ВСЕГИНГЕО), Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова (ВНИИГИМ)), с Подкомитетом по водным ресурсам в структуре Комитета Государственной Думы РФ по природным ресурсам, природопользованию и экологии. В своей практической деятельности Росгидрогео учитывает интересы представителей 54 отделений Союза в восьми Федеральных округах РФ и оказывает им необходимую поддержку в решении возникающих проблем. Определенную помощь в работе Росгидрогео оказывают спонсоры: ЗАО «ГИДЭК», ООО «Геодин», ФГУГП «Гидроспецгеология», ОАО «Геоцентр-Москва», ООО «РусЭкоСтрой», ООО «ЛНК», З-СФ ИНГГ СО РАН, НОИЗ.

В 2012 – 2013 гг. на заседаниях Президиума Росгидрогео были заслушаны отчеты: Главы Росгидрогео по Приволжскому ФО РФ А. Я. Гаева, Главы Росгидрогео по Дальневосточному ФО РФ А. В. Кирюхина, Главы Росгидрогео по Северо-Кавказскому ФО РФ И. Б. Королева, Главы Росгидрогео по Северо-Восточному ФО РФ П. К. Коносавского.

Специалисты Союза совместно с НП «РВО» разрабатывали мероприятия по предупреждению чрезвычайных ситуаций на паводкоопасных территориях и реализации необходимых водохозяйственных мероприятий, кардинально смягчающих катастрофические вызовы природы (возгорание торфяников в Московской области (2010), наводнение в Крымске (2013), наводнение в Хабаровском крае (2013)). Эти предложения были вынесены на рассмотрение Подкомитета по водным ресурсам ГД РФ и направлены в местные органы управления.

В 2013 г. группа экспертов Росгидрогео посетила Южный Дагестан и на месте ознакомилась с острой ситуацией по сохранению Государственного природного комплекса «Самурский лес» и по обеспечению питьевой водой населенных пунктов, в том числе города Дербента. Рекомендации экспертов по этой проблеме были переданы Общественной палате Республики Дагестан и направлены в правительство республики.

В Администрации Московской, Владимирской и Смоленской областей были переданы предложения по использованию современных технологий при водоподготовке и очистке подземных и поверхностных вод, используемых для питьевых целей. Руководству Республики Крым и компании «Южэкогеоцентр» в мае 2014 г. было направлено предложение об использовании эффективных методов поисково-разведочных работ на подземные воды и предложение к сотрудничеству в сфере использования водных ресурсов.

В ноябре 2013 г. Комитет Совета Федерации по аграрной продовольственной политике и природопользованию проводил «круглый стол» на тему «О правовых проблемах учета и использования подземных вод». Представители Росгидрогео приняли активное участие в подготовке и проведении этого мероприятия. Проблема состояния, учета и использования подземных вод рассматривалась в Парламенте России впервые. Участники «круглого стола» направили рекомендации Правительству РФ, в том числе о разработке проекта Федерального закона «О внесении изменений в Закон Российской Федерации «О недрах» и в статью 55 «Водного кодекса Российской Федерации», а также в другие Федеральные законы, предусматривающие повышение статуса подземных вод как стратегического источника водоснабжения. Представители Росгидрогео участвовали в подготовке материалов и в проведении очередных заседаний Подкомитета по водным ресурсам по нормативно-правовому регулированию в сфере использования и охраны водных ресурсов.

Рис. 1. Депутат ГД РФ А. Г. Карлов – руководитель Подкомитета по водным ресурсам, выступает на расширенном заседании Подкомитета (23 октября 2014 г.)

В отделениях Росгидрогео научные работники и преподаватели проводят постоянную работу по подготовке кадров высшей квалификации, научно-исследовательской и просветительской работе среди студентов и школьников, а также в местных административных структурах. Одной из важных задач общественной организации является идеологическая работа с молодежью и привлечение молодых специалистов в научную и производственную деятельность в сфере гидрогеологии. Неоценим вклад каждого специалиста, трудящегося на благо роста и укрепления фундаментальной науки о водных ресурсах.

Росгидрогео еще в 2011 г. в начале своей деятельности выступал за создание единого центра управления водным комплексом России, который в силу своей многогранности и масштабности не умещается в круг интересов ни одного из действующих министерств. Вопросы регулирования, использования водных ресурсов находятся в ведении 14 федеральных органов исполнительной власти. По данным экспертов проблемами водной отрасли занимаются 36 федеральных ведомств. Так, например, подземные воды являются предметом регулирования нескольких отраслей законодательства – о недрах, водного, природоохранного и санитарно-гигиенического. Из-за различной ведомственной подчинённости существующая система управления не решает всех стоящих перед ней задач. Участники «круглого стола»,

организованного Комитетом по природным ресурсам, природопользованию и экологии Государственной Думы РФ, на тему «О ходе реализации водной стратегии на период до 2020 года», состоявшегося 08.12.2014 г., рекомендуют Правительству РФ (п. 2.1) рассмотреть возможность объединения функций по управлению водохозяйственным комплексом (поверхностными и подземными водами), а также функций по учету, охране и использованию подземных вод в рамках одного федерального органа исполнительной власти.

В октябре 2014 г. состоялся Второй съезд Союза (рис. 2), по результатам которого был принят ряд решений по дальнейшей деятельности организации (Приложение).

Рис. 2. Участники Второго съезда Российского союза гидрогеологов (Государственная Дума Российской Федерации, 23 октября 2014 г.)

В 2015 г. завершается подготовка к изданию сборника воспоминаний старейших гидрогеологов, докторов наук стран СНГ. Такое издание послужит значимым вкладом в историю развития наук о Земле, а также станет прекрасным источником вдохновения для молодых представителей гидрогеологической науки. Откликнувшиеся ученые из стран постсоветского пространства активно идут на контакт для развития научных связей, что уже в ближайшие годы может послужить основой для организации под эгидой Росгидрогео Международного съезда гидрогеологов в рамках Содружества Независимых Государств. Налажены контакты с представителями гидрогеологической науки и практики Белоруссии, Украины, Грузии, Китая. Представительница научного сообщества Китая стала в 2013 г. первым иностранным членом Российского союза гидрогеологов.

В планах организации создание отечественного журнала «Гидрогеология», аналогичного главному журналу в мировой гидрогеологической отрасли «Hydrogeology».

Важным направлением работы Союза в начале 2015 г. стала подготовка рекомендаций по решению водохозяйственных проблем Крымского полуострова, а также подготовка представителей Росгидрогео для участия в выездном заседании Подкомитета по водным ресурсам в г. Симферополь. В текущем году намечается создание двух новых отделений Российского союза гидрогеологов в городах Симферополь и Севастополь.

Мощное объединение представителей гидрогеологической науки и практики способно ответить на главные вызовы XXI в. в области водных ресурсов, реализовать водоохранную миссию научного гидрогеологического сообщества. Объединив потенциал лучших умов науки, силу ведущих производителей и водопользователей, ответственность руководящих органов, Союз намерен внедрить систему профессионального водопользования в России на благо безопасности водных ресурсов.

В заключении хотелось бы еще раз отметить, что Росгидрогео создавалось «снизу», усилиями инициативной группы (Ю. Г. Богомолов, В. А. Всеволожский, А. А. Карцев, А. П. Николаев), преодолевая при организации инерцию и некоторое недопонимание остроты проблемы, касающейся водных ресурсов, со стороны «власть предержащих». При голосовании за создание Росгидрогео на конференции, посвященной 100-летию профессора Б. И. Куделина в МГУ имени М. В. Ломоносова, особо отметим усилия Л. Г. Соколовского и проф. С. Л. Шварцева.

Российский союз гидрогеологов приглашает всех представителей научно-производственного сообщества к вступлению в ряды профессионалов, неравнодушных к судьбе водных ресурсов Российской Федерации.

Приложение

Решение Второго съезда
Общероссийской общественной организации
«Российский союз гидрогеологов» (Росгидрогео)
(далее «Организация» или «Союз»)

Заслушав и обсудив доклад и. о. председателя Правления Российского союза гидрогеологов к.г.-м.н. Ю. Г. Богомолова, доклады, предусмотренные программой Второго съезда, и выступления его участников (23.10.2014), Второй съезд отмечает, что в соответствии с решением Президиума (22.10.2014) одобрена работа представителей Росгидрогео в Высшем экологическом совете Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии на тему: «Законодательное обеспечение охраны и использования подземных вод»; одобрена работа Росгидрогео, выполненная за 2011 – 2014 гг., особенно отмечена важность участия в общественных мероприятиях, проводимых совместно с Советом Федерации РФ и Государственной Думой РФ, а также активные позиции, занятые Росгидрогео в оказании содействия в спасении Самурского леса в Дагестане и принятии мер по предотвращению катастрофических наводнений на р. Амур; рекомендовано продолжить работу по разработке предложений о сотрудничестве России с Республиками Средней Азии по решению водной проблемы за счет строительства водопровода из Сибири в Центральную Азию; продолжить программы по мелиорации земель в Таджикистане, по подготовке специалистов Российских ВУЗах и НИИ, а также решения водохозяйственных и экологических проблем в Республике Крым и Краснодарском крае.

Стратегическими задачами Союза являются: 1) объединение специалистов-гидрогеологов, работающих в организациях Российской академии наук, высших учебных заведениях РФ, Министерстве природных ресурсов и экологии РФ, государственных организациях и предприятиях различной формы собственности; 2) содействие развитию фундаментальной и прикладной гидрогеологии; 3) внедрение различных видов гидрогеологических исследований в производственную практику; 4) возобновление и развитие научно-технического сотрудничества с зарубежными странами в сфере водных ресурсов и экологии, в том числе с СНГ. Тактической задачей Союза является организация его деятельности на территориях ФО РФ.

Съезд постановил:

1. Утвердить и.о. председателя Правления Росгидрогео **Богомолова Юрия Герасимовича** – председателем Правления Росгидрогео.

2. Принять к сведению информацию ответственного секретаря Росгидрогео **Грачевой Марины Константиновны** о приеме членов Росгидрогео и в соответствии с решением заседания Президиума 22.10.2014 г. утвердить следующие решения по изменению руководящего состава Росгидрогео:

2.1. **Голубева Серафима Михайловича** (и.о. первого заместителя председателя Правления Росгидрогео) утвердить первым заместителем председателя Правления Росгидрогео.

2.2. **Кочева Дмитрия Захаровича** – утвердить заместителем председателя Правления Росгидрогео.

2.3. В соответствии с личной просьбой заместителей председателя Правления Росгидрогео **Куранова Николая Петровича** и **Богомолова Герасима Юрьевича** освободить их от занимаемых должностей с объявлением благодарности за проделанную работу.

2.4. В соответствии с личной просьбой помощника председателя Правления Росгидрогео **Никулина Игоря Викторовича** освободить его от занимаемой должности с объявлением благодарности за проделанную работу.

2.5. Утвердить в качестве помощника председателя Правления Росгидрогео **Кисленко Андрея Валерьевича.**

2.6. Назначить члена Росгидрогео **Плотникову Розу Ивановну** на должность председателя Московского областного отделения Росгидрогео.

2.7. Утвердить состав ревизионной комиссии Росгидрогео: **Лисёнков Александр Борисович** (председатель), члены комиссии: **Николаева Людмила Константиновна** и **Вагин Сергей Борисович**.

3. Утвердить акт ревизионной комиссии о работе Росгидрогео за 2011 – 2014 гг.

4. Объявить благодарность за активное участие в деятельности Росгидрогео следующим членам Союза: **Грачевой Марине Константиновне, Николаевой Людмиле Константиновне, Кисленко Андрею Валерьевичу**.

5. Утвердить:

– членский и вступительный взносы в Организацию для физического лица РФ по 300 руб. соответственно, вступительный и членский взнос для юридического лица РФ в размере 150 000 руб. соответственно;

– членский и вступительный взносы в Организацию для физического лица СНГ по 500 руб. соответственно, вступительный и членский взнос для юридического лица СНГ в размере 250 000 руб. соответственно;

– членский и вступительный взносы в Организацию для физического лица дальнего зарубежья по 500 USD соответственно, вступительный и членский взнос для юридического лица дальнего зарубежья в размере 75 000 USD соответственно.

Размер членских и вступительных взносов может изменяться руководством Росгидрогео с учетом инфляции.

6. Утвердить новую редакцию Устава Российского союза гидрогеологов с внесением изменений и дополнений, принятых на заседании Правления Союза (Приложение), поручить руководящему аппарату Росгидрогео провести необходимые процедуры для регистрации изменений Устава в Министерстве Юстиции РФ.

Председатель Правления
Российского союза гидрогеологов **Ю. Г. Богомолов**

Секретарь Второго съезда
Российского союза гидрогеологов,
помощник председателя Правления **А. В. Кисленко**

Приложение к решению Съезда

Решение
Заседания Президиума Общероссийской общественной организации
«Российский союз гидрогеологов» (Росгидрогео)

г. Москва, ул. 2-я Рощинская, д. 10 **22 октября 2014 г.**

1. Принять к сведению информацию **Богомолова Юрия Герасимовича** о проведении Второго очередного съезда Росгидрогео 23 октября 2014 г. Всем представителям Росгидрогео в федеральных округах организовать прибытие делегатов на съезд.

2. Одобрить работу представителей Росгидрогео в Высшем экологическом совете Комитета Государственной Думы по природным ресурсам, природопользованию и экологии на тему: «Законодательное обеспечение охраны и использования подземных вод».

3. Одобрить работу Росгидрогео, выполненную за 2011 – 2014 гг., особенно отметив важность участия в общественных мероприятиях, проводимых совместно с Советом Федерации РФ и Государственной Думой, а также активные позиции, занятые Росгидрогео в оказании содействия в спасении Самурского леса в Дагестане и принятии мер по предотвращению катастрофических наводнений на р. Амур.

4. Рекомендовать продолжить работу по разработке предложений по сотрудничеству России с республиками Средней Азии по решению водной проблемы за счет строительства водопровода из Сибири в Центральную Азию, программы мелиорации земель в Таджикистане, подготовки специалистов Российских ВУЗов и НИИ, а также решения водохозяйственных и экологических проблем в Республике Крым и Краснодарском крае.

5. Принять к сведению информацию **Грачевой Марины Константиновны** о приеме членов Росгидрогео и утвердить следующее решение по изменению руководящего состава:

5.1. И. о. председателя Правления Росгидрогео **Богомолова Юрия Герасимовича** – утвердить председателем Правления Росгидрогео.

5.2. **Голубева Серафима Михайловича** (и.о. первого заместителя председателя Правления Росгидрогео) утвердить первым заместителем председателя Правления Росгидрогео.

5.3. **Кочева Дмитрия Захаровича** – утвердить заместителем председателя Правления Росгидрогео.

5.4. В соответствии с личной просьбой заместителей председателя Правления Росгидрогео **Куранова Николая Петровича** и **Богомолова Герасима Юрьевича** освободить их от занимаемых должностей с объявлением благодарности за проделанную работу.

5.5. В соответствии с личной просьбой помощника председателя Правления Росгидрогео **Никулина Игоря Викторовича** освободить его от занимаемой должности с объявлением благодарности за проделанную работу.

5.6. Утвердить в качестве помощника председателя Правления Росгидрогео **Кисленко Андрея Валерьевича**.

5.7. Назначить члена Росгидрогео **Плотникову Розу Ивановну** на должность председателя Московского областного отделения Росгидрогео.

6. Утвердить состав ревизионной комиссии Росгидрогео: **Лисенков Александр Борисович** (председатель); и члены комиссии: **Николаева Людмила Константиновна** и **Вагин Сергей Борисович**.

7. Поручить ответственному секретарю Росгидрогео Г**рачевой Марине Константиновне** актуализировать информацию на официальном сайте Росгидрогео в соответствии с принятыми кадровыми перестановками (разделы «Руководство», «Контакты»).

8. Утвердить акт ревизионной комиссии о работе Росгидрогео за 2011 – 2014 гг.

9. Объявить благодарность за активное участие в деятельности Росгидрогео следующим членам: **Грачевой Марине Константиновне, Николаевой Людмиле Константиновне, Кисленко Андрею Валерьевичу.**

10. Утвердить новую редакцию Устава Российского союза гидрогеологов с внесением изменений и дополнений, принятых правлением Союза, поручить руководящему аппарату Росгидрогео провести необходимые процедуры для регистрации изменений Устава в Министерстве Юстиции РФ.

Правление Росгидрогео

Председатель Правления
Российского союза гидрогеологов **Ю. Г. Богомолов**

Секретарь заседания Президиума,
помощник председателя правления **А. В. Кисленко**

РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ ГОРОДСКОГО НАСЕЛЕНИЯ

Зекцер И. С., Каримова О. А., Четверикова А. В.[1]
[1]*Институт водных проблем РАН, г. Москва, zektser@aqua.laser.ru*

Аннотация. В настоящей статье проведен анализ ресурсов пресных подземных вод отдельных средних и крупных городов (с численностью населения более 500 тыс. чел.). Показано использование пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения по отдельным регионам (федеральным округам Российской Федерации) и крупным городам. Установлена взаимосвязь численности городского населения и использования ресурсов пресных подземных вод. Показано, что чем крупнее город (по численности населения), тем меньше вклад подземных вод в хозяйственно-питьевое водоснабжение.

Ключевые слова: ресурсы питьевых подземных вод, хозяйственно-питьевое водоснабжение, обеспеченность подземными водами.

Abstract. In the paper the resources of fresh groundwater of certain medium and large cities (with a population of over 500 thousand people) are analyzed. The use of fresh groundwater for drinking water supply in certain regions (Federal Districts) and major cities is shown. The interrelation of urban population and use of fresh groundwater is found. It is shown that the larger the city (by population) is, the smaller is the contribution of groundwater to drinking water supply.

Key words: resources of drinking groundwater, drinking water supply, groundwater availability.

В настоящее время пресные подземные воды играют важную роль в хозяйственно-питьевом водоснабжении (ХПВ) многих стран. Это объясняется тем, что подземные воды как источник водоснабжения имеют ряд существенных преимуществ по сравнению с поверхностными водами. Основные преимущества подземных вод сводятся к следующему: подземные воды характеризуются высоким качеством и лучшей защищенностью от загрязнения и заражения по сравнению с поверхностными водами, они менее подвержены многолетним и сезонным колебаниям, связанным с климатической цикличностью и водностью отдельных лет; как правило, имеют более широкое распространение. Важен и экономический аспект: ввод в эксплуатацию водозаборов подземных вод может осуществляться постепенно, по мере роста потребности в воде, в то время как строительство гидротехнических сооружений (водохранилищ, каналов и др.) требует крупных единовременных затрат [1].

Общие прогнозные ресурсы подземных вод с минерализацией до 3 г/л на территории России составляют 869,1 млн м^3/сут. По субъектам Российской Федерации прогнозные ресурсы распределены неравномерно и изменяются от 0,1 до 94,7 млн м^3/сут. При этом наибольшие прогнозные ресурсы приурочены к Ханты-Мансийскому автономному округу (94,7), Республике Коми (69,3), Томской области (59,7) и Камчатскому краю (50,0), а наименьшие – на территории Мурманской области (0,37), Республики Карелия (0,13) и Республики Калмыкия (0,11) [2].

На территории России по состоянию на 01.01.2013 г. разведано 11293 месторождения подземных вод, из которых в эксплуатации находится только 63%. Общие утвержденные запасы подземных вод составляют 93,0 млн м^3/сут, из которых 15% приходится на Московскую область и Краснодарский край. Наглядное соотношение прогнозных ресурсов, утвержденных запасов и использования подземных вод приведено на рис. 1, составленное по данным ФГУГП «Гидроспецгеология».

Приведенное выше сравнение утвержденных запасов пресных подземных вод и их использования дает основание некоторым специалистам (особенно не специалистам) сделать вывод о возможности прекращения поисково-разведочных работ и изучения условий формирования запасов подземных вод, поскольку свидетельствует об их избытке в России. Такое утверждение является принципиально неверным по следующим соображениям. Превышение утвержденных запасов подземных вод над их использованием справедливо только для

Рис. 1. Соотношение ресурсов и использования пресных подземных вод на территории России

крупных территорий – федеральных округов, областей, крупных субъектов Федерации и страны в целом. При этом не учитывается большая неравномерность в распределении ресурсов подземных вод. Неравномерность в распределении ресурсов подземных вод и их утвержденных запасов наглядно проявляется при оценке водообеспеченности подземными водами отдельных городов, особенно, крупных. Такие города не обеспечены резервными и утвержденными запасами питьевых подземных вод, в том числе на перспективу, и вынуждены использовать для ХПВ поверхностные воды, хотя эти города находятся в «благополучных» регионах с точки зрения наличия утвержденных запасов подземных вод. Например, города Екатеринбург, Набережные Челны, Ижевск, Ставрополь, Курган, Северодвинск, Череповец и др. полностью не обеспечены подземными водами, а города Санкт-Петербург, Пермь, Челябинск, Омск, Ростов-на-Дону, Петрозаводск, Псков, Астрахань, Таганрог и др. обеспечены подземными водами частично.

Пресные подземные воды в большинстве регионов России являются одним из основных (в ряде случаев – единственным) источников питьевого водоснабжения населения. Доля подземных вод в ХПВ России составляет 45%. Особенно велика роль подземных вод в водоснабжении городского населения. Так, из 76 городов с населением более 250 тыс. человек в каждом из 26 городов используют в основном пресные подземные воды (вклад подземных вод в ХПВ составляет более 90%), а 27 городов совместно используют подземные и поверхностные воды. В более мелких городах и сельских населенных пунктах Европейской территории России питьевое водоснабжение почти полностью основано на подземных водах, при этом в сельских населенных пунктах подземные воды составляют более 90% водоснабжения населения.

Проанализировав отбор пресных подземных вод в России, была установлена взаимосвязь между их использованием для целей ХПВ и численностью городского населения. Чем крупнее город (по численности населения), тем меньше вклад подземных вод в ХПВ, что объясняется, прежде всего, неоднородностью местных гидрогеологических условий и часто нехваткой ресурсов подземных вод для водоснабжения крупных городов. Такая прямая связь численности населения с использованием подземных вод (рис 2.) не является статистически значимой и не носит характер закономерности, а показывает лишь общую тенденцию связи доли подземных вод в водоснабжении с численностью населения. Эта связь нарушается при рассмотрении степени использования подземных вод по отдельным городам и населенным пунктам в пределах конкретных субъектов Федерации или в пределах одной группы по

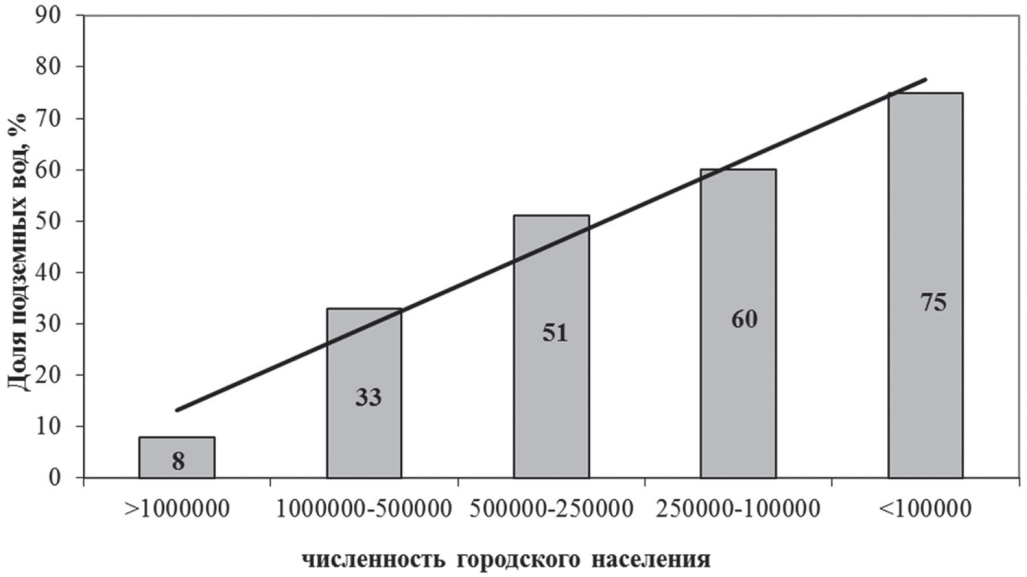


Рис. 2. Доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении для городов Российской Федерации с различной численностью населения

численности населения, что объясняется неоднородностью гидрогеологических условий и, следовательно, возможностью использования подземных вод в хозяйственно-питьевых целях.

В городах с численностью населения более 1 млн человек (12 городов) использование подземных вод незначительно (за исключением г. Уфа), а в городах с населением менее 100 тыс. человек в каждом ХПВ до 90% основано на подземных водах. В городах Москва, Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Екатеринбург, Омск, Волгоград, Челябинск, Ростов-на-Дону поверхностные воды являются практически единственным и не защищенным от загрязнения источником ХПВ. Эти крупные города России с большой численностью населения живут в условиях угрозы выхода из строя или разрушения системы хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, основанной на использовании поверхностных вод, при чрезвычайных ситуациях (аварии, наводнения, землетрясения, теракты и др. причины).

Основные задачи дальнейших научных исследований по проблеме оценки и использования пресных подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения городского населения:

– провести региональную оценку и картирование защищенности пресных подземных вод от загрязнения с поверхности земли по отдельным регионам;

– выполнить оценку перспектив искусственного восполнения пресных подземных вод на действующих и проектируемых водозаборах;

– выполнить гидрогеологическое обоснование мероприятий по созданию резервных источников питьевого водоснабжения крупных городов России, основанных на использовании экологически чистых, защищенных от загрязнения пресных подземных вод.

Список литературы

1. Зекцер, И. С. Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. Современное состояние и перспективы использования в России / И. С. Зецкер. – М. : Научный мир, 2012. – 428 с.

2. Информационный бюллетень Федерального агентства по недропользованию о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2012 г. – М., 2013. – Вып. 36.

ГЕОФЛЮИДОДИНАМИКА ВУЛКАНИЧЕСКИХ ОБЛАСТЕЙ

Кирюхин А. В.
Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: avkiryukhin2@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются естественные и техногенные геофлюидодинамические процессы (в том числе извлечения и инжекции флюидов) на примерах: 1) гидротермальной системы Долины Гейзеров; 2) Мутновского геотермального района; 3) нефтяных вулканогенных резервуаров (Рогожниковский (Западная Сибирь), Белый Тигр (Вьетнам)); 4) Корякско-Авачинского вулканогенного бассейна; 5) внедрения магмы в постройки и фундамент активных вулканов; 6) техногенного разогрева при закачке жидких радиоактивных отходов.
Ключевые слова. *Геофлюиды, TOUGH2, моделирование, гидротермальный, вулкан.*

Abstract. Examples of the natural and technogenic geofluidomechanical processes (including geofluids extraction and injection) are discussed using the following examples: (1) Geysers Valley hydrothermal system; (2) Mutnovsky geothermal area; (3) Oil volcanogenic reservoirs (Rogozhnikovsky (West Siberia), White Tiger (Vietnam)); (4) Koryaksky-Avachinsky volcanogenic basin; (5) Magma emplacement into volcanoes edifice and basement; (6) Technogenic temperature build up during HLRW injection.
Key words. Geofluids, TOUGH2, modeling, hydrothermal, volcano.

Гейзеры [1 – 6]. С 2007 г. осуществляется непрерывный мониторинг гидрогеологического режима в Долине Гейзеров (Камчатка) с целью выявления динамики изменений после первого катастрофического оползня 3.06.2007 г. Средний период извержений гейзера Большой 63 мин (до катастрофы был 108 мин (Дрознин, 2003), его активность определяется уровнем Подпрудного Озера; при повышении уровня озера возможны остановки деятельности гейзера. На гейзере Великан в первые три года после катастрофы произошло уменьшение среднего периода извержений с 379 мин до 335 мин. Выявлено, что гейзер Великан в пределах гидрологического цикла показывает увеличение периода извержений в зимний период (в среднем около 50 мин), что, вероятно, связано с более интенсивным охлаждением ванны гейзера. Среднее значение глубинной составляющей разгрузки гидротермальной системы (определяемой хлоридным методом) на нижнем створе плотины Подпрудного Озера оценивается в 215 кг/с. Отмечено ее снижение (до 30%) в период весенне-летнего паводка. Инжекция метеорных вод из Подпрудного Озера не нашла отражения в значимых гидрохимических изменениях в гейзерах Великан и Первенец, но по гейзеру Большой отмечается разбавление по основной компоненте глубинного теплоносителя. Для анализа влияния инжекции холодной воды из Подпрудного Озера на режим извержений гейзера Великан применяется TOUGH2-моделирование. Уменьшение периода его извержений на 11% объясняется на модели увеличением давления в резервуаре вследствие гидродинамического воздействия Подпрудного Озера. Второй катастрофический оползень-сель произошел 3.01.2014 г. В результате период гейзера Большого уменьшился до 30 – 45 мин, гейзер Великан утратил мощность и уменьшил период до 90 – 130 мин. Для оценки состояния гейзера Великан разработана локальная RZ-TOUGH2 модель, откалиброванная по записям температуры в канале. Инверсионное моделирование обнаружило необычайно высокую сжимаемость вмещающего гейзер резервуара (n 10^{-4} Pa^{-1}), исследование возможности реабилитации гейзера продолжается.

Гидротермальная система [7 – 11]. Опыт эксплуатации Мутновского геотермального месторождения (Камчатка) может быть использован не только при освоении других крупных геотермальных месторождений Курило-Камчатского региона, но и для понимания связи между вулканической, гидротермальной и сейсмической активностью в зонах субдукции. Крупномасштабная эксплуатация Мутновского геотермального резервуара началась в 2000 г. с расходом извлечения теплоносителя до 500 кг/с (700 МВт), что сопоставимо с расходом

магмы, питающей два близрасположенных активных вулкана (Мутновский и Горелый). Усиление гидротермально-эксплозивной активности Мутновского вулкана синхронизировано с разработкой геотермального месторождения. После 40 лет затишья в кратере Мутновского вулкана начались гидротермальные взрывы и выбросы пепла (март 2000 г., апрель 2007 г., май 2012 г., июль 2013 г.). Из вулкана Горелый в 2010 г. началась эмиссия газа с расходом около ~130 kg/s (H_2O~93%, NCG~7%). Кратерные озера вулканов Мутновский и Горелый сдренированы в 2004 и 2012 г., соответственно. Усилилась сейсмическая активность в районе Мутновского геотермального месторождения – с февраля 2009 г. по декабрь 2013 г. зарегистрировано 40 землетрясений с магнитудой 1,25 – 2,6.

Мутновское геотермальное месторождение приурочено к Северо-Мутновской вулканотектонической зоне (СМ зона), включающей радиальные разломы магматической питающей системы вулкана Мутновский и локальные магматические интрузии. СМ зона четко прослеживается распространением термопроявлений (горячих источников и фумарольных полей) и развитием плейстоценовых риолитовых куполов. СМ зона включает сегменты субмеридионального и северо-восточного простирания.

Субмеридиональный сегмент включает продуктивную зону «Основная», обеспечивающую значительную долю пара для Мутновской ГеоЭС. Основные особенности условий формирования Мутновского геотермального месторождения: 1) приуроченность зон продукции к контактовой зоне интрузии в диапазоне температур 200 – 300° С; 2) гидравлическую связь Мутновского вулкана (область водного питания) и прилегающих фумарольных полей и горячих источников (область разгрузки парогидротерм); 3) зону внедрения флюидов вулканического происхождения (в том числе магматических интрузий) на абс. отметках –4 … –7 км, определяемую координатами роев локальных землетрясений, где существуют наиболее благоприятные условия для частичного плавления вмещающих андезитовых горных пород.

Термогидрогеомеханический анализ вертикальных деформаций земной поверхности в процессе эксплуатации Мутновского геотермального месторождения основан на измерениях вертикальных деформаций на Мутновском геотермальном месторождении, которые проводились ежегодно с 2004 по 2013 гг. с использованием сети скважинных маркеров. Выявлено три участка с различным характером вертикальных деформаций. В центральной части участка Дачный зафиксированы положительные вертикальные деформации (2 – 5 мм/год) в 2005 – 2006 гг., сменившиеся стабилизацией в последующие годы. На Северном полигоне реинжекции отработанного теплоносителя не отмечено существенных деформаций с 2003 по 2006 годы, затем с 2006 по 2008 годы зафиксировано поднятие (6 – 7 мм/год), после чего в 2009 – 2013 годах происходило погружение земной поверхности (5 – 8 мм/год). На Верхне-Мутновском участке не отмечалось существенных вертикальных деформаций до 2008 г., но после этого началось быстрое опускание со скоростью 6 – 18 мм/год. Для анализа деформаций земной поверхности использована программа TOUGH-FLAC, позволяющая осуществлять термогидрогеомеханическое THM-моделирование на основе ранее разработанной TOUGH2 модели. THM-моделирование объясняет относительные вертикальные деформации при эксплуатации Мутновского геотермального месторождения разделением геотермального поля разломом Основной на два компартмента с различным тектоническим положением и петрофизическими свойствами.

Нефтяные вулканогенные резервуары [12 – 13]. Механизм образования продуктивных резервуаров в риолитах на примере Рогожниковского вулканогенного резервуара (Западная Сибирь) объясняется в терминах TOUGHREACT-моделирования длительной гидротермальной циркуляцией с химическим взаимодействием «вода – порода», что приводит к увеличению проницаемости-пористости вдоль высокотемпературных потоков и заканчивается окончательным самозапечатыванием сформированного продуктивного резервуара. Наблюдаемые в настоящее время давление, температура, фазовые условия, распределение проницаемости-пористости, химический состав флюидов и предполагаемый минеральный состав начальной породы (вулканическое стекло) используются как исходные данные для последующего

TOUGHREACT-моделирования. Моделирование Рогожниковского резервуара на упрощенной прямоугольной модели 500x500x400 м^3, состоящей из 100 элементов, показывают, что длительная гидротермальная циркуляция приводит к увеличению пористости (x 2,64) и проницаемости (x 50) благодаря замещению исходного вулканического стекла кварцем, альбитом и К-полевым шпатом; ранняя стадия гидротермальной циркуляции (<10 тыс. лет) отмечается кипением и значительным падением давления, а заключительная стадия характеризуется значительным отложением кальцита в основании восходящего потока, после чего происходит самозапечатывание резервуара. Это показывает возможность образования продуктивных резервуаров благодаря преобразованию исходного минерального состава в риолитах, вызванному гидротермальной циркуляцией, обнаруживает условия кратковременного падения давления на ранней стадии формирования резервуара (что благоприятно для привлечения нефти и рудообразующих флюидов в резервуар). Самозапечатывание резервуара на последней стадии гидротермальной циркуляции благоприятно для аккумуляции и удерживания флюидов в продуктивном резервуаре и формирования месторождений полезных ископаемых. Для более детального анализа Рогожниковского нефтяного резервуара разработана 3D TOUGHREACT-модель, описывающая его реальную геометрию в области размерами 5,5x6 км^2, состоящая из 672 активных элементов. В этой модели гидротермальная проработка резервуара рассматривается при расходе восходящего потока теплоносителя 720 кг/с и энтальпии 1530 кДж/кг (320^o C) в интервале времени 0 – 2 млн лет. Результаты моделирования в целом подтверждают полученный ранее на упрощенной модели механизм образования продуктивных резервуаров в вулканогенных породах риолитового состава, закономерности изменения эволюции термогидродинамического режима, фильтрационно-емкостных свойств и ассоциаций вторичных гидротермальных минералов.

Нефть в гранитных интрузиях [14]. С использованием TOUGH2 – T2VOC-моделирования показана возможность устойчивого концентрирования нефтяной фазы в верхней части нефте-пароконденсатного гидротермального резервуара за счет транспорта нефтяной компоненты в верхнюю часть разреза в газовой фазе с последующим удалением водной составляющей за счет нисходящего потока водной фазы в диапазоне температур 240 – 285^o C и давлений 63,5 – 69,5 бар (механизм вертикальной тепловой трубы с разнонаправленной циркуляцией газовой и жидкой фаз при прогреве снизу). При последующем остывании масса нефтяной фазы значительно увеличивается за счет конденсации нефти из газовой фазы. В частности, на модели размерами 1 км x 1 км^2 с петрофизическими и фильтрационно-емкостными параметрами, близкими к гранитному массиву нефтяного месторождения Белый Тигр (Вьетнам) и начальным равновесным распределением нефтяной компоненты в трех фазах (водной Sw = 0,4, газовой Sg = 0,699 и нефтяной So = 0,001), в результате пароконденсатной переработки по механизму тепловой трубы в верхней части разреза формируется устойчивая линза с нефтяной фазой мощностью 80 м (So = 0,6) и массой 2,00 млн тонн. При последующем остывании до 90 – 115^o C и естественном заводнении нижней части разреза, масса нефтяной фазы увеличивается до 3,49 млн тонн за счет конденсации нефти из газовой фазы. Предложенный и подтвержденный моделированием механизм формирования нефтяной залежи в гранитном фундаменте месторождения Белый Тигр в результате вертикальной восходящей миграции нефтяной фазы в пароконденсатных условиях в составе высокотемпературного флюида соответствует минералого-петрографическим особенностям коллекторских зон, химическому составу воднорастворимых нефтей фундамента, гидрохимической зональности и химическому составу подземных вод месторождения Белый Тигр.

Бассейны активных вулканов [15 – 17]. Показано, что зоны внедрения магмы, питающей Корякский и Авачинский вулканы, фиксирующиеся по микросейсмическим данным в диапазоне глубин –6,0 ÷ +2,0 км абс. и –1,5 ÷ +2,5 км абс., соответственно сопряжены с водно-метановыми резервуарами, которые примыкают к магматическим резервуарам вулканов с юго-востока и юго-запада; площадь потенциального накопления метана со значительными

газовыми ресурсами оценивается в ~ 650 км^2. Формирование газовых залежей под вулканами может происходить в результате геомеханического и термического воздействия магмы на вмещающие вулканогенно-осадочные породы, содержащие органическое вещество различного происхождения. Модельный (TOUGH2-EWASG) анализ эксплуатации фрагмента водно-метанового резервуара (площадь 1 км^2, мощность газового резервуара 45 м, мощность водяного резервуара 45 м с объемным фактором от 1 до 50), с параметрами, соответствующими условиям Этолонской свиты N1et (Кшукское и Нижне-Квакчикское ГКМ) показывает возможность добычи от 0,6 до 9 млрд м^3 газа с 1 км^2. Доля газа добываемого за счет дегазации водной фазы достигает 15%.

Внедрения магмы при извержении вулкана [18]. Интрузия магмы, сопровождающаяся трещинным извержением в течение 9 месяцев, началась 27.11.2012 г. на южном склоне вулкана Толбачик (Камчатка). Извержению предшествовало усиление сейсмичности с кульминацией в последние часы перед извержением и распространением кластеров микроземлетрясений от центрального канала вулкана. Для оценки относительных деформаций поверхности вулкана использованы данные радарной спутниковой съемки (nterferometric synthetic aperture radar, InSAR) до и после извержения. Были использованы данные Канадского аэрокосмического агенства (RADARSAT-2) и Итальянского аэрокосмического агенства (COSMO-SkyMed). Начальная модель рассматривала линейное растяжение (дайка), решение осуществлялось методом Марковских цепей Монте Карло. Более детальная модель основывалась на методе конечных элементов с учетом топографии и переменной мощности дайки. Наилучшее решение показывает, что дайка имеет падение 80° на ЗСЗ и максимальное раскрытие 6 – 8 м, локализацию дайки вдоль эруптивной трещины до глубины 3 км ниже поверхности вулкана. Анализ геометрии дайки и кластеров, сопровождающих ее внедрение микроземлетрясений, продолжается.

Техногенная гидротермальная система [19]. Для анализа термогидродинамических процессов при закачке высокоактивных РАО в подземные горизонты использовано iTOUGH2-eos7R–моделирование, модифицированное с учетом тепловыделения при распаде радионуклида. Выполнено тестирование модели с использованием аналитического решения. Расчеты двух вариантов закачки РАО с параметрами резервуара, близкими к условиям СХК, показывают чувствительность прогноза температурного режима от коэффициента распределения радионуклида между жидкой и твердой фазами.

Список литературы

1. Кирюхин, А. В. Условия формирования и состояние гидротермальной системы долины гейзеров (Кроноцкий заповедник, Камчатка) / А. В. Кирюхин, Т. В. Рычкова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2011. – № 3. – С. 238–253.

2. Kiryukhin, A.V. Hydrothermal system in Geysers Valley (Kamchatka) and triggers of he Giant landslide / A. V. Kiryukhin, T. V. Rychkova, I. K. Dubrovskaya // Applied Geochemistry Journal, Applied Geochemistry. – 2012. – № 27. – P. 1753–1766.

3. Кирюхин, А. В. Анализ гидрогеологического режима гидротермальной системы долины гейзеров (Кроноцкий заповедник, Камчатка) после катастрофы 3.06.2007 / А. В. Кирюхин, Т. В. Рычкова, Е. О. Дубинина // Вулканология и сейсмология. – 2015. – № 1. – *С.* 1–18.

4. Атлас Долины реки Гейзерной в Кроноцком заповеднике / А. В. Завадская [и др.]. – Елизово : Научное издание ФГБУ «КГПБЗ», 2014. – 79 с.

5. Hydrogeological regime of the geysers (Kronotsky nature reserve, Kamchatka) after landslide 3.06.2007. / A. Kiryukhin [at all].| Proceedings World Geothermal Congress 2015, 19 – 25 April 2015. – Melbourne, Australia. – 11 p.

6. Kiryukhin, A. Modeling of Geysers Response on 3.06.2007 and 3.01.2014 catastrophic landslides (Kronotsky nature reserve, Kamchatka) / A. Kiryukhin / Proc. 40-th Stanford Geothermal Workshop, 2015. – P. 126–136.

7. Кирюхин, А. В. Оценка влияния инфильтрации при эксплуатации высокотемпературных геотермальных месторождений (Паужетского и Мутновского месторождений, Камчатка, Россия) / А. В. Кирюхин [др.] // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 3. – С. 24–36.

8. Басманов, О. Л. Термогидрогеомеханическое моделирование вертикальных деформаций земной поверхности при эксплуатации Мутновского геотермального месторождения / О. Л. Басманов // Вулканология и сейсмология. – 2014. – 25 с.

9. Robertson, K. Melt inclusion evidence for magma evolution at mutnovsky volcano, kamchatka / K. Robertson [at all] // Geofluids. – 2013 (13). – P .421–439, doi: 10.1111/gfl.12060.

10. Simon, A. Evolution and Genesis of Volcanic Rocks from Mutnovsky Volcano, Kamchatka / A. Simon // Journal Volcanology & Geothermal Research. – 286 (2014). – P. 116– 137.

11. Kiryukhin, A.V. Deformations During Exploitation of the Mutnovsky Geothermal Field, Kamchatka / A. V. Kiryukhin, J. Rutqvist, M. A. Maguskin // Proceedings World Geothermal Congress, 19 – 25 April 2015. – Melbourne, Australia. – 11 p.

12. Кирюхин, А. В. Моделирование термогидрогеохимических условий формирования продуктивных резервуаров в вулканогенных породах / А. В. Кирюхин, С. В. Шадрина, М. Ю. Пузанков // Вулканология и сейсмология. – 2013. – № 2. – С. 90–104.

13. Кирюхин, А. В. Измерения теплопроводности и удельной теплоемкости на примере вулканогенных горных пород / А. В. Кирюхин, А. Ю. Поляков, А. В. Мушинский // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 5. – С. 1–11.

14. Кирюхин, А. В. Формирование нефтяного резервуара в условиях пароконденсатной гидротермальной системы (по результатам численного моделирования на примере месторождения Белый Тигр, Вьетнам) / А. В. Кирюхин, Т. А. Киреева // Геология нефти и газа. – 2014. – № 1. – С. 78–86.

15. Кирюхин, А. В. Геофлюиды Авачинско-Корякского вулканогенного бассейна, Камчатка (в печати) / А. В. Кирюхин [и др.] // Геоэкология. Инж. Геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2014. – 33 с.

16. Kiryukhin, A. Geofluids of Avachinsky-Koryaksky Volcanogenic Basin, Kamchatka, Russia / A. Kiryukhin // Proceedings World Geothermal Congress, 19 – 25 April 2015. – Melbourne, Australia, 2015. – 12 p.

17. Кирюхин, А. В. Водно-метановые резервуары вулканогенных бассейнов (в печати) / А. В. Кирюхин, П. О. Воронин, Н. И. Корзун // Сборник КГТУ. – 2014. – 12 с.

18. Lundgren, P. Dike model for the 2012-2013 Tolbachik eruption constrained by satellite radar interferometry observations / P. Lundgren [at all] // Submitted to J. Volcanology Geothermal Research. – 2015. – 35 p.

19. Кирюхин, А. В. Моделирование тестовой задачи по закачке высокоактивных РАО в водоносный горизонт с учетом радиогенного разогрева пласта / А. В. Кирюхин, А. А. Куваев // Сборник международной научной конференции «Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование и практика» – МГУ, 2013. – С. 204–209.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ И ПОВЕРХНОСНЫМИ ВОДАМИ В АМУРО-ТУНГУССКОМ МЕЖДУРЕЧЬЕ

Кулаков В. В.

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, vvkulakov@mail.ru

Аннотация. Охарактеризовано влияние катастрофического наводнения в бассейне р. Амур на уровни, температуру и качественный состав подземных вод.

Ключевые слова: подземные и поверхностные воды, уровни и качество вод.

Abstract. Characterize the influence of catastrophic flooding in the basin. Cupid levels, temperature and quality of groundwater.

Key words: groundwater and surface water, level and water quality.

В 2013 г. в бассейне р. Амур произошло катастрофическое за весь период наблюдений (более 120 лет) наводнение. Минимальный уровень в реке Амур в конце зимнего меженного периода в апреле 2013 г. на гидрометрическом посту у г. Хабаровска составил минус 0,12 м.

Максимальный уровень по этому посту достиг отметки 8,08 м, что на 1,5 – 2,5 м выше исторически зафиксированного максимума. Статистическая повторяемость паводка 2013 г. на р. Амур ниже впадения р. Сунгари составляет 1 раз в 200 – 250 лет [1 – 4]. Слой протекающих поверхностных вод на левобережье Амура на пике наводнения (3 – 4 сентября 2013 г.) над поверхностью покровных отложений Амуро-Тунгусского междуречья составил 0,2 – 1,0 м. Над затопленными дорогами в воде наблюдались косяки рыб, размер которых достигал 20 см.

Климатические условия в 2013 г. обусловили обильное количество осадков практически на всей водосборной площади в течение теплого периода. В некоторых его частях за 3 – 4 месяца сумма выпавших осадков превысила годовую, а местами и полуторагодовую норму [4].

На междуречье Амура – Тунгусски в 10 км западнее г. Хабаровска завершается строительство Тунгусского водозабора подземных вод для водоснабжения города [5, 6]. В геологическом строении Среднеамурского артезианского бассейна в этом районе (снизу-вверх по разрезу) принимают участие нижнемиоценовые отложения ушумунской свиты (алевролиты, аргиллиты, с пластами бурых углей, песков и линзами брекчий) и верхнемиоценовые – четвертичные аллювиальные отложения, представленные песками, гравийниками с галькой и песчаным заполнителем с включением линз супесей и покровных суглинков. Основной водоносный горизонт в плиоцен-нижнечетвертичных аллювиальных отложениях приамурской свиты сложен песками с гравием и галькой. Мощность водоносного горизонта колеблется в пределах 40 – 50 м. С поверхности залегают покровные суглинки и глины со средней мощностью этих отложений 5 – 7 м.

На Амуро-Тунгусском междуречье в районе Тунгусского водозабора осуществляется мониторинг за подземными водами водоносного горизонта плиоцен-нижнечетвертичных аллювиальных отложений по 9 кустам наблюдательных скважин глубиной до 50 м, расположенных на разном удалении от русла Пемзенской протоки и р. Амур. В каждом кусте сооружено по 3 наблюдательных скважины, оборудованных на три интервала водоносного горизонта. На сооруженных и оборудованных антивандальными устройствами кустах наблюдательных скважин мониторинга установлены автоматические датчики замера уровней и температуры подземных вод типа КЕДР-ДМ v2 с фиксацией параметров каждый час и ежесуточной передачей данных наблюдений через интернет на компьютер.

Уровни подземных и поверхностных вод. Режим подземных вод в районе Тунгусского водозабора в начальный период эксплуатации свидетельствует о незначительном влиянии достигнутого водоотбора на гидродинамическую обстановку. Годовой режим уровней подземных вод по наблюдательным скважинам внешнего мониторинга в 2013 г. существенно отличается от гидродинамического режима в предыдущем 2012 г. из-за прошедшего катастрофического паводка.

В районе Тунгусского водозабора выделяются две зоны по степени и активности взаимодействия речных и подземных вод [5 – 8]:

1. Зона активного влияния гидрологических факторов от колебания уровня поверхностных вод в протоках Амура – приречный тип режима подземных вод (кусты 1001, 1002 и 1004). При естественном режиме здесь происходит скрытая разгрузка подземных вод в русло реки через донные отложения. В связи с катастрофическим наводнением в 2013 г. сформировался подпертый режим фильтрации подземных вод и зафиксированная амплитуда колебания уровня по кусту 1002 достигла 5,62 м, а по кусту 1004 – 5,66 м (таблица). На пике наводнения столб поверхностных вод Амура над устьем скважин затопленного куста 1001 составлял около 3 м. Возможная амплитуда изменения уровня подземных вод на этом участке могла составить около 7 м. В предыдущем 2012 г. максимальные амплитуды колебания уровней подземных вод в наблюдательных скважинах куста 1001 составили 1,83 м, куста 1002 – 1,28 м и куста 1004 – 0,81 м.

2. Зона междуречного режима за счет преимущественного инфильтрационного питания атмосферными осадками (кусты 1005 – 1009).

Влияние катастрофического наводнения на р. Амур (2013 г.) на подземные воды Амуро-Тунгусского междуречья

Пункт наблюдения	Дата максимального уровня в пункте наблюдения	Время от пика наводнения до установления максимального уровня подземных вод, дней	Абсолютная отметка, м		
			Точки наблюдения	Уровня природных вод	Превышение отметки максимального уровня поверхностных вод над подземными водами
р. Амур (Хабаровск)	03 – 04.09.2013		30,67	38,77	–
Куст 1001	–	1?	35,76	?	?
Куст 1002	06.09.2013	2	38,81	36,74	2,03
Куст 1004	03.09.2013	1 – 5	38,42	37,73	1,04
Куст 1005	26.11.2013	82	40,25	35,42	3,35
Куст 1006	06.11.2013	63	38,70	32,00	6,77
Куст 1007	13 – 15.09.2013	10 – 12	39,28	32,74	6,03
Куст 1008	13 –15.09.2013	10 – 12	39,01	33,04	5,73
Куст 1009	13 – 15.09.2013	10 – 12	39,07	32,72	6,05

В связи с катастрофическим наводнением на Амуре существенное влияние на режим уровней подземных вод этой зоны в 2013 г., наряду с водоотбором подземных вод из скважин 1-й секции Тунгусского водозабора, оказал подпертый режим естественной фильтрации подземных вод.

Амплитуда колебания уровней подземных вод в скважинах куста 1005 достигла 2,97 м (при ее величине 0,52 м в 2012 г.), куста 1006 – 2,10 м (при 0,56 м в 2012 г.). На скважинах кустов 1007 и 1008, расположенных в пределах 3 секции Тунгусского водозабора, амплитуда достигла 2,52 м (при 0,46 м в 2012 г.).

Максимальные в 2013 г. уровни подземных вод при абсолютной отметке максимального уровня поверхностных вод в р. Амуре на водомерном посту в г. Хабаровске, равном 38,77 м (03.09.2013 г. – 04.09.2013 г.), были зафиксированы на отметках 36,74 м (скважина 1002-1 – 06.09.2013 г.) и 37,73 м (скважина 1004-3 – 03.09.2013 г.) в приречной зоне. В зоне междуречного режима максимальный уровень подземных вод был зафиксирован на отметке 32,00 м (скважина 1006-2 – 06.11.2013 г.), расположенной в центре Амуро-Тунгусского междуречья.

После гребня пика наводнения на Амуре (3 – 4.09.2013 г.) максимальный уровень подземных вод в скважинах куста 1002 установился через 2 дня, в скважинах куста 1004 – через 1 – 5 дней, в скважинах кустов 1007 – 1009 – через 10 – 12 дней (13 –15.09.2013 г.), в кусте 1006 – через 63дня (06.11.2013 г.), а в кусте 1005 – через 82 дня (26.11.2013 г.).

В кусте 1002, расположенном в 200 м от берега реки, максимальный уровень был зафиксирован на глубине 1,86 м от поверхности земли, минимальный – 7,7 м. При этом амплитуда составила 5,8 м.

В наблюдательных скважинах куста 1004 уровень был зафиксирован на глубине 0,52 м при меженном весной 6,1 м. Важной особенностью подземных вод в скважинах, расположенных в приречной зоне, явилось то, что максимальный уровень подземных вод в скважинах этих кустов был зафиксирован на второй день после гребня паводка на реке Амур. При этом амплитуда колебания уровня подземных вод на скважинах составляла 3,5 – 5,6 м.

Во второй зоне междуречного режима, по мере удаления от русла уменьшалась и амплитуда колебания подземных вод. В кусте 1006 на расстоянии 5,5 км от уреза реки она составила 1,2 – 2,1 м. Максимальный уровень подземных вод составил 6,55 м, при 8,02 м в период весенней межени.

В самой удаленном наблюдательном кусте 1005 амплитуда колебания достигла 2,97 м. Максимальный уровень был отмечен на отметке 4,58 м, в то время как минимальный уровень во время межени составил 2,97 м.

В связи с катастрофическим наводнением на Амуре определенное влияние на режим уровней подземных вод этой зоны в 2013 г., наряду с водоотбором подземных вод из части скважин Тунгусского водозабора, оказал подпертый режим естественной фильтрации подземных вод. Амплитуда колебания уровней подземных вод в скважинах куста 1005 достигла 2,97 м (при ее величине 0,52 м в 2012 г.), куста 1006 – 2,10 м (при 0,56 м в 2012 г.). На скважинах кустов 1007 и 1008, расположенных в пределах 3 секции Тунгусского водозабора амплитуда достигла 2,52 м (при 0,46 м в 2012 г.).

В 2014 г. максимальные амплитуды колебания уровней подземных вод в наблюдательных скважинах куста 1005 составили 0,52 м, куста 1006 – 0,61 м, куста 1007 – 1,46 м, куста 1008 – 1,42 м и куста 1009 – 0,66 м.

Как видно из приведенных цифр, по наблюдательным скважинам в зоне приречного и междуречного режимов амплитуда колебания уровней подземных вод в 2014 г. по сравнению с 2012 г. существенно увеличилась на участках кустов 1001, 1002 (приречный режим) и кустов 1007 и 1008 (междуречный режим). Это, по-видимому, обусловлено формированием воронки депрессии в районе Тунгусского водозабора за счет водоотбора подземных вод из скважин 1 2 секций. До участка расположения куста 1004 (приречный режим), кустов 1005, 1006 и 1009 (междуречный режим), где амплитуды колебания уровней примерно такие же, как и в 2012 г., влияние водоотбора на уровни подземных вод, вероятно, еще не распространилось.

Температура подземных и поверхностных вод. Прошедшее катастрофическое наводнение на Амуре в 2013 г. оказало воздействие на температуру подземных вод непосредственно в приречной зоне (кусты 1001 и 1004). Но наиболее высокая температура подземных вод в водоносном горизонте была зафиксирована в октябре почти через 1,5 месяца после спада уровня. В скважине 1001-1 она составила 8,9° С (среднегодовая 6,97° С), по скважине 1001-2 – 7,3° С (среднегодовая 6,27° С), а по скважине 1001-3 – 7,0° С (среднегодовая 6,24° С). При этом среднегодовая температура подземных вод по кусту 1001 в 2013 г. была выше температур подземных вод в этих скважинах в 2012 г. на 0,92, 0,23 и 0,12° С соответственно. По кусту 1004 во всех трех наблюдательных скважинах произошло резкое повышение температуры подземных вод до 18,3 – 19,0° С с 29 по 30 августа. Такая температура по скважинам наблюдалась до 7 сентября, после чего она стала постепенно понижаться и к 20 октября приблизилась к фоновому значению 6 – 7° С. По остальным пунктам наблюдения среднегодовые температуры подземных вод в 2013 г. были близки к результатам измерения предыдущего 2012 г. и составляли 5,01 – 6,56° С.

Качественный состав подземных и поверхностных вод. Формирование качественного состава подземных вод водоносного горизонта в аллювиальных отложениях междуречья происходит в зоне свободного водообмена. В вертикальном разрезе и по площади химический состав подземных вод существенно не меняется, за исключением уменьшения концентраций железа и марганца и некоторого роста концентраций кремния с глубиной.

Величина pH изменяется в пределах от 5,8 до 6,3. Подземные воды нередко имеют запах (сероводородный) и привкус (не выше 2 баллов). По составу природные воды гидрокарбонатные натриево-кальциевые. Концентрация H_4SiO_4 в воде изменяется от 30 мг/дм^3 до 65 мг/дм^3 (14 – 20 мг/ дм^3 по Si), общего железа (в основном, в форме Fe^{2+}) от 15 мг/дм^3 до 50 мг/дм^3, марганца колеблется от 1,4 до 2,1 мг/дм^3 , содержание нитритов не превышает 0,01 мг/дм^3, нитратов – 0,4 мг/дм^3, карбонаты в воде не обнаружены. Концентрация фтора в воде составляет 0,04 – 0,15 мг/дм^3. Содержание иона аммония не превышает 1 – 2 мг/дм^3, содержание свободной двуокиси углерода изменяется от 120 мг/дм^3 до 250 мг/дм^3.

О характере изменения окислительно-восстановительной обстановки в подземных водах водоносного горизонта можно судить по содержанию диоксида углерода. Для большинства

кустов четко прослеживается увеличение его концентрации от 60 – 80 до 140 – 178 мг/дм^3 с глубиной по всем сезонам.

В марте 2014 г. самые высокие концентрации железа (30,88 – 31,83 мг/дм^3) были зафиксированы в скважинах куста 1002. В этот период окисленные формы азота в виде нитрит- и нитрат-ионов не были обнаружены в подземных водах. Максимальное содержание растворенного органического углерода в подземных водах было установлено в скважине 1004-1 (7,27 мгС/дм^3), что близко по содержаниям в поверхностных водах. В скважинах, удаленных от зоны приречного режима, содержание $C_{орг}$ было ниже 1,5 мг С/ дм^3.

Высокий уровень содержания углеводородов в течение всего периода наблюдений был отмечен в скважине 1002-1, с максимумом в июне – 0,067 мг/дм^3 . В весенний период содержание углеводородов в пределах (0,03 – 0,04 мг/дм^3) было характерно для большинства скважин. В августе в подземных водах происходило снижение содержания углеводородов, однако в ноябре вновь наблюдали увеличение их концентрации.

Состав растворенных газов в подземных водах Тунгусского месторождения, изученный в 2012 г., идентичен составу газов в 2013 г. Практически во всех отобранных пробах содержится высокая концентрация метана (0,2 – 0,9 мг/дм^3). В большинстве скважин количество углекислого газа в подземных водах составляет 30 – 50 мг/дм^3. Во всех исследованных пробах подземных вод Тунгусского месторождения обнаруживается сероводород с явно выраженной тенденцией увеличения концентрации с глубиной. В поверхностных водах Пемзенской протоки концентрации сероводорода (0,007 мг/дм^3) и метана (0,011 мг/дм^3) были минимальными.

В наблюдательных скважинах куста у Пемзенской протоки зафиксировано закономерное увеличение концентрации метана и сероводорода с глубиной (CH_4 – 0,085 – 0,17 мл/ дм^3; H_2S – 0,39 мг/дм^3 – верхний слой водоносного горизонта, CH_4 – 0,2 – 0,3 мл/дм^3; H_2S – 0,47 мг/ дм^3 – средний слой; CH_4 – 0,2 – 0,5 мг/дм^3; H_2S – 1,48 мг/дм^3 – нижний слой)**.** Также в скважинах приречного куста наблюдается плавное увеличение концентрации углекислого газа с глубиной от 21,5 до 50,9 мг/дм^3. Такая закономерность прослеживается во всех пробах этого куста за исключением проб, отобранных в сентябре 2013 г. в период прохождения экстремального паводка. В этот период в верхнем слое водоносного горизонта концентрация метана составляла 0,122 мг/дм^3, сероводорода – 0,08 мг/дм^3, в среднем CH_{4-} – 0,198 мг/дм^3, H_2S – 0,12 мг/дм^3; в нижнем – CH_4 – 0,191 мг/дм^3, H_2S – 0,14 мг/дм^3. В этот период наблюдаются самые низкие концентрации углекислого газа: в верхнем слое – 8,39 мг/дм^3, в среднем – 27,3 мг/дм^3 и в нижнем – 20,66 мг/дм^3. Следует отметить, что весной 2014 г. впервые зарегистрировано присутствие метана и сероводорода в поверхностных водах Пемзенской протоки Амура. Это свидетельствует об активной разгрузке подземных вод в русло реки в конце зимней межени.

В подземных водах наблюдается стабильно низкое содержание кислорода – от 0,36 до 1,5 мг/дм^3. В воде Пемзенской протоки его количество больше – 0,87 – 6,2 мг/дм^3. Концентрация азота как в речной воде, так и в подземных водах в среднем близка к фоновому значению (7 – 14 мг/дм^3). Отмечается увеличение количества растворенного кислорода и азота во всех пробах в августе 2013 г.

Представляют интерес высокие содержания водорода (517 ppm) и гелия (11,5 ppm) в подземных водах, как возможные индикаторы глубинного поступления газов.

Выводы. Уровни подземных вод в наблюдательных скважинах в период наводнения располагались ниже поверхности земли и уровня поверхностных вод, затопивших территорию. Разница в отметках уровней поверхностных и подземных вод на территории изменялась от 1,5 до 6,5 м. Наличие покровных суглинков на изучаемой территории способствовало развитию затрудненного водообмена между поверхностными и подземными водами, в связи с чем активного влияния паводковых вод на гидродинамические условия подземной гидросферы отмечено не было.

За весь период наблюдения за качественным составом подземных вод в районе Тунгусского месторождения по всем нормируемым показателям превышения ПДК были зарегистрированы только для железа, марганца и кремния.

Список литературы

1. Водно-экологические проблемы бассейна реки Амур / Отв. ред. А. Н. Махинов – Владивосток : ДВО РАН, 2003. – 187 с.

2. Гриневский, С. О. Мониторинг приречных месторождений подземных вод / С. О. Гриневский, Р. С. Штенгелов // Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология. – 1995. – № 6. – С. 52–58.

3. Ким, В. И. Условия формирования паводков в бассейне р. Амур / В. И. Ким // Исследования водных и экологических проблем Приамурья. – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 1999. – С. 66–69.

4. Ким, В. И. Гидрологический режим р. Амур в пределах Хабаровского водного узла / В. И. Ким, А. Н. Махинов // Материалы научной конференции «Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов». – Иркутск : Изд-во ИГ СО РАН, 2005. – С. 92–94.

5. Кулаков, В. В. Месторождения пресных подземных вод Приамурья / В. В. Кулаков // Владивосток : Издат. ДВО АН СССР, 1990. – 152 с.

6. Кулаков, В. В. Геохимия подземных вод Приамурья / В. В. Кулаков. – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2011. – 254 с.

7. Кулаков В. В. Тунгусское месторождение подземных вод Хабаровского водного узла / В. В. Кулаков, В. Г. Тесля, Р. С. Штенгелов // Сборник докладов 7-го международного конгресса ЭКВАТЭК – 2006 «Вода : экология и технология». – М., 2006. – Ч. 1. – С. 255–256.

8. Махинов, А. Н. Наводнение в бассейне Амура 2013 года : причины и последствия / А. Н. Махинов, В. И. Ким, Б. А. Воронов // Вестник ДВО РАН. – 2014. – № 2. – С. 5–1.

ПУТИ РЕШЕНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПРОГРАММЫ «ЧИСТАЯ ВОДА» (НА ПРИМЕРЕ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА)

Курчиков А. Р.[1], Вашурина М. В.[1], Козырев В. И.[2]

[1] Западно-Сибирский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН;
[2] Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, arkurchikov@tmnsc.ru

Аннотация. Пресные подземные воды относятся к стратегическим видам полезных ископаемых, являются основным источником питьевого водоснабжения. В статье освещены проблемы, связанные с обеспечением населения Ханты-Мансийского автономного округа питьевой водой, отвечающей действующим санитарно-гигиеническим требованиям. Проведенный анализ природного гидрохимического облика добываемых подземных вод характеризует их как некондиционные по ряду показателей, что требует применения водоподготовки перед использованием. На основе результатов комплекса научно-исследовательских работ, выполненных на действующих водозаборах, дан анализ их современного санитарно-экологическое состояния и оценена эффективность существующих систем водоподготовки перед подачей воды потребителю, а также предложены пути решения проблемы доведения качества питьевой воды до 100%.

Ключевые слова: *питьевая, пресные подземные воды, качество, водозабор, показатели, скважина, водоподготовка, эффективность.*

Abstract. Fresh groundwater are one of the strategic types of minerals and they are the main source of drinking water. The article highlights the problems associated with the provision of drinking water that meets current health and hygiene requirements to population of Khanty-Mansi Autonomous District. The analysis of natural hydrochemical composition of extracted groundwater characterizes them as sub-standard for a number of indicators, and that requires water treatment before use. Based on the results of the complex research work carried out on existing intakes, it is made the analysis of theirs modern sanitary and ecological conditions and it is assessed the efficiency of existing water treatment systems that are used before water supply, as well as the solutions of the problem of bringing the drinking water quality to 100% are proposed.

Key words: *drinking water, fresh groundwater, quality, water intake, indicators, well, water treatment, efficiency.*

Целью Государственной программы «Чистая вода» является обеспечение населения качественной питьевой водой на основе использования местных источников. По большинству субъектов федерации России были приняты целевые программы, учитывающие особенности водоснабжения на региональном уровне. В частности, для Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (ХМАО-Югры) такая программа была принята в 2010 г. на 2011 – 2013 гг. и на период до 2015 г. (Постановление Правительства ХМАО–Югры от 19 ноября 2010 г. № 297). Ожидаемым конечным результатом реализации данной Программы является увеличение доли населения, обеспеченного питьевой водой, отвечающей действующим санитарно-гигиеническим требованиям (СанПиН).

Основным источником питьевой воды (90% случаев) в пределах территории ХМАО–Югры являются пресные подземные воды (ППВ). Их добыча ведется групповыми и автономными одиночными водозаборами (рис. 1), более половины из которых расположены в границах разрабатываемых в настоящее время нефтяных месторождений, а также в зонах активного промышленного освоения и градостроения.

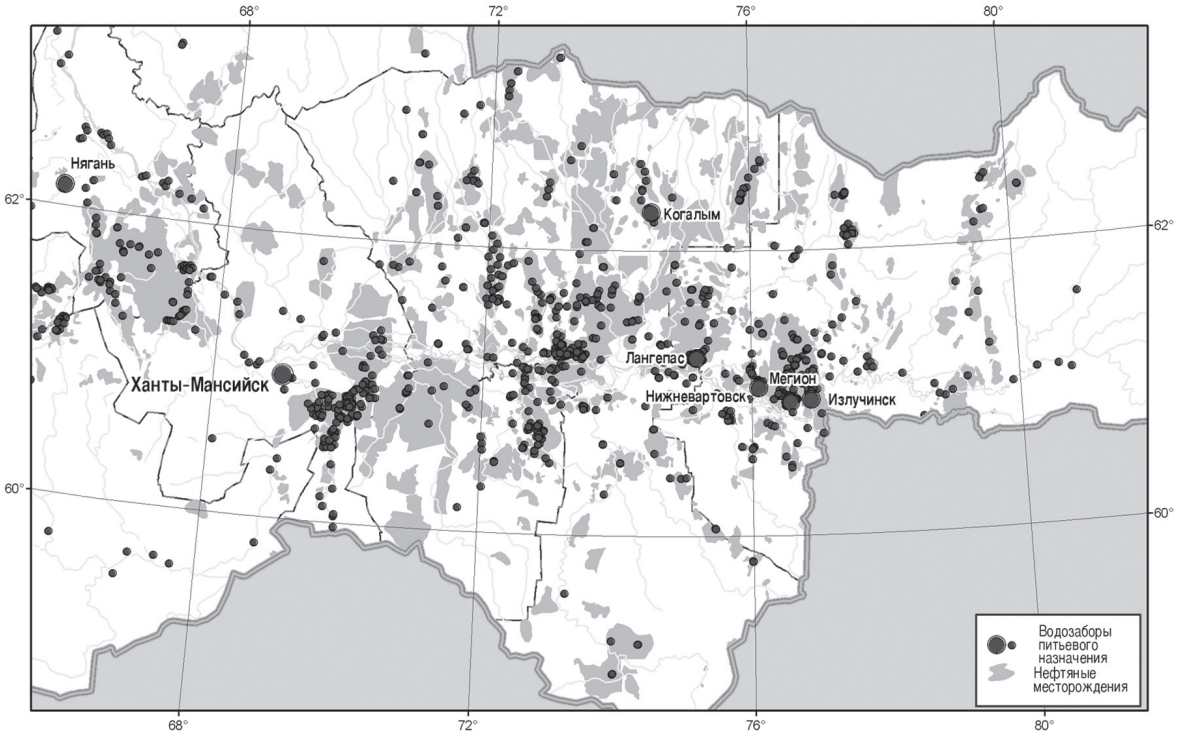


Рис. 1. Обзорная карта площади исследования

В рамках реализации целевой программы по поручению правительства округа в 2013 – 2014 гг. проведен комплекс научно-исследовательских работ, включающий геолого-экологическое обследование территории действующих водозаборов питьевого назначения, оценку технического состояния водозаборных скважин, опытные одиночные и кустовые откачки, гидрохимическое опробование добываемых вод до очистки и после нее (на выходе из водоочистных сооружений). Результаты выполненных исследований позволили выявить целый ряд системных просчетов в организации водоснабжения в округе, которые, как нам представляется, имеют место и в других регионах.

В гидрогеологическом отношении территория ХМАО-Югры относится к Западно-Сибирскому мегабассейну подземных вод. Для питьевого водоснабжения населения округа используются ППВ, приуроченные к сложно-переслаивающейся песчано-глинистой толще континентального генезиса эоцен-четвертичного возраста, объединяющие водоносные комплексы

(ВК) зоны свободного водообмена (неоген-четвертичный, атлым-новомихайловский и тавдинский). Основные ресурсы и запасы ППВ сосредоточены в атлым-новомихайловском ВК. Он имеет практически площадное распространение на территории округа и достаточно защищен от поверхностного загрязнения. В связи с этим большинство водозаборов эксплуатируют подземные воды данного комплекса для централизованного водоснабжения крупных городов и населенных пунктов. В отдельных населенных пунктах Белоярского, Кондинского, Ханты-Мансийского и Сургутского районов для питьевого водоснабжения используются подземные воды неоген-четвертичного комплекса. Водозаборы Нижневартовского района и г. Мегиона частично каптируют водоносный тавдинский комплекс. Эксплуатируемые водоносные пласты в пределах исследуемой площади не выходят на поверхность земли и являются межпластовыми напорными. Высота напора над кровлей достигает 220 м, уменьшаясь к долинам рек до 60 м. Глубина залегания пьезометрического уровня изменяется от самоизлива (главным образом в долине р. Оби) до 20 м.

Целевые эксплуатируемые интервалы находятся на глубине от 40 до 280 м от поверхности земли и представлены средне- и мелкозернистыми песчаными отложениями (рис. 2). Непосредственной связи с поверхностными водами не имеют. Нижним водоупором служат многолетнемерзлые породы (в местах распространения), а также глины тавдинского горизонта, которые, наряду с глинисто-кремнистыми осадками нижнего палеогена и мела, отделяют продуктивные водоносные пласты от залегающих ниже водоносных горизонтов и комплексов с минерализованными хлоридными натриевыми водами.

Формирование естественных ресурсов продуктивных атлым-новомихайловского и тавдинского водоносных комплексов происходит за счет нисходящего движения подземных вод в многопластовой рыхлообломочной системе верхней зоны артезианского бассейна на

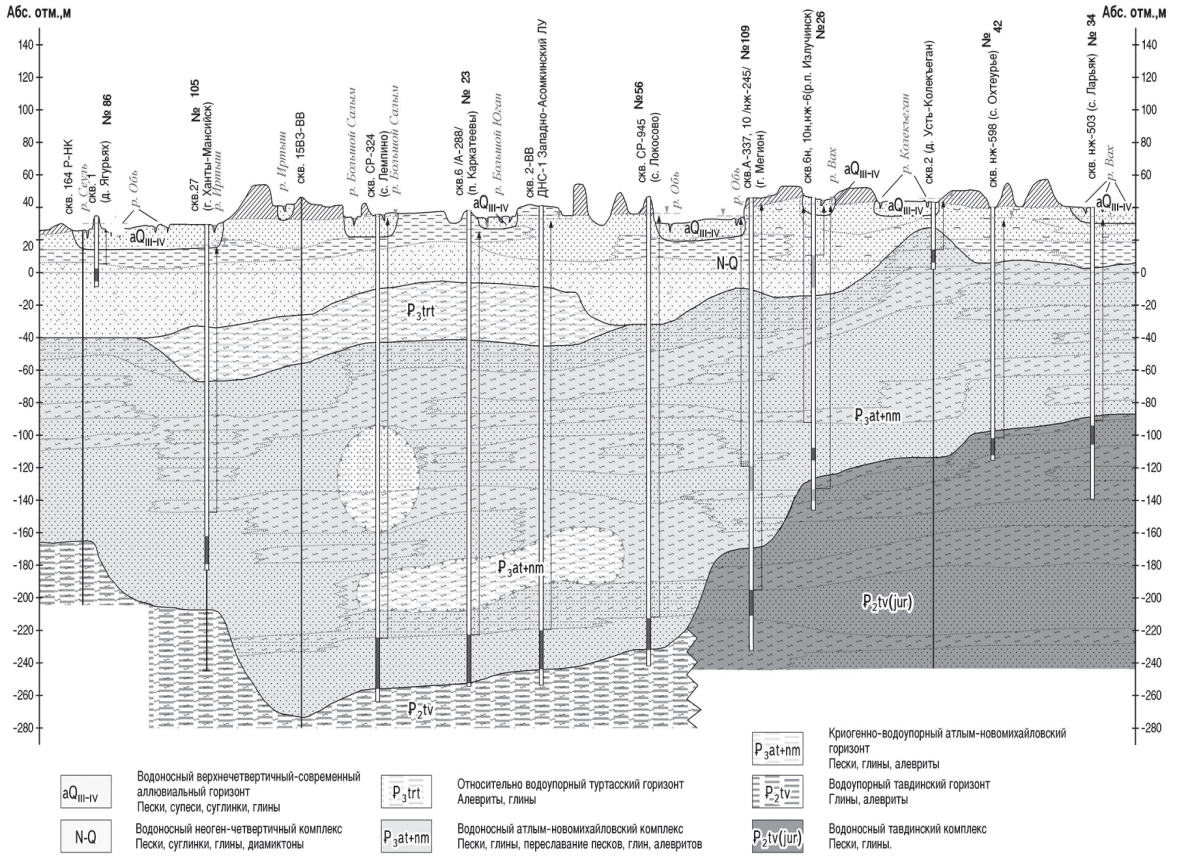


Рис.2. Схематический широтный гидрогеологический разрез территории

водораздельных пространствах и восходящего – в крупных эрозионных врезах. Плоский равнинный рельеф, высокая плотность гидрографической сети, широкое развитие болот, слабая дренированность территории, превышение атмосферных осадков над испарением, избыточная обводненность (подтапливаемость) территории формируют определенный химический облик подземных вод. Выделены весьма пресные (0,04 – 0,5 г/дм^3), пресные (0,6 – 0,9 г/дм^3) и слабосолоноватые (1,1 – 1,3 г/дм^3) гидрокарбонатные или хлоридно-гидрокарбонатные подземные воды смешанного катионного состава, чаще кальциевые, натриевые, магниевые, от очень мягких до среднежестких, с нейтральной реакцией среды.

Природной гидрохимической особенностью являются высокие значения показателей мутности (1,1 – 127,7 ПДК), цветности (1,1 – 37,9 ПДК), окисляемости (1,1 – 3,7 ПДК), аммония (1,1 – 8,1 ПДК), кремния (1,1 – 7,9 ПДК), бария (1,1 – 10,3 ПДК), общего железа (1,03 – 186,5 ПДК) и марганца (1,1 – 32,3 ПДК). В единичных случаях наблюдаются повышенные концентрации микрокомпонентов (в т.ч. тяжелых металлов) с органолептическими и санитарно-токсикологическими признаками вредности (II, и III классов опасности): бора (1,2 – 1,8 ПДК), брома (1,2 – 2,2 ПДК), никеля (3,4 ПДК), кадмия (1,5 – 3 ПДК), свинца (1,3 ПДК), хрома (1,3 ПДК), алюминия (1,1 – 2,2 ПДК). Появление данных компонентов с высоким содержанием в подземных водах имеет техногенный характер происхождения.

Таким образом, выявленный в подземных водах на исследуемой территории ХМАО-Югра комплекс показателей, превышающих нормы СанПиН, придает им статус некондиционных, а это значит, что для доведения их качества до питьевых требуется применение различных методов и технологий водоподготовки.

Проведенные исследования показали, что добыча пресных подземных вод осуществляется как на участках недр с утвержденными запасами (месторождения ППВ, автономные эксплуатационные участки недр), так и на участках недр, запасы по которым не оценены и не поставлены на государственный учет.

Степень освоения запасов ППВ для питьевого водоснабжения (объем добываемой воды от общей суммы утвержденных запасов) на исследованной территории различна и составляет в среднем 36%. Потенциальные возможности большинства месторождений (водозаборных участков) пресных подземных вод используются не в полной мере.

При оценке технического состояния скважин установлено, что 75% из них технически исправны, 21% – технически неисправны, 4% скважин на момент обследования оказались ликвидированными, несмотря на то, что в лицензии значатся как существующие.

Установлено, что большая часть недропользователей в той или иной мере не соблюдает требования условий лицензионного соглашения как в части видов, объемов работ и сроков их исполнения, так и в части требований к рациональному использованию и охране недр, охране окружающей среды и безопасному ведению работ.

В муниципальных образованиях ХМАО-Югры используются различные типы очистных сооружений (рис. 3). Оценка эффективности существующих систем водоочистки (водоподготовки) выполнена по следующим критериям: степени очистки подземных вод по доведению значений превышающих показателей до норм питьевого стандарта и по производительной мощности очистных установок.

Результаты химических анализов проб воды (рис. 4), отобранных после водоподготовки с 2006 по 2014 гг., показали, что на всех обследованных очистных сооружениях качество подземных вод не доводится до питьевых норм. Таким образом, техническое состояние и технология подготовки воды на действующих очистных сооружениях не обеспечивают эффективного доведения качества подземных вод до необходимых требований.

Анализ данных оценки качества воды, отобранной непосредственно из источников водопотребления в обследованных населенных пунктах и после прохождения ее дополнительной водоподготовки, позволил оценить степень эффективности очистных установок по количеству компонентов, доводимых до норм ПДК.

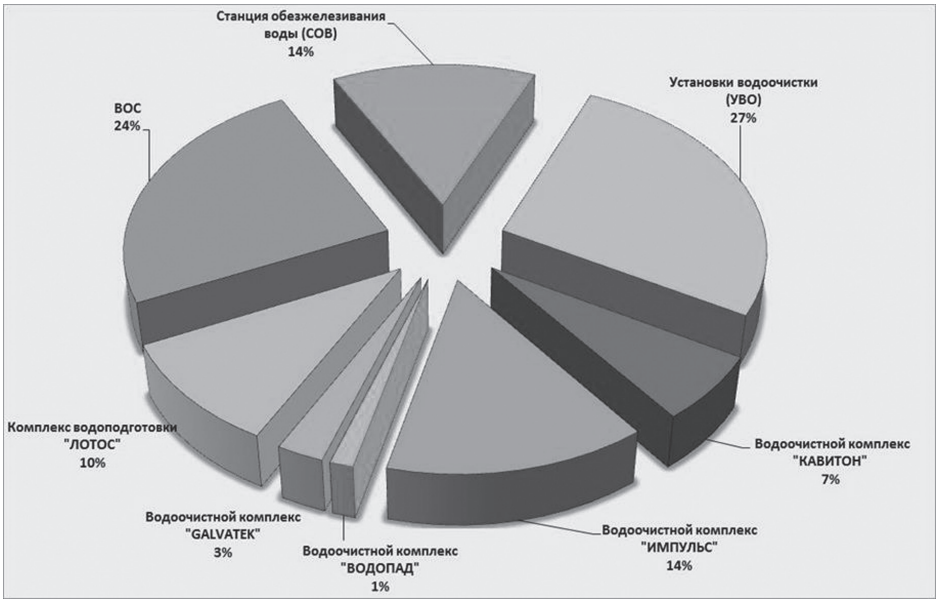


Рис. 3. Типы очистных сооружений, применяемых на территории ХМАО

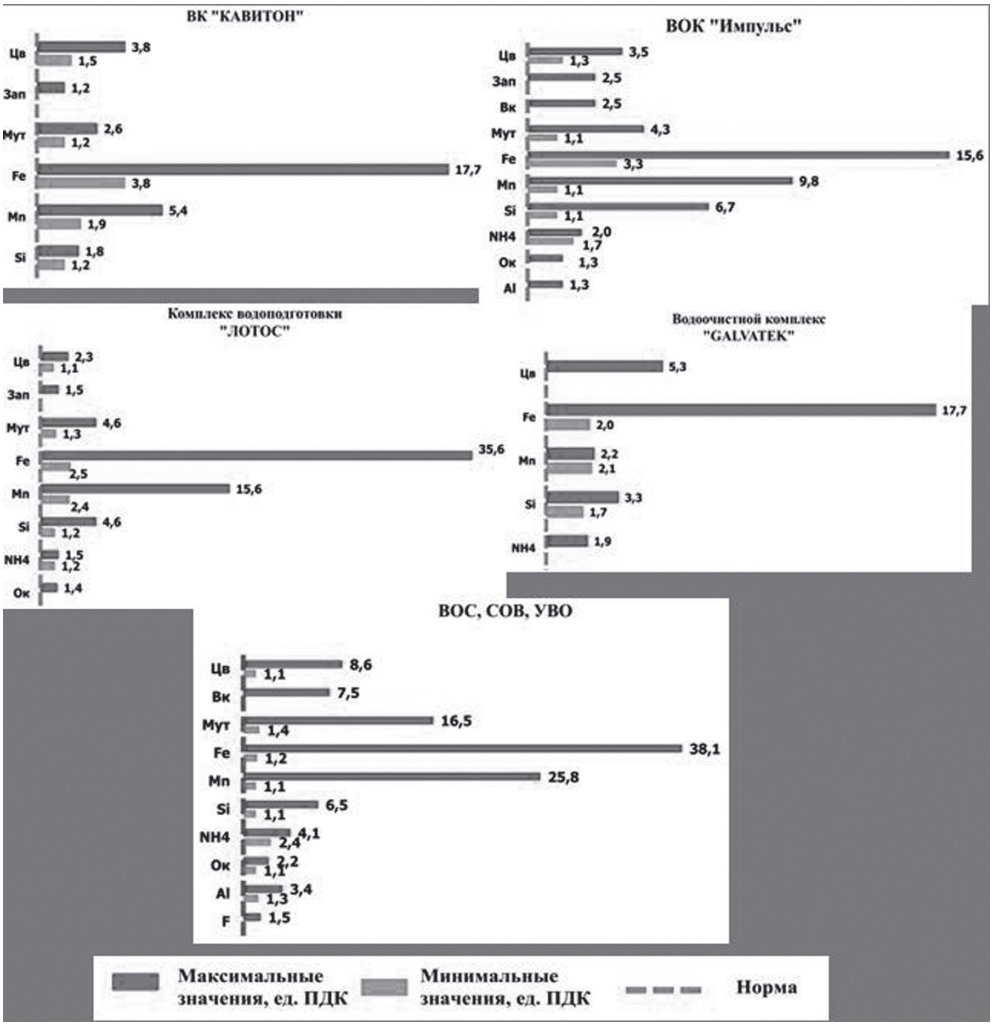


Рис. 4. Показатели, превышающие нормы питьевого стандарта, после водоподготовки

В процентном отношении по количеству компонентов, доводимых до норм ПДК после очистки, от количества превышающих компонентов в исходной воде, эффективность водоочистных сооружений в среднем по каждой марке составила:

Марка очистных сооружений	Эффективность,%
Водоочистной комплекс «ИМПУЛЬС»	40
Водоочистной комплекс «ЛОТОС»	25
Водоочистной комплекс «КАВИТОН»	17
Водоочистной комплекс «GALVATEK»	40
ВОС, СОВ, УВО	20

По результатам выполненных исследований для каждого водозабора разработан комплекс мероприятий в зависимости от сложившейся санитарно-технической и санитарно-экологической ситуации для обеспечения населения чистой питьевой водой. Из изложенного с очевидностью вытекает, что главная проблема не может быть решена гидрогеологами. Проблемы водоочистки и водоподготовки по непонятным причинам отданы на откуп производителям соответствующего оборудования. При этом зарубежный опыт свидетельствует, что проблемы «чистой воды» в мире нет. Может быть, пора уже воспользоваться апробированными технологиями, а ко всем новым разработкам (к ним мы относим все перечисленные выше, используемые на водозаборах в ХМАО-Югре) использовать методы экспертизы, хорошо зарекомендовавшие себя в медицине и медицинской промышленности – государственную сертификацию. Как правило, люди потребляют воду чаще и больше, чем лекарства!

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ИНСТИТУТЕ МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЯ СО РАН

Толстихин О. Н., Шепелев В. В., Павлова Н. А.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, pavlova@mpi.ysn.ru

Аннотация. В докладе охарактеризованы основные направления развития гидрогеологических исследований, выполненных в Институте мерзлотоведения им П.И. Мельникова с момента его основания. Основное внимание уделено оценке результатов гидрогеохимических исследований криолитозоны, режимных наблюдений за условиями формирования различных типов подземных вод Якутии и динамикой наледеобразования, вопросам картографического обеспечения гидрогеологических работ, взаимодействия подземных вод с поверхностными водами.

Ключевые слова: *криолитозона, подземные воды, криогидрогеохимия, наледи, талики, водообеспечение, картографирование, подземный сток.*

Abstract. This paper characterizes the main areas of hydrogeological research conducted at the Melnikov Permafrost Institute since its foundation. Special emphasis is given to the major outcomes of hydrogeochemical studies of permafrost and monitoring observations of various groundwater types, icing growth, and groundwater interaction with surface waters, as well as to the use of mapping tools in groundwater studies.

Key words: *permafrost, groundwater, permafrost hydrogeochemistry, icing, talik, water supply, mapping, subsurface flow.*

В 1964 г. директор Института мерзлотоведения СО АН СССР П. И. Мельников издал приказ об организации нового научного подразделения – лаборатории подземных вод криолитозоны. Руководителем лаборатории был назначен потомственный гидрогеолог, сын основоположника учения о подземных водах мерзлой зоны литосферы, профессора Нестора

Ивановича Толстихина, выпускник кафедры гидрогелогии и инженерной геологии Ленинградского горного института к.г.-м.н. Октавий Несторович Толстихин.

Создание лаборатории подземных вод в Институте мерзлотоведения СО АН СССР было обусловлено необходимостью постановки целенаправленных исследовательских работ по изучению гидрогеологических особенностей, охраны и использования подземных вод криолитозоны. Решение этой проблемы проводилось по следующим основным научным направлениям.

Криогидрогеохимическое направление. Это направление возникло в институте еще до организации лаборатории подземных вод, и его основоположником является Нина Петровна Анисимова. Еще в 1959 г. ею были изложены первые системные данные о химическом составе поверхностных вод и источников подземных вод в наиболее населенной части долины р. Лены на территории Якутии [1]. Были изучены особенности формирования химического состава таликовых вод, выяснены зависимости их гидрохимического режима от величины промерзания и размеров таликовых зон, условий водообмена, а также от литологического состава слагающих пород, генезиса озер, геоморфологии местности и других факторов. Результатом этих работ явилась монография Н. П. Анисимовой «Формирование химического состава подземных вод таликов» [2], которая до настоящего времени пользуется большим спросом среди специалистов и стала библиографической редкостью.

В 1970 – 1980 годах сотрудниками лаборатории под руководством Н. П. Анисимовой проводились трудоемкие экспериментальные и режимные исследования по выяснению влияния процессов криогенеза на формирование химического состава различных природных вод (поверхностных и подземных) и разных типов природного льда (озерного, наледного, подземного). Было организовано несколько стационарных площадок для проведения комплексных режимных гидрохимических наблюдений в Центральной Якутии. В результате выполненных работ были изучены физико-химические процессы, связанные с кристаллизацией воды при промерзании водоносных рыхлых отложений и при таянии льда. Установлена последовательность изменения химического состава пресных вод в процессе криогенного повышения их минерализации в разных условиях взаимодействия с мерзлыми породами, в закрытых и открытых природных системах. Были выделены конкретные криогидрогеохимические критерии, используя которые можно судить о мерзлотно-гидрогеологической обстановке отдельных районов и участков, об интенсивности промерзания талых или протаивании мерзлых горных пород, об условиях формирования многолетнемерзлых пород и подземных льдов. Выявленные гидрогеохимические закономерности опубликованы в монографии [3].

С 1980-х годов начались и продолжаются по настоящее время исследования особенностей техногенной засоленности грунтов и надмерзлотных вод при хозяйственном освоении криолитозоны. На организованных экспериментальных площадках изучаются условия формирования и гидрохимический режим техногенных криопэгов – отрицательнотемпературных подземных вод, образующихся в кровле многолетнемерзлой толщи под воздействием различных техногенных факторов. Были проведены также исследования по изучению возможности применения гидрогеохимического метода для прогноза мест формирования техногенных криопэгов [4, 5].

Обобщение и анализ материалов криогидрогеохимических исследований, проведенных за более чем 50-летний период наблюдений, позволили выявить основные факторы, влияющие на гидрохимический режим поверхностных и подземных вод, донных отложений, перераспределение солей в породах и понять причины возникновения тех или иных отклонений, и изложены в монографии [6].

В последние годы криогидрохимические исследования в институте ведутся с привлечением современных методов химического анализа, позволяющих изучать микрокомпонентный и изотопный состав природных вод. Получаемые материалы значительно расширяют представления о генезисе подземных вод и мерзлотных условиях, в которых происходит формирование их химического состава, времени водообмена, что важно для прогноза развития

гидрогеохимических процессов при колебаниях климата и техногенных воздействиях на криогидрогеологические системы.

Наледное направление. Это направление возникло сразу после организации лаборатории подземных вод в институте и интенсивно развивалось до 1979 г., т.е. почти в течение 15 лет. Сотрудниками лаборатории были организованы первые в Якутии круглогодичные наледные стационары. Однако районы работ охватывали не только Якутию, но и Магаданскую и Амурскую области, Чукотку. Стационарные исследования наледей проводились под руководством О. Н. Толстихина, В. В. Шепелева, В. А. Бойцова.

Обобщение многочисленных литературных источников о наледях, их обширные комплексные полевые исследования позволили выявить в горных районах так называемый «наледный пояс», в котором сосредоточена большая часть наледей. Была установлена связь наледей с тектоникой и неотектоникой, выделены стадии наледеобразования, проведена большая работа по подбору, систематизации и анализу распространения наледей, их классификации, режиму, разработке методики изучения [7, 8].

В настоящее время сотрудниками лаборатории продолжаются режимные наблюдения за формированием наледей в Центральной Якутии, а также проводятся сбор и систематизация обширного фондового материала, дешифрирование космоснимков и топокарт для создания базы данных наледей и цифровой модели распространения наледей в Восточной Якутии.

Использование подземных вод ***для целей водоснабжения***. Это направление в институте также возникло еще до образования лаборатории подземных вод и продолжает развиваться по сей день. Начало ему было положено в 1937 г., когда в г. Якутск прибыли известные отечественные гидрогеологи Н. И. Толстихин и В. М. Максимов. Проанализировав все имеющиеся в то время геологические данные, результаты термометрических наблюдений и проведя экспедиционные исследования в близлежащих районах к г. Якутску, они сделали вывод о возможном существовании в Центральной Якутии обширного артезианского бассейна пресных подмерзлотных вод, приуроченных к юрским и кембрийским осадочным отложениям. В 1943 – 1944 гг. Якутской научно-исследовательской мерзлотной станцией (ЯНИМС) Института мерзлотоведения им. В. А. Обручева АН СССР в содружестве с Якутской геолого-поисковой конторой было осуществлено бурение первой эксплуатационной скважины на подмерзлотные воды для водоснабжения г. Якутска. В 1948 г. П. И. Мельникову, А. И. Ефимову, П. А. Соловьеву, Н. И. Толстихину и В. М. Максимову Всесоюзный комитет по запасам присвоил право первооткрывателей этой гигантской гидрогеологической структуры. Результаты мерзлотно-гидрогеологических исследований ЯНИМС были обобщены в монографии [9].

В дальнейшем сотрудниками лаборатории подземных вод института были предложены оригинальные принципы районирования криолитозоны для целей водоснабжения, разработаны методы оценки естественных ресурсов подземных вод, новые конструкции водозаборных сооружений, а также способы предохранения водозаборных скважин от промерзания. Почти все разработки лаборатории внедрялись в практику и давали большой экономический эффект. Результаты этих работ отражены в монографиях и брошюрах [10 – 12].

Под руководством А. М. Федорова в течение более 20 лет (1964 – 1986 гг.) проводились режимные наблюдения за эксплуатацией подземных вод подозерных таликов. По результатам этих многолетних работ были предложены методы оценки запасов таликовых вод в условиях их ограниченных естественных ресурсов и изменяющейся мерзлотно-гидрогеологической обстановки. Накопленный по этому направлению опыт позволил успешно пройти государственную экспертизу нескольких отчетов сотрудников лаборатории по оценке и переоценке запасов подземных вод практически всех типов, выделяемых в криолитозоне (надмерзлотных вод, субаквальных таликов, межмерзлотных вод субаэральных таликов, подмерзлотных вод).

К этому же направлению можно отнести выяснение условий формирования и распространения радиационно-тепловых надмерзлотно-межмерзлотных таликов на правобережье р. Лены в Центральной Якутии, обладающих значительными запасами пресных подземных вод высокого

питьевого качества. Многолетние исследования в этом регионе позволили установить закономерности формирования ресурсов подземных вод межмерзлотного стока, выявить связь водообильности отложений с режимом выпадения атмосферных осадков, оценить многолетнюю изменчивость дебита известных наледеобразующих источников бестяхской террасы р. Лены [13].

В настоящее время в лаборатории изучаются вопросы возможности обеспечения населения Якутии чистой питьевой водой, в том числе родниковой, а в перспективе – разработка различных вариантов каптирования источников подземных вод в криолитозоне.

Картографическое направление. Организатором этого направления является О. Н. Толстихин. Необходимость картографического обобщения возникла в период написания XX тома Гидрогеологии СССР, опубликованного в 1970 г. [14]. Согласно методическим указаниям ВСЕГИНГЕО, в этих изданиях предусматривались в качестве приложения гидрогеологические и инженерно-геологические карты. Предлагаемая ВСЕГИНГЕО стандартная легенда к картам не отражала в должной мере изменения в природной обстановке, связанной с глубоким промерзанием недр. Так, при составлении «Гидрогеологической карты Якутской АССР» масштаба 1:2 500 000 авторы столкнулись с тем обстоятельством, что первые от поверхности водоносные горизонты оказались полностью или частично проморожены. Это обстоятельство потребовало разработки новых специфических приемов составления гидрогеологической карты на территорию с многолетнемерзлыми породами. В результате на карте были отображены не только регионально выдержанные горизонты подмерзлотных вод, но и талики, наледи, показано площадное распространение и мощности криопэгов. В дальнейшем таким же образом было осуществлено гидрогеологическое картографирование Магаданской области при составлении и написании XXVI тома Гидрогеологии СССР [15].

В 1984 г. была издана Карта мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири масштаба 1:2 500 000 [16]. При ее составлении сотрудниками лаборатории были обобщены гидрогеологические и геокриологические условия огромной территории, простирающейся от долины р. Енисея до полуострова Камчатка. В основу методики составления карты, помимо известного структурно-гидрогеологического принципа районирования, положена оценка изменения гидрогеологических условий территории под влиянием многолетнего промерзания недр. Критериями оценки приняты степень прерывистости криолитозоны и характер соотношения ее мощности с основными параметрами гидрогеологических структур. Районирование проведено с детальностью до четырех порядков. Для всех выделенных мерзлотно-гидрогеологических структур на карте показаны типы скоплений подземных вод, их минерализация, источники, наледи и естественные ресурсы. Пояснительной запиской к карте служит монография [17]. По методической новизне и оригинальности с учетом масштабности территории и объема проработанной информации составленная карта не имеет аналогов в отечественной и зарубежной гидрогеологической практике.

В 1993 г. при поддержке Российского фонда фундаментальных наук издана «Карта надмерзлотных вод Республики Саха (Якутия)» [18]. Коллектив авторов во главе с О. Н. Толстихиным отразили на карте условия распространения и формирования надмерзлотных вод Якутии, типы их режима, региональные характеристики минерализации, химического состава, а также очаги засоления и некоторые частные объекты, влияющие на формирование надмерзлотных вод. Были составлены карты-врезки масштаба 1: 12 000 000, на которых показаны районы распространения, генезис и величины относительной наледности, а также выделены типы провинций надмерзлотных вод по условиям формирования стока. Карту сопровождает пояснительная записка [19].

В последние два десятилетия в связи с активным развитием ГИС-технологий произошли существенные изменения в принципах картографирования. Это потребовало новых методических разработок, обеспечивающих переход картографических материалов с бумажных носителей на электронные. В 2008 г. в лаборатории подземных вод Института мерзлотоведения СО РАН по Госзаказу Государственного комитета по геологии и недропользованию РС (Я) создана

цифровая гидрогеологическая карта Центральной Якутии масштаба 1:1 000 000. В 2010 – 2014 г. сотрудниками лаборатории в составе авторского коллектива было разработано гидрогеологическое содержание современной инженерно-геологической карты Северо-Востока России в формате «ArcGIS 9» в рамках создания инженерно-геологической карты Российской Федерации масштаба 1:2 500 000. Работой по составлению этой карты руководил В. Б. Спектор.

Принципиальным направлением дальнейших исследований в области картографии является разработка методики космического дешифрирования мерзлотно-гидрогеологических условий и картографическое обобщение получаемых при этом материалов.

Гидрогеоэкологическое направление. В рамках этого направления большое внимание уделяется изучению надмерзлотных вод. В результате анализа многолетних исследований углублены и расширены существующие представления об особенностях формирования, питания, разгрузки и режима надмерзлотных вод в различных климатических, геоморфологических и литологических условиях криолитозоны. Унифицирована классификация надмерзлотных вод. Конкретизированы представления о зоне аэрации и ее границах в областях многолетнего и глубокого сезонного промерзания горных пород, применен новый подход к оценке влагопереноса в данной зоне. По результатам исследований написаны учебное пособие [20] и опубликована монография [21].

Многолетние комплексные исследования надмерзлотных вод на урбанизированной территории Центральной Якутии позволили изучить условия формирования и закономерности режима техногенных криопэгов, формирующихся в слое годовых теплообортов, а также определить роль природных и техногенных факторов в их динамике.

На основании большого опыта изучения надмерзлотных вод разработаны методические рекомендации по проведению мерзлотно-гидрогеологических исследований в комплексе инженерно-строительных изысканий, а по результатам экспериментальных работ совместно с научно-внедренческим центром «Геотехнология» предложена система инженерной защиты территории г. Якутска от подтопления надмерзлотными водами, а также от обводнения и развития опасных криогенных процессов.

В настоящее время в лаборатории продолжаются исследования по выявлению закономерностей формирования надмерзлотных вод в различных ландшафтных условиях, в том числе для разработки эффективных методов борьбы с подтоплением урбанизированных территорий надмерзлотными водами.

Изучение взаимодействия подземных вод с поверхностными водами. Это направление является также одним из основных в исследованиях ИМЗ СО РАН. Здесь следует отметить работы Н. П. Анисимовой, которая многие годы изучала подземные воды, формирующиеся под аласами, озерами и руслами рек в Центральной Якутии. Ею были охарактеризованы особенности формирования и преобразования химического состава таликовых вод в зависимости от водности озер, условий восполнения их запасов и проточности [2].

Целенаправленные работы по изучению особенностей подземного питания рек криолитозоны проводились под руководством В. М. Пигузовой [22]. На основе предложенной ею методики расчленения гидрографов общего речного стока и учета наледных показателей были подсчитаны величины подземного питания рек криолитозоны для территории Якутии и Северо-Востока СССР. Результаты выполненных исследований были использованы при составлении карты подземного стока СССР масштаба 1: 2 500 000 и написании монографий [14, 15, 23].

В настоящее время в институте возобновляются исследования по изучению надмерзлотного питания в формировании стока малых рек криолитозоны.

Математическое моделирование мерзлотно-гидрогеологических процессов. Заделом в этом направлении можно считать работы чл.-корр. РАН В. Т. Балобаева в содружестве с коллегами из Института прикладной математики Якутского госуниверситета по построению физико-математической модели термодинамических и гидродинамических процессов в горных породах при изменениях положения фазовой границы под влиянием длиннопериодных колебаний

климата [24]. Результаты выполненного моделирования существенно расширили представления о водообменной функции криолитозоны. Она придает специфические черты водообмену поверхностных вод с подмерзлотными. В периоды похолоданий климата повышение гидростатического давления в водоносных горизонтах способствует значительному увеличению разгрузки подземных вод по сквозным таликам, развитым под крупными реками и озерами. В продолжительные периоды потеплений климата происходит смещение фазовой границы вверх по разрезу, сопровождающееся понижением гидростатического давления в подмерзлотный зоне. В результате формируются значительные депрессии пьезометрического уровня в подмерзлотных водоносных горизонтах. Это интенсифицирует как горизонтальную фильтрацию подземных вод, так и их инфильтрационное питание за счет поверхностных вод по сквозным таликовым зонам. Именно активная водообменная роль последних предохраняет их от промерзания даже в период значительных по амплитуде и продолжительных по времени периодов похолоданий климата.

В рамках этого направления было проведено также численное моделирование теплообмена между межмерзлотными водами, многолетнемерзлыми породами и атмосферой, доказывающее возможность круглогодичной разгрузки подземных вод в условиях Центральной Якутии и активизацию их термосуффозионной деятельности [25].

Важным достижением ИМЗ СО РАН является выпуск периодических научных сборников, в которых излагались результаты новейших исследований в области изучения гидрогеологических условий криолитозоны. Было выпущено 15 подобных тематических сборников, содержащих оперативную мерзлотно-гидрогеологическую информацию [26 – 39].

Помимо научной деятельности необходимо сказать и о результатах лаборатории в деле подготовки кадров и воспитанию научной молодежи. В свое время Институт мерзлотоведения СО РАН предпринял очень мудрое решение, выступив с инициативой об открытии кафедры мерзлотоведения в Якутском госуниверситете. Сотрудники института ведут лекционные и производственные занятия, руководят курсовыми и дипломными проектами студентов, диссертационными работами выпускников кафедры, ведут специальные факультативные занятия, выпускают учебные пособия.

Список литературы

1. Анисимова, Н. П. Химический состав подземных и поверхностных вод и некоторые закономерности его изменения в районе среднего течения р. Лены / Н. П. Анисимова. – Якутск : Кн. изд-во, 1959. – 121 с.

2. Анисимова, Н. П. Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии) / Н. П. Анисимова. – М. : Наука, 1971. – 195 с.

3. Анисимова, Н. П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны / Н. П. Анисимова. – Новосибирск : Наука, 1981. – 153 с.

4. Анисимова, Н. П. Методы гидрогеохимии в мерзлотоведении: учебное пособие / Н. П. Анисимова. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2004. – 48 с.

5. Анисимова, Н. П. Методические рекомендации по проведению мерзлотно-гидрогеохимических исследований в комплексе инженерно-строительных изысканий в криолитозоне / Н. П. Анисимова, А. В. Бойцов. – Якутск : изд-во ИМЗ СО РАН, 2000. – 52 с.

6. Анисимова, Н. П. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии / Н. П. Анисимова, Н. А. Павлова. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2014. – 189 с.

7. Толстихин, О. Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР / О. Н. Толстихин. – Новосибирск : Наука, 1974 . – 164 с.

8. Пигузова, В. М. Методика изучения наледей / В. М. Пигузова, В. В. Шепелев. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1975. – 63 с.

9. Мельников, В. П. Опыт эксплуатации подземных вод в области распространения вечной мерзлоты / В. П. Мельников, А. И. Ефимов. – Москва : Изд-во АН СССР, 1953. – 33 с.

10. Подземные воды Якутии как источник водоснабжения / Р. С. Кононова [и др.]. – М. : Наука, 1967. – 113 с.

11. Дмитриев, Е. М. Использование подземных вод Якутской АССР для водоснабжения (перспективы, разведка, эксплуатация) / Е. М. Дмитриев, О. Н. Толстихин. – Якутск, 1971. – 75 с.

12. Губанов, Б. А. Руководство по электрообогреву водозаборных скважин / Б. А. Губанов, Г. М. Руденко. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1981. – 59 с.

13. Бойцов, А. В. Условия формирования и режим подземных вод надмерзлотного и межмерзлотного стока в Центральной Якутии / А. В. Бойцов // Автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. геол-минер. наук. – Якутск, 2002. – 23 с.

14. Гидрогеология СССР. – М. : Недра, 1970. – Т. XX. – 384 с.

15. Гидрогеология СССР. – М. : Недра, 1972. – Т. XXVI. – 297 с.

16. Карта мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири масштаба 1:2 500 000 / Составители : Л. Д. Иванова, Н. С. Ломовцева, Н. М. Никитина, В. М. Пигузова. – М. : ГУГК, 1983.

17. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / В. В. Шепелев [др.] – Новосибирск : Наука, 1983. – 190 с.

18. Карта надмерзлотных вод Республики Саха (Якутия) масштаба 1:2 500 000 / Составители : Л. Д. Иванова, Н. С. Ломовцева, Н. М. Никитина, В. М. Пигузова. – Якутск : Якутское аэрогеодезическое предприятие № 14. – 1993.

19. Пояснительная записка к «Карте надмерзлотных вод Якутской-Саха ССР масштаба 1:2 500 000» / Составители : Л. Д. Иванова, Т. Н. Лебедева, Н. С. Ломовцева и др. – Якутск : ИМЗ СО АН СССР, 1991. – 40 с.

20. Шепелев, В. В. Надмерзлотные воды. Особенности формирования и распространения : учебное пособие / В. В. Шепелев. – Якутск : ИМЗ СО РАН,1995. – 47 с.

21. Шепелев, В. В. Надмерзлотные воды криолитозоны. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2011. – 169 с.

22. Пигузова, В. М. Особенности подземного питания рек мерзлой зоны (на примере Якутии) / В. М. Пигузова //Автореф. дисс. на соискание учен. степ. канд. геогр. наук. – Якутск, 1971. – 26 с.

23. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 17. Лено-Индигирский район. – Л. : Гидрометеоиздат, 1967. – 443 с.

24. Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования / В. Т. Балобаев [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – 137 с.

25. Гагарин, Л. А. Динамика термосуффозионных процессов в криолитозоне : на примере Центральной Якутии / Л. А. Гагарин // Автореф. диссертация на соискание учен. степ. канд. геолого-минералогических наук. – Якутск, 2013. – 20 с.

26. Наледи Сибири / Отв. редакторы : О. Н. Толстихин, В. М. Пигузова. – М. : Наука, 1969. – 208 с.

27. Геокриологические и гидрогеологические исследования Сибири / Отв. ред. П. И. Мельников. – Якутск : Якутское кн. изд-во, 1972. – 191 с.

28. Вопросы гидрогеологии криолитозоны / Отв. ред. Н. П. Анисимова. – Якутск : Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1975. – 175 с.

29. Гидрогеологические условия мерзлой зоны / Отв. ред. В. В. Шепелев. – Якутск : Якутское кн. изд-во, 1976. – 141 с.

30. Гидрогеологические исследования криолитозоны / Отв. ред. В. М. Пигузова. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1976. – 175 с.

31. Гидрогеологические и геокриологические исследования Якутии / Отв. редакторы : Н. П. Анисимова, Е. Г. Катасонова. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1978. – 187 с.

32. Исследования наледей / Отв. ред. В. В. Шепелев. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1979. – 136 с.

33. Взаимосвязь поверхностных и подземных вод мерзлой зоны / Отв. редакторы : В. М. Пигузова и В. В. Шепелев. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1980. – 146 с.

34. Методика гидрогеологических исследований криолитозоны / Отв. ред. В. В. Шепелев. – Новосибирск : Наука, 1983. – 112 с.

35. Криогидрогеологические исследования / Отв. ред. Н. П. Анисимова. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1985. – 172 с.

36. Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования / Отв. ред. Н. П. Анисимова. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1989. – 164 с.

37. Мерзлотно-гидрогеологические исследования зоны свободного водообмена / Отв. ред. В. М. Пигузова. – М. : Наука, 1989. – 160 с.

38. Формирование подземных вод криолитозоны / Отв. ред. В. М. Пигузова. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1992. – 184 с.

39. Криолитозона и подземные воды Сибири (1, 2 ч.) / Отв. редакторы : И. В. Климовский, В. В. Шепелев, А. С. Любомиров. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 1996.

ПРИРОДА И МЕХАНИЗМЫ ЭВОЛЮЦИИ СОСТАВА ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОСФЕРЫ

Шварцев С. Л.

Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Томск, tomsk@ipgg.sbras.ru;

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, gige_ignd@mail.ru

Аннотация. В работе рассматривается проблема эволюции состава подземных вод инфильтрационного типа в геологической истории. Показано, что эволюция – важнейший процесс непрерывного изменения состава вод, протекающий в ходе тесного взаимодействия воды с горными породами, газами и органическим веществом, который приводит к последовательному образованию ряда гидрогенно-минеральных комплексов, состоящих из многих вторичных минералов и геохимических типов воды.

Ключевые слова: *эволюция, подземные воды, гидрогеология, подземная гидросфера, равновесие, вторичные минералы, метаморфизм, геохимия подземных вод, формирование состава вод.*

Abstract. This paper considers the problem of the evolution of groundwater infiltration type in geological history. The evolution - an essential process of continuous changes of water flowing in the water close interaction with rocks, gases, and organic matter, which results in the formation of a series of serial gidrogenno- mineral complexes consisting of many secondary minerals and geochemical types of water.

Key words: evolution, groundwater hydrogeology, underground hydrosphere, balance, secondary minerals, metamorphism, geochemistry, groundwater formation of water.

Проблема эволюции подземной гидросферы – одна из наиболее сложных и практически не изученных. По сути, только Е. В. Посохов [1] занимался этой проблемой, но он изучал эволюцию гидросферы в целом, а не только подземную. Поверхностная же гидросфера, и особенно океаны, была объектом изучения как многих русских ученых – В. И. Вернадского, А. П. Виноградова, В. И. Виноградова, Л. В. Пустовалова, А. Б. Ронова, М. Г. Валяшко, Л. А. Зенкевича, Ж. С. Сыдыкова, Е. С. Гавриленко, А. Г. Вологдина, Н. М. Страхова, А. В. Сидоренко, Ю. П. Казанского и др., так и иностранных – R. M. Garrels, H. D. Holland, A. C. Lane, F. T. Mackenzie, W. W. Rubey, H. C. Urey и др, поэтому Е. В. Посохов в своей книге больше рассматривает проблему эволюции состава океанов и морей, чем подземной гидросферы. Что касается последней, то ее эволюция увязывается с эволюцией океанов, которую он рассматривает с позиции наличия в докембрийское время хлоридно-кальциевого типа морей, вода которых и явилась, по его мнению, праматерью всех существующих ныне вод планеты, включая и подземные.

Главным фактором эволюции гидросферы на ранних этапах геологической истории, по мнению Е. В. Посохова, являлся ювенильный фактор, или магматическая деятельность планеты. С течением времени роль этого фактора ослабевала и на смену ему приходил биологический фактор, который доминирует и сегодня. Факторы эволюции Е. В. Посохов рассматривал и как движущие силы эволюции, с чем трудно согласиться. Движущей силой химической эволюции гидросферы он рассматривал опять же гидрологический фактор, или точнее, – материковый сток и биологический, или жизнедеятельность организмов.

Прежде чем переходить к рассмотрению проблемы эволюции подземной гидросферы, необходимо хотя бы кратко остановиться на самом понятии « эволюция гидросферы». Е. В. Посохов под ним понимал «увеличение внутреннего разнообразия системы (рост информации) или повышение степени ее дифференцированности» [1, с. 15]. Конечно, формулировка носит скорее философский, чем гидрогеологический смысл и не вписывается в обычное геологическое понимание процессов эволюции. Результатом эволюции Е. В. Посохов считал увеличение разнообразия состава подземных вод. Если на ранних этапах своего существования гидросфера по этому автору была однообразной – хлоридно-кальциевой, то позже она разделилась на два сильно различающихся типа – морской и континентальный, а еще позже возникло то широкое разнообразие химических типов природных вод, которое наблюдается и в современный период. Каким образом совершалась эволюция состава воды, Е. В. Посохов не раскрывает, отмечает только, что она протекала в тесном взаимодействии с эволюцией литосферы, биосферы и атмосферы. При этом на разных этапах механизм такой эволюции определялся разными факторами: климатом, тектоникой, вулканизмом, растительностью, микроорганизмами, температурой и т.д.

Наконец, какой смысл эволюции применим к подземной гидросфере? Ведь она питается преимущественно атмосферными осадками, которые являются продуктом испарения воды, в процессе которого практически все соли остаются в испаряющемся растворе, т.е. преимущественно в океане. Объем же атмосферных осадков полностью меняется каждые 10 суток, т.е. 36 раз в год [2]. Значит ли это, что процесс эволюции начинается всегда с попадания в недра планеты воды одного и того же состава? Ответ на этот вопрос Е. В. Посохов не дает. Но понять это крайне важно, поскольку с этим вопросом связано понимание сути геологической эволюции в целом.

К сожалению, термин «эволюция» используется очень широко. Фактически любое, даже незначительное изменение состояния любой системы или даже конкретного объекта часто называется эволюцией. Но это не верно. Под *эволюцией* в соответствии с подходом синергетики *следует понимать самопроизвольный процесс, приводящий к росту разнообразия форм, усложнению и увеличению связей в системе, появлению новых продуктов.* Такая эволюция происходит в том случае, если система аккумулирует из внешней среды дополнительное количество свободной энергии, а значит, уменьшает энтропию [3]. Любые другие изменения системы или конкретного объекта – это просто развитие.

Применяя эти теоретические положения к подземной гидросфере, необходимо учитывать, что в гидрогеологии широко используются свои термины и понятия, касающиеся изменения состава и свойств подземных вод. Вот только некоторые из них. *Метаморфизм подземных и озерных вод и рассолов* – процесс изменения состава соленых, преимущественно морских вод путем в основном обменно-адсорбционных процессов. На наш взгляд, термин устарел, не имеет должного смыслового значения и вряд ли им стоит пользоваться. *Геохимия подземных вод* – наука о миграции атомов, молекул и сложных комплексных соединений в подземной гидросфере с позиций выявления специфики водной оболочки по сравнению с другими геосферами. *Минералогия земных вод* – учение о воде, как минерале, его составе, строении, свойствах, формах проявления и т.д. (по В. И. Вернадскому). *Формирование состава подземных вод* – процесс непрерывного изменения их состава в результате разностороннего взаимодействия с горными породами, газами и органическим веществом в условиях равновесно-неравновесного состояния системы по мере перемещения воды в водоносном горизонте. Этот процесс наиболее широко развит в природе и наиболее полно изучается современной гидрогеологией. *История природных вод* – это геохимия и история земных вод в каждой геосфере отдельно (по В. И. Вернадскому) или более современным языком – это процесс изменения состава воды в каждой геосфере планеты в тесной увязке с генезисом самой геосферы и Земли в целом. Это наука будущего, поскольку сегодня наука до этих высот не поднялась, а идеи В. И. Вернадского в этом плане до сих пор не усвоены.

Прежде чем дать определение эволюции подземной гидросферы с гидрогеологических позиций, разберемся в сути этого явления. Как известно, подземные воды имеют разный генезис [4], но основная масса воды попадает в недра из атмосферы в результате климатического круговорота, а растворенное вещество заимствуется в основном из горных пород. Поэтому в данной статье мы остановимся только на эволюции инфильтрационных вод.

Как нами показано ранее [5, 6], подземные воды в земной коре образуют с горными породами внутренне противоречивую равновесно-неравновесную систему: вода всегда растворяет одни минералы – неравновесные с раствором, и формирует другие – равновесные, с этим же раствором. Более того, как оказалось, установление равновесия подземных вод с базальтами, которые изначально сформировали нашу планету, в принципе невозможно. Это происходит потому, что образуемые в процессе взаимодействия воды с базальтами по механизму гидролиза вторичные минералы (оксиды, гидроксиды, карбонаты, глины, цеолиты и т.д.) выступают геохимическими барьерами на пути установления равновесия воды с базальтами [7]. Следовательно, система «вода – базальты» всегда остается равновесно-неравновесной, т.е. способной к непрерывному геологически длительному взаимодействию, результатом которого является формирование принципиально новых образований – гидрогенно-минеральных комплексов. Под последними мы понимаем генетически связанные ассоциации минеральных, органических и растворенных в воде химических соединений, равновесных с породившей их средой, которые сформированы в результате эволюционного развития системы «вода – порода» [8].

С появлением воды на земле возникла принципиально иная система, внутренне противоречивая, способная к непрерывному усложнению, поскольку из двух компонентов – воды и породы – формируется третий, состоящий из новой минеральной фазы, которая вместе с водой иного состава образует более сложный гидрогенно-минеральный комплекс, (например монтмориллонитовый), отличающийся наличием дополнительных структурных элементов, большим количеством физически связанной воды, размерами кристаллической решетки, приспособлением к конкретной геохимической среде, устойчивостью, составом и т.д.

Система «вода – базальты» является первой диссипативной структурой, которая развивается в области, далекой от равновесия, а неравновесность, как известно, – не источник гибели, а напротив – основа становления упорядоченности, причина структурогенеза и эволюции системы в целом. Неравновесность создает противоречие в системе «вода – базальты», которое является главной движущей силой эволюции, приводящей к изменению необратимых потоков энергии и вещества на фоне стремления эволюционирующих открытых систем к равновесию. Эта система в пределах земной коры (при $T < 400°$ С) развивается постоянно в нелинейной области термодинамической ветви в условиях, далеких от равновесия, и относится к типу абиогенных, диссипативных, играющих особую роль в прогрессивном развитии косной материи.

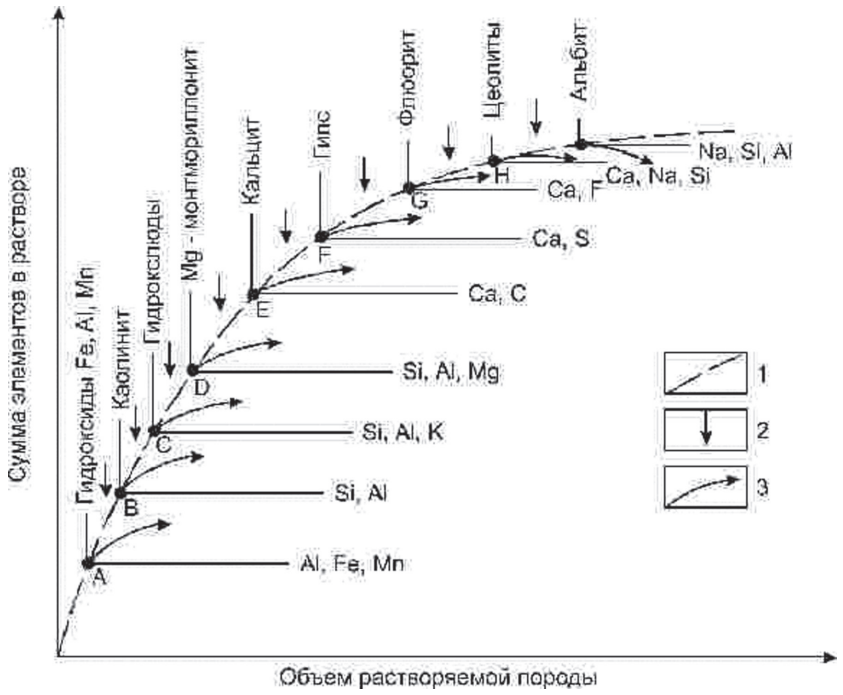
Простая исходная система, состоящая из горных пород, отвечающих по составу каменным метеоритам, и воды, привела к формированию последовательно сменяющихся парагенетических комплексов вторичных минеральных образований, представленных разнообразными продуктами выветривания, осадочной седиментации, продуктов разной степени диа- и катагенеза, низкотемпературного метаморфизма, гальмиролиза и т.д., которые тесно ассоциируют с многочисленными геохимическими типами воды. Важно, что все эти вторичные продукты и геохимические типы вод при своем формировании и «размножении» постепенно усложняются по составу и структуре, включают новые фазы воды с изменением структуры последней и т.д. Все это очевидные признаки явлений усложнения в неживой материи, которые свидетельствуют в пользу принципиальной возможности прогрессивной эволюции в косной материи.

Система «вода – порода» по комплексу признаков, свойств и процессов формирует абиогенную диссипативную, прогрессивно самоорганизующуюся структуру, которая возникла на самой ранней стадии развития Земли в момент появления свободной воды. Способность этой системы к прогрессивной эволюции определяет ее, как одну из фундаментальных и базовых

в развитии неорганической материи на предбиотическом этапе эволюционного становления диссипативных структур. Именно из этой системы возникло множество других, унаследовавших многие из ее свойств. Сформированные в результате эволюционного развитии системы «вода – исходные горные породы», вторичные минеральные фазы и новые геохимические типы воды приумножаясь, постепенно захватывали геологическое пространство, новые этажи литосферы, формировали новые геохимические среды, которые, в свою очередь, определяли образование новых минеральных фаз, влияющих на характер среды. И этот процесс геологически бесконечен. В этом суть самоорганизации в минеральном царстве, включающем зарождение, рост и пространственно-временное распространение новых структурных форм, минеральных образований, геохимических сред.

Следовательно, после появления воды на нашей планете начался грандиозный процесс разрушения одного типа пород – базальтов и создание другого – осадочных, равновесных, с формирующимися в этих же процессах новыми геохимическими средами, и поэтому устойчивых. В результате с поверхности земли базальты практически исчезли: они заменены осадочными породами, содержащими новые геохимические типы вод. Значит, сегодня атмосферные осадки попадают в основном не на базальтовые породы, а на дочерние продукты их водного преобразования – осадочные породы, которые развиты на тех же территориях, где раньше были базальты. Но эти осадочные породы по сравнению с базальтами более разнообразны по составу. Это и карбонаты и глины, и пески, и сланцы, и метаморфические породы, и гидротермально-измененные породы и т.д. Соответственно, попадая в эти разные породы, и воды становятся иными, не похожими на те исходные, которые формировались в базальтах. Воды по составу здесь будут иными, если даже ведущие параметры климата не изменились. Хотя последнее маловероятно.

Но дело не только в составе горной породы, в которую попадает вода, важнее другое – сдвигается начало эволюции системы на более поздние этапы: эволюция системы начинается не в точке А, как это было на начальных этапах взаимодействия воды с базальтами, а с более поздних этапов взаимодействия в точках В, С, D и др. (рисунок). Это происходит потому,



Последовательность образования вторичных минералов в ходе эволюции системы «вода – порода».
А – I – точки начала выпадения новой вторичной фазы, соотношение твердых и растворенных минералов; 2 – зоны возможного поступления воды к контакту с горной породой; 3 – места возможного прекращения взаимодействия воды с горной породой

что атмосферные осадки попадают не в базальты, а, скажем, в известняки (точка Е). В этом случае вода очень быстро растворяет карбонаты, насыщается кальцитом и, попадая глубже в базальты, их растворяет с образованием не гидроксидов, а скажем, цеолитов. Следовательно, с течением времени начало эволюции с базальтами всегда сдвигается от точки А к одной из более поздних стадий. *В этом заключается прогрессивное начало развития системы, ее способность к внутренней трансформации механизмов взаимодействия, направленных на усложнение формирующихся вторичных гидрогенно-минеральных комплексов* [6].

Подведем итоги: эволюция состава подземных вод заключается в изменении их состава в результате непрерывного растворения на первом этапе базальтов, а позже – и других типов пород, образовании вторичных минеральных продуктов, растворении последних новыми порциями воды, и, как следствие, – в формировании новых вторичных минералов и переходе системы на новый этап взаимодействия. Соответственно, *под эволюцией состава подземной гидросферы* следует понимать *процесс его изменения, протекающий в ходе тесного взаимодействия с горными породами и газами, а позже – и с органическим веществом в течение всего времени взаимодействия на конкретной территории или земной коры в целом применительно к каждому генетическому типу подземных вод.*

Список литературы

1. Посохов, Е. В. Химическая эволюция гидросферы / Е. В. Посохов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1981. – 286 с.

2. Львович, М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее / М. И. Львович. – М. : Мысль, 1974. – 448 с.

3. Пригожин, И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М. : Прогресс, 1986. – 431 с.

4. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология / Е. В. Пиннекер [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1980. – 231 с.

5. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – Изд. 2-е, испр. и доп. – М. : Недра, 1998. – 367 с.

6. Шварцев, С. Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе «вода – горная порода» и ее внутренняя геологическая эволюция / С. Л. Шварцев // Литосфера. – 2008. – № 6. – С. 3–24.

7. Шварцев, С. Л. С чего началась глобальная эволюция? / С. Л. Шварцев // Вестник РАН. – 2010. – № 3. – С. 235–244.

8. Геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода – порода». Т. 2. Система «вода – порода» в условиях зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев [и др.]. – Новосибирск : Изд.-во СО РАН, 2007. – 389 с.

СЕКЦИЯ 1
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ: СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ, РАЗВЕДКИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА КРИОГЕННЫХ РАССОЛОВ ВЫМОРАЖИВАНИЯ

Абрамов В. Ю.
ЗАО «ГИДЭК», г. Москва, abramov@hydec.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены основные положения криогенной метаморфизации химического состава подземных вод, льдов и криогенных минералов при промерзании (оттаивании) геологической среды. На примере Далдыно-Алакитского района Западной Якутии показана криогенная гидрохимическая зональность подземных вод как результат промерзания геологического разреза в четвертичный период и частичной оттайки многолетнемерзлых пород в современную эпоху, что привело к формированию уникальных по химическому составу подмерзлотных хлоридных кальциевых рассолов вымораживания и опресненной зоны льдистых горных пород.

Ключевые слова: *многолетнемерзлые горные породы, рассолы вымораживания, криогенное концентрирование, эвтектика, эвтектическая концентрация солей.*

Abstract. Ground waters, ices, cryogenic salts, freezing and melt waters chemical composition cryogenic metamorphization is an inward change of concentration, composition at ground waters cooling to zero and negative temperatures.

Key words: *permafrost rock formations, freeze-out salt brines, cryogenic concentration, eutectics, eutectic salt content.*

Криогенные процессы проявились практически повсеместно на нашей планете. Известно, что многолетняя мерзлота в тот или иной период развития отдельных регионов проникала в земные недра на глубины до 1–4 км. Промерзание и оттаивание горных пород шло с определенной периодичностью, но вместе с ними и вслед за ними происходило изменение химического состава пород, воды и льда. Результаты этих процессов отражаются в геохимической зональности твердой и жидкой фаз воды и горных пород, гидрогеохимических инверсиях и сохранении следов-реликтов этого криогенного воздействия. Все это представляет фундаментальную основу гидрогеохимии земных недр. В то же время следует отметить, что отсутствует необходимая теоретическая база для понимания многообразия геохимических процессов и их последствий, протекающих в криосферной оболочке Земли. Гидрогеохимические исследования процессов, происходящих при промерзании и оттаивании водоносных толщ проводили многие гидрогеологи (Н. И. Толстихин, 1941, 1963; В. П. Боровицкий, 1961; Н. П. Анисимова, 1981; Я. В. Неизвестнов, 1973; В. М. Пономарев, 1960; Р. С. Кононова, 1973; Г. Д. Гинсбург, 1975; А. Б. Птицын, 1992; А. В. Иванов, 1998; С. Л. Шварцев,1963; В. А. Макаров, 1982; М. С. Голицин, В. А. Кирюхин, В. А. Поляков и др.).

Теория криогенной метаморфизации подземных вод. При криогенных процессах происходят не только фазовые переходы молекул воды подземных вод, но и сложные физико-химические преобразования горных растворов, а также минерального скелета водовмещающих горных пород. Между незамерзшей водой, горной породой и льдом существует сложное динамическое равновесие. При понижении температуры количество незамерзшей воды уменьшается, а концентрация солей в ней возрастает. По мере достижения раствором эвтектических точек (таблица) начинается кристаллизация солей. В многокомпонентных системах, каковыми являются природные воды, эвтектические точки могут несколько смещаться в ту

или иную сторону от эмпирических данных для простых систем, однако последовательность садки солей при этом, как правило, сохраняется. Н. И. Толстихин [1] на основе термического анализа морской воды предложил классификацию криопэгов, где температурной границей служат эвтектики различных солей. Эвтектика – это точка равновесия между льдом, кристаллогидратом и водным раствором вымораживания, отвечающая составу, приведенному в таблице.

Эвтектические концентрации ($C_э$) и температуры ($T_э$) в водно-солевых системах (Справочник химика, 1965, Т. II)

Химический состав воды	Эвтектическая температура $T_э$, ° С	Эвтектическая концентрация $C_э$, г/л г/кг*	Твердая фаза в эвтектической точке
Na_2SO_4	–1,2	42	лед + $Na_2SO_4*10H_2O$
$CuSO_4$	–1,6	234*	лед + $CuSO_4*5H_2O$
$FeSO_4$	–1,824	263*	лед + $FeSO_4*7H_2O$
Na_2CO_3	–2,1	61	лед + $Na_2CO_3*10H_2O$
$NaHCO_3$	–2,33	66,7	лед + $NaHCO_3$
$CoSO_4$	–2,7	232	лед + $CoSO_4*7H_2O$
$CdBr_2$	–4,4	493	лед + $CdBr_2*4H_2O$
$MgSO_4$	–4,8	229	лед + $MgSO_4*12H_2O$
$NaBO_2$	–5,786	151	лед + $NaBO_2*4H_2O$
$KHCO_3$	–5,43	204	лед + $KHCO_3$
$ZnSO_4$	–6,55		лед + $ZnSO_4*7H_2O$
$AgNO_3$	–7,19	897	лед + $AgNO_3$
Na_2S	–9,0	81	лед + Na_2S*9H_2O
$CdCl_2$	–10,2	751	лед + $CdCl_2*4H_2O$
KCl	–10,6	245	лед + $KCl*H_2O$
KBr	–12,6	456	лед + KBr
$CdSO_4$	–16,8	754	лед + $CdSO_4*8/3H_2O$
$SrCl_2$	–19	366	лед + $SrCl_2*6H_2O$
NaCl	–21,2	304	лед + $NaCl*2H_2O$
$CoCl_2$	–22,5	316	лед + $CoCl_2*6H_2O$
NaBr	–28,2	675	лед + $NaBr*5H_2O$
$MgCl_2$	–33,5	266	лед + $MgCl_2*12H_2O$
$MgBr_2$	–42,7	582	лед+$MgBr_2*10H_2O$
$CaCl_2$	–49,8	439	лед + $CaCl_2*6H_2O$
LiCl	–67	316	лед + $LiCl*5H_2O$
LiBr	–72	642	лед + $LiBr*5H_2O$
$CaBr_2$	–83	869	лед + $CaBr_2*6H_2O$

Последовательность изменения анионного состава подземных вод при промерзании в большинстве случаев можно выразить следующей схемой: $HCO_3 \rightarrow SO_4 \rightarrow Cl^-$, в зависимости от исходного химического состава подземных вод. На отклонение температуры эвтектических точек в простых системах оказывают влияние соли с более низкими эвтектиками, что сказывается, в первую очередь, на понижении температуры замерзания раствора.

По мере понижения температуры воды (см. таблицу) образуется деминерализованный лед и рассол вымораживания. Твердая вода (кристаллы льда) не содержит в кристаллической решетке солей, а с газами (H_2S, CH_4 и др.) она образует соединения клатраты (газовые гидраты), находящиеся внутри кристаллической решетки минералов воды [4].

Рассолы вымораживания обогащаются солями с низкими эвтектиками и, в первую очередь, бромидными и хлоридными солями, а соответствующие им катионы занимают ряд K → Na → Mg → Ca → Li. Из сказанного следует, что морская вода полностью не замерзает практически никогда, так как эвтектики таких солей, как LiCl и CaBr – (–67 и –83° С), соответственно, а при понижении температуры рапы ниже эвтектики $CaCl_2$ (–55° С – см. таблицу) возможно образование бромидных рассолов.

При повышении температуры многолетнемерзлых горных пород растворение солей происходит в порядке, обратном их кристаллизации.

При промерзании гидрогеологических структур их исходная гидрохимическая зональность изменяется. В верхней части гидрогеологического разреза (300 – 400 м) формируется зона пресных льдов, обогащенных низкомагнезиальным кальцитом, гипсом, мирабилитом, содой, другими сульфатными солями и криогалитом, при этом соли по разрезу распределяются, как в хроматографической колонке – сверху вниз: гидрокарбонаты-сульфаты-хлориды-бромиды. Ниже зоны льдистых горных пород формируется зона криопэгов. Их минерализация и химический состав зависят от температуры на фронте промерзания, откуда наблюдается гравитационный отток крепких рассолов. Эти рассолы охлаждают нижележащие водоносные горизонты гидрогеологических структур на глубину более 1,0 – 1,5 км. Процессы гравитационного оттока крепких рассолов до 400 г/л объясняют, например, глубокое охлаждение земной коры в Далдыно-Алакитском районе Якутии [3].

При оттаивании многолетней мерзлоты гидрохимическая зональность продолжает регулироваться гравитационным фактором – с глубиной растет плотность и минерализация подземных вод. Многократное промерзание и оттаивание геологических структур приводит к более полному оттоку рассолов вымораживания из льдистой зоны в зону криопэгов, тем самым уменьшая ее засоленность. При промерзании водонасыщенных горных пород первичная гидрохимическая зональность подземных вод изменяется. Происходит криогенная метаморфизация химического состава подземных вод, выраженная в последовательной смене гидрохимических типов вод вниз по разрезу, которые распределяются по эвтектикам индивидуальных солей (см. таблицу).

При оттаивании многолетней мерзлоты гидрохимическая зональность продолжает регулироваться гравитационным фактором – с глубиной растет плотность и минерализация подземных вод. В верхней части до глубины 300 м, за счет оттайки льдистых горных пород, образуется зона пресных подземных вод, далее – зона солоноватых сульфатных и завершает гидрогеохимический разрез зона соленых хлоридных вод и рассолов вымораживания.

Формирование криогенной гидрогеохимической зональности Далдыно-Алакитского района (ДАР). Криогидрогеологические условия района кимберлитовой трубки «Удачная» описаны в работе [4]. Промерзание с конца плейстоцена геологического разреза района привело к формированию химической зональности природных льдов, вторичных минералов и подземных вод.

Образование криолитозоны происходило в условиях аномально низких температур воздуха. Глубокому охлаждению недр в ДАР способствовал: а) низкий геотермический градиент; б) скальный и полускальный тип пород с высокой температуропроводностью (особенно у кимберлитов); в) наличие минерализованных вод; г) криогенные напоры, возникающие на границе «лёд – рассол вымораживания». Таким образом, глубокому промерзанию разреза, кроме механизма кондуктивного теплопереноса, способствовал конвективный тепломассоперенос хладоагента – тяжелых (ρ –1,4 кг/дм^3) высококонцентрированных хлоридных кальциевых рассолов с низкой эвтектикой (–55° С). Сейчас, учитывая деградацию ММП, в районе нулевая изотерма проходит на глубине 1,5 км, а по Мархинской опорной скважине – 1,7 км [3].

При промерзании земной коры в четвертичный период сформировалась зона льдистых пород, подошва которых доходила до кровли среднекембрийского водоносного комплекса, а температура на границе «лёд – рассол вымораживания» опускалась до минус 40° С, что

соответствует максимальной минерализации рассолов, встречаемых в горизонте – 400 г/л, согласно кривой ликвидуса. Рассолы имеют хлоридный кальциевый состав с высокими концентрациями брома (до 6 г/л), лития (до 300 мг/л), т.е. они обогащены солями с низкими эвтектиками, такими как $CaCl_2$, $CaBr_2$, LiBr и другими и, наоборот, обеднены солями с более высокими эвтектиками, которые отложились в льдистой зоне в виде криоэвтектик – вторичных криогенных минералов. В процессе увеличения температур они выстроились в ряд $MgCl_2$–NaCl–$MgS0_4$–NaHC03–Na_2S0_4–$CaS0_4$–$CaC0_3$. Этот ряд показывает, что в процессе промерзания водонасыщенных пород, по мере уменьшения температуры, происходило избирательное вовлечение солей в ледовую фазу. Рассолы вымораживания, имеющие высокую плотность, опускаются на водоупоры, вытесняя к фронту промерзания менее минерализованные и более лёгкие воды, которые, в свою очередь, вымораживаются, тяжелеют и опускаются вниз. По такой схеме совершается криогенный круговорот воды, льда и солей. Как уже было отмечено выше, процесс промерзания водонасыщенных пород сопровождается образованием криогенных напоров при фазовых переходах воды в лёд. Наибольшие криогенные напоры возникают на границе льдистых пород и водоносного горизонта. В слоистых водоносных комплексах при их промерзании, за счет разницы напоров в выше- и нижележащих горизонтах, возможно гидрорасчленение (гидроразрыв) водоупоров, и рассолы вымораживания могут мигрировать в более глубокие водоносные горизонты. В описываемом районе под криогенным водоупором в ряде случаев встречаются линзы нефти, иногда наблюдается её самоизлив, что объясняется криогенным разрушением нефтеловушек.

Таким образом, промерзание в четвертичный период геологического разреза ДАР привело к криогенной метаморфизации соленых и солоноватых подземных вод до стадии образования хлоридных кальциевых рассолов вымораживания, опреснило до глубины 300 м гидрогеологический разрез района, вследствие образования обессоленного льда и гравитационного оттока вниз рассолов вымораживания.

При деградации криолитозоны на фронте «льдистые породы – криопэги» последние становятся агрессивными по отношению ко льду, плавят его, тем самым разбавляют рассолы пресной водой. В итоге получается плавное уменьшение минерализации криопэгов вверх по разрезу при сохранении химического типа воды. Когда фронт оттаивания достигает зоны криоэвтектик, они плавятся, при этом растворы кристаллогидратов, близкие к насыщенным, быстро стекают, дифференцируются и опресняют лед. Результатом плавления эвтектик при смешении их с криопэгами является резкая смена химического типа воды. Так, в пределах верхнекембрийского водоносного горизонта наблюдается смена хлоридных кальциевых рассолов на магниевые, что объясняется плавлением эвтектики хлористого магния. На границе с криогенным водоупором происходит заметное увеличение доли натрия в катионном составе криопэгов, что объясняется плавлением эвтектик криогалита и мирабилита, так как в анионном составе соленых вод возрастает концентрация сульфатов. При этом минерализация криопэгов отвечает равновесной концентрации для температуры льдистых пород на фронте их контакта и составляет 35 – 40 г/л при температуре минус 2° С. В пределах зоны льдистых горных пород наблюдается криогидрохимическая зональность льдов, поровых растворов и вторичных минералов.

В верхней части разреза находятся пресные и солоноватые льды с минерализацией до 3 г/л. Минерализация льдов увеличивается с глубиной, в пределах 300-метровой зоны криогенно опресненных льдистых горных пород, от 0,3 до 3 г/л, состав их изменяется от гидрокарбонатного кальциевого до сульфатного натриевого. При этом наблюдается следующая зональность вторичного минералообразования (сверху вниз): зона вторичного низкомагнезиального кальцита →гипса-целестина → мирабилита → криогалита. Почти все бромидные и хлоридные соли из льдистой зоны в результате её промерзания были вытеснены в зону криопэгов. Таким образом, была сформирована криогенная гидрогеохимическая зональность подземных вод ДАР.

Пример промерзания сульфатных подземных вод приведен в работе [5], в которой описаны основные закономерности формирования уникальных криогенных сульфатных магниевых подмерзлотных рассолов (до 213 г/л) в бассейне р. Колымы, связанных с криогенной метаморфизацией сульфатных подземных вод как продукта окисления сульфидных рудных минералов водовмещающих горных пород.

Выводы.

1) Изменение химического состава подземных вод при отрицательных температурах (Т – менее 0° С) происходит в соответствии с эвтектическими точками индивидуальных кристаллогидратов солей.

2) При промерзании гидрогеологических структур их первичная гидрогеохимическая зональность изменяется на криогенную. В верхней части гидрогеологического разреза (200 – 400 м и более) формируется зона пресных льдов, обогащённых вторичным кальцитом, гипсом, содой, другими сульфатными солями, редко криогалитом, при этом соли по разрезу распределяются, как в хроматографической колонке, сверху вниз, в соответствии с их эвтектиками.

3) Ниже зоны льдистых горных пород формируются криопэги. Их минерализация и химический состав зависят от температуры на границе с зоной льдистых горных пород или фронте промерзания по зависимости: для минерализации криопэгов – кривая ликвидуса преобладающей соли, для химического состава криопэгов – таблица эвтектических концентраций (см. таблицу).

4) Отток крепких рассолов от фронта промерзания контролируется гравитационным фактором, а также избыточным криогенным напором, возникающим при образовании льда, объём которого на 9% больше объёма исходной воды. В результате наведения криогенной трещиноватости и возникновения криогенных напоров, вызывающих гидроразрыв водоупоров, последние теряют свои водоупорные свойства, и разрез становится проницаемым на всю глубину.

5) При деградации многолетней мерзлоты формируется зона пресных вод. Гидрогеохимическая зональность подземных вод образуется за счёт плавления криоэвтектик индивидуальных солей в соответствии с таблицей и регулируется гравитационным фактором.

6) Криогидратные точки (эвтектики) необходимо использовать как палеотермометры гидрохимических условий промерзания гидрогеологических структур при палеогидрогеологических реконструкциях.

Список литературы

1. Толстихин, Н. И. Классификация подземных вод / Н. И. Толстихин // Зап. ЛГИ. – 1971. – Т. 62, вып. 2. – С. 3–16.

2. Иванов, А. В. Криогенная метаморфизация химического состава природных льдов, замерзающих и талых вод. Гидрохимические процессы при наледеобразовании / А. В. Иванов. – Владивосток : ДВО АН СССР, 1998. – 163 с.

3. Мельников, П. И. Влияние подземных вод на глубокое охлаждение подземных вод верхней зоны земной коры / П. И. Мельников // Материалы комиссии по изучению подземных вод Сибири и Дальнего Востока. Вып. 111. СО АН СССР. – М. : Наука, 1967.

4. Абрамов, В. Ю. Криогидрогеологические условия кимберлитовой трубки Удачная и их изменения в связи с разработкой месторождения / В. Ю. Абрамов, В. А. Кирюхин, Л. И. Сердюков // VII Толстихинские чтения : материалы конф. – СПб., 1998. – С. 43–48.

5. Абрамов, В. Ю. Криогидрогеохимические условия золоторудного месторождения Дегдекан / В. Ю. Абрамов, А. Ю. Вавичкин, А. А. Щипанский [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 10. – С. 52–56.

ГИДРОДИНАМИКА ТАЛИКОВ И ИНЪЕКЦИОННОЕ ЛЬДООБРАЗОВАНИЕ

Бойцов А. В.
Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень

Аннотация. На основе многолетних мерзлотно-гидрогеологических исследований показано формирование бугров пучения в открытой системе при небольших внутрипластовых давлениях. Доказано, что многолетнее промерзание над- и межмерзлотных таликов может привести к формированию пластовых льдов на максимальной глубине, равной превышению области питания над зоной разгрузки. Оценена роль температурного фактора в разгрузке водоносного горизонта.
Ключевые слова: *инъекционные льды, бугор пучения, пьезометрический уровень, талик.*

Abstract. On the base of long-term geocryological-hydrogeological observations, frost mound formation during the freezing of slope talik was shown. It is proved that injecting ice formation was occurred at low reservoir pressures in the open supply system. It is assumed that long-term freezing of supra- and interpermafrost taliks can lead to the formation of massive ice at maximum depth equal to the excess of supply area over the unloading zone. The role of the temperature factor in unloading of an aquifer horizon was assessed.
Key words: *injection ice, frost mound, piezometric surface, talik.*

В работе приводится фактический материал мерзлотно-гидрогеологических исследований на территории Чабыдинского полигона (Центральная Якутия), который может быть использован в теории инъекционного образования подземных льдов, включая пластовые [1–4]. На территории полигона существует надмерзлотный талик радиационно-теплового типа, грунтово-фильтрационного класса. В 1981 г. его площадь равнялась 58 тыс. м^2, длина – 500 м, средняя ширина – 1,2 м, средняя мощность водоносного слоя в весенний водно-критический период равнялась 1,2, максимальная – 4 м. Талик сложен однородными песками с преобладающим размером фракций около 0,25 мм. Статические запасы подземных вод талика в конце зимы оценивались в 15 тыс. м^3, а осенью возрастали до 30 – 35 тыс. м^3. Средняя величина разгрузки подземных вод – 16 – 30 м^3/сут; годовая – 5,8 тыс. м^3. В начале XXI столетия наблюдается прогрессирующее промерзание талика, вызванное восстановлением растительности, уничтоженной пожаром в начале 60-х годов прошлого века [5].

Разгрузка таликовых вод в теплый период года осуществляется в грунты слоя сезонного оттаивания приозерной мари, шириной 50 – 100 м, и через них – в озеро (рис. 1). К середине зимы сезонноталый слой (СТС) маревого участка полностью промерзает. С сезонным промерзанием водоносных отложений связан напорный режим талика. Пьезометрический уровень подземных вод достигает максимальных отметок в марте, реже в апреле (рис. 2). В первой половине зимы существует сток надмерзлотных вод СТС с повышенных участков пологого склона, но, поскольку при промерзании СТС возникает подпор потоку воды, в верхних по склону скважинах отмечается подъем уровня (рис. 2, скв. 51). Когда приток вод СТС ослабевает, формирование уровенного режима таликовых вод происходит под влиянием промерзания водоносного горизонта – *криогенной водоотдачи* [6]. На наш взгляд, этот процесс правильнее назвать *криогенно-элизионным*. «Дополнительное» поступление воды в талик составляет в среднем 0,15 мм/сут [4]. За счет сезонного промерзания водонасыщенных песков талика высота пьезометрического напора над кровлей водоносного горизонта достигает 3-4 м (скв. 15), а в местах его выклинивания на пониженных участках рельефа – до 5-6 м, т.е. на 3,0 – 3,5 м выше поверхности земли.

Наличие высокого гидростатического напора в зоне разгрузки ведет к деформации кровли и формированию бугров пучения. Время их появления – март, иногда начало апреля. Количество бугров пучения достигало 5-6. Высота их составляла 1,0 – 1,5, редко 2 м при ширине основания, равной 15 – 20 м. Важно, что, во-первых, в течение зимы не наблюдалось

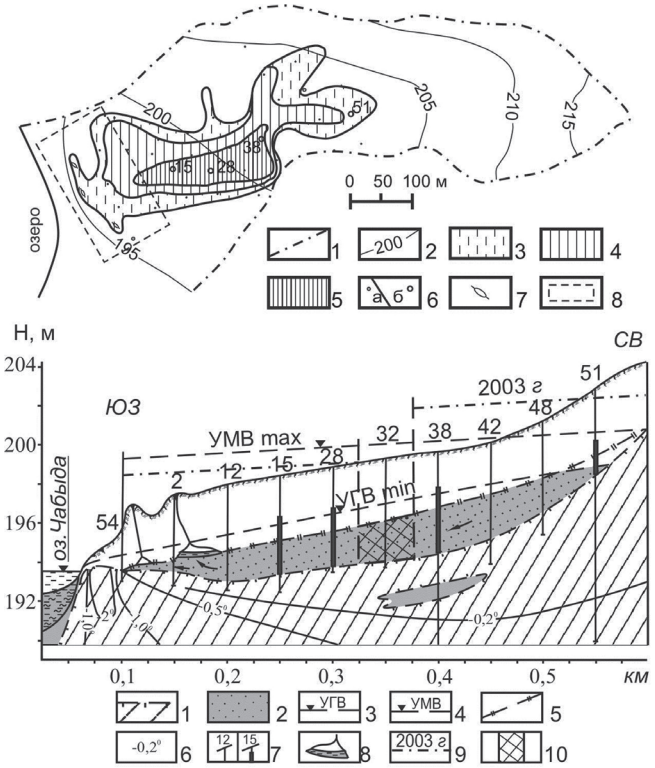


Рис. 1. План (вверху) и мерзлотно-гидрогеологический разрез (внизу) Чабыдинского талика в весенний водно-критический период.

Вверху: 1 – граница водосбора; 2 – горизонтали рельефа; 3 – мощность водоносного слоя до 1,0 м; 4 – то же, 1,0 – 2,0 м; 5 – то же, более 2,0 м; 6 – зондировочная (а) и наблюдательная (б) скважины; 7 – сезонные бугры пучения; 8 – участок разгрузки подземных вод. Внизу: 1 – многолетнемерзлые породы; 2 – талые водонасыщенные пески; 3 – уровень безнапорных грунтовых вод; 4 – максимальный уровень межмерзлотных вод; 5 – подошва слоя сезонного промерзания грунтов; 6 – изолинии температуры грунтов; 7 – зондировочная (а) и гидрогеологическая (б) скважины и их номера; 8 – бугры пучения с инъекционными льдами; 9 – пьезометрический уровень подземных вод в 2003 г.; 10 – место перемерзания талика на границе веков

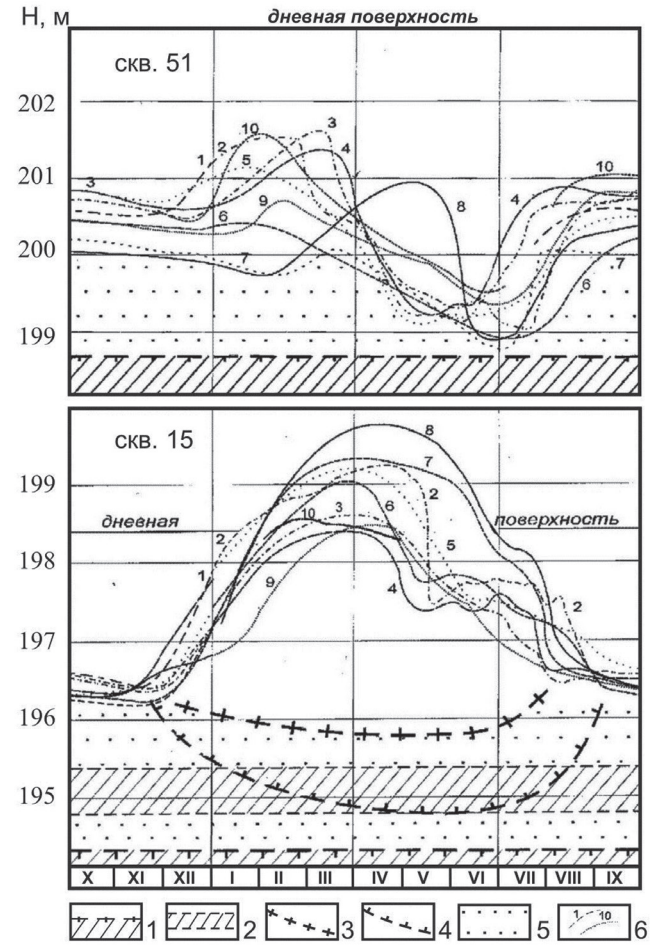


Рис. 2. Уровенный режим надмерзлотных вод Чабыдинского талика за 1981 – 1990 гг. (Резкие весенние падения уровня в отдельные годы обусловлены искусственными факторами – откачки, самоизлив из скважин и пр.).

1 – многолетнемерзлые породы; 2 – перелетки мерзлых пород; 3 – средняя глубина сезонного промерзания; 4 – максимальная глубина сезонного промерзания; 5 – водоносные пески; 6 – уровни надмерзлотных вод с 1981 (1) по 1990 (10) гг.

приращения их размеров, а, во-вторых, ни разу (!) не было зимнего излива воды из трещины. В отдельные годы с мягкими зимами – 1983/1984 и 1989/1990 гг. – видимых бугров пучения не было, но почти вся поверхность рельефа на участке разгрузки водоносного талика оказывалась приподнятой на высоту до 0,7 м. Гидростатический напор в талике достигал 5-6 м вод. ст. Величина его была сопоставима с давлением от веса сезонномерзлого слоя (СМС) грунтов, превышая последнее всего на 20 – 30%.

В 1990 г. в долине ручья, вытекающего из озера, за счет поверхностных вод появился инъекционный бугор пучения. Бугор представлял в плане овал с максимальными размерами 30 х 10 м и высотой около 2,0 м. Склоны и его основание были покрыты льдом толщиной до 1,0 м. Вода, образовавшая наледь, изливалась из продольной трещины длиной до 20 и шириной раскрытия до 0,3 м. Перепад высот между уровнем озера и днищем долины ручья не превышал 5 – 7 м, т.е. в пределах максимальных значений зимних уровней в талике. О связи бугра с озером свидетельствует обнаруженная внутри него в большом количестве озерная фауна (жук-плавунец), погибшая при разрыве бугра. Образование инъекционного бугра с излившейся водой указывает на высокую пропускную способность водоподводящего тракта и значительные ресурсы воды.

Бугор пучения появился в теплую зиму, когда промерзание грунтов было минимальным. Предшествующий летний сезон был влажным [7], и запасы воды в озере оказались максимальными. Вытекающий из озера ручей небольшой, его расход не выходит за пределы 20 л/с. В течение зимы ручей и подрусловые отложения, как правило, полностью промерзают, но в рассматриваемый период этого не произошло.

Приведенные данные свидетельствуют об инъекционном льдообразовании при небольших пластовых давлениях.

В талике периодически возникают перелетки мерзлых пород (1985 – 1989 гг.). При их наличии сезонное промерзание грунтов происходит интенсивнее и на б*о*льшую глубину, а пьезометрические уровни таликовых вод устанавливаются на максимальных отметках, что приводит к увеличению мощности подземных льдов. Согласно результатам мониторинга на отдельных участках пучение продолжалось несколько лет, и суммарная величина пучения достигала 0,90 м (репер 6, 5). Диаметр участка определен визуально в 15 – 20 м. Можно утверждать, что на участке инъекционного пучения грунтов начал формироваться пласт льда, мощность которого за 4 года превысила 0,5 м [7].

Термический коэффициент линейного расширения мерзлых песков составляет $\approx 20 \times 10^{-6}$ 1/° С [8]. В наших условиях при ширине участка 50 м и повышении температуры на 10° С удлинение составит 10 мм. Результирующая сила при температурном расширении мерзлого грунта направлена вверх и совпадает с направлением действия гидростатического напора. Для расчета высоты подъема при релаксации температурных напряжений воспользуемся формулой Гюйгенса ($L_d = 2l + (2l – L)/3$, где l – гипотенуза прямоугольного треугольника с катетами h_{max} и L/2). Максимальная высота сегмента (подъема) при известных значениях дуги и хорды составит 0,43 м. Даже если эта величина значительно ниже, то и в этом случае образуется дополнительный объем в основании приподнимающегося слоя.

Дополнительное количество слоя воды, появляющееся в результате криогенно-элизионного процесса ($m_{кр}$), в среднем за 10 лет наблюдений составило 21 мм (0,15 мм/сут). Избыточный (криогенный) объем воды:

$V_{кр} = m_{кр} \times S_{талик} = 1100 – 1200$ м^3, где $S_{талик}$ – площадь талика.

При средней высоте «температурного» бугра 0,2 – 0,3 м (из расчета $h_{max} = 0,43$ м), площадь участка пучения составит: $S_{бугор} = V_{кр} / h_{ср} \approx 5000$ м^2, или примерно 100х50 м^2, что соответствует площади участка разгрузки. Следовательно, весь «лишний» объем воды, появившийся при площадном промерзании водоносного горизонта, переместился вниз, к участкам разгрузки, и был законсервирован в буграх и зонах пучения.

Давление в открытой системе контролируется положением уровня воды на границе питания (артезианский тип). Но при аградации мерзлоты движение воды может повернуть

вспять, в сторону участков питания – водоразделов, гидростатическое давление может возрастать до величин геостатического. В этом случае уровень инъекционного льдообразования может понижаться.

Условия открытой системы сохраняются, если над- или межмерзлотные воды связаны с гидрогенными (подозерными) таликами. Превышение уровня озера над участками разгрузки определяет максимальную глубину залегания инъекционных льдов, примерно равную разности отметок между уровнем озера и поверхностью рельефа (при плотности мерзлых пород до 2000 кг/м^3). Максимальная глубина залегания подошвы ледяной залежи может возрастать за счет внутренних запасов водоносного горизонта при прогрессирующем промерзании (закрытая система). Следует отметить еще одно обстоятельство: давление озерных вод через гидрогенный талик передается на охлажденные до отрицательной температуры соленые воды – криопэги. Если возникают условия для разгрузки подземных вод, то пресные подземные воды гидрогенного талика, участвуя в общем движении, могут подняться через охлажденные породы до контакта с мерзлыми. Объяснить этот факт можно высокими запасами тепла в фильтрующейся воде гидрогенного талика, малыми запасами холода в криопэгах и временным фактором.

Массовое развитие над- и межмерзлотных таликов наблюдалось в периоды потепления. Даже в наше время надмерзлотные талики тукуланов Якутии фиксируются вблизи полярного круга. Поэтому роль подобных таликов в формировании подземных льдов должна быть значительной, учитывая практически неограниченные водные ресурсы.

Выводы.

1. Гидродинамический режим надмерзлотных таликов способствует появлению инъекционных бугров пучения, их формирование начинается при небольших гидростатических давлениях – 3 – 5 м вод. ст.

2. Наряду с локальными буграми, в отдельные годы наблюдается площадное (инъекционное) пучение, обнаруживаемое инструментально.

3. Одним из факторов, способствующих пучению грунтов, является термическое расширение СМС при потеплении в конце зимнего периода. На «термических» буграх пучения отсутствуют трещины разрыва, т.е. сплошность СМС не нарушается.

4. Водовместимость бугров соответствует криогенно-элизионному питанию талика.

5. Многолетнее промерзание водоносного склонового талика в открытой системе может приводить к формированию инъекционных пластовых льдов на пониженных участках.

Список литературы

1. Бойцов, А. В. Условия формирования и режим склоновых таликов в Центральной Якутии / А. В. Бойцов // Криогидрогеологические исследования. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1985. – С. 44–55.

2. Бойцов, А. В. Водный режим песчаных грунтов слоя сезонного протаивания в Центральной Якутии / А. В. Бойцов, Т. Н. Лебедева // Мерзлотно-гидрогеологические исследования зоны свободного водообмена. – М. : Наука, 1989. – С. 27–38.

3. Скрябин, П. Н. Межгодовая изменчивость теплового режима грунтов района Якутска / П. Н. Скрябин [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1998. – 144 с.

4. Мониторинг подземных вод криолитозоны / В. В. Шепелёв [и др.]. – Якутск : Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. – 172 с.

5. Бойцов, А. В. Устойчивость к промерзанию надмерзлотных таликов Центральной Якутии / А. В. Бойцов // Криосфера нефтегазоносных провинций : мат-лы Междунар. конф. – Тюмень, 2004. – С. 30.

6. Шепелев, В. В. О режиме, балансе и особенностях питания межмерзлотных вод песчаных массивов Центральной Якутии / В. В. Шепелев // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. – Якутск, 1978. – С. 145–162.

7. Бойцов, А. В. Формирование инъекционных пластовых льдов в современных условиях / А. В. Бойцов // Криогенные ресурсы полярных и горных регионов : мат-лы междунар. конф. – Тюмень, 2008. – С. 372–375.

8. Романовский, Н. Н. Основы криогенеза литосферы. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1993. – 335 с.

ПОДЗЕМНЫЕ ЛЬДЫ ЛЕСОТУНДРОВЫХ ЛАНДШАФТОВ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ Р. ИНДИГИРКИ (РЕСПУБЛИКА САХА (ЯКУТИЯ)): СОСТАВ И УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ

Брагин И. В.[1], Челноков Г. А.[1], Харитонова Н. А.[1], Сугимото А.[2]
[1]Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, bragin_ivan@mail.ru;
[2]Division of environmental earth sciences, Hokkaido University, Sapporo, JAPAN, atsukos@hokudai.ac.jp

Аннотация. Исследования верхнего горизонта подземных льдов тундровых и таёжных ландшафтов арктического региона указали на значительные запасы парниковых газов (от 0,04 до 2,23 г метана на 1 м^3 льда), захороненных в них. Условия формирования подземных льдов, определённые с помощью изотопных соотношений кислорода, водорода и углерода, указывают на возможные механизмы поступления метана в атмосферу при оттаивании вечной мерзлоты. Установлено, что запасы парниковых газов зависят от гидрологических условий залегания подземных льдов, а посчитанные их запасы для различных видов ландшафтов арктического региона можно использовать для прогностических моделей глобального изменения климата Земли.

Ключевые слова: *подземные льды, стабильные изотопы.*

Abstract. Studies of the upper horizon of underground ice of tundra and taiga landscapes of the Arctic region pointed to significant reserves of greenhouse gases (0.04 to 2.23 g of methane per 1m^3 of ice), buried in them. Conditions for the formation of ground ice, defined using the isotopic ratios of oxygen, hydrogen and carbon, point to possible mechanisms of methane introduction into the atmosphere during thawing permafrost. It was found that stocks of greenhouse gases depend on the hydrological conditions of occurrence of underground ice, and it's stocks for different types of landscapes of the Arctic region can be used for predictive models of global climate change of the Earth.

Key words: *underground ice, stable isotopes.*

Введение. Изменения климата, происходящие в Арктике, уже стали заметны невооруженным глазом. Отступают морские льды, растут температуры поверхности Земли и океана, истощаются льды в Гренландии, тает вечная мерзлота. Общеизвестно, что именно Арктика является ярчайшим показателем изменения климата Земли. Согласно IPCC, за последние сто лет среднегодовая температура воздуха увеличилась на 0,74 градуса, в то время как в Арктическом регионе за указанный период она увеличилась более чем на 1,3 градуса. Эта закономерность до сих пор до конца не изучена. Известно, что повышение температуры воздуха в Арктическом регионе уменьшает площадь ледников и морских льдов, понижая альбедо поверхности, что, в свою очередь, ведёт к дальнейшему увеличению температуры воздуха [1]. Это взаимодействие «лёд – альбедо» вносит важнейший вклад в ускорение потепления в Арктическом регионе. Помимо изменения альбедо, таяния морских льдов и ускоряющегося прогрева океана, остаётся множество вопросов, на которые предстоит ответить учёным в ближайшее время: вклад в эти процессы солнечной активности, истощения озонового слоя, аэрозолей, облаков, парниковых газов и наземных процессов в арктической биогеосфере [2]. Этим объясняется необходимость изучения многолетнемёрзлых пород, в целом, и подземных льдов в частности, широко распространенных в Северном полушарии в широтах севернее 55 градусов на территории России (Сибирь), США (Аляска), Канады, Гренландии, Норвегии и других стран. Льдистые отложения содержат большое количество захороненного органического вещества, метана и углекислого газа. В результате таяния вечной мерзлоты эти компоненты переходят в физически свободную форму и вступают во взаимодействие с атмосферой [3, 4]. По данным многих исследователей, метан оказывает в 23 раза более сильный парниковый эффект, чем углекислый газ [1, 2, 5]. Органическое вещество, в зависимости от условий среды, может быть восстановлено до метана либо окислено до углекислого газа [6]. Вопросы влияния парниковых газов на изменения климата Земли пока остаются открытыми. Изучение состава

и условий формирования подземных льдов позволит узнать о запасах парниковых газов, особенностях их залегания в подземных льдах и о возможной угрозе их высвобождения.

Объект и методы исследований. Исследования проводились на территории Республики Саха (Якутия), вблизи пос. Чокурдах, в нижнем течении р. Индигирки (N70˚33’47”, E148˚16’25”) (рис. 1).

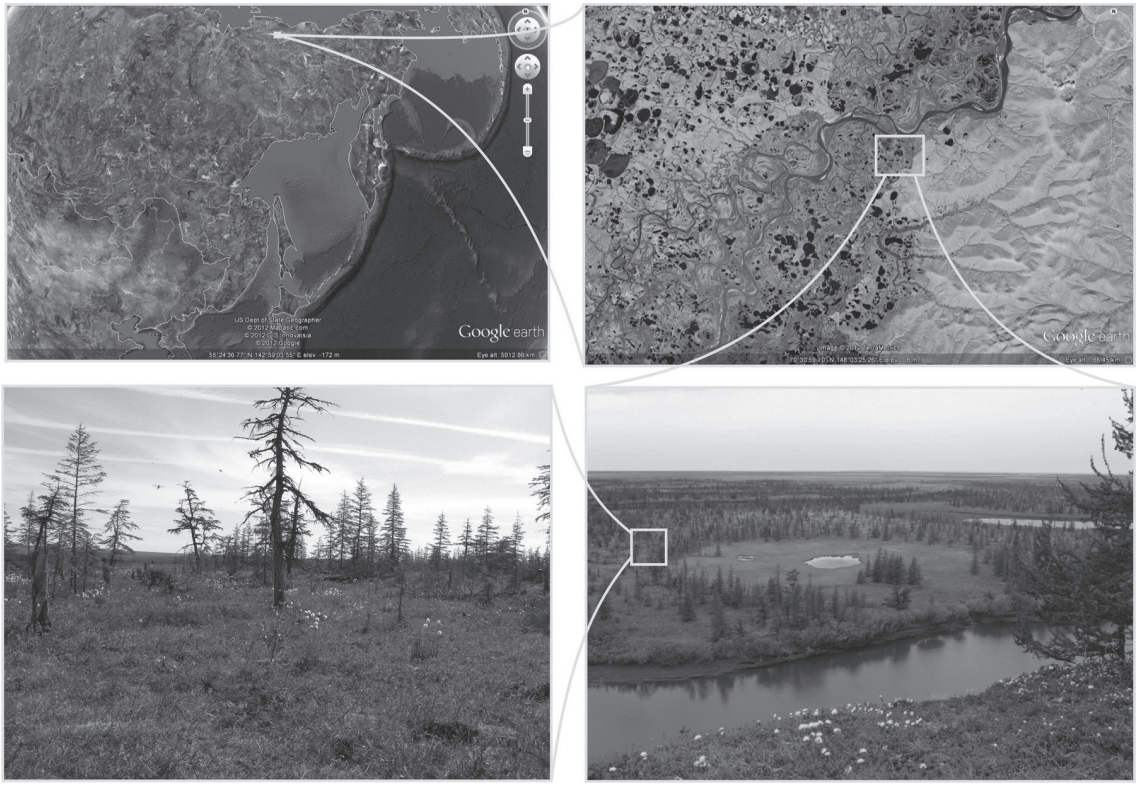


Рис. 1. Объект исследований

Тип ландшафта (лесотундровый) был выбран не случайно, поскольку он является переходным от тайги к тундре. При уменьшении влажности развивается больше таёжная растительность (лиственница), при её увеличении повышается площадь термокарстовых озёр и тем самым таежный ландшафт меняется на тундровый. Были отобраны пробы, относящиеся к двум видам микроландшафта: обводнённые низменности с растительностью в виде болотных трав и небольшие возвышенности, на которых растут лиственницы (пробы 12К4 и 12К2 соответственно). Тип растительности отражает их условия произрастания: здоровые деревья могут расти лишь в не переувлажнённых грунтах. Здесь и проходит граница между «влажной» тундровой растительностью и «сухой» таёжной.

Отбор проб подземных льдов производился при помощи колонкового бурения до глубины 4,5 м диаметром 10 см. Образцы льдонасыщенных пород в вакуумных пластиковых пакетах помещались в морозильную камеру. Измерялись их физические параметры: плотность и льдистость. Затем пробы размораживались, из полученной массы экстрагировался газ, центрифугировалась вода, и получался сухой грунт. Вода была анализирована на ^{2}H и ^{18}O на ICP масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (погрешность <2‰ и <1‰ соответственно), грунт был исследован на содержание органического вещества: углерода и азота, а также их стабильных изотопов ^{13}C и ^{15}N соответственно на IR масс-спектрометре DeltaV (погрешность <1‰). Газовая фаза анализировалась на газовом хроматографе Trace-GC8A (погрешность <2%), а изотопы метана (^{13}C и ^{2}H) – на ICP масс-спектрометре Finnigan MAT 253 (погрешность <1‰ и <2‰ соответственно).

Обсуждение полученных результатов. На рис. 2 показаны изменения основных параметров в зависимости от глубины отобранных образцов керна, соответственно слева направо: схематическое графическое отображение профиля керна, содержание метана в (нмоль/см^3), $\delta^{13}C$ и δD в метане (‰), плотность (г/см^3), содержание льда (об.%), $\delta^{18}O$ и d-excess в экстрагированной пробе воды (‰).

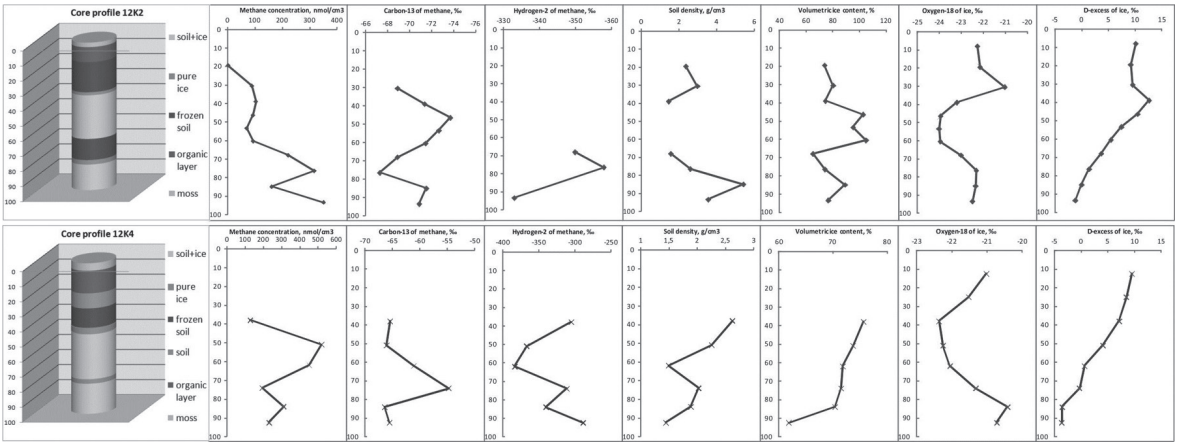


Рис. 2. Диаграммы распределения основных параметров подземных льдов по глубине

Из полученных данных видно, что, в зависимости от типа микроландшафта, профили отобранных кернов разнятся. Для влажной местности характерны более мощные слои мхов и органического слоя, а также линз льда, в то время как для сухой местности – меньшее чередование слоёв замёрзшего грунта и органического вещества, т.е. указанные слои более мощные и однородные. По этой причине и другие профили выглядят различно. Из-за большей глубины оттаивания (30 – 40 см для сухой местности и 40 – 50 см для влажной) в пробе 12К2 наблюдается большее содержание льда (от 70 до 100 об.%), в то время как в пробе 12К4 оно варьирует от 62 до 75 об.%. Однако по данным d-excess видно, что по всей глубине оттаивания в сухой местности идёт активный обмен замёрзшей воды с поверхностными талыми водами (значение d-excess варьирует в пределах +10‰). Для влажной же местности значение d-excess сразу падает с глубиной. Это вызвано отсутствием смешения талых вод с водами подземных льдов, и со временем последние изотопно фракционируют, утяжеляясь до –4‰ по d-excess. Стоит отметить, что кислород не так заметно фракционирует и значения $\delta^{18}O$ для 12К2 варьируют от –21 до –24‰, в то время как для 12К4 – от –20,5 до –22,3‰. Это вызвано разделением «талого» слоя от слоя подземных льдов. Скорее всего, существующий глиняный замок между этими слоями препятствует межфазному фракционированию $\delta^{18}O$. Отличие во фракционировании $\delta^{18}O$ и δD для подземных льдов вызвано микробным образованием метана, для которого необходима вода. Если посмотреть на изменение концентрации метана по глубине, то видно, как коррелируют эти три параметра (чем больше вырабатывается метана, тем меньше d-excess у воды и тем выше значение $\delta^{18}O$). Однако на процесс накопления метана также оказывают влияние свойства проницаемости грунтов, ограничивающие дегазацию подземных льдов. Если сопоставить данные по профилю керна с концентрацией метана, можно отметить области, способствующие накоплению метана, а также линз льда.

Данные по δD и $\delta^{13}C$ указывают на микробное происхождение метана. Значения $\delta^{13}C$ также не постоянны по глубине (около –27‰ на поверхности и около –25‰ на глубине от 60 – 70 см). Это вызвано тем, что часть органического вещества уже вступила в реакцию окисления/восстановления, вызвав тем самым фракционирование стабильных изотопов $\delta^{13}C$. Чем больше отклонение от стабильного значения для подземных льдов, тем большему изменению подвергся слой органического вещества [7].

Подсчитанные запасы метана варьируют от 0,04 до 2,23 г/м^3, органического вещества – от 12,01 до 19,02 кг/м^2 в случае оттаивания многолетнемёрзлых пород до глубины 1 м. Значения зависят в большинстве случаев от гидрологических условий территории. Микровозвышенности с растущими лиственницами содержат меньшее количество метана, поскольку грунты здесь имеют открытые поры, которые не способствуют накоплению метана в толще. В то время как влажные и заболоченные участки микроландшафта содержат гораздо большие количества метана в околоповерхностных горизонтах, поскольку там наблюдается тот самый «граничный слой», препятствующий свободному дегазированию метана из глубины [7].

Благодарности. Работа была выполнена при поддержке проектов Российского научного фонда 14-17-00415, а также ДВО РАН 15-I-2-097 и 15-II-2-042.

Список литературы

1 Eugster, W. Land-atmosphere energy exchange in Arctic tundra and boreal forest: available data and feedbacks to climate / W. Eugster, W. Rouse, R. A. Pielke [et al.] // Global Change Biology. – 2000. – 6. – Pp. 84–115.

2. Rodionov, A. Organic matter composition and potential trace gas production of permafrost soils in the forest tundra in northern Siberia / A. Rodionov, H. Flessa, O. Kazansky [et al.] // Geoderma. – 2006. – 135. – Pp. 49–62.

3. Краев, Г. Н. Закономерности распространения метана в многолетнемерзлых породах на Северо-Востоке России и прогноз его поступления в атмосферу : автореф. дис. ... канд. географ. наук / Г. Н. Краев. – М., 2010. – 20 с.

4. Ривкина, Е. М. Метан в вечномерзлых отложениях Северо-восточного сектора Арктики / Е. М. Ривкина, Г. Н. Краев, К. В. Кривушин [и др.] // Криосфера Земли. – 2006. – Т. X, № 3. – С. 23–41.

5. Daniel, M. White, Characterizing soil organic matter quality in arctic soil by cover type and depth / Daniel M. White, D. Sarah Garland, Chien-Lu Ping [et al.] // Cold Regions Science and Technology. – 2004. – 38. – Pp. 63–73.

6. Roehm, C. L. Bioavailability of terrestrial organic carbon to lake bacteria: The case of a degrading subarctic permafrost mire complex / C. L. Roehm, R. Giesler, and J. Karlsson // J. Geophys. Res. – 2009. – 114, G03006, doi:10.1029/2008JG000863.

7. Брагин И. В. Метан и органическое вещество в многолетнемёрзлых грунтах лесостепных ландшафтов вблизи пос. Чокурдах (Республика Саха) / И. В. Брагин, А. Сугимото // Науки о Земле. Современное состояние : материалы II Всероссийской молодёжной научно-практической школы-конференции. – Новосибирск, 2014. – С. 146–147.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ ТАТТИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ)

Васильева О. И.[1], Васильев А. А.[2]
[1]СВФУ им. М. К. Аммосова, г. Якутск, belina87@rambler.ru;
[2]ГУГГП РС(Я) «Якутскгеология», г. Якутск, aavasiliev@rambler.ru

Аннотация. В настоящей статье представлены сведения о подземных водах Таттинского района, в связи с проблемой водоснабжения населения качественной водой. Рассмотрена гидрогеологическая изученность территории. Выделены и охарактеризованы водоносные комплексы района.

Ключевые слова: *гидрогеология, водоснабжение, питьевая вода, водоносные комплексы, минерализация.*

Abstract. In this paper are resulted a data about groundwater of the Tattinsky region, because there is a problem of the clean drinking water supply. Examined hydrogeological study of the territory. there are characteristics of main aquifers.

Key words: *Hydrogeology, water supply, drinking water, aquifers, mineralization.*

Основной проблемой заречных районов Центральной Якутии, в том числе Таттинского района, является крайне низкий уровень водоснабжения. До сих пор основным источником питьевой воды является заготовка в зимний период льда. Часто в теплые периоды года используются воды р. Татты и расположенных вблизи населенных пунктов озер, которые редко обеспечены водоохранными зонами. При этом установлено, что поверхностные воды рек и озер не содержат в своем составе многих микрокомпонентов, необходимых для нормального функционирования организма человека, прежде всего фтора, йода, брома. Кроме того, в их составе присутствует в высоких концентрациях ион Ca^{2+}. Известно, что недостаток в питьевой воде фтора приводит к развитию кариеса у людей, а отсутствие йода – к болезням щитовидной железы. При избытке в воде иона кальция развиваются мочекаменные болезни, и в организме человека нарушается водно-солевой баланс [1].

Таким образом, подземные воды давно представляют интерес для водоснабжения Таттинского района. Однако гидрогеологическая изученность территории характеризуется своей неоднородностью. С 60-х годов, в связи с усилением работ по водоснабжению сельского хозяйства, пробурен ряд скважин в Центральной Якутии, выведены на поверхность подмерзлотные воды из мезозойских и кембрийских отложений (Кырбасов, 1965). С 1965 г. начинают проводиться гидрогеологические съемки масштаба 1:500 000 в районе Лено-Вилюйского и Лено-Амгинского междуречий. На все исследованные районы составлены мерзлотно-гидрогеологические, геологические, геоморфологические и инженерно-геологические карты (Зелинская, 1967; Щеглов, 1970, 1973; Жирков, 1975). Охарактеризовано качество подземных вод, условия их распространения и водопроводимость пород (Паршин, 1977; Зелинская, 1967; Анисимова, 1964 и др.). Данные по всем пробуренным скважинам сведены в «Каталог буровых на воду скважин Якутской АССР» (Щеглова, 1968). В 1970 г. выходит в свет XX том «Гидрогеологии СССР» под редакцией И. К. Зайцева, А. И. Ефимова, в котором обобщены все данные по гидрогеологии Якутии. С начала 80-х годов по настоящее время в Центральной Якутии гидрогеологические работы проводятся Центральной геолого-съемочной экспедицией (ныне ГУГГП РС(Я) «Якутскгеология»).

В гидрогеологическом отношении район поисковых работ приурочен к гидрогеологической структуре II порядка – Якутскому артезианскому бассейну, который, в свою очередь, входит в состав Сибирского сложного артезианского бассейна I порядка [2, 3].

Исходя из особенностей геологического строения и геокриологических условий, в пределах территории исследований выделены один таликовый и один подмерзлотный водоносные комплексы.

Таликовый водоносный комплекс. На территории развиты несквозные подозерные и подрусловые талики гидрогенного типа. Существование их связано с отепляющим воздействием воды озера и реки. Питание подозерных таликов под эрозионными озерами осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков с водосборых площадей, формирующих надмерзлотный сток в теплый период года, а под термокарстовыми озерами – таяние подземного льда.

Для характеристики площадного распространения таликов был введен коэффициент таликовости ($К_т$), определяемый как отношение суммарной площади таликов к площади их распространения (таблица) [4].

Изменения коэффициента таликовости на террасах рек Татта, Амга, Танда, Баяга*

Элементы рельефа	Геологический индекс отложений	Площадь контура террасы, км^2	Суммарная площадь таликов в контуре, км^2	Пределы значений коэффициента таликовости, %	Средний коэффициент таликовости, %
Низкие	Q_{IV}	1123,0	25,0	1,0 – 5,0	2,2
Высокие	Q_{III-IV}	1467,0	4,9	0,1 – 0,5	0,3

*Использованы материалы Якутгеолфонда.

Таликовый водоносный комплекс на данной территории был выделен впервые В. Д. Щегловым в 1973 г. при картировании мерзлотно-гидрогеологических условий. Водовмещающие породы комплекса представлены разнозернистыми песками и галечниками нижнеплейстоцен-неогенового возраста. Также таликовая зона была вскрыта скважинами, пробуренными в с. Дэбдиргэ и в с. Арылах в 1963, 1971 и 1993 гг. сотрудниками Центральной геолого-съемочной экспедиции Н. М. Криворотовым, Е. М. Дмитриевым и В. М. Макагоновым. Мощность таликовой зоны составляет, по данным ранее проведенных работ, 11,7 (Дебдирге) – 168 м (Уолба). Воды комплекса вскрыты на глубине 39,8 – 72 м, уровень установился на глубине 1,4 (Дэбдиргэ) – 15 м (Отто-Кюель). Воды напорные с величиной напора – 38,4 – 57 м, по типу фильтрации – поровые, порово-пластовые. При проведении опытных откачек дебиты скважин колебались от 0,04 до 4,7 л/с, понижение – от 1,3 м до 33 м. Удельный дебит – от 0,06 до 0,8 л/с.

По химическому составу воды таликового комплекса хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-хлоридные магниево-натриевые с минерализацией до 2,6 г/л. Не соответствуют нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 по содержанию марганца, брома и значению жесткости (Арылах). Также были вскрыты пресные воды с минерализацией 0,2 – 0,6 г/л в водоносных породах неогенового возраста в подозерных таликах Уолба и Отто-Кюель, в долине р. Татта. Хотя эти воды и обладают хорошими качествами, к сожалению, имеют незначительные ресурсы.

Подмерзлотный водоносный комплекс. Водоносные комплексы, выделяемые по литолого-стратиграфическому принципу и залегающие под многолетнемерзлыми породами, являются подмерзлотными. Питание существующих подмерзлотных вод обеспечивается через сквозные таликовые зоны в условиях отсутствия выдержанных региональных водоупоров, а также гидравлической связью с нижележащими водоносными комплексами, имеющими области питания за пределами мерзлой зоны. На условия водообмена и водообильность подмерзлотных водоносных комплексов влияет литологический состав пород, степень их трещиноватости и тектонической нарушенности [5, 6].

Подмерзлотный водоносный комплекс верхнеюрских терригенных пород в данном районе имеет повсеместное распространение в юго-западной и центральной частях изучаемой территории, выклинивается на юге и является первым от поверхности региональным комплексом. Был вскрыт скважинами, пробуренными в с. Ытык-Кюель, Черкех, Кыйы и Арылах сотрудниками Центральной геолого-съемочной экспедицией В. М. Макагоновым, В. Л. Земляным. Залегает на глубинах 396 – 535 м. Водовмещающие породы представлены серыми кварц-полевошпатовыми разнозернистыми песчаниками, тонкослоистыми алевролитами и конгломератами. Мощность обводненных пород изменяется от 25 до 120 м. По условиям фильтрации подземные воды относятся к трещинно-пластовым. Воды высоконапорные, величина напора изменяется от 251,3 до 338 м, пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах 150,7 – 225 м. Абсолютные отметки пьезометрических уровней подземных вод понижаются в северном направлении от – 1,7 (с. Ытык-Кюель) до – 24,4 (с. Баяга).

Дебиты скважин в с. Ытык-Кюель в процессе откачек составили от 1,6 до 7,6 л/с при понижениях от 1,3 до 60,0 м, удельные дебиты – 0,03 – 1,2 л/с·м. Значение коэффициента фильтрации – 0,86 м/сут.

Производительность скважин в других населенных пунктах – от 0,5 до 1,3 л/с, при понижениях 5,5 – 63,8 м удельные дебиты – 0,007 – 0,02 л/с·м. Коэффициент водопроводимости – 5 $м^2$/сут.

По химическому составу преобладающий тип вод гидрокарбонатно-хлоридный натриевый, по результатам опробования подземные воды комплекса нейтральные, реже – слабо- или умеренно-щелочные (pH = 7,7 – 9,0) с минерализацией (0,7 – 3,6 г/$дм^3$ – от пресных до соленых. Величины общей жёсткости колеблются в пределах 0,93 – 9,7 мг-экв/$дм^3$. Отмечено превышение нормы ПДК содержания фтора, брома, лития и железа.

Оценить условия восполнения запасов подземных вод верхнеюрского комплекса довольно сложно. В целом, области их питания находятся на востоке и юго-востоке рассматриваемой

территории. Формирование динамических характеристик подземных вод верхнеюрского комплекса в бассейне р. Татты и на прилегающей к нему территории непосредственно связано со сквозным подрусловым таликом р. Алдана за счет инфильтрации речных вод [6].

Известно, что подземные воды обладают стабильным химическим составом и мало подвержены загрязнению. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что для хозяйственно-питьевой цели вполне пригодны воды подмерзлотного водоносного комплекса верхнеюрских терригенных пород с предварительной очисткой, так как в них превышены нормы ПДК по содержанию фтора, брома, лития и железа. Очистка может быть осуществлена методом обратного осмоса.

Рекомендуется оценить объем запасов подмерзлотных вод до категории В для того, чтобы использовать в хозяйственно-питьевых целях.

Список литературы

1. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: СанПиН. – М. : Инф.-изд. центр Госкомсанэпиднадзора России, 1996.

2. Карта мерзлотно-гидрогеологического районирования Восточной Сибири. М-б 1:2 500 000 / [под ред. П. И. Мельникова]. – М. : ГУГК, 1984.

3. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / В. В. Шепелев, О. Н. Толстихин, В. М. Пигузова и др. – Новосибирск : Наука, 1984.

4. Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования / [отв. ред. Н. П. Анисимова]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003.

5. Гидрогеология СССР. Т. XX. Якутская АССР. – М. : Недра, 1970.

6. Дмитриев, Е. М. Использование подземных вод Якутской АССР для водоснабжения (Перспектива, разведка, эксплуатация) / Е. М. Дмитриев, О. Н. Толстихин. – Якутск : Изд-во ЯЦГСЭ, 1971.

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ СУБАЭРАЛЬНЫХ ТАЛИКОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Гагарин Л. А.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, gagarinla@gmail.com

Аннотация. В пределах IV надпойменной террасы р. Лены в местности Улахан-Тарын по результатам режимных геотермических наблюдений установлено и затем подтверждено буровыми работами сохранение в зимний период перезимка (талых водоносных пород). Анализ динамики процессов протаивания-промерзания в деятельном слое и режима выпадения атмосферных осадков, а также снежного покрова свидетельствует о ключевой роли гидроклиматических факторов в формировании талой зоны. В результате раннего стаивания снега и повышенного количества выпавших атмосферных осадков в мае, июне и июле 2013 г. (63,1, 83 и 111,9 мм соответственно) увеличилась скорость и глубина протаивания горных пород, что способствовало повышению влагозапасов в сезонноталом слое.

Ключевые слова: *надмерзлотные воды, межмерзлотные воды, перезимок, субаэральный талик, многолетнемерзлые породы.*

Abstract. As a result of the geothermal observations the perezimok (melt-bearing rocks) was detected within IV terrace of the Lena river near Ulakhan-Taryn spring. Analysis of the dynamics of the freezing-thawing processes in the active layer and the regime of atmospheric precipitation and snow cover shows the key role of hydroclimatic factors in the formation of melt zone. Early snow melting and an increased amount of precipitation dropped in May, June and July 2013 (63.1 mm, 83 mm and 111.9 mm, respectively) increased the speed and depth of thawing of rocks and helped to improve moisture reserves in the active layer.

Key words: *suprapermafrost water, intrapermafrost water, perezimok, subaerial talik, permafrost.*

Территория Центральной Якутии относится к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород. Тем не менее на правобережье р. Лены, в пределах IV надпойменной террасы, широко развиты субаэральные, гидрогенные и гидрогеогенные талики. Эта территория отличается от сопредельной существованием высокотемпературной мерзлоты (до –0,2° С), которая связана с особенностями гранулометрического состава горных пород и режима увлажнения деятельного слоя, а также наличием межмерзлотных водоносных горизонтов. В условиях современных изменений климата исследования, направленные на изучение реакции криолитозоны, в частности развития субаэральных таликов, являются своевременными и актуальными. В последние годы происходит широкое освоение рассматриваемой территории, например, строятся и реконструируются железная и федеральная автомобильная дороги. Изменение природной обстановки в сторону деградации многолетнемерзлых пород вследствие влияния инженерных сооружений может спровоцировать активизацию опасных мерзлотно-гидрогеологических процессов и привести к негативным последствиям.

Район исследований расположен в 50 км к югу по федеральной автотрассе «Лена». Отложения IV надпойменной террасы р. Лены среднеплейстоценового возраста мощностью до 90 м сложены мелкими и среднезернистыми песками с галечником в основании. Цоколь террасы представлен среднекембрийскими известняками и выходит на дневную поверхность лишь в южной ее части. Мощность многолетнемерзлых пород составляет около 150 м [1], увеличиваясь на некоторых участках до 420 м. Температура многолетнемерзлых пород изменяется от –0,2 до –2,5° С, а глубина сезонного оттаивания 1,5 – 4 м [2]. Сплошное распространение мерзлоты нарушается наличием гидрогенных, гидрогеогенных и радиационно-тепловых таликов, к которым приурочены подземные воды надмерзлотно-межмерзлотного комплекса. По условиям питания эти воды относятся к надмерзлотным, а по условиям циркуляции и разгрузки – к межмерзлотным. Наиболее крупным источником подземных вод на IV террасе р. Лены является Улахан-Тарын, приуроченный к долине одноименного ручья. Разгрузка осуществляется сконцентрированно на пяти участках, условно названных цирках «A», «B», «C», «D» и «E». Суммарный многолетний дебит всех групп источника составляет 244 л/с [3]. В зимний период года в долине ручья формируется наледь площадью до 1 млн м^2. Подземными водами выносится большое количество песка, отлагаемого в долине ручья. В результате термосуффозионных процессов на поверхности террасы образуются воронки и овраги [4].

На основе опыта коллектива лаборатории подземных вод криолитозоны Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, членом которого является автор, проводились многолетние мерзлотно-гидрогеологические исследования в пределах IV надпойменной террасы р. Лены. При изучении геотемпературного поля горных пород в разрезе надмерзлотно-межмерзлотного комплекса велись буровые, геотермические и гидрогеологические работы.

На ключевом участке в цирке «E» источника Улахан-Тарын, в 200 м от бровки террасы, на ровной поверхности в сосновом редколесье были заданы геотермическая (№ 2-10) и гидрогеологическая (№ 2-14Г) скважины глубиной 14 и 19 м соответственно. Геотермическая скважина оборудована двумя четырехканальными логгерами марки HOBO, с расположением датчиков на глубинах 0; 0,5; 1; 2; 2,8; 5; 8; 14 м. Частота измерений была задана с временным шагом 3 часа. Таким образом, получен непрерывный цикл измерений за период с 2010 по 2014 гг. Гидрогеологическая скважина задана с целью опробования межмерзлотного водоносного горизонта, вскрытого в диапазоне глубин 16 – 19 м. Для проведения замеров уровня воды в зимний период года скважина оборудована греющим кабелем.

Вопросы о происхождении и питании источников межмерзлотных вод в пределах IV надпойменной террасы р. Лены в настоящее время остаются актуальными, несмотря на многолетние исследования. Так, первые исследователи отвели основную долю питания источников подмерзлотным водам [5]. Впервые идею о надмерзлотном питании межмерзлотных вод высказал А. И. Ефимов [6]. По результатам комплексных исследований в районе источника Улахан-Тарын Н. П. Анисимовой было доказано питание межмерзлотного водоносного

горизонта водами крупных сквозных подозерных таликов, расположенных восточнее на 25 км от зоны разгрузки [7]. Позднее расчетами Ф. Э. Арэ показал, что только лишь подозерное питание не может обеспечить высоких значений дебита всех групп источников Улахан-Тарын [8]. Таким образом, было установлено, что основным источником питания родников являются надмерзлотные воды, которые гидравлически связаны с межмерзлотными через субаэральные талики. В. В. Климочкин считал основной причиной формирования субаэральных таликов в Центральной Якутии конденсацию водяных паров в деятельном слое [9]. Однако позднее А. В. Бойцовым была выдвинута и доказана гипотеза о современном формировании субаэральных таликов исследуемой территории. Основной причиной их образования, по его мнению, является «особый режим влажности песчаных грунтов определенного гранулометрического состава» [10]. По результатам многолетних исследований А. В. Бойцов пришел к выводу, что отепляющее влияние снежного покрова в совокупности с низкой зимней влажностью среднезернистых песков деятельного слоя значительно увеличивают теплообороты в почве. С одной стороны, высокая «сухость» сезонноталого слоя выступает в качестве буфера и препятствует глубокому и сильному промерзанию горных пород. С другой стороны, с наступлением теплого периода года способствует инфильтрации талых снеговых вод, увеличивающих скорость оттаивания. Практически полное отсутствие пылеватой фракции и хорошие фильтрационные свойства среднезернистых песков в отдельные годы с повышенной увлажненностью (количества выпавших атмосферных осадков) благоприятствуют появлению перезимков.

Весной 2010 г. при проведении гидрогеологических исследований на ключевом участке в цирке «Е» источника подземных вод Улахан-Тарын была задана геотермическая скважина № 2-10, вскрывшая на глубине 16 м плывун, отнесенный к межмерзлотному водоносному горизонту. По результатам анализа влажности горных пород, отобранных при бурении, отмечено их весьма низкое значение (около 6%) в деятельном слое. Влажность многолетнемерзлых пород соответствовала полному заполнению пор льдом (в среднем 25%). По данным предыдущих эпизодических замеров температуры горных пород в других скважинах, на рассматриваемой территории существования субаэральных таликов не выявлено. Глубина сезонного оттаивания на ровной поверхности террасы в сосновом редколесье в отдельные годы достигает 4 м, а температура на его подошве составляет –0,2° С.

В апреле 2014 г. пробурена гидрогеологическая скважина (№ 2-14Г), которая вскрыла два водоносных горизонта. Кровля первого залегала на глубине 2,5 м, а его подошва – на 8 м, при этом уровень воды в скважине установился на глубине 2 м (водоносный горизонт обладал плывунными свойствами). Второй горизонт, мощностью 3 м, был вскрыт на глубине 16 м и подстилался многолетнемерзлыми породами. Уровень межмерзлотных вод в скважине установился также на глубине 2 м, что свидетельствует о гидравлической связи водоносных горизонтов. Полученные результаты впервые позволили зафиксировать образование перезимка в районе источника Улахан-Тарын.

Анализ метеоданных и температуры горных пород по скважине № 2-10 подтвердили наличие талой зоны и позволили установить причины ее образования (рисунок).

По данным метеостанции г. Покровска, с 2010 по 2013 гг. с сентября по декабрь ежегодно происходило уменьшение толщины снежного покрова, за исключением 2012 г. Однако с января по март наблюдалась обратная ситуация – мощность снега ежегодно увеличивалась. Начиная с апреля, толщина снежного покрова ежегодно уменьшалась, а, например, в мае 2013 г. снег уже полностью растаял. Зима 2014 г. выдалась малоснежной.

Динамику процессов промерзания-протаивания деятельного слоя представляется возможным оценить по термоизоплетам, построенным на основе температурных данных по скважине № 2-10. В 2011 и 2012 гг. оттаивание горных пород происходило интенсивно, например, уже к июню оно достигало глубины 2,0 – 2,5 м (см. рисунок). Промерзание деятельного слоя в эти годы шло с такой же скоростью, что и оттаивание. К декабрю нулевая термоизоплета опускалась до глубины 2,5 – 3,0 м, а далее начинались фазовые переходы влаги, что отражено

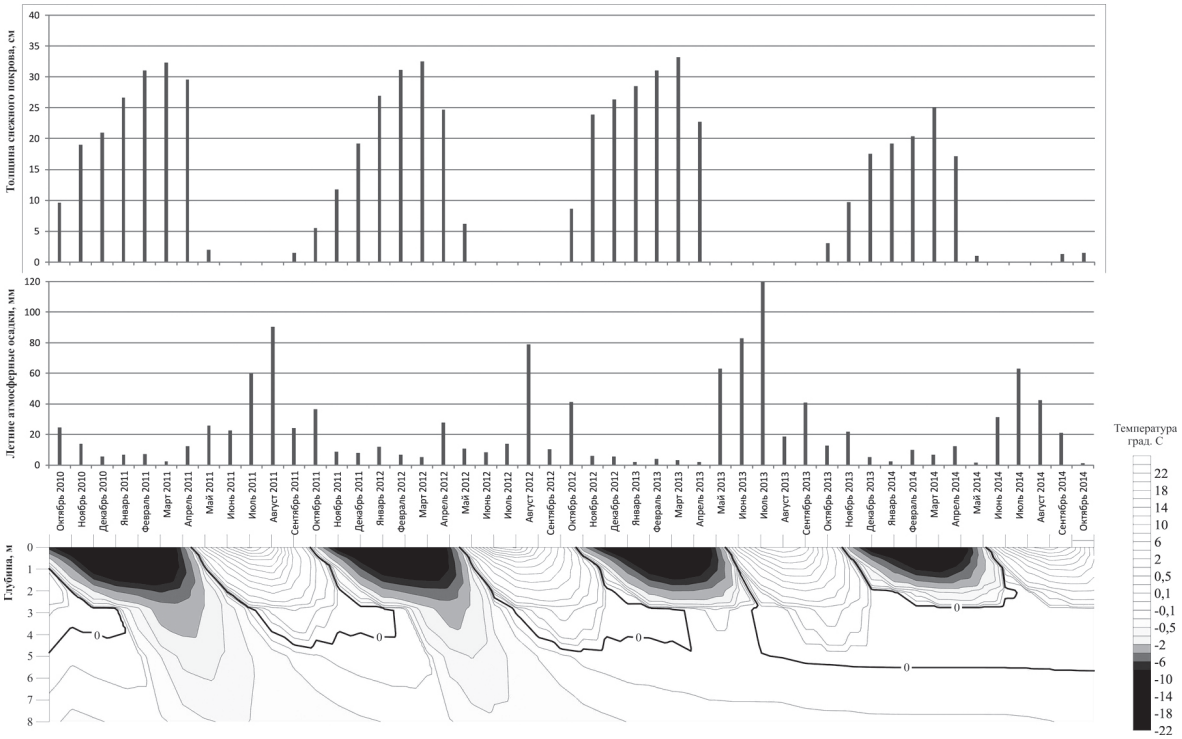


График термоизоплет, по данным скважины № 2-10, распределения летних атмосферных осадков и мощности снежного покрова (метеостанция г. Покровска) с 2010 по 2014 гг.

в ее субгоризонтальном положении. В конце января – начале февраля, когда вся вода перешла в лед, промерзание достигло верхней границы многолетней мерзлоты.

Изменения формирования температурного режима деятельного слоя начались в 2013 г. Так, протаивание горных пород к июню 2013 г. достигло глубины 4,5 м (см. рисунок), что на 2,0 – 2,5 м больше, чем в предыдущие годы. Максимальное протаивание, по температурным данным, достигло 5,5 м, что не совсем соотносится с данными бурения, по которым подошва талого слоя отмечена на глубине 8 м. По мнению автора, это связано с тем, что температура пород глубже 5,5 м составляет –0,08° С. Однако известно, что при движении влаги в поровом пространстве выделяется некоторое количество тепла, поэтому температура замерзания может быть ниже 0° С. Последующее зимнее промерзание сезонноталого слоя достигло лишь глубины 2,5 м, где процесс был остановлен выделением тепла в результате фазовых переходов воды. Оттаивание пород в 2014 г. происходило уже значительно быстрее за счет дополнительного отепляющего фактора – перезимка.

Основной причиной образования подобной талой зоны является раннее стаивание снежного покрова и большое количество выпавших атмосферных осадков в течение теплого периода 2013 г. При средней годовой норме осадков в 238 мм, за летний период этого года выпало 368 мм. С 2010 по 2012 гг. и в 2014 г. подобных явлений не наблюдалось, однако близкие значения были зафиксированы в 2006 и 2007 гг. – 347,6 и 323,9 мм соответственно. Важным обстоятельством является режим выпадения осадков: в мае и июне 2013 г. выпало 63,1 и 83 мм (см. рисунок) соответственно, что превышает таковые в отдельные годы в десятки раз. Таким образом, этими фактами объясняется быстрое протаивание деятельного слоя и его высокие влагозапасы.

Сохранение перезимка может являться одной из причин формирования в рассматриваемом районе субаэральных таликов, через которые происходит питание крупнодебитных источников подземных вод, приуроченных к подножию IV надпойменной террасы р. Лены. Полученные результаты и выводы подтверждают мнение А. В. Бойцова о современном развитии субаэральных дождевально-радиационных таликов в песчаных отложениях Центральной Якутии [10].

Список литературы

1. Иванов, М. С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины / М. С. Иванов. – Новосибирск : Наука, 1984. – 126 с.
2. Скрябин, П. Н. Мониторинговые исследования температурного режима грунтов Центральной Якутии / П. Н. Скрябин, С. П. Варламов, Ю. Б. Скачков // География и природные ресурсы. – 1998. – № 2. – С. 49–55.
3. Мониторинг подземных вод криолитозоны / В. В. Шепелёв [и др.]. – Якутск : Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2002. – 172 с.
4. Гагарин, Л. А. Динамика термосуффозионных процессов в криолитозоне (на примере Центральной Якутии) : автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук : 25.00.08 / Гагарин Леонид Александрович ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т мерзлотоведения. – Якутск, 2013. – 21 с.
5. Максимов, В. М. К вопросу о гидрогеологических условиях окрестностей Якутска / В. М. Максимов, Н. И. Толстихин // Докл. АН СССР. – 1940. – Т. 28, № 1. – С. 14–20.
6. Ефимов, А. И. Незамерзающий пресный источник Улахан-Тарын в Центральной Якутии / А. И. Ефимов // Исследование вечной мерзлоты в Якутской республике. – 1952. – № 3. – С. 60–105.
7. Анисимова, Н. П. К вопросу о формировании химического состава воды некоторых постоянно-действующих источников Центральной Якутии // Условия залегания и свойства многолетнемерзлых пород на территории Якутской АССР. – Якутск : Якутское кн. изд-во, 1960. – Вып. 2. – С. 50–59.
8. Арэ, Ф. Э. Геотермические условия формирования источников и наледи Улахан-Тарын // Вопросы географии Якутии. – Якутск : Якутское кн. изд-во, 1969. – Вып. 5. – С. 88–95.
9. Климочкин, В. В. К вопросу о роли конденсации в формировании ресурсов грунтовых вод // Вопросы гидрогеологии криолитозоны. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1975. – С. 157–164.
10. Бойцов, А. В. Условия формирования и режим подземных вод надмерзлотного и межмерзлотного стока в Центральной Якутии : автореф. дис. … канд. геол.-мин. наук : 25.00.08 / Бойцов Александр Валерьевич ; Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т мерзлотоведения. – Якутск, 2002. – 23 с.

КРИОГЕННО-ЭОЛОВЫЙ МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДОНОСНЫХ МЕЖМЕРЗЛОТНЫХ ТАЛИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Галанин А. А.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, agalanin@gmail.com

Аннотация. На основании комплексного анализа позднечетвертичных дюнных образований (тукуланов) Центральной Якутии обоснован новый механизм формирования уникальных межмерзлотных таликов и связанных с ними источников пресных вод. Его суть заключается в погребении подрусловых таликов дренажной сети каргинского термохрона под дюнными комплексами сартанского криохрона. Теплофизические свойства дюнных песков препятствовали полному промерзанию погребенных таликовых зон во время глобального термического минимума.

Ключевые слова: *межмерзлотные талики, тукуланы, дюнные отложения, Центральная Якутия, источники питьевых вод, криолитозона.*

Abstract. The complex analysis of Late Quaternary dune formations (tukulans) justifies the new hypotesis of the origin of unique interpermafrost taliks and related sources of fresh water of Central Yakutia. Its essence lies in the burial of the underflow taliks of drainage net of Karginskiy thermochron under the dune complexes of Sartan cryochron. Thermophysical properties of dune sands prevented complete freezing of the buried thawed zones during the Last Global Minimum.

Key words: *interpermafrost taliks, tukulans, dune deposits, Central Yakutia, sources of drinking water, permafrost.*

Центральная Якутия характеризуется преимущественно сплошным распространением многолетнемерзлых пород (ММП) мощностью до 300 – 400 м с температурами на подошве

слоя сезонных годовых теплооборотов (СГТ) –3...–5° С и мощностью сезонноталого слоя (СТС) от 0,3 до 1,5 м [1]. Подземные воды представлены подмерзлотными, межмерзлотными и надмерзлотными типами. Подмерзлотные воды залегают ниже слоя ММП и имеют высокую минерализацию – 1000 – 1300 мг/л [2], достигающую в отдельных случаях 30 – 40 г/л и более. Надмерзлотные воды формируются в пределах деятельного слоя за счет атмосферных осадков и осуществляют питание водотоков и их подрусловых таликовых зон.

Феноменальной особенностью строения криолитозоны Центральной Якутии являются специфические межмерзлотные таликовые зоны и связанные с ними высокодебитные круглогодичные источники высококачественных питьевых вод, приуроченные к локальным водосборным бассейнам на поверхности высоких террас рек Лены и Вилюя [3, 4]. Межмерзлотные водоносные талики и источники связаны с участками распространения закрепленных позднеплейстоценовых и современных незакрепленных дюнных образований, занимающих до 30% территории Центральной Якутии.

Мерзлотные условия в пределах водоносных песчаных массивов кардинально отличаются от прилегающих территорий. Эоловые отложения имеют специфический гранулометрический состав, физико-механические и теплофизические свойства, обеспечивающие хорошие фильтрационные и коллекторские свойства вмещающих песков, их малую глубину промерзания и большую глубину оттаивания. Дюнные отложения, как правило, характеризуются пологими (субгоризонтальными) и перекрестно-слоистыми седиментационными текстурами, небольшой весовой льдистостью (влажностью) (1 – 5%), в сравнении с подстилающим аллювием (15 – 25%) [5]. Содержащаяся в дюнных отложениях влага представлена в виде контактной, реже тонкошлировых (до 1 мм) криотекстур, формирующихся путем конденсации водяного пара. Аллювиальные отложения сходного гранулометрического состава характеризуются косой и линзовидной слоистостью, интенсивно насыщены льдом и имеют массивную криотекстуру [5].

Температурное поле закрепленных и незакрепленных дюнных массивов также специфично и кардинальным образом отличается от других генетических типов отложений и прилегающих ландшафтов. Температуры дюнных отложений на подошве СГТ варьирует от 0 до –1° С, в то время как в пределах распространения льдистых аллювиальных отложений температура на подошве СГТ изменяется от –2,5 до –3,5° С [5]. В дюнных отложениях установлена максимальная в регионе глубина сезонного протаивания (до 4-5 м), близкая к подошве СГТ.

В пределах позднечетвертичных закрепленных и незакрепленных дюнных массивов распространены межмерзлотные талики мощностью до 70 и более метров. По химическому составу воды, разгружающиеся в виде компактных источников, относятся к ультрапресным гидрокарбонатно-магниево-кальциевым с минерализацией 20 – 40 (80) мг/л [4]. Наиболее крупными являются источники массива песчаных дюн Махатта в бассейне среднего течения р. Вилюя, дебит которых достигает 760 л/с [4]. Мощность межмерзлотного талика в зоне разгрузки превышает 100 м. Приуроченные к позднеплейстоценовым закрепленным дюнным массивам круглогодично разгружающиеся источники подземных вод (Булуусс, Ерюю и др.) известны на правобережье р. Лены, вблизи г. Якутска, в основании Бестяхской террасы [4]. Значительная часть вод межмерзлотных таликов в летний период разгружаются непосредственно в руслах и обнажаются лишь в периоды максимальных меженей. В зимнее время в пределах зон разгрузки формируются обширные наледи. Фильтрация воды в межмерзлотных таликах иногда приводит к интенсивной суффозии супесчаного материала, сопровождается просадками поверхности, глубокими воронками и гидролакколитами [4, 6].

Несмотря на хорошую мерзлотно-гидрогеологическую изученность межмерзлотных таликов и связанных с ними источников подземных вод [4], их генезис остается дискуссионным. Официальная теория происхождения межмерзлотных таликов сформулирована в коллективной монографии «Геокриологии СССР» [1] и строится на допущении возможности глубокого эпигенетического протаивания дюнных отложений в первой половине голоцена во время

бореального оптимума и последующего частичного промерзания сверху во второй половине голоцена. Вместе с тем установленные теплофизические свойства собственно дюнных массивов ставят под сомнение возможность их протаивания на глубину до 100 м за относительно короткий (несколько тысяч лет) промежуток времени, с учетом того, что вся толща ММП перед этим интенсивно промерзала и охлаждалась на протяжении сартанского криохрона. Кроме того, в непосредственной близости от них нередко распространены другие типы ММП, в том числе образования «ледового комплекса», не имеющие никаких признаков существенной деградации во время голоценового оптимума. Низкая теплопроводность дюнных отложений является большим препятствием не только для предполагаемого оттаивания, но и повторного промерзания. Более того, сами палеоклиматические параметры голоценового климатического оптимума остаются не вполне определенными и дискуссионными.

Для объяснения нестационарности теплового режима водоносных дюнных массивов некоторыми исследователями привлекались экзотермические процессы конденсации влаги из циркулирующего атмосферного воздуха [4]. Однако даже экспериментально установленное в дюнных образованиях наличие и объемы конденсационных процессов отнюдь не проясняют изначальную причину формирования данных объектов как во время голоценового оптимума, так и после него. Несомненно, конденсационные процессы играют определенную роль в современном тепловом и водном балансе заключенных в дюнах межмерзлотных таликов, но они являются, скорее, следствием функционирования и динамики этой тепловой системы, чем исходной причиной ее возникновения.

Выполненный нами комплексный анализ строения, абсолютного возраста и закономерностей распространения дюнных образований Центральной Якутии и вмещающих ландшафтов [7] позволяет обосновать совершенно иной механизм формирования рассматриваемых межмерзлотных таликов и источников их разгрузки. Суть предлагаемого механизма заключается в относительно быстром погребении под активными дюнными комплексами надмерзлотных подозерных и русловых таликов каргинского термохрона с последующей консервацией сухими песками, характеризующимися крайне низкой теплопроводностью. Данный механизм подтверждается не только результатами изучения криофациального состава и геоморфологии современного и погребенного под дюнами палеорельефа, но и структурно-геоморфологическими и морфометрическими характеристиками дренажно-эрозионной сети высоких террас (Бестяхской и Табагинской) р. Лены и Вилюя. Факт интенсивного нарушения древней дренажной сети (гидросети) в результате существенного моделирования поверхности эпигенетическими эоловыми процессами доказывается методами современной структурной и морфометрической гидрологии, а также результатами площадного геоморфологического анализа спутниковых изображений (рис. 1).

Формирование межмерзлотных водоносных таликов Центральной Якутии началось во время каргинского термохрона (плювиальный этап) и завершилось в голоцене. Механизм формирования целесообразно рассмотреть в виде нескольких условных стадий (рис. 2), которые отчетливо наблюдаются и в настоящее время на различных участках развития современных эоловых процессов в Центральной Якутии.

Первая стадия (рис. 2, А) характеризует условия плювиальной эпохи – каргинского термохрона (65 – 30 тыс. л. н.), когда глубина и мощность подрусловых и подозерных таликов достигали максимальных значений, активный сток приводил к расширению роли эрозионных процессов, формированию разветвленной гидросети, а более влажный климат способствовал затуханию и сокращению общей площади эоловых процессов в регионе.

Вторая стадия (Б) связывается с началом сартанского криохрона (28 тыс. л. н.), похолоданием, сокращением количества осадков, изменениями ландшафтов. В растительном покрове сокращалась роль древесной растительности, происходила частичная деградация почвенного покрова. Дюнообразование охватывало, в первую очередь, бровки высоких террас по причине их особых аэродинамических свойств. Заметим, что и в настоящее время основная

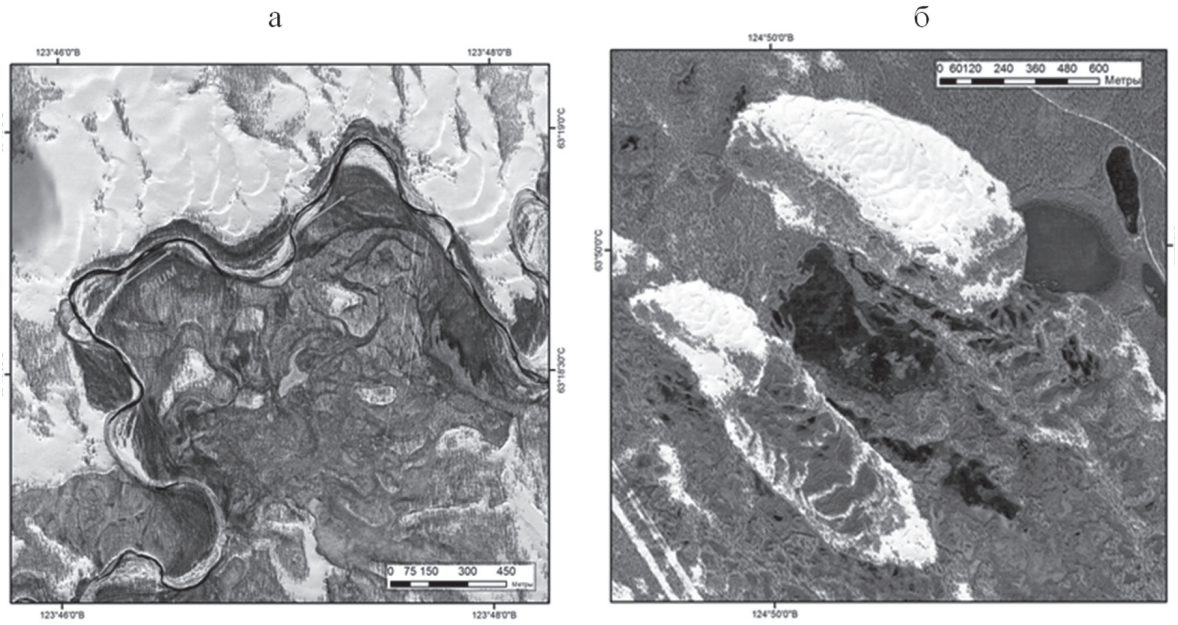


Рис. 1. Современное эоловое преобразование поверхностей речных террас р. Вилюя и его правых притоков движущимися дюнными массивами:
а – деформация и уничтожение долины р. Эйим под наступающими дюнами;
б – наступление дюнных массивов на озерные котловины

часть активно движущихся дюнных массивов формируется в результате разрушения бровок и формирования накидных дюн. Важным моментом является развитие эмбриональных дюнных массивов в нижней части бассейнов притоков с последующим движением вверх по долинам.

Третья фаза (В) отражает значительное распространение дюнных массивов и их слияние в системы параболических дюн более высоких порядков. На фоне продолжающегося похолодания и иссушения климата происходило погребение нижних частей долин небольших водотоков вместе с их подрусловыми таликами, в то время как верхняя часть водосборного бассейна сохранялась.

Четвертая фаза (Г) характеризует максимум эоловой активности и соответствует термическому минимуму сартанского криохрона (20 – 18 тыс. л. н.). В этот интервал происходило максимальное нарушение исходной гидросети каргинского термохрона. Сохранялись лишь долины и русла крупных водотоков, а мелкодолинная сеть уничтожалась практически полностью с сохранением сильно деформированных замкнутых и полузамкнутых фрагментов первичной гидросети и бессточных бассейнов. Одновременно с распространением дюнных комплексов происходило их максимальное поверхностное охлаждение и промерзание, что приводит к частичной изоляции погребенных водоносных зон и образованию межмерзлотных таликов.

Пятая заключительная фаза (Д) отражает окончание сартанского криохрона (12 тыс. л. н.), потепление и закрепление дюнного комплекса растительным покровом на протяжении бореального оптимума голоцена (10 – 5 тыс. л. н). Увеличение количества осадков и влажности воздуха способствовало усилению стока, увеличению роли конденсационных механизмов стабилизации объемов и параметров межмерзлотных таликов, их гидротермического режима. Повышение увлажненности территории приводило к расширению роли термоденудационных явлений на поверхности террас, развитию термосуффозионных процессов в зонах разгрузки подземных вод.

Исследования выполнялись при частичной поддержке грантов РФФИ-РС(Я) № 12-05-98507, 15-45-05129.

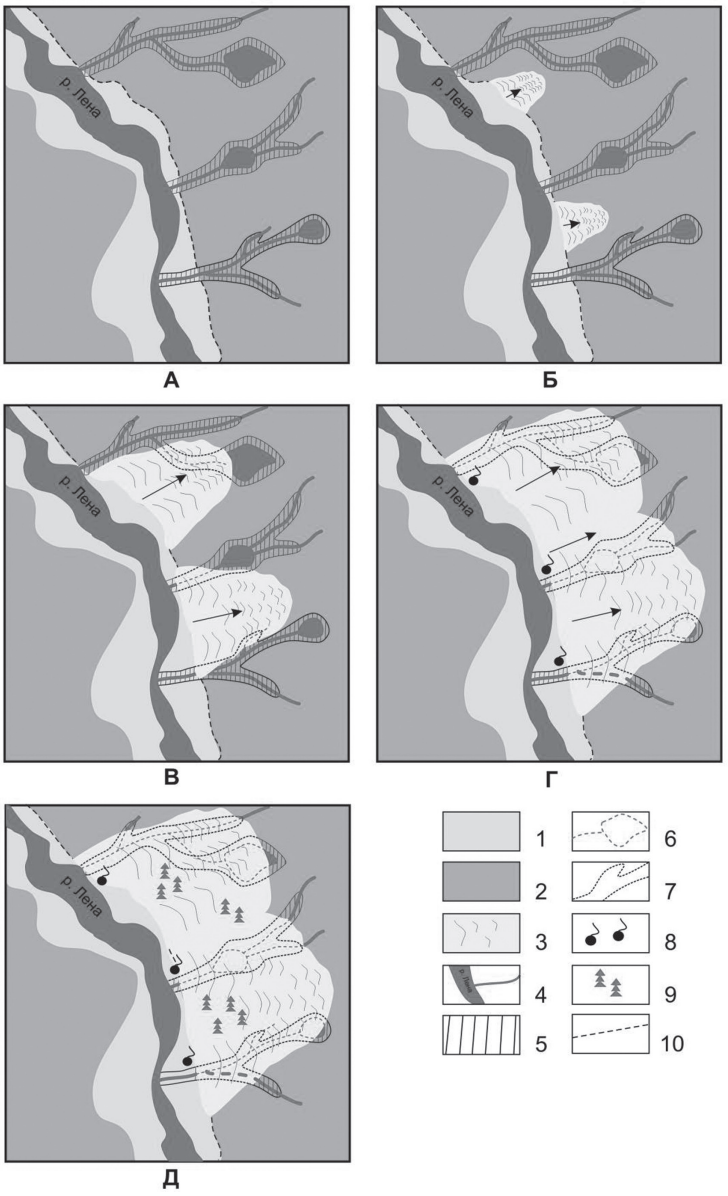


Рис. 2. Принципиальный механизм и стадии формирования межмерзлотных водоносных таликов и источников подземных вод на примере Бестяхской террасы р. Лены:
1 – современная пойма; 2 – исходная поверхность террасы с дренажно-эрозионной сетью каргинского термохрона; 3 – дюнные пески (сартанский криохрон); 4 – современное русло р. Лены и ее правых притоков; 5 – зоны надмерзлотных таликов каргинского термохрона; 6 – погребенные под дюнами таликовые зоны и чаши протаивания под озерами; 7 – границы погребенных водоносных таликов; 8 – участки разгрузки межмерзлотных вод; 9 – стабилизация дюн растительным покровом; 10 – бровка уступа высокой террасы р. Лены

Список литературы

1. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / [под ред. Э. Д. Ершова]. – М., 1989. – 414 с.
2. Пономарев, В. М. Подземные воды территории с мощной толщей многолетнемерзлых горных пород. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 200 с.
3. Бойцов, А. В. Мерзлотно-гидрогеологические условия массива развеваемых песков Махатта (Центральная Якутия) / А. В. Бойцов, В. В. Шепелев // Гидрогеологические исследования криолитозоны. – Якутск, ротапринт ИМ СО АН СССР, 1976. – С. 25–34.
4. Шепелев, В. В. Надмерзлотные воды криолитозоны / В. В. Шепелев. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2011. – 169 с.
5. Катасонова, Е. Г. Геокриологические особенности развеваемых песков (тукуланов) правобережья р. Вилюй / Е. Г. Катасонова, А. Н. Толстов // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – С. 166–178.
6. Гагарин, Л. А. Исследование термосуффозионных процессов в Центральной Якутии / Л. А. Гагарин // Наука и образование. – 2012. – № 2. – С. 41–45.
7. Урбан, А. А. Новые данные о строении и возрасте отложений эолово-мерзлотных образований Центральной Якутии (на примере тукулана Кызыл-Сырский) / А. А. Урбан, А. А. Галанин // Наука и образование. – 2013. – № 1 (69). – С. 77–81.

СВЯЗЬ ТЕРРЕЙНОВОЙ ТЕКТОНИКИ С ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ЗОНЫ СВОБОДНОГО ВОДООБМЕНА В ГОРНЫХ РАЙОНАХ КРИОЛИТОЗОНЫ

Глотов В. Е.
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, geoecol@neisri.ru

Аннотация. В докладе представлена новая информация о факторах формирования подземного водного стока в горных районах криолитозоны на Северо-Востоке России. Как выяснилось, важную роль в данном процессе играет геодинамическая природа террейнов, слагающих литосферу региона. Отмечено, что среди них наименее обводненными являются террейны – фрагменты активных океанических окраин, наиболее водообильны – фрагменты пассивных континентальных окраин, а также кратоны, прежде всего, Охотский и Омулевский, вулканогенные супербассейны, залегающие на террейнах с разной геодинамической природой, обладают разной водообильностью. С учетом роли природы террейнов в формировании и распространении подземных вод предложена модифицированная версия гидрогеологического районирования.

Ключевые слова: *Северо-Восток России, криолитозона, террейны, зона активного водообмена, подземные воды.*

Abstract. The article presents new information about the factors of formation of underground water flow in the mountainous regions of the permafrost zone in the North-East of Russia. It is revealed important role in this process is played by the nature of geodynamic terranes that form the lithosphere of the region. It was noted that among the least water cut terranes are fragments of active oceanic margins, most watery fragments passive continental margins, as well as cratons primarily Okhotsk and Omulyovka, Volcanic superbasins occurring on terranes with different geodynamic nature, have different watery. Given role of the terranes nature in the formation and distribution of groundwater a modified version of hydrogeological mapping has been proposed.

Key words: *North East Russia, permafrost, terranes, active water exchange zone, underground water.*

Введение. В результате геологических и гидрогеологических исследований на Северо-Востоке России за прошедшие восемь десятилетий накоплен обширный фактический материал, систематизация и анализ которого позволяет выявлять новые, неизвестные ранее, факторы формирования мерзлотных, гидрогеологических и инженерно-геологических условий. Выяснилось, что современный подземный сток связан с геодинамической природой террейнов, слагающих литосферу в данном регионе [1].

Идеи террейновой тектоники стали проникать в научные теоретические представления о распространении подземных вод в глубоких горизонтах земной коры в последнюю четверть XX в. [2, 3]. Однако исследователи ограничивались использованием терминов новой глобальной тектоники без отражения гидрогеологических особенностей фрагментов литосферы, соответствующих различным террейнам. Так, К. П. Караванов [3] выделял комплекс гидрогеологических структур, включающих коллизионные внутриконтинентальные, островодужные, субдукционные, субаквальные, океанических трансформных разломов и т.д., но отличия в особенностях распространения, формирования химического состава подземных вод и т.д. им не были обозначены. В числе геологических факторов, определяющих условия питания, распространение и разгрузку подземных вод, важнейшими считаются неотектонические подвижки, состав пород и эрозионная расчлененность рельефа [4].

Цель доклада – на примере Северо-Востока России (СВ РФ) показать, что геодинамическая природа террейнов является значимым фактором формирования ресурсов пресных подземных вод, поэтому она должна учитываться при гидрогеологическом районировании.

Материалы, использованные в докладе, получены при многолетних наблюдениях на стационарных гидрологических постах Колымского управления Гидрометеослужбы (КУГМС), при гидрогеологических и геологических съемочных работах, в выполнении которых автор

принимал непосредственное участие, при режимных наблюдениях на гидрогеологических постах бывшей Гидрогеологической экспедиции Северо-Восточного территориального геологического управления (ГГЭ СВТГУ).

Объект исследования – часть СВ РФ в бассейне стока рек арктических морей. Выбор объекта исследований обусловлен тем, что этот регион на протяжении 85 лет (с 1930 г.) был основным поставщиком россыпного и рудного золота, олова, а в последние 40 лет и серебра, на международные рынки и в резервные фонды СССР (затем и РФ). В связи с этим объект исследований относительно хорошо изучен в геологическом, гидрологическом и гидрогеологическом отношениях. Геологическая история его развития очень длительна – от архея до наших дней, поэтому регион отличается геодинамическим разнообразием террейнов. Вместе с тем экзогенные факторы формирования подземных вод достаточно однородны по его площади. Это позволяет проследить гидрогеологические особенности террейнов с разной геологической историей.

Предмет исследований – зона свободного водообмена. В состав ее входят водоносный сезонноталый слой (СТС), надмерзлотные и сквозные талики, в отдельных случаях и подмерзлотные воды на участках водопоглощающих и водовыводящих сквозных таликов, и на участках, где мощность многолетнемерзлых пород (ММП) меньше глубины распространения трещин выветривания (рис. 1).

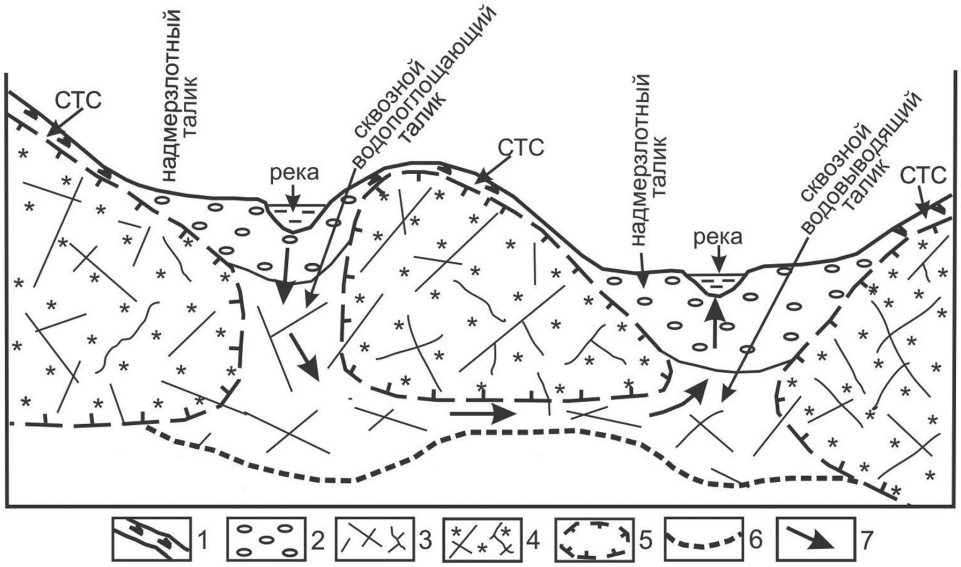


Рис. 1. Схема структуры зоны свободного водообмена в горных районах криолитозоны:
1 – сезонноталый слой на горных склонах; 2 – аллювиальные отложения; 3 – трещиноватые скальные породы; 4 – те же породы, мерзлые; 5 – контур многолетнемерзлых пород; 6 – нижняя граница зоны свободного водообмена; 7 – направление движения подземных вод

В горных районах СВ РФ заозеренность менее 1%, к концу летнего периода практически полностью стаивают наледи и снежники, поэтому в осенне-зимнюю межень подземные воды зоны свободного водообмена являются основным источником питания рек.

Общая характеристика объекта исследований. Изучаемая территория СВ РФ принадлежит Циркумарктической мерзлотно-гидрогеологической области (ЦАО). Рельеф ее, в основном, низкогорный и представляет собой участки с достаточно выровненными водоразделами и склонами долин не круче 20 – 25°. Над ними возвышаются отдельные массивы и гряды с расчлененным рельефом и высотой не более 2000 м.

Климат района холодный, на побережье арктических морей – с элементами морского. В континентальных районах в бассейне Верхней и Средней Колымы средняя годовая

температура воздуха изменяется от –13,7 до –10,3° С, количество осадков от 270 до 300 мм. В бассейне Нижней Колымы температура составляет –12 – –9,5° С, количество осадков – от 190 до 230 мм. На побережье арктических морей (Чаунская губа) средняя годовая температура воздуха от –9,5 до –8,2° С, среднегодовое количество осадков от 190 до 386 мм. В целом, климатические факторы формирования ресурсов пресных подземных вод примерно равные по всей площади ЦАО.

Геологическое строение рассматриваемой территории определяется ее приуроченностью к Яно-Колымскому и Олойско-Чукотскому юрско-раннемеловым орогенным поясам [5]. На террейны указанных поясов наложены магматические надсубдукционные образования, слагающие Олойский вулканический пояс (поздняя юра – ранний мел) и Охотско-Чукотский вулкано-плутонический пояс (альб- кампан). В Яно-Колымском орогенном поясе Куларо-Нерский турбидитовый террейн состоит из двух субтеррейнов – Иньяли-Дебинского и Аян-Юряхского. Сформированные в обстановке континентального склона они в поздней юре – середине неокома при коллизии Индигиро-Омолонского супер(сверх)террейна и Северо-Азиатского кратона испытали разные геодинамические напряжения. Иньяли-Дебинский антиклинорий претерпел сложные субдукционно-аккреционные и сдвигово-коллизионные воздействия [6]. Аян-Юряхский антиклинорий, располагаясь на окраине Охотского кратона, испытал преимущественно восходящие подвижки. В этот же пояс включен Омулевский террейн – фрагмент палеоконтинентального склона и Приколымский террейн – фрагмент докембрийско-палеозойской пассивной континентальной окраины. Олойско-Чукотский орогенный пояс включает в себя Чукотский террейн пассивной континентальной окраины и террейны – фрагменты активной окраины островных дуг, аккреционные призмы, океанические, расположенные в бассейнах рек Большого и Малого Анюя и части бассейна р. Олой. Между рассматриваемыми орогенными поясами находится Омолонский кратон с раннедокембрийским кристаллическим фундаментом [7].

Многолетнемерзлые породы (ММП) повсеместно имеют сплошное распространение, прерываясь сквозными таликами на участках развития хорошо водопроницаемых пород с мощностью больше глубины многолетнего промерзания. Мощность ММП достигает 450 м на водоразделах и не более 15 – 180 м в широких речных долинах и межгорных впадинах. Вне сквозных таликов и подмерзлотных зон под руслами рек и озерных котловин потенциально водоносные породы проморожены.

В результате изучения гидрографов рек с круглогодичным стоком установлено, что в теплое время года подземные воды зоны свободного водообмена (ЗСВ) участвуют в питании рек, наряду с выпадающими атмосферными осадками, конденсацией паров атмосферы, таянием льда наледей и снежников [8]. Генетический анализ гидрографов стока и при сплошном распространении КВ, по данным гидрологических наблюдений, в осенне-зимнюю межень позволил выявить объемы стока всех составляющих ЗСВ: водоносного СТС, надмерзлотных и сквозных таликов, подмерзлотных вод [9].

Результаты гидрогеологических исследований. Анализ гидрографов стока рек показал, что в осенне-зимнюю межень отчетливо проявляются различия такого гидрогеологического показателя, как модуль подземного стока на террейнах разной геодинамической истории. Террейны активных окраин и зон сдвигово-коллизионных воздействий отличаются отсутствием стока во второй половине зимней межени, уменьшением величины модуля стока в начале холодного периода года по сравнению с террейнами пассивной континентальной окраины или кратоном (таблица).

В последующие годы нами выявлено, что в сентябре, когда формируется речной сток, в основном, за счет подземных вод СТС, модуль стока рек, дренирующих эффузивные покровы в пределах террейнов активной окраины, меняется от 1,03 до 3,1 л/с·км^2. На площади распространения эффузивных пород на Омолонском кратоне этот показатель составляет 3,48 – 5,29 л/с·км^2 (реки Кубака, Мал. Авландя и др.) [3].

Средние многолетние показатели ресурсов подземных вод по площадям бассейнов рек ЦАО (по материалам КУГМС)

№ п/п	Водоток, замыкающий створ; площадь водосбора – F, км^2; период наблюдений	Средняя высота водосбора, м	Средний модуль поверхностного стока за многолетний период, л/с·км^2		
			сентябрь	январь	min за 30 сут. зимнего стока
Иньяли-Дебинский субтеррейн сдвигово-коллизионный					
1	Руч. Дальний, устье; F = 316; 1947 – 1974 гг.			Стока нет с XII по IV	
2	Берелех, пос. Переправа; F = 4980; 1956 – 1980 гг.	1200	8,6	Стока нет с XII по IV	
Аян-Юряхский субтеррейн					
3	Нерючи, 3,4 км ниже устья р. Хеникандж; F = 825; 1942 – 1956 гг.	1180	11,2	0,2	0,053
4	Кулу, пост Кулу; F = 10300; 1942 – 1980 гг.	1120	12,6	0,27	0,09
Омулевский, Приколымский террейны – фрагменты палеозойской пассивной окраины					
5	Верина, устье руч. Холодного; F = 322; 1944 – 1969 гг.	1090	14,4	0,5	0,174
6	Ясачная – с. Нелемное; F = 32000; 1972 – 1988 гг.	950	14,7	0,8	0,7
Омолонский кратонный террейн					
7	Руч. Туфовый; F = 151; 1976 – 1988 гг.	960	10,13	Нет стока	Нет стока
8	Олой; F = 15700; 1975 – 1988 гг.	850	11,08	0,59	0,06
Анюйская группа террейнов – фрагменты зоны субдукции и островных дуг (активная окраина)					
9	Нутесын; F = 1020; 1959 – 1980 гг.	720	5,65	0,051	Нет стока
10	Березовка; F = 15460; 1965 – 1997 гг.	320	4,01	0,0025	Нет стока
Чукотский террейн – фрагмент пассивной континентальной окраины					
11	Иультиканья; F = 55,4; 1950 – 1988 гг.	460	11,6	Нет стока	Нет стока
12	Амгуэма; F = 26700; 1944 – 1980 гг.	н.с.	6,4	0,05	0,0004

Обсуждение результатов исследований. Различия в формировании ресурсов подземных вод зоны активного водообмена, определяющих меженный речной сток в горных районах криолитозоны, мы объясняем разной интенсивностью процессов гипергенеза, прежде всего, образованием глинистых частиц при гидролизе алюмосиликатов в составе пород, слагающих террейны. Полагаем, что при межблоковых субгоризонтальных взаимодействиях (коллизиях, субдукции и т.д.) происходит деформация кристаллов горных пород, увеличивается несовершенство кристаллической решетки минералов (плагиоклазов, пироксенов и др.). По этой причине они становятся геохимически более активными, что проявляется в большом количестве тонкозернистых и глинистых частиц в коре выветривания и в водоносных трещинах. Это отражается на различиях емкостных свойств пород и их водопроницаемости в зоне гипергенеза.

С изложенных позиций интересны результаты изучения эффузивных покровов на площади террейнов разной геологической истории. Просматривается связь водоносности эффузивных пород в зоне гипергенеза с геодинамической природой перекрываемых террейнов. Этот факт можно объяснить тем, что в эффузивных покровах значительную роль играют

палингенные магматические породы. Видимо, при плавлении седиментитов их деформированное каолиновое ядро было унаследовано алюмосиликатами эффузивных толщ. Этим можно объяснить разную скорость протекания реакций гидролиза в приповерхностных слоях эффузивных покровов, которая возрастает по мере увеличения степени деформации кристаллической решетки плагиоклазов и пироксенов.

Нам представляется, что уже на данной стадии исследования выявленный факт связи водоносности террейнов с разной их геодинамической природой может получить развитие в других направлениях, например, при инженерно-геологических изысканиях, в сравнительном минералого-геохимическом изучении террейнов и субтеррейнов, металлогении. Поэтому при гидрогеологическом районировании необходимо учитывать не только характер залегания подземных вод в трещиноватых и закарстованных породах, но и геодинамическую природу террейнов, на которых развиваются гидрогеологические структуры. С учетом этого фактора гидрогеологическое районирование изученной территории представлено на рис. 2.

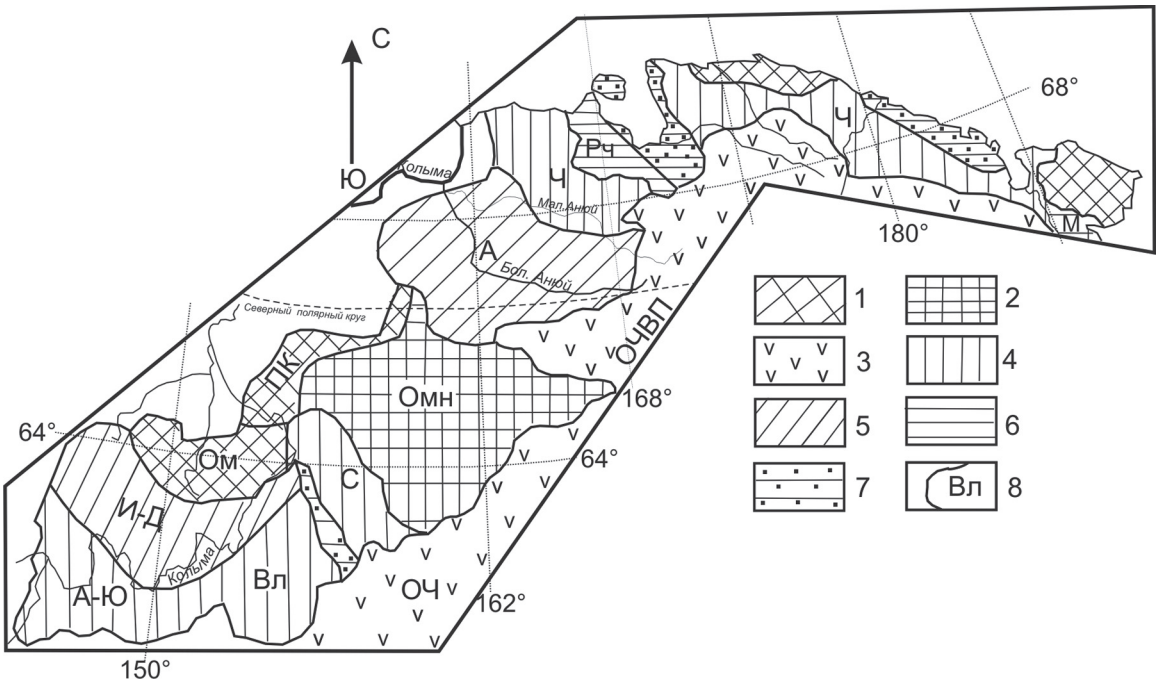


Рис. 2. Схема гидрогеологического районирования:

1 – 3 – районы гидрогеологических массивов, развившихся: 1 – на карбонатно-терригенных и терригенно-карбонатных террейнах, фрагментах пассивной континентальной окраины палеозойского возраста, 2 – на кратонном террейне, 3 – на магматогенных покровах и плутонах; 4 – 5 – районы адмассивов, развившихся: 4 – на террейнах пассивной континентальной окраины, 5 – на террейнах активной океанической окраины; 6 – адартезианский бассейн на базе прогибов позднемезозойского возраста; 7 – артезианские бассейны с верхнемеловым-кайнозойским осадочным чехлом; 8 – буквенные обозначения гидрогеологических районов, в том числе: А-Ю – Аян-Юряхский, Вл – Вилигинский, И-Д – Иньяли-Дебинский, С – Сугойский, Ом – Омулевский, ПК – Прикольмский, Омн – Омолонский, А – Анюйский, Ч – Чукотский, Рч – Раучуанский, ОЧ – Охотско-Чукотский

Заключение. Выявленная связь гидрогеологических условий, прежде всего в зоне свободного водообмена, с геодинамической природой террейнов может быть прослежена и за пределами криолитозоны. Возможно, она отражается на условиях распространения подземных вод в артезианских бассейнах, в фундаменте которых залегают террейны разной природы. Мы считаем, что уже на данной стадии исследований целесообразно изучить возможные изменения геокриологических и инженерно-геологических обстановок на геодинамически разных террейнах.

Список литературы

1. Глотов, В. Е. Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны / В. Е. Глотов, Л. П. Глотова // Тихоокеанская геология. – 2011. – Т. 30, № 5. – С. 3–13.

2. Писарский, Б. И. Подземные воды под морями и океанами / /Б. И. Писарский // Основы гидрогеологии. Т. 1. Общая гидрогеология / [отв. ред. Е. В. Пиннекер]. – Новосибирск : Наука, 1980. – С. 178–188.

3. Караванов, К. П. Гидрогеологические системы Тихоокеанского сегмента Земли / К. П. Караванов // Геологические факторы формирования подземных вод и распространения гидрогеологических систем. Препринт. – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 1998. – Вып. 1. – 125 с.

4. Караванов, К. П. Гидрогеологические системы земного шара и подземные воды Тихоокеанского сегмента Земли / К. П. Караванов, В. В. Кулаков // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27, № 6. – С. 17–30.

5. Бялобжеский, С. Г. Яно-Колымский орогенный пояс. Олойско-Чукотский орогенный пояс / С. Г. Бялобжеский, Н. А. Горячев, В. В. Шпикерман // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2-х кн. / [под ред. А. И. Ханчука]. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – С. 146–153.

6. Чехов, А. Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии (окраинно-морская модель) / А. Д. Чехов. – М. : Научный мир, 2000. – 204 с.

7. Горячев, Н. А. Омолонский террейн / Н. А. Горячев, С. Г. Бялобжеский // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2-х кн. / [под ред. А. И. Ханчука]. – Владивосток : Дальнаука, 2006. – Кн. 1. – С. 111–114.

8. Подземный сток на территории СССР / [под ред. проф. Б. И. Куделина]. – М. : Гидрометеоиздат, 1966. – 304 с.

9. Глотов, В. Е. Особенности питания рек подземными водами на арктическом склоне Чукотки / В. Е. Глотов, Л. П. Глотова // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2010. – № 1. – С. 89–98.

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ В ПРЕДЕЛАХ ГЛАВНОГО ВОДОРАЗДЕЛА ЗЕМЛИ

Глотов В. Е., Глотова Л. П.

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, geoecol@neisri.ru; glotova@neisri.ru

Аннотация. В докладе дана сравнительная оценка геокриологической и гидрогеологической обстановки на участках золоторудных месторождений, расположенных в пределах зоны Главного водораздела Земли (ГВЗ). На основе имеющихся материалов показано, что влияние ГВЗ не только сказывается на климатических показателях, но и определяет характер распространения многолетнемерзлых пород, конфигурацию надмерзлотных и сквозных таликов, степень их обводненности. Отмечено, что в пределах месторождений, расположенных на тихоокеанском склоне водораздела, мерзлотно-гидрогеологическая ситуация и условия отработки значительно сложнее, чем на месторождениях, находящихся на арктическом склоне ГВЗ.

Ключевые слова: *Главный водораздел Земли, криолитозона, рудные месторождения, подземные воды, геоэкологическая обстановка.*

Abstract. In the report was given a comparative assessment of geocryological and hydrogeological conditions in the areas of gold deposits located within the zone of the Main Watershed of the Earth (MWE). On the basis of available material it is showed that the influence of MWE affects not only the climatic indicators, but also determines the nature of the permafrost, and through configuration suprapermafrost taliks, the degree of their water content. It is noted that within the deposits located on the pacific slope of the Watershed permafrost-hydrogeological situation and conditions of mining much more complicated than in the deposits located on the arctic slope of the MWE.

Key words: *Main watershed Earth, permafrost, ore deposits, underground water, geoecological situation.*

Введение. Северо-Восток РФ – единственный в России географический регион, который делится Главным водоразделом Земли (ГВЗ) на две примерно равные области: Циркумарктическую и Циркумтихоокеанскую. Каждая из этих областей имеет свои особенности, связанные с климатическими условиями, характером криолитозоны, режимом питания подземных вод и др. [1].

Цель доклада – выявить влияние этого водораздела на мерзлотные и гидрогеологические условия рудных месторождений золота и серебра, расположенных на разных склонах ГВЗ.

Материалы, использованные в докладе, получены при изучении горно-геологических условий отработки рудных месторождений, составлении программ (проектов) работ по утилизации отходов горнодобывающих предприятий и выполнения рекультивационных мероприятий. В этих работах участвовали сотрудники бывшей Гидрогеологической экспедиции ПГО «Севвостгеология», организации ОАО «Росгеология», СВКНИИ ДВО РАН, в том числе и авторы доклада.

Объект исследований – рудные месторождения золота и серебра на разных склонах Мирового водораздела в пределах Охотско-Колымского фрагмента ГВЗ.

Предмет исследования – толща многолетнемерзлых пород и подземные воды рудных месторождений.

Общая характеристика объекта исследования. Среди ряда месторождений, находящихся в непосредственной близости к ГВЗ, в конце 90-х годов прошлого столетия были разведаны и стали отрабатываться запасы эпитермальных золотосеребряных месторождений Агатовское, Джульетта, Гольцовое и Нявленга. Агатовское и Джульетта расположены в верховьях водотоков, относящихся к бассейну р. Колымы (Циркумарктическая область); Гольцовое и Нявленга – к бассейну Охотского моря (Циркумтихоокеанская область) (рис. 1).

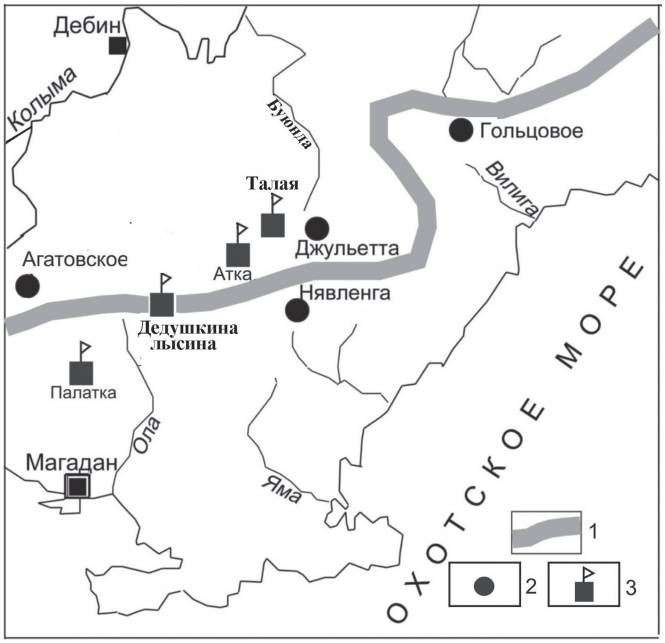


Рис. 1. Схема расположения рудных месторождений:
1 – зона Главного водораздела Земли; 2 – рудные месторождения; 3 – метеостанции

Важнейшими природными факторами, оказавшими влияние на особенности распространения многолетнемерзлых пород (ММП) и подземные воды, являются рельеф, климат, геологическое строение.

Рельеф на большей части протяженности ГВЗ низкогорный с абсолютными отметками менее 1300 м, сглаженный, водораздел выположенный, подчас затундрован, профили долин водотоков обычно вогнутые. Альпинотипные формы рельефа свойственны горным массивам, сформировавшимся на гранитных и гранодиоритовых интрузиях.

Климат охотско-колымского фрагмента ГВЗ изучен слабо, поэтому мы будем пользоваться материалами метеостанций (м/с), наиболее приближенных к месторождениям и находящихся в сходных географических обстановках (таблица). Такими станциями в Циркумарктической области (ЦАО) являются: м/с «Атка» – для месторождения Агатовского, м/с «Талая» – для месторождения Джульетта; в Циркумтихоокеанской области (ЦТО) м/с «Палатка» – для месторождения Нявленга, м/с «Дедушкина лысина» – для Гольцового.

Основные климатические факторы [2, 3]

№ п/п	Метеостанции	Месторождения-аналоги	Основные климатические факторы		
			Средняя годовая температура воздуха, ° С	Среднее годовое количество осадков, мм	То же, в холодное время года, мм
1	Атка	Агатовское	–12,2	293	103
2	Талая	Джульетта	–11,6	432	189
3	Палатка	Нявленга	–6,6	388	238
4	Дедушкина лысина	Гольцовое	–10,8	519	327

Метеостанции и месторождения находятся на абсолютных высотах свыше 450 м, но ниже 900 м. Следовательно, местоположение месторождений не является значимым фактором формирования мерзлотных и гидрогеологических условий. Тем не менее на тихоокеанском склоне среднегодовая температура воздуха выше, чем на арктическом. Характерна еще одна особенность – на тихоокеанском склоне снега выпадает больше, чем дождя. При этом в конце теплого – начале холодного периода года в ЦТО обычно выпадают обильные осадки (дождь, дождь со снегом), поэтому сезонноталый слой (СТС) промерзает в водонасыщенном состоянии и является более обильным источником питания для поверхностных водотоков, чем в ЦАО.

Геологическое строение районов месторождений характеризуется их приуроченностью к осевой зоне Охотско-Чукотского вулкано-плутонического пояса. Эффузивы залегают на пермско-триасовых терригенных породах, слагающих террейны – фрагменты пассивной континентальной окраины. Можно сделать вывод, что геодинамическая природа гидрогеологических структур всех месторождений одинакова. Повсеместно распространены гидрогеологические массивы, сформировавшиеся на покровах эффузивов (андезиты, базальты) верхнемелового возраста.

Геокриологические особенности рассматриваемых месторождений определяются слабопрерывистым распространением толщи ММП. При средней площади рудного поля около 20 – 25 км^2 суммарная площадь сквозных таликов 2,0 – 2,5 км^2. Эти талики находятся под руслами водотоков 3-го и большего порядков в ЦАО, 2-го и больших порядков – в ЦТО. Ширина сквозной таликовой щели в среднем около 100 – 120 м. Боковые стенки таликов в ЦАО или вертикальные, или наклонены к тальвегу водотока. В ЦТО боковые стенки наклонены под борта долин от русла, поэтому ширина талика в его основании превышает ширину над дневной поверхностью (рис. 2).

На горных склонах и вершинах водоразделов ММП имеют мощность до 450 м, на склонах – в среднем 200 – 220 м, у подножия долин – 100 – 120 м в ЦАО и 70 – 80 м в ЦТО. Глубина до подошвы яруса годовых теплооборотов обычно 15 м. Температура на этой глубине от –4,5 до –5,8° С в верхней и средней части склонов от –2 до –2,8° С у их подножия. Геотермический градиент под водоразделом 72 – 80 м/град. Сезонное оттаивание по глубине в среднем в ЦТО на 0,2 – 0,5 м больше по сравнению с ЦАО.

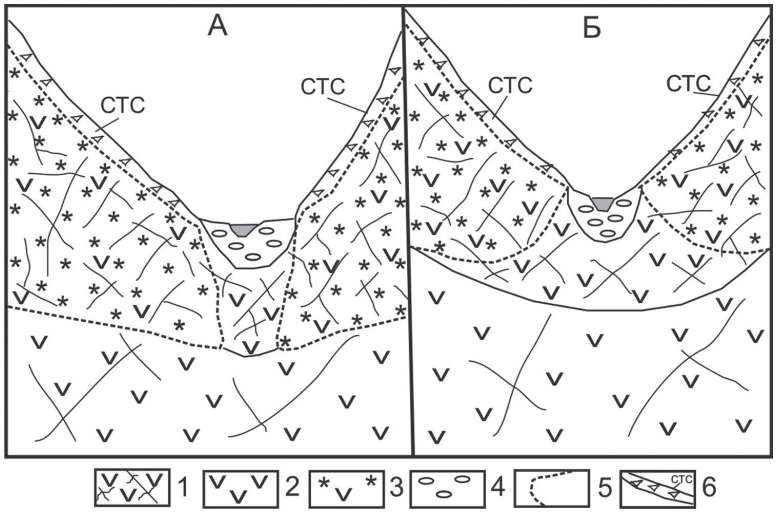


Рис. 2. Схематические разрезы сквозных таликов в зоне ГВЗ, в том числе:
А – арктический склон, Б – тихоокеанский:
1 – эффузивные породы трещиноватые; 2 – те же породы, слаботрещиноватые; 3 – те же породы, мерзлые; 4 – аллювиальные отложения; 5 – контур толщи ММП; 6 – сезонноталый слой

Выявленные особенности ММП приводораздельных рудных месторождений во многом способствовали формированию особенностей гидрогеологических условий.

Гидрогеологические особенности рудных месторождений характеризуются своеобразием структуры зоны свободного и затрудненного водообмена. Зона свободного водообмена в общем виде включает в себя СТС, надмерзлотные и сквозные талики. В пределах ЦТО существенной частью зоны являются подмерзлотные горизонты (см. рис. 2).

Водоносность СТС начинает отражаться на формировании поверхностных вод при достижении глубины оттаивания 20 см [4], Максимальное развитие водоносный СТС получает в конце теплого периода года при выпадении осадков в виде дождя или дождя со снегом. К концу октября СТС или полностью перемерзает, или дренируется. Источником питания поверхностных водотоков становятся надмерзлотные и сквозные талики. В сложении их принимают участие гравийно-галечные отложения с песчаным, супесчаным, реже суглинистым заполнителем. Мощность их 8 – 13 м. Ниже залегают гипергенно трещиноватые скальные породы (эффузивы, реже песчаники и сланцы мезозоя). Глубина залегания подошвы слоя трещиноватых пород до 140 м. Водоносный горизонт аллювиальных отложений (aQ) в водотоках, дренирующих месторождения Джульетта и Агатовское, имеет мощность до 10 м; коэффициент фильтрации в среднем 87 м/сут, удельные дебиты скважин обычно 2-3 л/с. Уровни подземных вод летом свободные, примерно на 0,2 – 1,5 м выше уровня воды в поверхностном водотоке. После сработки ресурсов в СТС уровень воды в талике превышает уровень речной на 5 – 10 см, а после прекращения стока наблюдается падение уровня грунтовых вод на глубину до 4 м.

Слой заглинизированного элювия отделяет водоносный горизонт аллювиальных отложений от гипергенно трещиноватых коренных пород. Их фильтрационные свойства отличаются большой неоднородностью, что отражается в колебаниях удельных дебитов от 0,3 до 2 л/с, при среднем значении 0,6 – 0,7 л/с. Воды напорные, но отметки их уровня ниже уровня грунтовых вод. Химический состав подземных вод по разрезу сквозного талика достаточно однороден. Минерализация их обычно от 0,15 до 0,2 г/дм^3; воды сульфатно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые или кальциево-натриевые.

В зоне свободного водообмена на месторождениях в ЦТО гидрогеологические условия отличаются высокими фильтрационными свойствами отложений, слагающих эту зону. Средний коэффициент фильтрации аллювиального горизонта 140 м/сут, гипергенно трещиноватых пород до 70 м/сут; удельные дебиты скважин 0,7 – 0,8 л/с. Уровенный режим их и состав

воды сходны с режимом в ЦАО. Дополнительно в структуру зоны свободного водообмена входит подмерзлотный слой под «козырьком» ММП у подножия горного склона. Мощность его достигает 17 м, а подмерзлотное протаивание прослежено до 100 м под склон. Фильтрационные свойства его низкие – до 20 м/сут, удельные дебиты 0,05 – 0,06 л/с. Состав воды близок к таковой в зоне свободного водообмена.

Зона затрудненного водообмена, по нашему мнению, включает подмерзлотные водоносные слаботрещиноватые породы. На всех рудных площадях они отличаются очень низкими удельными дебитами скважин (0,0005 – 0,0007 л/с), уровнем подземных вод, залегающим ниже уровня русла водотоков на 5-6 м (возможно, больше). Воды гидрокарбонатно-сульфатные магниево-кальциевые; минерализация их 1,2 – 3,0 г/дм^3; pH > 7. Сезонные изменения уровня и состава достоверно не установлены.

Обсуждение результатов исследований. Следует обратить внимание на сходство основных параметров толщи ММП (мощность, характер залегания и распространения) на разных склонах ГВЗ при значительных отличиях гидрогеологических обстановок. Различия касаются строения зоны свободного водообмена, ее объема и фильтрационных свойств водоносных отложений. Эти своеобразия геокриологии и гидрогеологии рудных месторождений мы увязываем с развитием толщи ММП в верхнем плейстоцене и голоцене. В период сартанского криохрона происходило промерзание ГВЗ. Независимо от ориентировки его склонов распространение ММП приобрело сплошной характер. Видимо, в период приблизительно от 50 до 12,5 тыс. лет назад влияние Тихого океана на климат континента в высоких северных широтах было минимальным. Это нашло отражение и в характере споро-пыльцевых спектров по всему Северо-Востоку России [5]. С началом потепления тепловлагонесущие воздушные массы стали достигать ГВЗ. Формирование таликов на тихоокеанском склоне происходило более интенсивно, чем на арктическом. Этому способствует не только более высокая температура воздуха, но и накопление снега в долинах горных водотоков, повышенная водообильность СТС из-за выпадения осадков в начале холодного периода года.

Отметим, что зона затрудненного водообмена заметных отличий на разных склонах ГВЗ не имеет. Она гидравлически слабо связана с зоной свободного водообмена, хотя пространственно они соприкасаются не только по вертикали, но и по литорали. Эти особенности мы объясняем тем, что ниже зоны гипергенной трещиноватости преобладают трещины субвертикальной направленности. Субгоризонтальные, вследствие геостатического давления, являются сомкнутыми. Возможно, существование субгоризонтальных зон тектонической трещиноватости в местах сдвигов или листрических разломов способствует формированию термальных вод, питающих известные источники – Наяханский, Хиим, Таватумский и др.

Заключение. В целом, можно отметить, что в пределах ЦТО климатические условия более благоприятны для формирования водного стока, чем в ЦАО. Однако горно-геологические условия отработки рудных месторождений и утилизации отходов горно-рудных предприятий более благоприятны на арктическом склоне.

Список литературы

1. Глотов, В. Е. Роль Главного мирового водораздела и формирование особенностей криосферы на Северо-Востоке России / В. Е. Глотов, Л. П. Глотова // Криосфера Земли как среда жизнеобеспечения : мат-лы Междунар. конф., г. Пущино, 19–21 мая 2003 г. – Пущино : НЦ РАН, 2003. – С. 35–36.

2. Клюкин, Н. К. Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР. – Магадан : Кн. изд-во, 1960. – 427 с.

3. Погода и климат. Режим доступа : http://pogodaklimat.ru/climate/25051.htm.

4. Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике / [отв. ред. В. Е. Глотов, Н. В. Ухов]. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – 204 с.

5. Позднечетвертичные растительность и климаты Сибири и Российского Дальнего Востока (палинологическая и радиоуглеродная база данных) / [ред. П. М. Андерсон, А. В. Ложкин]. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2002. – 369 с.

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ФОРМИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ

Голицын М. С., Дубровин В. А., Крицук Л. Н.
ВСЕГИНГЕО, Московская область, пос. Зеленый, vsegingeo@bk.ru

Аннотация. Кратко рассмотрены условия распространения подземных вод в верхней зоне многолетнемерзлых горных пород, перспективы использования подмерзлотных подземных вод при освоении газовых залежей Ямала.

Ключевые слова: *Ямал, многолетнемерзлые породы, надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные подземные воды, направления их изучения, использование.*

Abstract. Briefly reviewed the terms of the spread of groundwater in the upper zone of permafrost rocks, prospects for the use of hydrate accumulations groundwater during the development of gas deposits on the Yamal Peninsula.

Key words: *Yamal, permafrost, Admiralty, Mineralnye and hydrate accumulations of underground water areas of study, use.*

С 2010 г. происходит активная эксплуатация уникальных по своим запасам газовых месторождений заполярного полуострова Ямал, протянувшегося на 700 км. Они были разведаны 30 – 40 лет тому назад, в настоящее время запасы уточняются. Строятся жилые поселки, эксплуатируются газоперекачивающие станции, трубопроводы, дороги. Проблема жизнеобеспечения производства становится важнейшей. Природные воды играют одну из основных ролей при эксплуатации недр, строительстве и решении проблемы водоснабжения населения.

Специалисты ВСЕГИНГЕО около 40 лет занимаются изучением геокриологических, ландшафтных и гидрогеологических условий Ямала до глубины 20 – 25 м. Эти условия взаимозависимы и тесно связаны с рельефом, гидрографией, особенностями климата [1–3]. При промышленном освоении полуострова знания взаимосвязей природных процессов и особенностей верхней части криолитозоны являются первостепенными.

Для питьевых и технических целей, прежде всего, необходима пресная вода в течение многих десятков лет добычи углеводородов. Зима на полуострове продолжается более 9 месяцев. Большинство небольших рек и озер полностью на глубину 2-3 м перемерзают, изменяя при этом свой состав. Для устойчивого водоснабжения могут использоваться: 1) создаваемые крупные водохранилища на реках и 2) природные глубокие озера при слое воды в них не менее 8 – 10 м [1].

Верхняя сложная граница многолетнемерзлых горных пород находится на глубинах от 0,5 м, на заболоченной равнинной территории – до 20 – 30 м под глубокими озерами, которые оказывают тепловое воздействие на мерзлые породы [3].

В условиях быстрого строительства неустойчивыми оказываются трассы газопроводов и автодороги в связи с процессами оттаивания и замерзания насыпных грунтов. Требуется их постоянное уплотнение в начальный период строительства в различные периоды года. Важно знать режим уровня и состава надмерзлотных подземных вод.

Решается проблема строительства заполярной железной дороги от Салехарда до Тамбейского месторождения протяженностью более 500 км. Строительство поселков, промышленных зданий на многолетнемерзлых породах в криолитозоне страны давно освоено с применением свайных оснований. Для закрепления устьев газодобывающих скважин применяются специальные бетонные сооружения, так как температура газа на выходе из недр может достигать +60° С, при которой мерзлые породы оттаивают и теряют свои прочностные свойства.

Многолетнемерзлые горные породы представлены на полуострове толщей четвертичных отложений различного генезиса, палеогеновых и меловых морских и прибрежно-морских пород. Их температура в пределах слоя постоянных значений составляет –10 – 12° С, повышаясь с глубиной до 0° С. Общая мощность многолетнемерзлых горных пород на полуострове

составляет 200 – 400 м. Нижняя граница их, вероятно, имеет сложное строение в связи с тектоническими условиями, историей промерзания пород, динамикой подземных вод.

Внутри многолетнемерзлых горных пород были неоднократно вскрыты в различных частях полуострова на глубинах от 2 до 30 м соленые хлоридные натриевые и магниево-натриевые воды и рассолы с общей минерализацией до 107 г/л [3]. Их основной химический состав соответствует морской воде с потерей сульфатных солей в форме гипса и карбонатов кальция.

Под слоем многолетнемерзлых горных пород залегают, в основном, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые лечебные подземные воды с общей минерализацией до 8 – 10 г/л, которые могут и должны использоваться. Гидрогеологические условия глубоких зон изучены слабо, но они могут реально помочь в прогнозе местоположения новых газовых залежей, выявлении условий и времени развития криолитозоны полуострова.

На глубинах 1500 – 2600 м и более находятся термальные пластовые, хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды в юрских и, возможно, триасовых терригенных породах. Их температура 40 – 50° С и повышается с глубиной. Эти воды можно использовать для обогрева производственных и жилых помещений, лечебных, газопоисковых, научных и других целей. Предстоит оценить и использовать их ресурсы, вещественный состав, физико-химические и бальнеологические свойства, условия сброса отработанных вод в Северный Ледовитый океан и закачки в недра для поддержания пластовых давлений при эксплуатации газовых месторождений.

Необходим комплексный мониторинг режима уровня, состава и состояния подземных вод верхней части криолитозоны и климатических условий для обоснования эффективного строительства и защиты любых инженерных сооружений на полуострове.

ВСЕГИНГЕО накоплен огромный опыт изучения режима и последствий криогенных процессов и явлений на территории Ямала и Гыдана. Это бугры пучения и провалы за счет роста и таяния льда, образования наледей за счет грунтовых и поверхностных вод, растрескивания грунтов, эрозии берегов рек, изменения состава и свойств речных и озерных вод в течение года. Важное значение имеют современные самопишущие термодатчики, установленные в скважинах. Они работают в автономном режиме с заданной периодичностью в течение 2-3 лет.

Основные проблемы изучения режима, состава и свойств подземных вод и многолетнемерзлых пород представляются следующими:

– оценка и прогноз последствий возрастающего техногенного воздействия на географическую и геологическую среду полуострова и инженерные сооружения;

– оценка влияния подземных вод на эксплуатацию глубоких газодобывающих скважин;

– распространение мерзлых пород в устье Оби и на побережье Северного Ледовитого океана;

– создание водохранилищ с питьевой и технической водой, оценка изменений их химического состава, общей минерализации и свойств в течение года и в многолетнем цикле;

– влияние горячих газопроводов на земляные траншеи;

– глобальные изменения заполярного климата и их влияние на многолетнемерзлые горные породы, подземные воды и технические сооружения.

Необходимо широкое использование, сопоставление и анализ космофотоснимков, комплексная экспертиза проектов выполнения натурных геокриологических и гидрогеологических работ и контроль выполнения строительных и производственных работ.

Список литературы

1. Голицын, М. С. Проблемы хозяйственно-питьевого, технического и бальнеологического водоснабжения Ямала / М. С. Голицын, В. А. Дубровин, Л. Н. Крицук // Современная гидрогеология нефти и газа. Фундаментальные и прикладные вопросы. РГУ нефти и газа. – М. : ГЕОС. – 2010. – С. 445–446.

2. Дубровин, В. А. Проблемы геокриологических исследований в осваиваемых районах Арктики и Субарктики / В. А. Дубровин, Л. Н. Крицук // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 8. – С. 28–31.

3. Крицук, Л. Н. Подземные воды Западной Сибири / Л. Н. Крицук. – М. : Научный мир, 2010. – 345 с.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НАДМЕРЗЛОТНЫХ ВОД И ТЕМПЕРАТУРНЫЕ УСЛОВИЯ СЕЗОННОТАЛОГО СЛОЯ НА СЛАБОНАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

Данзанова М. В.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, dmv_1585@mail.ru

Аннотация. Надмерзлотные воды, ввиду их близкого расположения к поверхности земли, определяют гидрологические, гидрогеологические, геоморфологические, инженерно-геологические и другие природные условия территории криолитозоны, влияют на температурное состояние грунтов, а также способствуют активизации многих криогенных процессов и явлений. Результаты исследований режима надмерзлотных вод на стационаре «Туймаада» (район г. Якутска) свидетельствуют о различии в динамике мощности и температурных условий грунтов в пределах деятельного слоя на различных элементах рельефа и зависимости динамики химического состава надмерзлотных вод от климатических факторов.

Ключевые слова: *надмерзлотные воды, сезонноталый слой, промерзание, деятельный слой.*

Abstract. Suprapermafrost water determine the hydrological, hydrogeological, geomorphological, geological engineering and other natural conditions affect the temperature condition of the soil, as well as the activity of many cryogenic processes and phenomena. The results of studies of the suprapermafrost water regime at the site “Tuymaada” indicate the difference in the dynamics of thickness and temperature conditions of the active layer on the various elements of the relief, and depending on the dynamics of the chemical composition of suprapermafrost water on climatic factors.

Key words: *suprapermafrost waters, seasonally thaw layer, the active layer.*

Изучению надмерзлотных вод, формирующихся в слое сезонного промерзания на территории г. Якутска, уделяется чрезвычайно мало внимания, несмотря на то, что они участвуют в увеличении обводненности грунтов, особенно в начале летнего периода, вызывают развитие опасных криогенных процессов (пучение, термопросадки и т.д.), а при высокой минерализации представляют угрозу для инженерных сооружений. На территории Якутска режимные наблюдения за уровнем и химическим составом надмерзлотных вод деятельного слоя с 1993 по 2001 гг. проводились сотрудниками Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН. В результате этих исследований было установлено, что формирование надмерзлотных вод в черте города происходит, как правило, в начале июня [1, 2]. В течение лета наблюдается снижение уровня подземных вод на фоне смещения кровли сезонноталого слоя пород и увеличения мощности обводненного слоя. Постепенное истощение запасов надмерзлотных вод происходит в течение октября-ноября. На некоторых участках надмерзлотные воды сохраняются круглогодично.

Амплитуда колебаний уровня надмерзлотных вод в течение года на разных участках изменяется от 0,1 до 3,3 м [1]. По данным наблюдений на трех колодцах, проведенных ИМЗ СО РАН в 1993 – 2005 гг. на территории г. Якутска, уровень надмерзлотных вод повысился в среднем на 0,7 м. Химический состав надмерзлотных вод сезонноталого слоя в черте г. Якутска весьма разнообразный и зависит от степени и вида техногенной нагрузки [1, 3, 4]. В центральной части города химический состав надмерзлотных вод преимущественно хлоридно-гидрокарбонатный натриевый с минерализацией, в различные годы, от 1,2 до 4,5 г/л. На участках, менее подверженных техногенному воздействию, химический состав надмерзлотных вод сезонноталого слоя сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-натриевый с минерализацией до 0,2 – 0,7 г/л. В условиях высокой зарегулированности надмерзлотного стока могут формироваться надмерзлотные криопэги [5–7]. Для прогноза изменения мерзлотно-гидрогеологических и гидрохимических условий под действием того или иного техногенного вмешательства важно знать естественный режим надмерзлотных вод сезонноталого слоя в разных

ландшафтных условиях. Изучение надмерзлотных вод невозможно без наблюдений за слоем сезонного протаивания пород и его динамикой в зависимости от изменения климатических характеристик. Такие комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования проводятся в черте г. Якутска на научном стационаре Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова «Туймаада» с 2008 г.

Характеристика участка. Стационар расположен на низкой надпойменной террасе р. Лены и примыкает к бровке песчаной серповидной гряды. Территория стационара ровная, абсолютные отметки ее поверхности составляют 98,0 – 99,0 м. В северо-западной части территории стационара находится естественная заболоченная ложбина стока с абсолютными отметками поверхности 95,5 – 96,0 м. В геологическом строении участка принимают участие: почвенно-растительный горизонт до 0,2 – 0,3 м; от 0,2 – 0,3 м до 0,6 – 0,8 м – легкий суглинок (или супесь); от 0,6 – 0,8 м до 1,6 – 1,8 м – супесь с прослойками песка или песок с прослоями супеси; далее до 20 м – песок мелко- и среднезернистый. В восточной части территории стационара произрастает сосново-лиственничный лес. Небольшие участки лесной и кустарниковой растительности присутствуют и в центральной его части. Территория стационара ограждена, с юго-западной стороны к ней примыкает грунтовая дорога. В целом, территорию стационара можно охарактеризовать как слабонарушенную.

Для изучения мерзлотно-гидрогеологической обстановки и постановки дальнейших исследований на стационаре «Туймаада» в 2008 – 2009 гг. были пробурены три скважины по профилю на разных элементах рельефа: скважина 1Т – на поверхности песчаной гряды, у ее бровки; скважина 2Т – в нижней части склона; скважина 3Г – в естественной ложбине стока. При бурении скважин 1Т и 2Т глубиной 10 м в июне 2008 г. наличия надмерзлотных вод зафиксировано не было, и в дальнейшем эти скважины использовались для изучения геотермического режима пород. В процессе бурения скважин были отобраны пробы грунта для определения их засоленности.

При бурении скважины 3Г в ложбине стока в марте 2009 г. в мелкозернистых песках в интервале от 2 до 3 м был вскрыт водоносный слой. Скважина была обсажена и оборудована фильтром в интервале обводненных пород для проведения в дальнейшем режимных гидрогеологических наблюдений.

Обсуждение результатов наблюдений. На основании анализа геотермических данных установлено, что в разных ландшафтных условиях глубина сезонного протаивания грунтов и скорость их промерзания-оттаивания неодинаковы. На возвышенном участке мощность сезонноталого слоя составляет 2 м. На склоне в летний период грунты протаивают до глубины 2,5 – 3,0 м. Более интенсивное их охлаждение и прогревание отмечается на ровной поверхности. Температура грунтов на глубине 10 м на этих двух участках в период наблюдений составляла –1,9 – –2,1º С.

Вблизи ложбины стока в летние периоды 2009 – 2010 гг. породы, перекрывающие надмерзлотный водоносный слой, протаивали полностью. Зимой сохранение надмерзлотных вод повышенной минерализации с температурой –0,5º С препятствовало продвижению фронта холода вглубь, поэтому годовые колебания температур грунта ограничивались глубиной 4 м. Зимой 2010/2011 гг. произошло перемерзание водоносного слоя, после чего температура пород в интервале 2,0 – 3,0 м понизилась до –1,0 – –1,2º С. В последующем на этом участке мощность сезонноталого слоя не превышала 1,7 – 2,0 м. На глубине 10 м температура грунтов на протяжении всего периода наблюдений была –1,5 – –1,7º С.

С особенностями теплового режима грунтов, изменчивостью их сезонного промерзания и протаивания связаны и особенности перераспределения растворимых солей по разрезу. На повышенном участке наибольшая засоленность (до 0,05 – 0,07%) супесчаных отложений прослеживается до глубины 1,0 – 1,5 м, а на склоне – до 4,0 – 4,5 м, что соответствует мощности слоя сезонного протаивания грунтов. В подстилающих многолетнемерзлых песках концентрация растворимых солей изменяется от 0,01 до 0,03%.

При изучении перераспределения солей по элементам рельефа было отмечено, что грунты на поверхности песчаной гряды менее всего засолены. Это обусловлено хорошей дренированностью отложений, обеспечивающей вынос растворимых веществ с надмерзлотным стоком. Накопление солей происходит в низине, где их концентрация в супесчано-суглинистых отложениях слоя сезонного протаивания составляет 0,05 –0,15% (рис. 1). Повышенная засоленность грунтов в ложбине стока, а также их высокая обводненность в 2006 и 2007 гг., вызванная повышенным количеством атмосферных осадков (263 и 215 мм соответственно), по-видимому, и определили формирование в подошве слоя сезонного протаивания надмерзлотных вод хлоридного натриево-магниевого состава с минерализацией до 10 г/л.

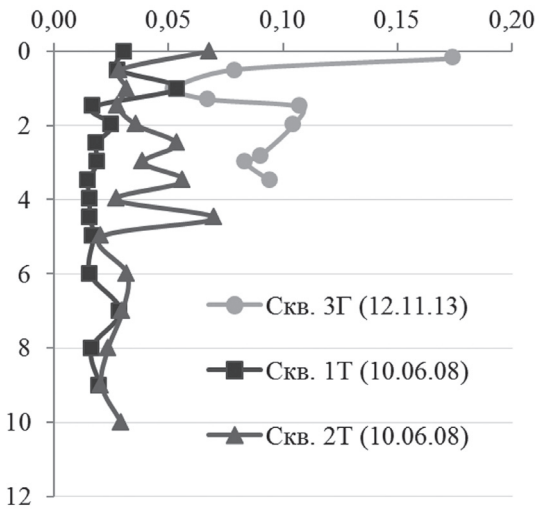


Рис. 1. Изменение засоленности грунтов по разрезу в разных ландшафтных условиях

Как показали результаты дальнейших исследований, водоносный слой в ложбине стока сохранялся круглогодично до 2010 г. Мощность обводненных пород была максимальной в осенний период, когда она составляла 1,6 – 2,1 м, и сокращалась в процессе зимнего промерзания пород до 1,0 м. Соответственно в течение года наблюдалось и снижение глубины залегания уровня подземных вод от 0,7 м до 2,0 м. Истощение запасов надмерзлотных вод сезонноталого слоя происходило за счет миграции влаги к фронту промерзания. Этот процесс восходящего переноса влаги в зимний период является ведущим в формировании режима надмерзлотных вод сезонноталого слоя и грунтовых вод в небольших таликах. При достижении границы сезонного промерзания кровли водоносного слоя, которое на участке скважины 3Г происходит обычно в марте-апреле, наблюдалось незначительное повышение уровня подземных вод. Криогенный гидростатический напор составлял 0,3 м. В это время отмечалась максимальная минерализация надмерзлотных вод – 10 – 14 г/л. Повышение ее зимой связано с криогенным концентрированием солей в подземных водах, промерзающих в гидравлически замкнутой системе. О криогенном метаморфизме надмерзлотных вод свидетельствует преобладание в их составе хлоридов натрия и магния, достигающие 83% от суммы всех солей. Содержание химических веществ в надмерзлотных грунтовых водах уменьшалось до 6 – 8 г/л в осенний период после протаивания пород сезонномерзлого слоя и смешивания с инфильтрующимися атмосферными осадками. Концентрация хлоридов натрия и магния при этом уменьшалась до 68%, на содержание сульфатов магния и гидрокарбонатов кальция приходилось по 15%.

В зимний период 2011/2012 гг. наблюдалось промерзание водоносного перезимка. Этому способствовали климатические условия двух предыдущих лет: небольшое количество атмосферных осадков (112 мм в 2009 г и 133 мм в 2010 г.) и относительно низкие температуры воздуха зимой. В дальнейшем надмерзлотные воды сезонноталого слоя в скважине 3Г стали появляться лишь в конце августа, после того как глубина протаивания грунтов достигала 2,0 м. В начале осени уровень надмерзлотных вод сезонноталого слоя залегал на глубине 0,4 – 0,9 м, а мощность водоносного слоя была 1,8 – 2,6 м. В течение октября-ноября наблюдалось постепенное увеличение глубины залегания уровня надмерзлотных вод и сокращение их мощности. К началу декабря происходило смыкание сезонномерзлого слоя с кровлей многолетнемерзлых пород.

По данным химических анализов, с 2011 по 2014 гг. прослеживалось постепенное уменьшение минерализации надмерзлотных вод, формирующихся в сезонноталом слое, что, по всей вероятности, связано с их криогенным опреснением. Как известно, после полного

промерзания водоносного слоя и выпадения в осадок ряда солей при последующем оттаивании пород не все соли переходят в жидкую фазу [1]. В первую очередь, возвращаются в раствор хорошо растворимые хлориды и частично сульфаты. Именно этот процесс наблюдался на участке скважины 3Г. Несмотря на снижение минерализации надмерзлотных вод сезонноталого слоя до 4 – 2 г/л, в их солевом составе оставались преобладающими хлориды магния и натрия, концентрация которых в сумме составляла 53 – 68%. Содержание сульфатов магния и кальция изменялось в пределах 16 – 20%, на гидрокарбонаты кальция приходилось 13–16%.

Заключение. Анализ результатов геотермических наблюдений показал, что даже на небольшой территории стационара «Туймаада» существуют различия в формировании слоя сезонного протаивания и распределении температуры грунтов в слое годовых теплооборотов в зависимости от микрорельефа. В период наблюдений на поверхности песчаной гряды и ее склоне существенных изменений мощности слоя сезонного протаивания и его температуры не отмечалось. В ложбине стока существовал динамичный слой сезонного протаивания-промерзания грунтов. Изменчивость его мощности обусловлена климатическими особенностями: экстремальная величина глубины протаивания пород и формирование водоносного перезимка согласуется с повышением количества выпадающих атмосферных осадков за предыдущий год. Сокращение мощности сезонноталого слоя и промерзание перезимка происходит в сухие годы.

В условиях, способствующих сохранению надмерзлотного водоносного слоя зимой, в процессе его сезонного промерзания наблюдается увеличение концентрации солей в надмерзлотных водах в 2,5 – 3,5 раза по сравнению с осенним периодом за счет хлоридов магния и натрия. После смыкания деятельного слоя с многолетнемерзлыми породами и последующим летним оттаиванием пород наблюдалось постепенное уменьшение минерализации надмерзлотных вод, формирующихся в сезонноталом слое (рис. 2). Тем не менее в их солевом составе доминировали хорошо растворимые хлориды натрия и магния.

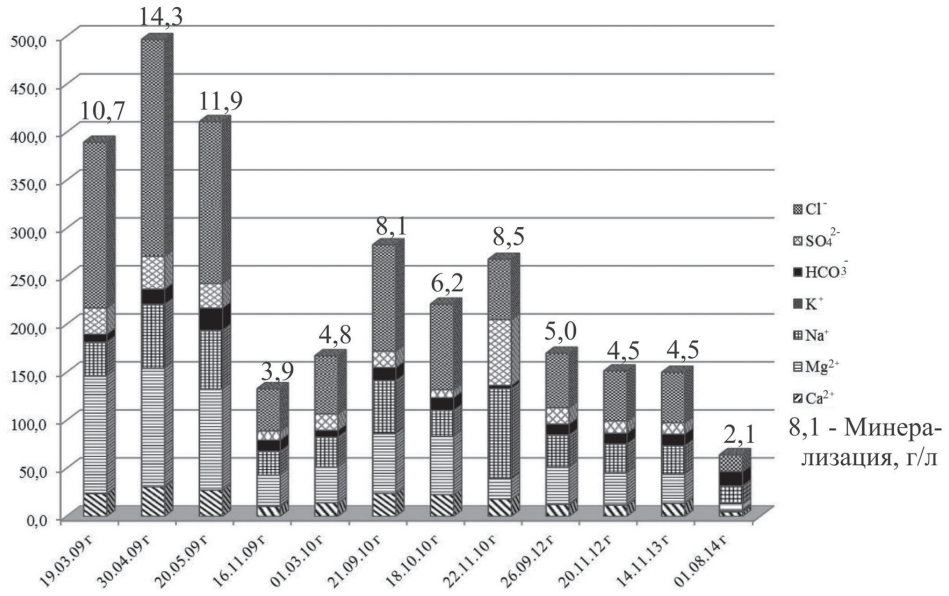


Рис. 2. Динамика химического состава надмерзлотных вод на стационаре «Туймаада» по скв. 3Г (г. Якутск)

При освоении подобных территорий необходимо учитывать выявленные особенности изменчивости мощности слоя сезонного протаивания пород и вероятность формирования в его подошве перезимка с надмерзлотными водами повышенной минерализации. Благодаря высокой солености такие надмерзлотные воды могут сохраняться в жидкой фазе и при отрицательной температуре, а со временем могут перейти в разряд постоянно существующих криопэгов.

Сравнительный анализ материалов мерзлотно-гидрогеохимических исследований, проведенных на площадях, подверженных в разной степени техногенному воздействию, позволит выработать методы борьбы с загрязнением природной среды и контролировать ее изменения.

Работа проведена при поддержке Гранта РФФИ №15-45-05050 «Экспериментальные исследования формирования и эволюции техногенных криопэгов на урбанизированной территории криолитозоны в Центральной Якутии».

Список литературы

1. Анисимова, Н. П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны / Н. П. Анисимова. – Новосибирск : Наука, 1981. – 153 с.

2. Анисимова, Н. П. Режимные исследования надмерзлотных таликов в окрестностях Якутска / Н. П. Анисимова // Криолитозона и подземные воды Сибири. – Якутск : Изд-во ИМЗ СО РАН, 1996. – Ч. 2. – С. 3–16.

3. Анисимова, Н. П. Особенности формирования криопэгов в слое годовых теплооборотов на территории Якутска / Н. П. Анисимова, Н. А. Павлова // Криосфера Земли. – 2002. – Т. 4. – С. 63–69.

4. Павлова, Н. А. Динамика мерзлотно-гидрогеохимической обстановки на участках распространения криопэгов в г. Якутске / Н. А. Павлова // Наука и образование. – 2010. – № 3. – С. 15–19.

5. Павлова, Н. А. К вопросу о решении проблемы обводнения застраиваемой территории города Якутска / Н. А. Павлова, М. В. Данзанова // Наука и образование. – 2013. – № 3. – С. 101–105.

6. Шепелев, В. В. Надмерзлотные воды криолитозоны / В. В. Шепелев. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2011. –169 с.

7. Шепелев, В. В. Особенности нарушенного режима надмерзлотных вод деятельного слоя / В. В. Шепелев, А. В. Санникова // Мониторинг подземных вод криолитозоны / отв. ред. В. Т. Балобаев, В. В. Шепелев. – Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. – С. 60–66.

8. Шепелев, В. В. Особенности гидрогеологических условий урбанизированных территорий криолитозоны и основные проблемы борьбы с их подтоплением (на примере г. Якутск) / В. В. Шепелев, Т. Р. Чжан // Отечественная геология. – 2011. – № 6. – С. 58 – 63.

ПОИСК И ОКОНТУРИВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КРИОЛИТОЗОНЫ НА ОСНОВЕ ИЗМЕРЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО ИМПЕДАНСА МЕРЗЛЫХ ТОЛЩ

Ефремов В. Н.

Институт мерзлотоведения СО РАН им. П. И. Мельникова, г. Якутск, vne@mpi.ysn.ru

Аннотация. Отмечены возможности изучения подземных вод криолитозоны в результате радиоимпедансных и РМТ зондирований. Предложены основные принципы методики применения радиоимпедансных измерений для поиска, картирования и оценки параметров залегания подземных вод. Возможности изучения подземных вод РМТ и импедансными зондированиями проиллюстрированы результатами численного моделирования и экспериментальными исследованиями на водоносном комплексе Улахан-Тарын в Центральной Якутии.

Ключевые слова: *подземные воды криолитозоны, распространение, поверхностный импеданс, зондирование.*

Abstract. The opportunities of study of ground waters of permafrost are marked as a result of radioimpedance and RMT soundings. The basic principles of a technique of application of radioimpedance measurements for search, maping and estimation of parameters place of ground waters are offered. The opportunities of study of ground waters RMT and impedance soundings are illustrated with results of numerical modeling and experimental researches on a complex Ulakhan-Taryn in Central Yakutia.

Key words: *ground waters of permafrost, distribution, surface impedance, sounding.*

Обнаружение подземных вод и оконтуривание области их распространения в многолетнемерзлых дисперсных отложениях является задачей актуальной и достаточно благоприятной для решения с помощью радиоволновой электроразведки и, в частности, метода поверхностного импеданса. Метод поверхностного импеданса состоит в изучении структуры электромагнитного поля от удаленного источника на границе раздела «воздух – земля» путем измерения параметров, составляющих поля. Данные о структуре поля в пункте наблюдения позволяют расчетным путем получить информацию о геоэлектрическом строении и свойствах подстилающей среды. Этим методом, обладающим высокой степенью информативности и достаточной глубинностью зондирования, могут изучаться не только надмерзлотные и межмерзлотные, но и подмерзлотные воды криолитозоны.

Изучение подмерзлотных и межмерзлотных вод с горизонтальными границами криогенных водоупоров [1], а также непромерзающих зимой надмерзлотных вод сезонноталого слоя второго вида [2] является благоприятной задачей по следующим причинам. Водоносный горизонт в мерзлой толще моделируется в первом приближении промежуточным тонким проводящим слоем. В результате наличия последнего горизонтально-слоистая среда становится сильноиндуктивной. Для сильноиндуктивных сред частотная зависимость поверхностного импеданса осциллирует и характеризуется резким снижением его модуля, а также еще более резким увеличением его аргумента (фазы импеданса) с понижением частоты [3].

Многолетний опыт применения измерений поверхностного импеданса в диапазоне частот 10 – 1000 кГц на территории Якутии показал, что его модуль и фаза, рассчитываемые по ним эффективные значения электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости очень сильно зависят от наличия и степени минерализации свободной воды в дисперсных породах, составляющих криолитозону. В данном диапазоне частот эффективное сопротивление дисперсных грунтов изменяется в 5 и более раз, увеличиваясь при их промерзании или уменьшаясь при их оттаивании. Фаза импеданса резко изменяется на десятки градусов при наличии в мерзлоте тонких проводящих слоев, представленных водоносными горизонтами, слоями и особенно криопэгами, обладающими наибольшей электропроводимостью.

Метод поверхностного импеданса используется и в радиомагнитотеллурическом (РМТ) зондировании, которое оперирует эффективным сопротивлением и фазой импеданса в диапазоне частот 1 – 1000 кГц [4]. Методика и аппаратура РМТ располагают возможностью использования контролируемого источника электромагнитного поля. Понижение нижней границы диапазона частот до 1 кГц увеличивает глубинность зондирования в 3 раза, достигая 300 м и более. Численное моделирование частотной зависимости поверхностного импеданса по типовым значениям параметров геоэлектрического строения показывает, что эффективное сопротивление и фаза импеданса в значительной степени реагируют на наличие в мерзлой толще подземных вод различного типа (рис. 1). Это предполагает в перспективе расширение возможностей РМТ зондирования в диапазоне частот 1 – 1000 кГц.

Изучение подземных вод методом поверхностного импеданса предлагается выполнять в два этапа. На первом этапе проводится радиоимпедансное профилирование на одной частоте (РИП) по электромагнитному сопротивлению и радиоимпедансное экспресс-зондирование (РИЭЗ) на двух частотах по системе профилей, покрывающих исследуемую площадь (РИП – для поиска и оконтуривания в плане площади распространения водоносного горизонта; РИЭЗ – для приближенной оценки глубины его залегания и водообильности). На втором этапе производится радиоимпедансное зондирование (РИЗ) или РМТЗ на большем количестве частот. РИЗ и РМТЗ – для получения в результате одномерной и двумерной интерпретации геоэлектрических разрезов мерзлых толщ, 3D-изображений строения мерзлоты и наличия водоносного образования на участке, оценки мощности водоносного горизонта, мониторинга изменения параметров водоносного горизонта.

Рассмотрим изучение подземных вод по предложенной методике на примере исследования межмерзлотных подземных вод водоносного комплекса Улахан-Тарын в Центральной Якутии.

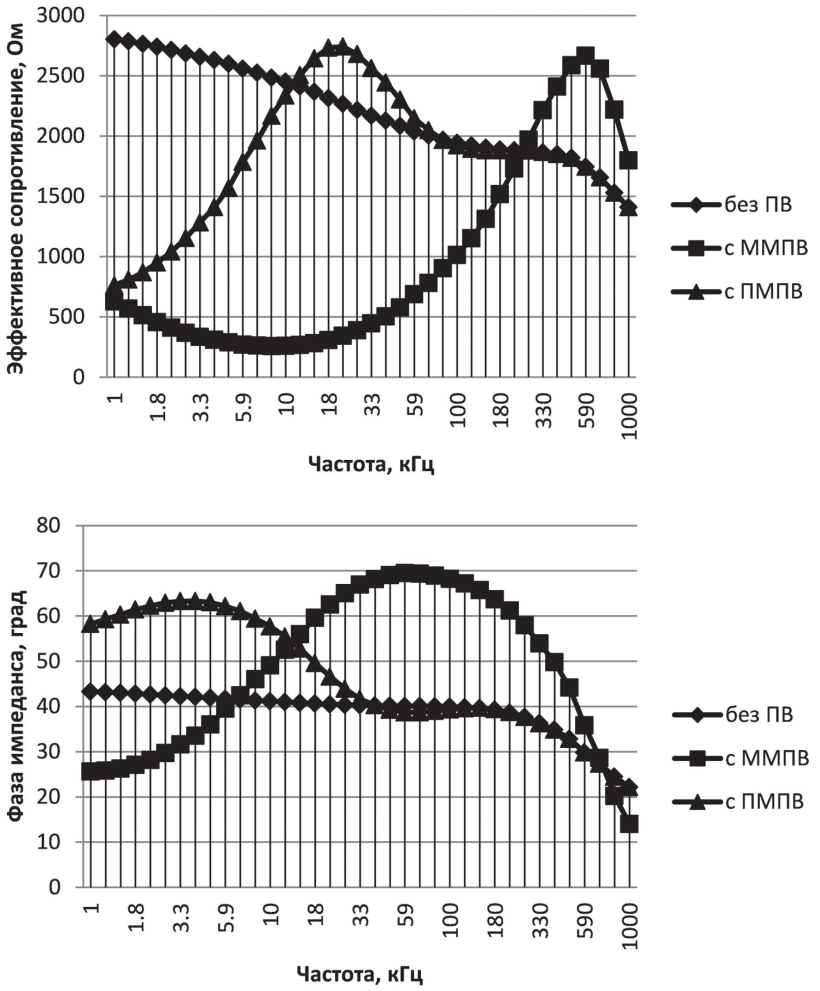


Рис. 1. Расчетная частотная зависимость эффективного сопротивления и фазы импеданса в отсутствие подземных вод (ПВ), при наличии межмерзлотных подземных вод (ММПВ) либо при наличии подмерзлотных подземных вод (ПМПВ).

Мощность мерзлых рыхлых отложений в отсутствие ПВ – 60 м; мощность перекрывающих ММПВ мерзлых рыхлых отложений – 30 м; мощность ММПВ – 30 м; глубина залегания ПМПВ – 200 м; мощность ПМПВ – 30 м

В задачу первого этапа решения поставленной задачи входят обнаружение водоносного горизонта и приближенная оценка глубины его залегания. Для этого были проведены РИП и РИЭЗ в 171 пункте по сети профилей, которые затем были объединены в три основных профиля: южный, центральный и северный. РИЭЗ производились на двух частотах – 171 и 549 кГц. Найденный проводящий слой интерпретировался как соответствующий водоносным и талым зонам. В результате обработки данных РИЭЗ такие зоны были выделены на глубинах: 2 – 15 м – по северному профилю; 10 – 15 – по центральному; 20 м – по южному профилю. Площадное распространение зон с проводящим слоем было представлено распространением приближенных значений УЭС проводящего слоя и его глубины залегания.

На втором этапе интерпретация частотных зависимостей модуля и аргумента поверхностного импеданса позволила получить геоэлектрические разрезы для каждого пункта радиоимпедансного зондирования. Полученные результаты представляются нами в виде геоэлектрических разрезов по трем основным профилям и в виде распределения значений отдельных параметров разреза по исследуемой площади. Геоэлектрические разрезы по трем основным профилям приведены на рис. 2. Слои геоэлектрического разреза представлены дву-

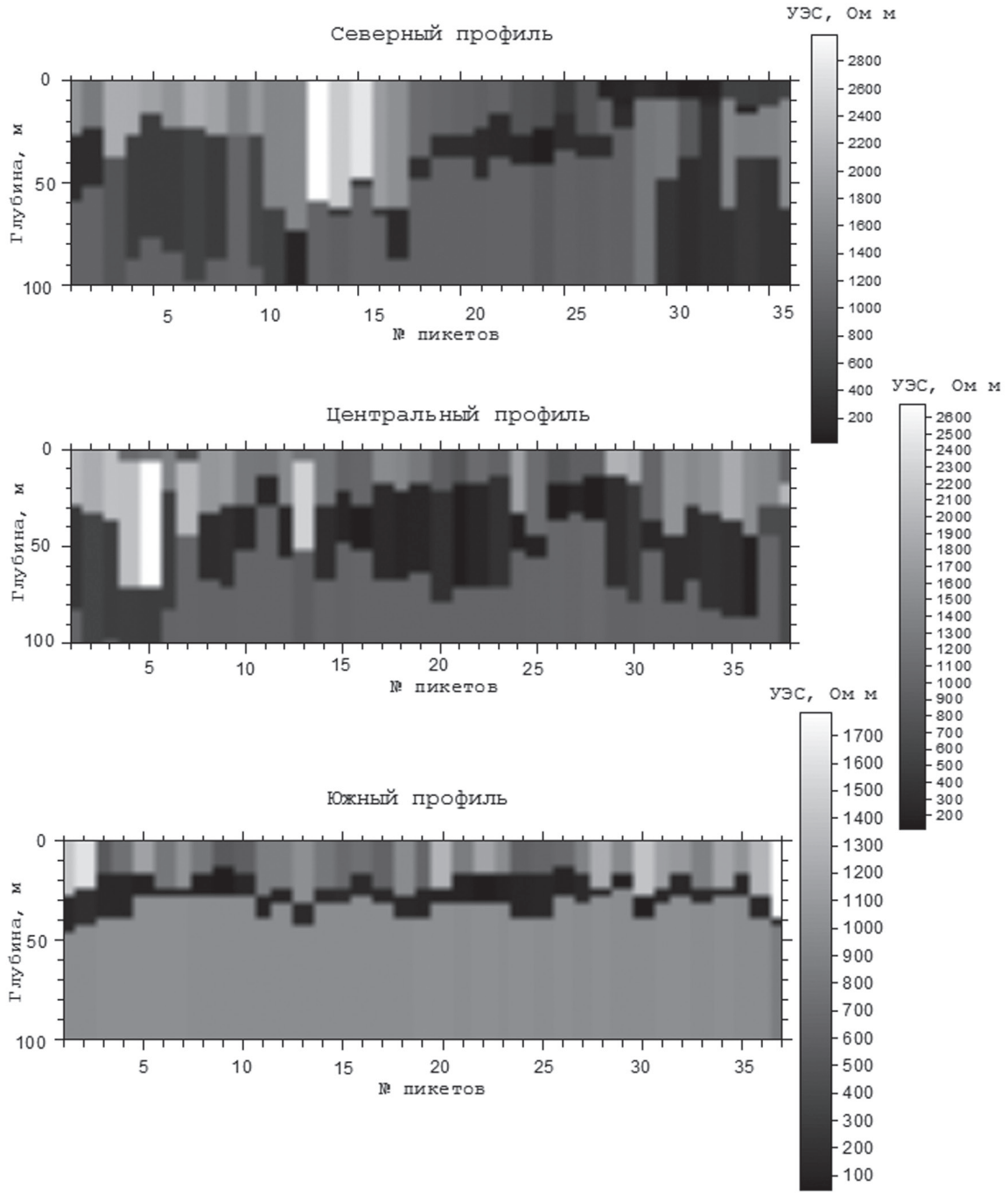


Рис. 2. Геоэлектрические разрезы по результатам радиоимпедансного зондирования по основным профилям на водоносном комплексе Улахан-Тарын

мя параметрами: удельным электрическим сопротивлением (УЭС) слоя и его мощностью. В упрощенном виде нами использовалась трехслойная модель геоэлектрического строения территории. За первый (верхний) слой принимались мерзлые рыхлые отложения, представленные в основном песками и супесями с УЭС, находящимся в интервале 800 – 5000 Ом·м; за второй (промежуточный) слой нами приняты талые и водоносные рыхлые отложения с УЭС в интервале 0 – 800 Ом·м; за третий (нижний) – мерзлые рыхлые отложения и талые плотные породы с УЭС более 800 Ом·м. Для упрощения процесса интерпретации и его автоматизации мы не стали выделять сезонноталый слой, учитывая, что для песков различие по УЭС в талом

и мерзлом состояния не столь значительно, как различие между мерзлыми песками и водоносными отложениями. В ходе интерпретации данных зондирования исходная модель подтвердилась большинством полученных натурных данных. В дальнейшем, при необходимости, исходная трехслойная модель уточнялась, и число слоев увеличивалось до шести. По результатам интерпретации нами получены, в основном, трехслойные разрезы, и поэтому для удобства построения и зрительного восприятия профильные разрезы также показаны трехслойными.

Основой для интерпретации послужило радиоимпедансное зондирование, проведенное в 20 м от водозаборной скважины. В результате решения обратной задачи получен четырехслойный геоэлектрический разрез (ГЭР), представленный мощностями выделенных слоев, их удельным электрическим сопротивлением (УЭС) и относительной диэлектрической проницаемостью (ОДП). Полученные параметры залегания выделенных слоев хорошо согласуются с параметрами залегания горизонтов геолого-геокриологического разреза (ГГР), известными по данным бурения (таблица).

Параметры геоэлектрического и геолого-геокриологического разрезов на водозаборе межмерзлотного водоносного комплекса Улахан-Тарын

УЭС, Ом·м	ОДП, отн. ед.	Мощность по ГЭР, м	Мощность по ГГР, м	Горные породы	Мерзлотное состояние
1814	12	20	20	Песок кварцполевошпатовый мелкозернистый	Мерзлое
197	11	6,7	7	Песок мелкозернистый ожелезненный слюдистый	Мерзлое
143	44	37	38	Песок мелкозернистый и среднезернистый с включениями щебня и обломков карбонатных пород	Талое
3000	8	–	–	–	Мерзлое

Задачу интерпретации несколько осложняли близкие значения УЭС второго и третьего слоев. Однако значительное отличие третьего слоя по величине относительной диэлектрической проницаемости, вызванное существенным наличием в нем свободной воды, позволило выделить его как водоносный горизонт.

Таким образом, предложенная методика поиска, картирования и оконтуривания водоносных горизонтов с помощью импедансных измерений подтверждена экспериментально и позволит более эффективно изучать с помощью геофизики распространение подземных вод по площади и глубине.

Список литературы

1. Шепелев, В. В. О гидрогеологической классификации гравитационных подземных вод криолитозоны / В. В. Шепелев // Методика гидрогеологических исследований криолитозоны. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1983. – С. 4–22.

2. Шепелев, В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны / В. В. Шепелев. – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2011. – 169 с.

3. Ефремов, В. Н. Радиоимпедансное зондирование мерзлых грунтов / В. Н. Ефремов. – Якутск : Изд-во ФГБУН Ин-т мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, 2013. – 204 с.

ВЛИЯНИЕ ИНФИЛЬТРАЦИИ ЛЕТНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПЕСЧАНЫХ ГРУНТОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Жирков А. Ф., Железняк М. Н.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН,
г. Якутск, zhirkov_af@mail.ru; fe@mpi.ysn.ru

Аннотация. Температура любой среды является функцией ее теплового состояния, определяемого внутренними и внешними источниками энергии и свойствами вещества. Внутриземный поток тепла практически не зависит от поверхностных условий, состава и свойств пород, стабилен во времени. Его величина определяется количеством генерируемой внутри Земли тепловой энергии. Внешним источником тепла служит поступающая на поверхность Земли солнечная радиация. Это основной источник энергии, обеспечивающий протекание природных процессов на поверхности земли, в атмосфере и гидросфере, определяющий, наряду с глубинным потоком тепла, тепловой баланс земной поверхности [1]. Так, в суровых климатических условиях даже при среднегодовой температуре воздуха –6° С существуют отдельные районы, где температура пород имеет положительные значения. Для объяснения явлений такого характера поставлена цель – изучить основные природные факторы, влияющие на формирование температурного режима грунтов.

Ключевые слова: *температурный режим грунтов, инфильтрация осадков, деятельный слой.*

Abstract. Temperature of any medium is a function of its thermal state which is governed by internal and external energy sources, as well as by material properties. Interior heat flow is virtually independent of surface conditions or rock composition and properties, and is stable in time. The heat flow density is determined by the amount of thermal energy generated in the Earth's interior. Incoming solar radiation is an external sourc e of heat. It provides the main source of energy that drives the natural processes occurring on the earth surface, as well as in the atmosphere and hydrosphere. Along with the interior heat flow, solar radiation determines the Earth's surface energy balance [1]. Thus, for example, extremely cold areas with a mean annual air temperature as low as -6˚C have locations with ground temperatures above 0°C. To explain such phenomena, this study aims to examine the main natural factors controlling the ground temperature regime.

Key words: *ground temperature regime, infiltration, active layer.*

Введение. Роль влияния природных факторов на формирование геотемпературного поля горных пород весьма существенна. Важным фактором развития температурного режима грунта являются атмосферные осадки, как твердые в виде снега, так и жидкие в виде дождя. Одним из слабоизученных вопросов является оценка влияния фактора инфильтрации жидких атмосферных осадков на температурный режим грунтов.

В деятельном слое теплообменные процессы обусловлены циркуляцией приземного воздуха, количеством атмосферных осадков, свойствами и характеристиками грунта и их температурами.

При движении воды в грунтах деятельного слоя процессы теплопереноса претерпевают существенные изменения, поэтому требуется тщательное изучение и анализ взаимосвязи теплообмена твердых и жидких составляющих. Вода, фильтрующаяся с поверхности, в основном направлена вниз под действием гравитации. В криолитозоне с направлением движения воды совпадает передача тепла от поверхности до границы раздела талых и мерзлых пород, поэтому обычная кондуктивная передача тепла в грунтах сопровождается теплотой, передаваемой породам из осадков с учетом их температуры на поверхности.

Еще в XIX столетии была замечена прямая связь между оттаиванием мерзлых горных пород и количеством атмосферных осадков [2]. В дождливые годы мерзлые толщи протаивают на большую глубину, чем в сухие, песчаные отложения протаивают глубже глинистых и т.п. Последующие исследования подтвердили это наблюдение, что повлекло за собой необходимость учитывать, наряду с теплопроводностью, перенос тепла поверхностными водами в грунтах.

Один из первых опытов управления процессами оттаивания мерзлых горных пород, а именно экспериментальное опробование дождевально-инфильтрационного метода, выполнялся в Восточном Забайкалье сотрудниками Нигризолото. В 1955 – 1956 гг. на дражных полигонах Магаданской области проводилось дождевание оборотной водой песчано-галечниковых отложений с целью практической проверки эффективности метода [2 – 5].

Теоретические обоснования этих процессов позднее были изложены в работах В. Т. Балобаева [6], В. А. Кудрявцева [7, 8], Г. М. Фельдмана [9], Г. З. Перльштейна, [10, 11], Б. А. Оловина [12, 13] и др. В своих моделях эти исследователи допускали, что водопроницаемые горные породы однородны, т.е. коэффициент фильтрации воды в них принимался одинаковым на всех участках. При этом они полагали, что гидродинамический режим движения воды является установившимся. В этих работах также не учитывалось испарение с поверхности почвы (эвапотранспирация), конденсация водяных паров и другие факторы (размерность частиц, степень сортировки и т.д.), которые имеют существенное значение.

Экспериментальные данные влияния инфильтрации летних осадков на температурный режим грунтов в естественных условиях с песчаными грунтами отсутствуют, поэтому изучение этого процесса является весьма актуальным.

Авторами настоящей статьи была поставлена цель – экспериментально получить количественную оценку влияния инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим песчаных грунтов на примере научного полигона «Туймаада».

Характеристика эксперимента. Для проведения данных исследований на научном полигоне «Туймаада» Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН были оборудованы два наблюдательных участка (рис. 1). Сущность эксперимента заключается в различном режиме полива этих участков и контроле на них за термовлажностным режимом грунтов. Предполагалось, что одна из площадок будет иметь естественный дождевальный режим полива, а другая площадка кроме естественных осадков дополнительно орошалась водой. С помощью сравнения динамики температуры грунтов на этих площадках предполагалось количественно оценить влияние инфильтрации летних атмосферных осадков на температурный режим грунтов.

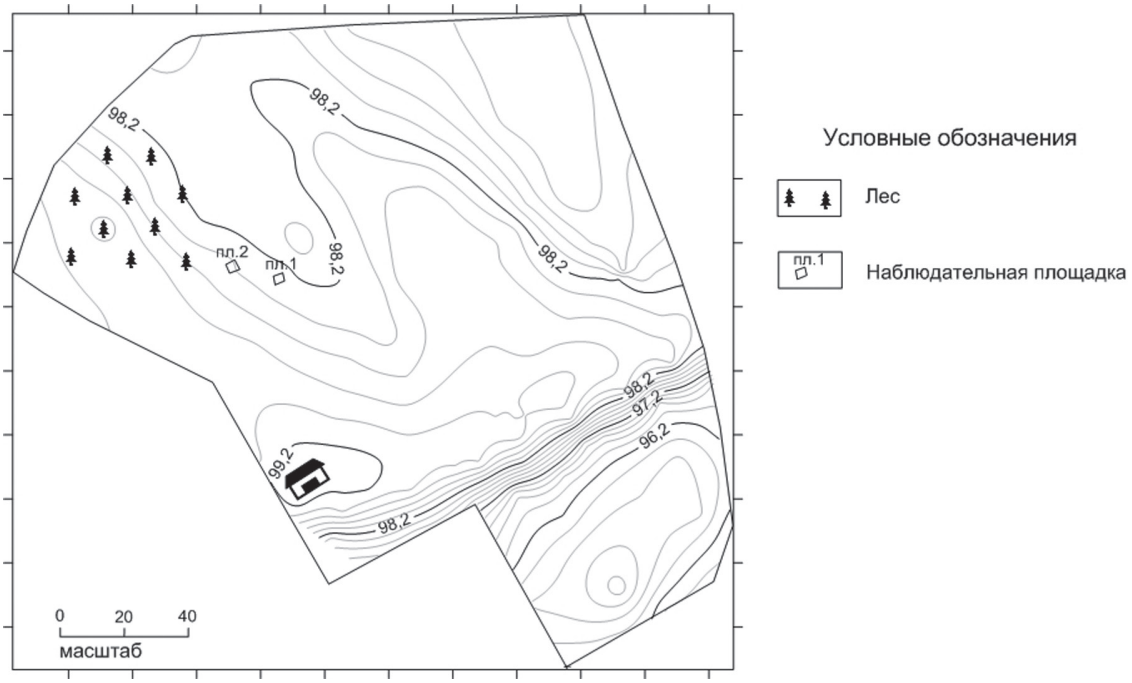


Рис. 1. Схема научно-экспериментального полигона «Туймаада».
Пл. 1 и пл. 2 – экспериментальные площадки

Экспериментальные площадки размером 3×3 м были огорожены с боковых сторон (до глубины 120 см) цельными листами пищевого металла для противодействия утечки воды по горизонтали. На площадках пробурены по две скважины глубиной 2 и 5 м, в которых установлены автоматизированные (логгеры) и механические (терморезисторы) системы наблюдений за термовлажностным состоянием грунтов. С помощью логгеров автоматически (с интервалом от 2 до 4 ч) измерялась температура грунтов в сезонноталом слое, а с помощью терморезисторов (ежедневно в 15 ч) на фиксированных глубинах (1, 2, 3, 4, 5 м) измерялась температура грунтов в слое годовых теплооборотов.

Для получения корректных данных эксперимента на этих площадках с 2011 по 2013 гг. велись наблюдения за термовлажностным режимом грунтов, выполнен гранулометрический анализ изучаемых грунтов и определен их минеральный состав. Оба участка покрыты почвенно-растительным слоем, представленным разнотравьем. Предварительные исследования показали идентичность термовлажностного режима грунтов на этих участках.

Для повышения качества эксперимента была сконструирована установка по определению температуры выпадающих атмосферных осадков вблизи поверхности земли. Установка представляет собой теплоизолированный сосуд (осадкомер) с известной площадью и датчиком температуры на днище. Считая температуру осадков в осадкомере максимально приближенной к истинной температуре дождевых осадков, соответственно регулировалась температура дополнительно вносимой воды путём добавления в неё холодной или горячей воды до установления температуры выпавших осадков.

Эксперимент был проведен с 1 июня по 30 сентября 2014 г. с разным режимом полива. На площадке 1 кроме естественных осадков проводился дополнительный полив водой, а площадка 2 находилась в естественных условиях.

За весь период наблюдений выпало 165 мм осадков. На экспериментальные участки площадью 9 кв. м за этот период выпало 1485 л естественных осадков (на каждый участок). Дополнительно на площадку 1 было внесено 2970 л воды, т.е. количество осадков увеличилось в три раза.

Проведённый эксперимент и анализ полученной информации позволил оценить степень влияния инфильтрации жидких атмосферных осадков на температурный режим грунтов стационара «Туймаада». Разность температуры грунтов (Δt) на площадках 1 и 2 по глубинам за период эксперимента представлена в таблице и на рис. 2.

Разность температуры грунтов на площадках с различным поливом

Глубина, м	Разность температур, ° С
0	1,12
0,1	1,28
0,2	1,62
0,4	2,34
0,7	2,06
0,9	1,23
1,2	0,7
1,6	0,41
2	0,3
3	0,3
4	0,28
5	0,2

В характере распределения (Δt) с глубиной выделяются 4 зоны (см. рис. 2). С поверхности до глубины 0,4 м прослеживается зона 1, характеризующаяся повышением разности температур в диапазоне от 1,1 до 2,3˚ С. Отчасти это связано с литологической неоднородностью

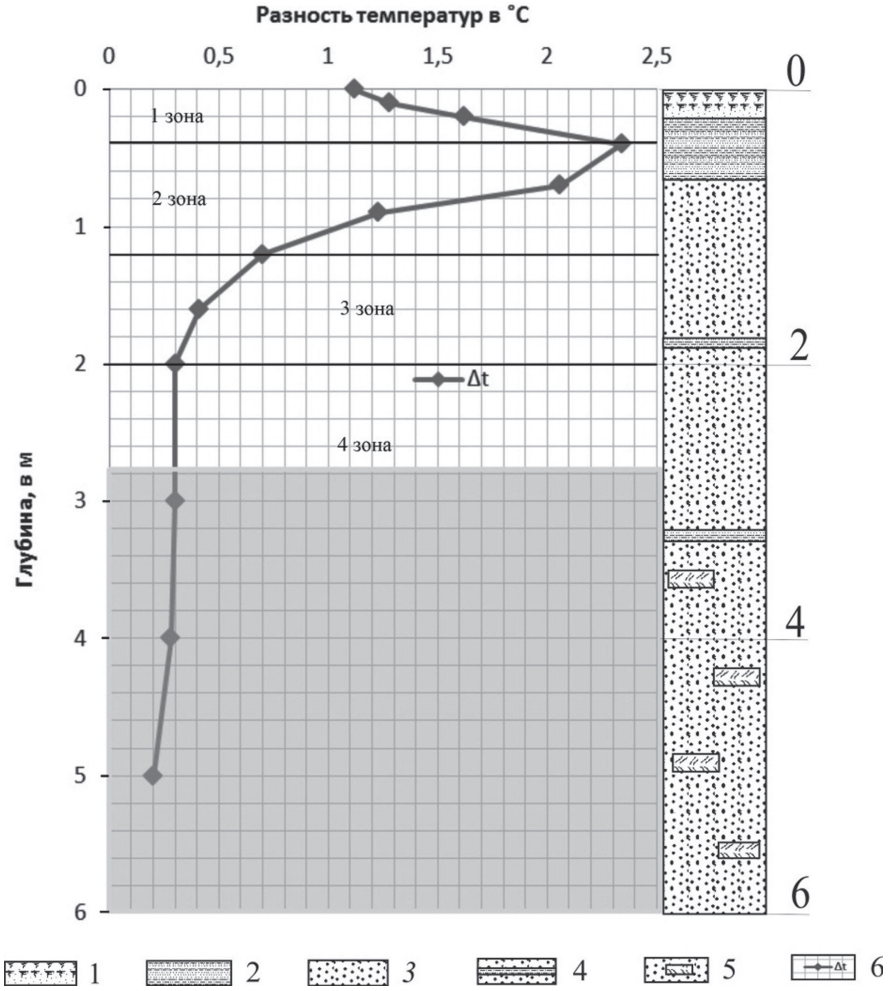


Рис. 2. График изменения разности температур по глубине между двумя экспериментальными площадками с представленным разрезом:

1 – почвенно-растительный слой; 2 – супесь; 3 – пески средне-и мелкозернистые; 4 – супесчаные прослойки; 5 – прослойки, обогащенные растительными остатками; 6 – значение разности температур

в разрезе и залеганием в интервале глубин от 0,2 до 0,7 м супесей, обладающих меньшим коэффициентом фильтрации, относительно песков. В связи с этим теплопотери жидких осадков в данном интервале значительны, т.е. грунт получает большее количество тепла, которое, в свою очередь, зависит от количества выпадающих осадков.

На глубинах от 0,4 до 1,2 м выделяется вторая зона, в пределах которой наблюдается резкое понижение разности температур. Это обусловлено изменением литологического состава пород в данном интервале. Супеси 1-го слоя сменились мелко- и среднезернистыми песками, обладающими большим коэффициентом фильтрации. Вследствие этого вода здесь просачивается значительно быстрее, не успевая оказывать влияние на температуру грунтов.

В интервале глубин от 1,2 до 2 м выделяется третья зона, характеризующаяся становлением стационарного режима с относительно малым градиентом. Разность температуры пород (Δt) здесь сокращается с глубиной от 0,7 до 0,4° С, и связано это с близостью границы раздела мерзлых и талых пород и относительно низкими температурами инфильтрационных вод на этих глубинах.

С глубины 2 м выделяется четвертая зона с квазистационарным тепловым режимом грунтов. Она включает в себя талые грунты, переходный слой и мерзлые грунты. Вероятно,

что в таком спектре температур не должен прослеживаться квазистационарный характер. Однако представленная кривая показывает, что разность температур между двумя участками в летний период незначительна.

Выводы. Проведенный полевой эксперимент на участке песчаных грунтов в Центральной Якутии (стационар ИМЗ СО РАН «Туймаада») показал, что глубина проникновения влияния инфильтрации летних атмосферных осадков прослеживается до глубины 5 м. Увеличение в 3 раза количества выпадающих летних атмосферных осадков приводит к повышению температуры грунтов на различных глубинах на величину от 2,3 до 0,2˚ С.

В процессе инфильтрации летних атмосферных осадков в характере их теплообмена с грунтами отмечаются четыре зоны, отличающиеся интенсивностью теплообмена. Наиболее высокий тепловой эффект инфильтрации осадков отмечается в верхней части разреза и очень тесно связан с фильтрационными свойствами грунтов. Наличие в разрезе пород с различными фильтрационными свойствами в значительной степени определяет характер теплообмена «атмосферные осадки – грунты» и соответственно глубину проникновения зоны влияния атмосферных осадков на температуру грунтов.

Список литературы

1. Общее мерзлотоведение / под редакцией акад. П. И. Мельникова ; Акад. наук СССР, Сиб. отд-е, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск : Наука. – С. 101–134.

2. Веселов, В. В. Опыт оттайки грунтов дождеванием / В. В. Веселов // Колыма. – 1958. – № 3. – С. 33–40.

3. Гольдтман, В. Г. Оттайка вечномерзлых грунтов дождеванием оборотной водой / В. Г. Гольдтман // Труды ВНИИ–1 МЦМ СССР. – Магадан, 1956. – Вып. 3. – 15 с.

4. Гольдтман, В. Г. Дренажный способ оттайки пород при разработке россыпей / В. Г. Гольдтман // Труды ВНИИ–1 МЦМ СССР. – Магадан, 1956. – Вып. 4. – 30 с.

5. Гольдтман, В. Г. Теплообмен в фильтрующих крупнозернистых грунтах при дренажной и игловой гидрооттайке / В. Г. Гольдтман // Труды ВНИИ–1 МЦМ СССР. – Магадан, 1958. – Вып. 13. – 56 с.

6. Балобаев, В. Т. Теоретические основы управления протаиванием и промерзанием горных пород в природных условиях / В. Т. Балобаев // дис. … канд. геол.-минерал. наук. – Якутск, 1965. – 364 с.

7. Достовалов, Б. Н. Общее мерзлотоведение / Б. Н. Достовалов, В. А. Кудрявцев ; ред. К. А. Кондратьев ; Московский государственный университет. – М. : Изд-во МГУ, 1967. – С. 270–272.

8. Кудрявцев, В. А. Влияние инфильтрации теплых летних осадков на температурный режим, сезонное промерзание и протаивание и на годовые теплообороты грунтов / В. В. Кудрявцев // Мерзлотные исследования : сб. статей. – М. : Изд-во МГУ, 1967. – Вып. 7. – С. 27–29.

9. Фельдман, Г. М. Прогноз температурного режима грунтов и развития криогенных процессов / Г. М. Фельдман ; отв. ред. к.с.-х.н. А. В. Павлов ; Академия наук СССР, Сиб. отд-е, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск : Наука, 1977. – С. 80–87.

10. Перльштейн, Г. З. Водно-тепловая мелиорация мерзлых пород на северо-востоке СССР / Г. З. Перльштейн ; отв. ред. д.г.н. А. В. Павлов ; Академия наук СССР, Сиб. отд-е, Институт мерзлотоведения. – Новосибирск : Наука, 1979. – 304 с.

11. Перльштейн, Г. З. О влиянии инфильтрации воды на скорость оттаивания песчаных и крупнообломочных отложений / Г. З. Перльштейн // Мерзлотные исследования : сб. статей. – М. : Изд-во МГУ, 1968. – Вып. 8. – С. 43–49.

12. Оловин, Б. А. Фильтрационная проницаемость вечномерзлых грунтов / Б. А. Оловин ; отв. ред. д.г.-м.н. В. Т. Балобаев; Рос. акад. наук, Сиб. отд-е, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск : ВО Наука. Сибирская издательская фирма, 1993. – 256 с.

13. Павлов, А. В. Искусственное оттаивание мерзлых пород теплом солнечной радиации при разработке россыпей / А. В. Павлов, Б. А. Оловин ; отв. ред. чл.-кор. П. И. Мельников ; Академия наук СССР, Сиб. отд-е, Ин-т мерзлотоведения. – Новосибирск : Наука, 1974. – 182 с.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЯМР-ЗОНДИРОВАНИЯ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ТАЛИКОВ В КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПОЛЯРЬЯ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Кальнеус Е. В.[1], Бизин М. А.[1], Палкин С. С.[2]
[1]Институт химической кинетики и горения им. В. В. Воеводского СО РАН, г. Новосибирск, kalneus@kinetics.nsc.ru;
[2]ЗАО ГИДЭК, г. Москва, info@hydec.ru

Аннотация. Доклад посвящен поверхностному ЯМР-зондированию – относительно новому методу в гидрогеологии, позволяющему проводить поиск подземных вод и предварительно определять интервалы их залегания на глубину порядка 100 м до проведения бурения скважин. Представлены результаты исследований с использованием ЯМР-зондирования, проведенных в одном из районов заполярной части Ямало-Ненецкого автономного округа. Рассмотрены особенности использования этого метода и показаны преимущества его применения для поиска подземных вод.
Ключевые слова: *подземные воды, поверхностное ЯМР-зондирование, ЯМР-томограф «Гидроскоп».*

Abstract. The article is dedicated to surface Magnetic Resonance Sounding (MRS) that is a relatively new method of hydrogeology allows to search and previously identify groundwater intervals before well-boring to a depth of about 100 m. The results of studies using MRS what conducted in one of the areas of the polar Yamal-Nenets Autonomous Area are presented. The features of the use of this method and the advantages of its application for search of groundwater are demonstrated.
Key words: *groundwater, Magnetic Resonance Sounding (MRS), NMR-tomograph «Hydroscope».*

Для разведки подземных вод на небольших глубинах (порядка 100 м) в настоящее время используются разные геофизические методы, но, как правило, все они основаны на измерении косвенных величин, например, удельного электрического сопротивления пород. В Институте химической кинетики и горения (ИХКГ) СО РАН был разработан [1] и успешно применяется [2] прямой метод обнаружения подземных вод (до глубины 100 – 120 м), в основу которого положено применение ядерного магнитного резонанса (ЯМР) в магнитном поле Земли. Данный метод (ЯМР-зондирование) основан на наблюдении наведенного сигнала от прецессии магнитного момента протонов подземной воды в геомагнитном поле Земли вследствие резонансного возбуждения. Получение исходного сигнала непосредственно от подземных вод является ключевой особенностью и основным преимуществом ЯМР-зондирования перед другими геофизическими методами поиска подземных вод.

Для проведения ЯМР измерений при отсутствии значительных электромагнитных помех, как правило, используется одна антенна – виток специального кабеля (обычно в форме окружности диаметром 100 – 150 м), который раскладывается на поверхности земли и служит для возбуждения и регистрации ЯМР сигнала от подземных вод. Возбуждение производится переменным током амплитудой от единиц до сотен ампер с частотой, соответствующей ларморовской частоте прецессии протонов в земном магнитном поле в месте измерения (1 – 3 кГц).

По окончании каждого импульса антенна переключается на прием, и в случае наличия подземных вод в ней наводится экспоненциально спадающий ЯМР-сигнал. При этом регистрируется только сигнал от молекул свободной воды, способной к гидродинамическому перемещению, а молекулы воды, связанные со стенками пор, и лед из-за коротких времен спиновой релаксации не регистрируются, что обычно и требуется при разведке подземных вод. По полученной зависимости начальной амплитуды сигнала от момента возбуждающего импульса (параметр, равный амплитуде тока возбуждающего импульса на длительность импульса) путем решения обратной задачи можно получить распределение водоносных горизонтов по глубине залегания и оценить процентное содержание воды в каждом выделенном интервале.

Несмотря на очевидные преимущества прямой регистрации протонсодержащей жидкости, ЯМР-зондирование имеет определенные ограничения. Основным ограничением является

высокая чувствительность к электромагнитным помехам, поскольку величина ЯМР-сигнала обычно составляет всего 50 – 500 нВ, а наводимый уровень шума в антенне диаметром 100 – 150 м может достигать десятков микровольт. В этой связи применение ЯМР-зондирования в населенных пунктах, вблизи ЛЭП, газопроводов и других мощных источников электромагнитных помех в ряде случаев сильно затруднено или невозможно. Тем не менее в настоящее время в аппаратно-программном комплексе «Гидроскоп» при повышенном уровне наводимых электромагнитных помех имеется возможность использовать дополнительную антенну для компенсации помех, что позволяет улучшить соотношение сигнал/шум в 3 – 10 раз. Раскладка второй антенны существенно увеличивает трудозатраты и общее время одного измерения, однако в ряде случаев является единственным способом снизить зависимость от внешних помех и провести качественное измерение.

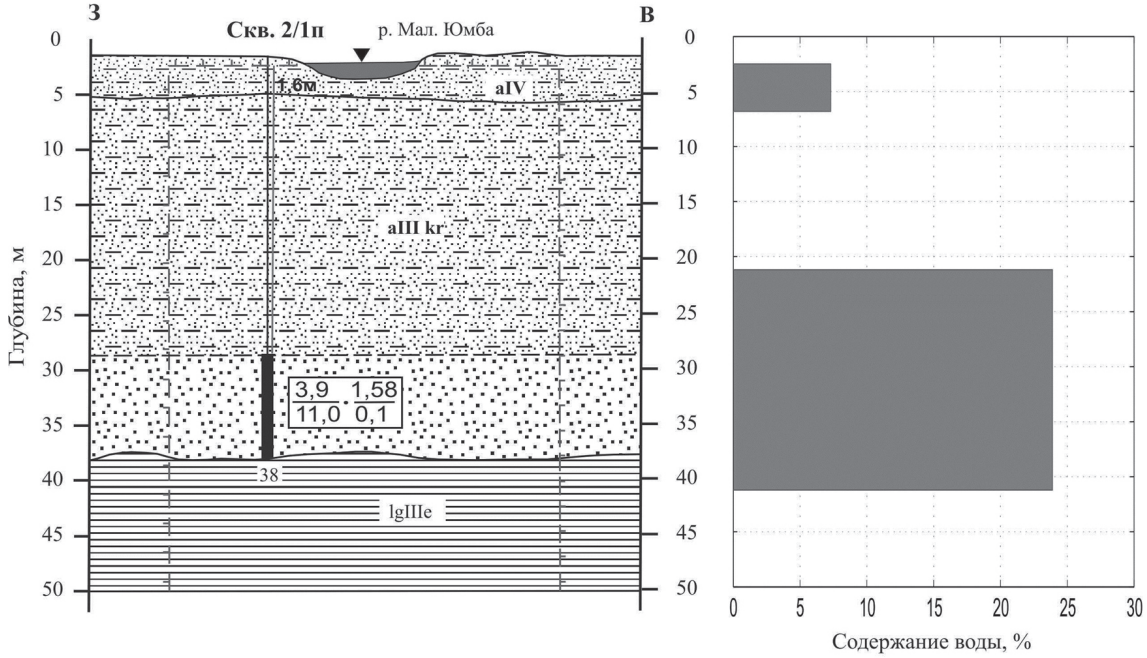
При отсутствии промышленных электромагнитных помех метод ЯМР-зондирования наиболее эффективен в условиях, когда используются другие геофизические методы, основанные на получении косвенных данных, нельзя однозначно определить наличие обводненных пород. Применение ЯМР-зондирования позволяет не только достоверно определить само наличие подземных вод, но также дает возможность с достаточной точностью вычислить статический объем зарегистрированных подземных вод и расположение кровли и подошвы наиболее насыщенных водоносных горизонтов. Кроме того, по времени релаксации ЯМР-сигнала можно оценить пористость водовмещающей среды.

В последние годы компанией ГИДЭК метод ЯМР-зондирования при поисках подземных вод начал применяться в различных гидрогеологических условиях на территории РФ. В частности, этот метод был использован для достоверного выявления таликовых зон в ряде работ в районах Крайнего Севера, например, при поисках питьевых подземных вод для обеспечения населения пос. Яр-Сале на п-ве Ямал. В ходе этих работ на первом этапе были проведены предварительные геофизические исследования методами ВЭЗ и ЗСБ-ЗММП, которые выявили перспективные участки с удельным электросопротивлением (УЭС) пород геологического разреза около 50 – 90 Ом×м в интервале глубин от 5 – 10 м до 30 – 40 м. Опыт гидрогеологических исследований показал, что подобные значения УЭС могут характеризовать талые водосодержащие песчаные отложения. Тем не менее элемент неопределенности в интерпретации полученных данных и суждении о мерзлотном состоянии выявленной перспективной части целевого разреза продолжал существовать [3, 4].

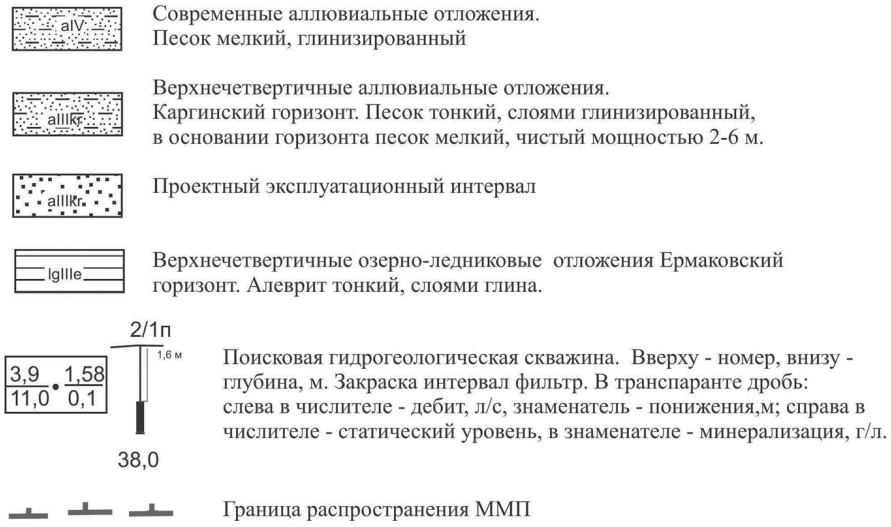
Указанный диапазон значений УЭС мог относиться к трем типам отложений с различными физическими параметрами: 1 – талые пески с пресными водами, 2 – мерзлые глины и суглинки, 3 – засоленные мерзлые песчано-глинистые отложения. Последующее применение ЯМР-зондирования на предварительно определенных перспективных участках позволило с высокой степенью достоверности расчленить гидрогеологический разрез по принципу «мерзлые – талые водосодержащие интервалы». В дальнейшем результаты этих исследований [5] были подтверждены бурением и выявлен перспективный объект в приповерхностной части гидрогеологического разреза территории (рисунок). Предварительно оцененные здесь запасы подземных вод (1,2 тыс. $м^3$/сут) обеспечивают необходимое водопотребление райцентра.

Таким образом, метод ЯМР-зондирования может быть особо востребован там, где традиционные методы наземной геофизики не могут дать однозначную интерпретацию полученных данных, например, при поиске таликовых зон в условиях вечной мерзлоты. При этом наибольший экономический эффект от использования ЯМР-зондирования может быть достигнут при площадных съемках в отсутствии электромагнитных помех. Обычно время на одно измерение в этих случаях не превышает 2 часов, а объема получаемой информации в большинстве случаев бывает достаточно для практических применений.

Авторы работы благодарят В. Д. Александрова за оказанную помощь при выполнении полевых исследований.



Условные обозначения:



Схематический гидрогеологический разрез в районе пос. Яр-Сале – слева, соответствующий результат ЯМР-зондирования с антенной диаметром 100 м – справа

Устье гидрогеологической скважины совпадает с центром расположения антенны. Частота ЯМР-зондирования составляла 2492,0 Гц. При решении обратной задачи использовалось моделирование распределения с помощью конечного числа водоносных слоев (двухслойная модель). Наличие верхнего обводненного интервала на итоговой гистограмме ЯМР-зондирования объясняется регистрацией незначительного сигнала от свободной воды вследствие близкого (5 – 10 м) расположения края антенны к руслу р. Малая Юмба. Так как ЯМР сигнал от подземных вод является интегральным, то меньшая глубина расположения кровли водоносного горизонта на гистограмме ЯМР-зондирования может быть связана с погрешностью использования при решении обратной задачи модели плоских бесконечных водосодержащих слоев.

Список литературы

1. Patent G.B. 2198540B. Device for measuring the parameter of underground mineral deposit / A. G. Semenov, M. D. Schirov, A. V. Legchenko, A. I. Burshtein, A. Yu. Pusep. 1989.

2. Кальнеус Е. В. Методика поверхностного ЯМР-зондирования для поиска и разведки подземных вод / Е. В. Кальнеус, В. С. Кусковский, А. А. Шубин [и др.] // Подземная гидросфера : материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока) / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т земной коры [и др.]. – Иркутск : Географ, 2012. – С. 523–526.

3. Боревский Б. В. Опыт изучения таликовых зон в нижнем течении Оби и на полуострове Ямал / Б. В. Боревский, Г. Е. Ершов, С. З. Козак [и др.] // Подземные воды Востока России : материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России с международным участием (XIX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). – Тюмень : Тюменский дом печати, 2009. – С. 162–166.

4. Палкин, С. С. Основные результаты выявления и изучения таликовых зон в заполярных широтах полуострова Ямал для питьевого водоснабжения (на примере прибрежной территории Обского эстуария у пос. Мыс Каменный) / С. С. Палкин, Б. В. Боревский, С. З. Козак [и др.] // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России (XX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока) / Рос. акад. наук, Сиб. отд-ние, Ин-т земной коры [и др.]. – Иркутск : Географ, 2012. – С. 365–368.

5. Палкин, С. С. Опыт выявления таликов в криолитозоне полуострова Ямал / С. С. Палкин, С. З. Козак, В. В. Агеев [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2014. – № 5. – С. 57–61.

ВЛИЯНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ КЛИМАТА НА УСЛОВИЯ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ВОДОНОСНЫХ ТАЛИКОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Колесников А. Б.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН

Аннотация. В статье рассматриваются результаты работ по изучению влияния климата на условия инфильтрационного питания водоносных таликов крупных песчаных массивов бестяхской террасы р. Лены в Центральной Якутии. Проанализированы результаты 50-летних режимных наблюдений за дебитами крупнейших родников, дренирующих водоносные горизонты, и выявлен набор климатических параметров, соответствующий максимумам стока. На основании сведений о режиме и химическом составе подземных вод в экстремальный гидроклиматический период дана оценка времени водообмена в водоносных системах.

Ключевые слова: *водоносные талики, родниковый сток, климатические параметры, инфильтрационное питание.*

Abstract. Results of assessment of climate influence on infiltration recharge of water-bearing taliks in large sand massif on the Lena River Bestyah terrace in Central Yakutia are discussed. Results of 50 years of monitoring of large springs discharges are analyzed. A set of climate parameters corresponding to maximum discharges is revealed. Groundwater transit time is assessed on the base of groundwater regime characteristics and water chemical composition during the extreme hydroclimatic period.

Key words: *water-bearing talik, spring flow, climate parameters, infiltration recharge.*

В последнее десятилетие именно климат становится причиной активных, часто прогрессирующих изменений в открытых с поверхности природных системах, связанных с подземными водами. Примером этого является широко известная в Центральной Якутии область развития водоносных субаэральных таликов, питающих несколько групп пресных высокодебитных родников, образующих зимой крупные наледи.

В геоморфологическом отношении это территория бестяхской и части примыкающей к ней тюгюлюнской надпойменных террас, расположенных на правом берегу р. Лены. Террасы сложены мелко- и среднезернистыми песками средне- и верхнеплейстоценового возраста, имеющими мощность 40 – 80 м и залегающими на коренном основании из кембрийских известняков или юрских песчаников.

На основании анализа многолетних исследований было выяснено, что водоносные талики, существующие на рассматриваемой территории, представляют собой сложную систему, в которую входят подземные воды разного генезиса. Надмерзлотные воды изучены преимущественно на участках несквозных субаэральных и субаквальных (подрусловых и подозерных) таликов. Часть подозерных таликов связана с межмерзлотными подземными водами, которые фильтруются от областей питания к очагам разгрузки по межмерзлотным каналам, ограниченным многолетнемерзлыми породами. Соответственно межмерзлотные воды питаются за счет всех вышеперечисленных типов подземных вод, коллекторами им служат песчаные отложения, а иногда и верхняя часть толщи карбонатных пород [1]. Не исключена также связь межмерзлотных водоносных горизонтов с подмерзлотными водами через сквозные подозерные талики. Однако, если таковая связь и существует, то общий вклад подмерзлотных вод в питании межмерзлотных водоносных горизонтов несущественен, так как по химическому составу они достаточно контрастны. Положение кровли водоносных таликов, вскрытых скважинами, отмечается на глубинах 16 – 50 м, подошвы – на 50 – 86 м. Естественные выходы подземных вод на поверхность представляют собой чаще всего концентрированные группы источников, приуроченных к подножию бестяхской террасы.

В 60 – 90 годах XX столетия по ареалам распространения водоносных таликов бестяхской террасы р. Лены был получен большой массив фактологического материала, основной и наиболее представительной частью которого являются режимные данные о химическом составе подземных вод и наблюдения за родниковым стоком рассматриваемых водоносных горизонтов [2, 3]. На протяжении более сорока лет исследователи наблюдали, в целом, весьма стабильные по характеристикам стока, химическому составу и условиям питания системы межмерзлотных водоносных таликов.

Однако с 2005 по 2006 гг. в таликовых системах отмечено как значительное увеличение водообильности, так и существенные межгодовые колебания родникового стока, а в дальнейшем и заметные ландшафтные изменения местности вблизи зон разгрузки подземных вод.

Проанализируем ход изменений родникового стока и изменений ландшафтов на примере двух крупнейших и наиболее изученных систем водоносных таликов, формирующих источник подземных вод Булуус и Улахан-Тарын, условия питания которых имеют некоторые отличия. Водоносные горизонты, питающие группу источников Булуус, связаны с открытым с поверхности локальным субаэральным таликом, питание же источников Улахан-Тарын происходит через подозерные талики, распространенные на обширной площади.

По данным многолетних наблюдений, увеличение дебита группы источников Булуус начинается с 2006 г. и до 2008 г., показатели стока остаются весьма высокими – 149 – 154 л/с, при средних многолетних за период 1966 – 2004 гг. – 113 л/с. Далее, до 2014 г., отмечается общее понижение величины родникового стока, прерывающееся периодами увеличения в 2009 г. (146 л/с) и 2013 г. (174 л/с). Среднее значение дебита источника Булуус за период 2004 – 2014 гг. составило 142 л/с. С 2007 г. отмечено повышение уровня подземных вод в пределах субаэрального талика и появляются первые признаки переувлажнения озерных котловин, которые достигают своего максимума в 2008 г. В 2010 г. переувлажнения поверхности уже практически не отмечается.

Средний многолетний дебит группы источников Улахан-Тарын за период с 1966 по 2004 гг. составил 246 л/с. Начало периода максимальных значений дебита этого источника приходится на 2005 г. – 711 л/с, достигая беспрецедентно высокой величины в 2006 г. – 1310 л/с. В 2007 г. гидрограф источника характеризуется резким уменьшением величины родникового

стока – до 548 л/с и последующим постепенным снижением до 261 л/с в 2013 г., т.е. приближением к среднему многолетнему значению. В 2014 г. дебит группы источников Улахан-Тарын снова увеличился и составил 343 л/с. Общее повышение увлажнения территории также начинается с 2007 г. Максимальное повышение уровней озер – до 50 см – было зафиксировано в 2008 – 2009 гг., а в 2010 г. наблюдалось уже понижение. Также в 2008 г. в пределах урочища Улахан-Тарын обнаружен новый участок разгрузки межмерзлотных вод, формирование которого сопровождается активными термосуффозионными процессами до настоящего времени. Следует отметить также общее нарастание денудационной деятельности на всей площади урочища в 2007 – 2010 гг.

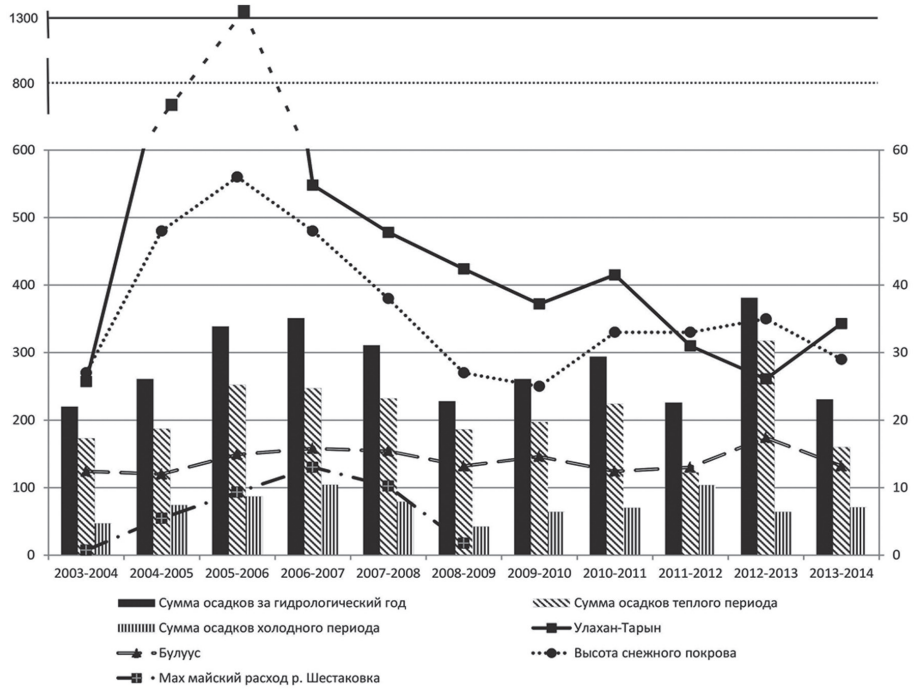
Дадим краткую характеристику климатическим параметрам на данной территории за период 1966 – 2014 гг., используя климатические данные по метеостанции г. Покровск [4]. Среднее многолетнее значение атмосферных осадков за гидрологический год составляет 252 мм в период 1966 – 2004 гг. и 288 мм в период 2005 – 2014 гг. Большой сумме осадков за год всегда соответствуют высокие значения суммы осадков теплого периода. Средние многолетние значения для теплого времени года составляют 174 мм для периода 1966 – 2004 гг. и 212 мм для периода 2005 – 2014 гг. Средние значения сумм осадков в холодное время практически не отличаются в эти периоды, составляя 76 – 78 мм в течение всего временного отрезка 1966 – 2014 гг. Средняя многолетняя максимальная декадная высота снежного покрова составляет 0,34 – 0,38 см.

Оценим связь величины родникового стока и ландшафтных изменений с климатическими параметрами. Анализ данных показывает, что за весь период с 1966 г. по 2004 г. высокие годовые и повторяющие их высокие суммы осадков в теплый период не имеют очевидной связи с изменениями дебитов источников подземных вод. В целом, то же самое можно сказать и о показателях сумм осадков холодного периода и высоте снежного покрова. Максимумы перечисленных климатических показателей в отдельные годы могут соответствовать как максимальным, так средним и даже минимальным значениям родникового стока для двух групп источников.

Лучшая корреляция и наибольшее количество повторений с максимумами поверхностного стока отмечается у таких параметров, как высота снежного покрова и высокие расходов малых рек в год их наблюдения, причем чаще это верно для источников Улахан-Тарын, чем Булуус. Из всего ряда можно выделить только два года – 1968 и 1999 гг., когда обе группы источников характеризовались высоким стоком. Именно в эти годы наблюдалось совпадение максимумов всех рассматриваемых климатических характеристик.

Период 2005 – 2014 гг. весьма отличается от рассмотренного ранее по объему родникового стока для этих водоносных горизонтов, а именно повторением его максимальных значений несколько лет подряд. Что касается климатических показателей, если рассматривать каждый год этого периода отдельно, то ничего аномального – не встречавшегося ранее не отмечается. Если же рассматривать интервал 2005 – 2009 гг., то можно заметить наибольшее количество совпадений максимальных значений климатических параметров как в течение одного года, так и повторяемость их максимумов (рисунок). Это справедливо для всех перечисленных выше климатических параметров, кроме суммы осадков в холодный период, хотя она и не опускалась в этот период ниже средних значений. Таким образом, временной отрезок 2005 – 2009 гг. для данной территории можно вполне обоснованно назвать экстремальным, характеризующимся не встречавшейся ранее гидроклиматической ситуацией.

Гидрограф стока у сравниваемых криогенно-таликовых систем в этот период имеет некоторые отличия. Дебит источника Булуус линейно и резко реагирует, увеличиваясь в соответствии с изменением климатических параметров. Для источника Улахан-Тарын характерно инерционное изменение дебита, что объясняется, вероятно, более ощутимыми трансформациями в системе его водоносных таликов под влиянием длительного избыточного инфильтрационного питания.



Сводный график изменения климатических характеристик и родникового стока источников подземных вод Улахан-Тарын и Булуус (Центральная Якутия)

Следует отметить, что значительное увеличение родникового стока на протяжении нескольких лет никак не отразилось на изменении химического состава подземных вод [5].

Выводы. Высокие значения родникового стока водоносных таликов, залегающих в песчаных массивах бестяхской террасы р. Лены, фиксируются при совпадении максимальных экстремумов нескольких климатических параметров, определяющих атмосферное питание. Существенные изменения в межмерзлотных водоносных системах могут происходить только при последовательном повторении соответствующих климатических ситуаций несколько лет подряд.

Длительные периоды избыточного атмосферного питания водоносных горизонтов субаэральных таликов на бестяхской террасе р. Лены не приводят к изменению химического состава подземных вод в многолетнем ходе.

Быстрая реакция межмерзлотных водоносных систем, имеющих различные условия питания, на значительное изменение климатических показателей, а также стабильность химического состава подземных вод, несмотря на многократное увеличение родникового стока, позволяют оценить время водообмена в крупных водоносных таликах бестяхской террасы р. Лены в 1-2 года.

Список литературы

1. Анисимова, Н. П. Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии) / Н. П. Анисимова. – М. : Наука, 1971. – 196 с.

2. Шепелев, В. В. Родниковые воды Якутии / В. В. Шепелев. – Якутск : Якутское кн. изд-во, 1987. – 128 с.

3. Бойцов, А. В. Режим источников и образующих их надмерзлотно-медмерзлотных вод / А. В. Бойцов // Мониторинг подземных вод криолитозоны. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2002. – С. 76–89.

4. Расписание погоды. Режим доступа : http://rp5.ru.

5. Павлова, Н. А. Состав межмерзлотных вод в Центральной Якутии / Н. А. Павлова, А. Б. Колесников, В. С. Ефремов // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : мат-лы Всерос. конф. – Томск : Изд-во НТЛ, 2012. – С. 162–165.

НАДМЕРЗЛОТНЫЕ ВОДЫ НА ПЛОЩАДКЕ НПС-14 «ОЛЕКМИНСК» МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА ВСТО-1 И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЕЁ ЭКСПЛУАТАЦИЮ

Кондратьев В. Г., Бронников В. А., Иванова Л. М.
ЗабГУ – г. Чита, Транснефть – Восток, г. Братск, v_kondratiev@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье приводятся сведения о надмерзлотных водах на площадке нефтеперекачивающей станции «Олекминск» (НПС-14) магистрального нефтепровода Тайшет – Сковородино (МН ВСТО-1), их питании и влиянии на устойчивость элементов станции. Описывается комплекс принимаемых мер по снижению негативного влияния надмерзлотных вод на температурно-влажностный режим грунтов оснований и фундаменты элементов станции: устройство солнцеосадкозащитных навесов, противофильтрационных и светоотражающих покрытий, систематическая снегоочистка поверхности.

Ключевые слова: *надмерзлотные воды, нефтепровод ВСТО-1, солнцеосадкозащитный навес, геомембрана, снегоочистка.*

Abstract. This article provides information about the above permafrost waters at the site of the oil pumping station «Olekminsk» (PS-14) Taishet-Skovorodino pipeline (ESPO-1), their power and influence on the resistance elements of the station. Describes a set of measures to reduce the negative impact of the above permafrost water temperature and humidity regime of ground bases and foundations of the station: device sun-precipitation sheds, coatings, and reflective of the systematic snow clearance surface.

Key words: *above permafrost water, pipeline ESPO-1, sun-precipitation shed, geomembrane, snow clearance.*

НПС-14 «Олекминск» МН ВСТО-1 построена в 2009 г. в Якутии на правом берегу р. Лены, примерно в 20 км восточнее г. Олекминска (рис. 1).

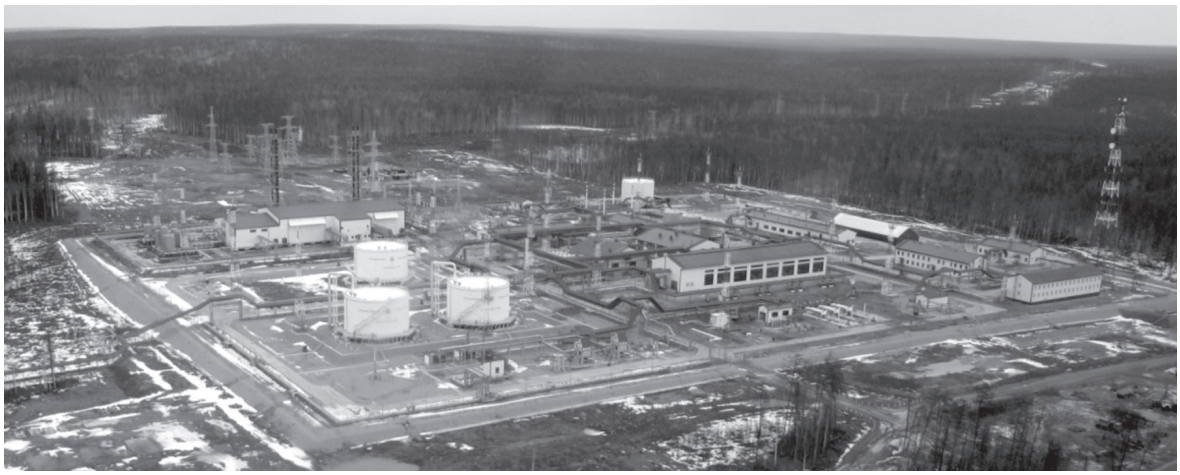


Рис. 1. Общий вид НПС-14 «Олекминск» МН ВСТО-1

В 2013 – 2014 гг. на площадке НПС-14 появились неравномерные просадки поверхности песчано-гравийной отсыпки, заглубленных технологических трубопроводов и деформации опор надземных водоводов. Было принято решение о дополнительных мерах по закреплению технологических трубопроводов в проектном планово-высотном положении: теплоизоляция трубопровода, устройство солнцеосадкозащитных навесов, противофильтрационных и светоотражающих покрытий, систематическая снегоочистка поверхности. Это потребовало дополнительного изучения гидрогеологических условий площадки.

Климат района относительно суровый и повышенно континентальный. Средняя годовая температура воздуха, по данным метеостанции Олекминск [1] за период с 2001 по 2013 гг.,

изменялась от –4,2 в 2007 г. до –9,5 в 2009 г., составляя в среднем –6,1. Морозная зима обычно длится с октября по март. Переход от зимы к весне резкий, при большой разнице низких ночных и высоких дневных температур воздуха. Значительно испаряющийся в течение марта снег сходит быстро, за исключением затененных возвышенных мест. Летом в связи с прогреванием воздуха над обширной территорией Азиатского материка в районе исследований формируется пониженное атмосферное давление. Повышается количество осадков, за 2-3 месяца их выпадает больше половины годовой суммы, максимум осадков отмечается в июле – первой половины августа. Осень коротка и наступает сразу, переходя от теплых летних суток к постоянным ночным заморозкам.

Устойчивый снежный покров образуется в октябре и лежит до конца апреля – начала мая, его высота к концу зимы может достигать 60 см. Раньше всего снежный покров устанавливался в 2006 г. – 7 октября, позже всего – 26 октября 2010 г. Самый ранний сход снега отмечался в 2011 г.: 27 апреля – в поле и 30 апреля – в лесу, а самый поздний – в 2004 г.: 15 мая в поле и 17 мая – в лесу. Сумма годовых атмосферных осадков за период с 2001 по 2013 гг. колебалась от 288,4 мм в 2010 г. до 560,5 мм в 2013 г., составляя в среднем 377,9 мм. До 80% осадков выпадает в летний период года.

Анализ климатических данных показывает, что территория района исследований благоприятна для формирования многолетнемерзлых горных пород, поскольку средняя годовая температура воздуха, хотя и изменяется в разные годы в широком диапазоне, в целом остается достаточно низкой. Вместе с тем достаточно большая мощность снежного покрова и значительное количество летних осадков могут оказывать существенное отепляющее влияние на горные породы. Следует ожидать большое разнообразие в глубине залегания кровли многолетнемерзлых пород и их температурном режиме как в естественных условиях, так и (в особенности) при техногенных воздействиях.

Мерзлотно-грунтовые и гидрогеологические условия площадки НПС-14 характеризуются, в основном, по материалам изысканий Омского филиала ОАО «Гипротрубопровод», проведенных в августе-сентябре 2013 г. В геологическом строении площадки, по данным бурения на глубину до 16 м, принимают участие аллювиальные отложения нерасчлененных надпойменных террас средне- и верхнечетвертичного возраста (aQ_{II-III}), представленные разнозернистыми песками и суглинками, с включением гравия и гальки до 5 – 20%, галечниковыми грунтами, подстилаемыми суглинистыми отложениями верхнего неогена (N_2). С поверхности эти породы в пределах всей площадки перекрыты современными насыпными грунтами (tQ_{IV}), мощностью от 1,8 до 3,5 м. Аллювиальные отложения нерасчлененных надпойменных террас залегают под насыпными грунтами.

Многолетнемерзлые породы имеют повсеместное распространение на площадке НПС-14, они вскрыты всеми скважинами с глубины 2,7 – 6,0 м и прослежены до забоя скважин (10 – 16 м). По показателю льдистости суглинки и галечниковый грунт преимущественно слабольдистые (льдистость за счет видимых ледяных включений от 0,09 – 0,13 до 0,23 – 32 д.е., пески льдистые (льдистость за счет видимых ледяных включений 0,30 – 0,49 д.е. Криогенная текстура мерзлых грунтов – массивная и базальная, реже слоистая. Мерзлые глинистые грунты при оттаивании приобретают мягкопластичную и твердую консистенцию, пески – водонасыщенное состояние.

В сезонноталом слое насыпные грунты, представленные песками гравелистыми, практически непучинистые, пески пылеватые, насыщенные водой – среднепучинистые.

На площадке НПС-14 буровыми скважинами глубиной до 16 м в августе-сентябре 2013 г. выявлен только 1 горизонт подземных вод – безнапорные надмерзлотные воды, уровень которых был зафиксирован на глубине 1,8 – 3,3 м от поверхности земли, на абсолютных отметках 342,00 – 347,40 м. Водовмещающими породами надмерзлотных вод на площадке являются современные техногенные насыпные грунты, представленные песками гравелистыми, и аллювиальные отложения нерасчлененных надпойменных террас, представленные

песками пылеватыми. Относительным водоупором этих вод является кровля многолетнемерзлых пород. По химическому составу надмерзлотные воды на исследуемой территории гидрокарбонатные натриево-кальциевые и кальциево-натриевые, пресные (минерализация 0,084 – 0,102 г/л), по водородному показателю нейтральные (значение pH 6,3 – 6,4), по степени жесткости – очень мягкие (0,50-0,80 мг-экв/л). Питание их осуществляется, преимущественно, за счет инфильтрации атмосферных осадков при их выпадении и таянии снега, а также за счет оттаивания льдистых пород. Высказывались также предположения, что подземные воды на площадке НПС-14 могут подпитываться водопритоком с прилегающих территорий.

Гидрогеологические исследования площадки НПС-14 в 2014 г. выполнялись с целью выявления и количественной оценки источников питания, транзита и разгрузки подземных вод в сезонноталом слое и несквозных таликах, сложенных грунтами песчано-гравийной отсыпки и подстилающими аллювиальными пылеватыми песками.

Исследования включали:

1) снегомерную съемку и режимные наблюдения за мощностью снежного покрова на площадке в феврале – апреле 2014 г.;

2) периодические визуальные наблюдения и цифровое фотографирование состояния дренажных канав и функционирования дренажных сооружений по периметру площадки и в её пределах в мае – октябре 2014 г.;

3) измерения водопритоков и водостоков по периметру площадки с мая по ноябрь 2014 г.;

4) определение коэффициента фильтрации грунтов песчано-гравийной отсыпки площадки в августе и октябре 2014 г.;

5) расчеты величины испарения с грунтовой поверхности площадки.

Снегомерные наблюдения выполнялись по 21 точке с определением мощности и плотности снежного покрова с помощью снегомера весового и весов электронных типа PASSED NO.05. Наблюдения за снежным покровом состояли из ежедневных измерений мощности снежного покрова и периодических (через 4 – 12 дней в зависимости от выпадения осадков) определений плотности снежного покрова. За период с 20 марта по 1 апреля 2014 г. мощность снега изменялась от 30 до 67 см, плотность снега – от 0,05 до 0,27 г/см^3. Средняя мощность снежного покрова на площадке составила 46,3 см, плотность – 0,14 г/см^3. Запасы воды в снежном покрове – от 23,5 до 148,54 мм, в среднем на 1 апреля, перед снеготаянием, – 59,2 мм.

В течение всего теплого периода 2014 г. проводились периодические визуальные наблюдения и цифровое фотографирование состояния дренажных канав и функционирования дренажных сооружений по периметру площадки НПС-14 и в её пределах. Всю площадку окружают дренажные канавы глубиной 1,0 – 1,5 м. По периметру площадки размещены 7 дренажных сборных железобетонных лотков и 6 металлических труб (рис. 2), предназначенных для сброса за пределы площадки атмосферных осадков и вод сезонноталого слоя. За время наблюдений обильный водоток постоянно отмечался по дренажному лотку № 3, расположенному на северо-восточной стороне площадки. На противоположной юго-западной стороне отмечался водоток из дренажной трубы № 1. Слабо сочилась вода из трубы № 2. Все остальные дренажные устройства были практически сухими.

Для оценки возможности питания надмерзлотных вод на площадке НПС-14 подземными или поверхностными водами, могущими поступать с нагорной стороны, а также для оценки стекания подземных и поверхностных вод с площадки станции за её пределы, летом 2014 г. проводились измерения водопритоков и водостоков по периметру площадки. Каких-либо выраженных притоков с прилегающих территорий на площадку НПС-14 ни в 2013 г., ни в 2014 г. обнаружено не было, кроме некоторого высачивания надмерзлотных вод по внешнему борту дренажной канавы на юго-восточной стороне площадки. Да и канава на 80 – 90% протяженности все это время находилась в сухом состоянии, лишь местами наблюдались небольшие обводненные термокарстовые образования и заболоченность.

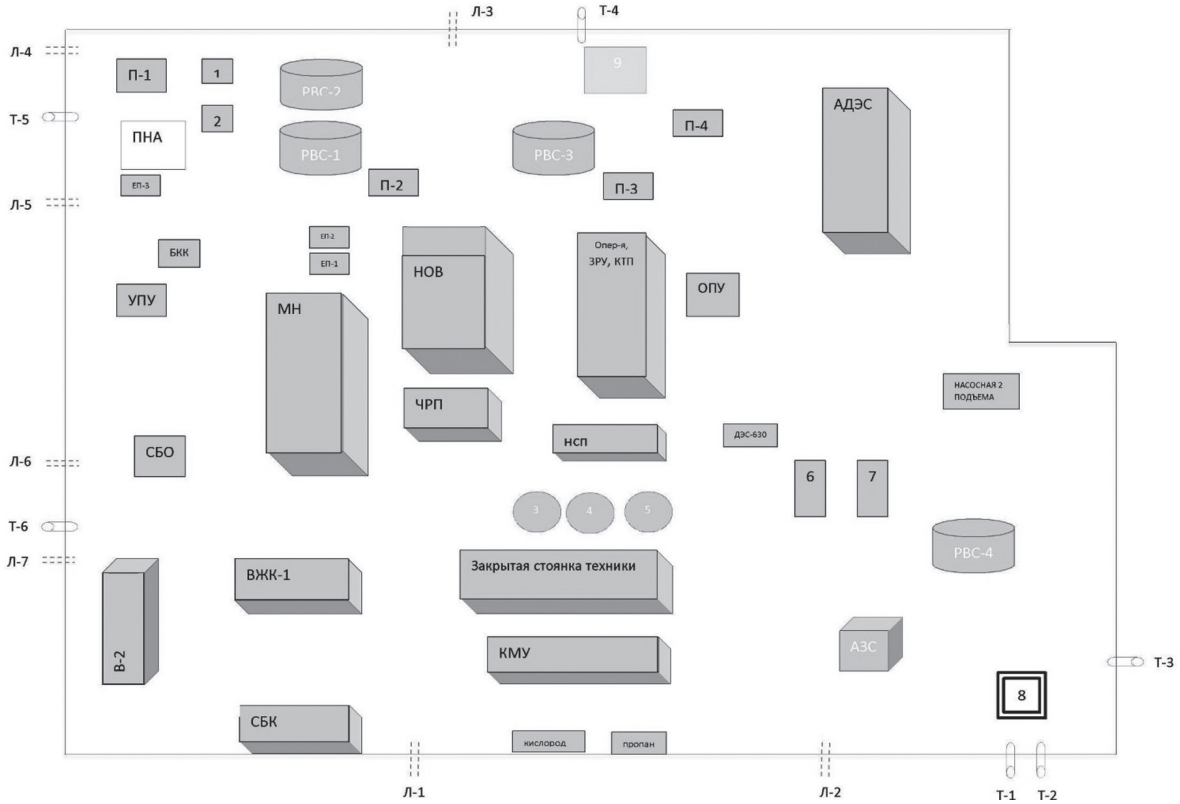


Рис. 2. Схема расположения дренажных лотков и труб по периметру НПС-14

Наблюдения за расходом водотоков по дренажному лотку № 3 и дренажной трубе № 1 с середины августа по конец сентября – начало октября показали, что водоток по дренажному лотку № 3 с 13 августа по 27 сентября 2014 г. отмечался постоянно, однако его расход изменялся в большом диапазоне: от 0,6 до 16 м³/сут. Наблюдалась тесная связь расхода водотока с режимом выпадения осадков. Так, 13 августа 2014 г., после ночного дождя, расход водотока по лотку составлял 4,2 м³/сут, а на четвертый день после дождя, 19 августа 2014 г., – 0,6 м³/сут, т.е. уменьшился в 7 раз. Такая же зависимость отмечалась и после дождя, прошедшего 25 августа 2014 г., когда расход водотока по лотку составлял 5,9 м³/сут, а на четвертый день после дождя – 0,8 м³/сут, т.е. уменьшился в 7,4 раза. 29 сентября 2014 г. водосток по лотку прекратился в связи с наступлением отрицательных температур воздуха.

Водосток по дренажной трубе № 1 в течение всего периода наблюдений (с 21 августа по 2 октября 2014 г.) также отмечался постоянно, однако колебался в меньшем диапазоне: от 0,3 до 1,1 м³/сут. Связь расхода водостока по дренажной трубе с режимом выпадения осадков также отмечается, однако реакция водостока на осадки более замедленная. Так, 21 августа 2014 г. после ночного дождя расход водостока по трубе составлял 0,3 м³/сут, а на следующий день даже уменьшился до 0,14 м³/сут и возрос до 0,6 м³/сут лишь на третий день после дождя, увеличившись в 2 раза.

Коэффициент фильтрации грунтов песчано-гравийной отсыпки площадки НПС-14 определялся в августе 2014 г. в 4 шурфах с помощью наливов по методу Н. С. Нестерова [2, 3] и в 3 шурфах в октябре 2014 г. с помощью экспресс-метода [2, 3]. Опыты показали, что песок среднезернистый с включением гальки и щебня в 4 опытах по методу Н. С. Нестерова имеет коэффициент фильтрации в среднем 6 м/сут, а в 3 опытах с использованием экспресс-метода – в среднем 3 м/сут.

В структуре радиационно-теплового баланса поверхности грунтов, а также в структуре водного баланса почв и верхнего слоя грунтов значительное место занимает испарение влаги

с дневной поверхности. Приближенная оценка средней многолетней величины испарения с ограниченных участков поверхности на площадке НПС-14 выполнена по методу Е. Тюрка [2, 4] с использованием данных метеостанции Олекминск за 2001 – 2013 гг. Расчеты показали, что за этот период величина испарения изменялась от 269,8 – 267,8 мм в 2001 г. до 491,7 – 492,3 мм в дождливый 2013 г., м в среднем составила 361,6 – 361,9 мм, т.е. около 96% выпадающих осадков.

Проведенные в 2014 г. на площадке НПС-14 «Олекминск» комплексные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Питание первого от поверхности водоносного горизонта, представленного надмерзлотными водами сезонноталого слоя и несквозными таликами в насыпных песчано-гравийных грунтах и аллювиальных песках различной крупности, осуществляется исключительно атмосферными осадками: снеговыми водами в апреле, дождевыми водами в мае – сентябре.

2. Атмосферные осадки идут, в первую очередь, на водонасыщение сезонноталого слоя грунтов и грунтов несквозных таликов, что увеличивает опасность пучения этих грунтов при промерзании, а фильтрация их вблизи технологических трубопроводов усиливает темпы оттаивания многолетнемерзлых грунтов под ними.

3. Солнцеосадкозащитные навесы, сооруженные над технологическими трубопроводами, покрытие прилегающей к ним поверхности противофильтрационной пленкой, а также реконструированные поверхностные дренажи на площадке НПС-14 начнут функционировать в следующем году, что кардинально изменит картину питания, транзита и разгрузки поверхностных и подземных вод на площадке. Следует продолжить гидрогеологические исследования на НПС-14 и в следующем году.

4. Для получения более точной метеорологической информации непосредственно по площадке НПС-14, отстоящей на несколько десятков километров от метеостанции Олекминск, целесообразно оборудовать на НПС-14 специальный метеопост.

Список литературы

1. Метеостанция «Олекминск». Режим доступа : www.pogodaiklimat.ru.

2. Диденков, Ю. Н. Полевые методы гидрогеологических исследований / Ю. Н. Диденков, А. Ю. Чернов. – Иркутск, 2002. – 76 с.

3. Рубинчик, З. Б. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине инженерной геокриологии: для обучающих по направлению бакалавра нефтегазовое дело дневной формы обучения» / З. Б. Рубинчик. – Хабаровск, 2013. – 28 с.

4. Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / [под ред. В. А. Кудрявцева]. – М. : Изд-во Московского университета, 1974. – 431 с.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НАЗЕМНОЙ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ КРИОЛИТОЗОНЫ ЯНАО

Коробейников А. Ю., Тагильцев В. С.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, kau_87_er@mail.ru; *vikhgeo@gmail.com*

Аннотация. В статье показано применение наземной электроразведки постоянным током при поисках подземных вод в условиях многолетнемерзлых пород. В классическом варианте при изучении многолетнемерзлых пород использовался метод ВЭЗ, который имеет ряд недостатков, в том числе низкая разрешающая способность по горизонтали. Результаты ВЭЗ выделяют сплошные среды, неоднородные по глубине. В условиях возможности установления кондуктивных заземлений в качестве

замены метода ВЭЗ может выступать метод электротомографии, разрешающая способность которого по горизонтали намного выше, чем у ВЭЗ.

Ключевые слова: *электротомография, ВЭЗ, многолетнемерзлые породы, удельное электрическое сопротивление.*

Abstract. The paper shows the application of direct current electrical ground in the search for groundwater in permafrost conditions. The classic version in the study of permafrost VES method was used, which has a number of drawbacks, including low resolution horizontally. Results VES emit continuous media inhomogeneous in depth. Under the conditions of the possibility of establishing conductive grounding as a substitute method may be a method VES Electrical resistivity tomography, the resolution of which is horizontal is much higher than that of VES.

Key words: *electrical resistivity tomography, VES, permafrost, electrical resistivity.*

В регионах ЯНАО при современном освоении нефтегазовых месторождений довольно остро стоит вопрос об обеспечении технического персонала водой для хозяйственно-питьевых нужд из-за широкого развития зон многолетнемерзлых пород (ММП), в которых вода находится в твердой фазе агрегатного состояния. Основная добыча подземных вод в регионах ЯНАО ведется в зонах развития талых пород, которые рассредоточены по долинам крупных рек.

Факторы, осложняющие интерпретацию результатов электроразведки для таких разрезов, следующие:

– непостоянство электрических свойств, в плане и по глубине, в связи с изменением не только литологии, но и в основном температуры, льдистости, криогенного состояния;

– резкое увеличение удельных электрических сопротивлений горных пород в слое годовых колебаний температур мощностью 0,3– 3,0 м в течение длинного зимнего периода по сравнению с коротким летним, когда исчезает минимум отрицательных температур в поверхностном слое;

– существование резких или градиентных электрических границ, обусловленных только температурным режимом и не связанных с литологией пород [1].

Несмотря на осложняющие факторы интерпретации результатов, электроразведка остается ведущим методом по изучению многолетнемерзлых пород.

В пределах Ярудейского газового месторождения на площадке ЦПС добыча подземных вод, в соответствии с техническим заданием, должна проводиться в интервале глубин 0 – 100 м.

На рассматриваемой площади в верхней части разреза залегают четвертичные отложения выдержанной мощности около 30 м, представленные глинами, суглинками, супесями и песками. Ниже вскрыты неогеновые осадки, сложенные мелкозернистым песком, вскрытые до глубины 60 м. Многолетнемерзлые породы развиты преимущественно в четвертичных отложениях.

Исходя из выдержанной мощности четвертичных отложений и высокой контрастности удельного электрического сопротивления (УЭС) талого и мерзлого состояний грунтов, было принято решение провести электроразведочные работы методом ВЭЗ и электротомографии.

Работы методом ВЭЗ проводились весной и летом 2014 г. по профилю длиной 1100 м с максимальным разносом АВ/2 = 300 м. По результатам работ и интерпретации выявлено, что разрез характеризуется бимодальным распределением УЭС пиками на значениях 100 и 250 Ом×м.

На всех кривых ВЭЗ четко выделяются три слоя в пределах проникающей способности установки. На первых двух кривых, в точках I-2, II-3, последний слой имеет повышенные значения сопротивления порядка 250 Ом×м. В двух других точках ВЭЗ последний слой имеет пониженные значения порядка 50 Ом×м. Точки I-2, II-3, II-4 были сняты в апреле 2014 г. В этот период в данной местности развит сезонномерзлый слой, поэтому на этих кривых верхний слой представлен повышенными значениями сопротивлений порядка 200 – 600 Ом×м. Точка ВЭЗ ПК 55 была снята в августе 2014 г., когда сезонномерзлый слой отсутствует, а удельное сопротивление верхнего слоя по этой кривой ρ_1 = 65 Ом×м (рис. 1).

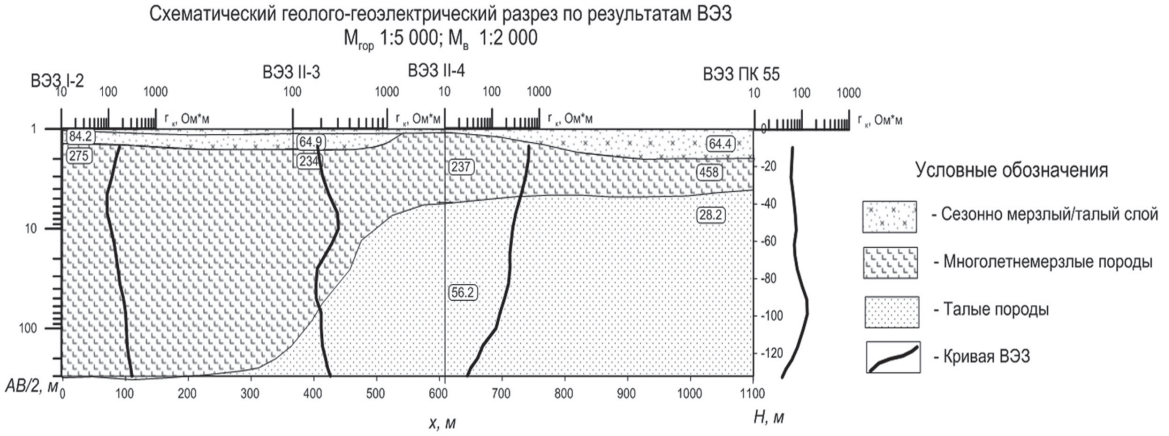


Рис. 1. Результаты работ ВЭЗ

Исходя из значений удельных сопротивлений 200 – 600 Ом·м для сезонномерзлого слоя, выделенного в апреле 2014 г., следует предположить, что породы с удельным сопротивлением ниже 150 Ом×м являются талыми. По ранее проведенным термометрическим работам и [2] установлено, что в районе средняя температура ММП t = –0,5º С. Породы песчано-глинистого состава при такой температуре имеют среднее удельное сопротивление 500 Ом·м. На основании этих факторов был построен геолого-геоэлектрический разрез, в левой части которого ниже сезонного слоя залегают многолетнемерзлые породы, а в правой части – талые породы.

Исходя из результатов работ по методу ВЭЗ, в точке зондирования II-4 была пробурена скважина. Скважиной до глубины 30 м вскрыты мерзлые суглинки с переслаиванием песков, ниже – мелкий талый песок. Результаты интерпретации ВЭЗ и бурения различаются на 10%. Однако приток воды в скважине в интервале талых пород был незначительным.

Для детализации, уточнения и изучения границ талика, выделенного в правой части разреза, и его структурных особенностей были проведены работы методом электротомографии.

Электротомография широко применяется в инженерной геологии при поисках и разведке рудных ПИ и для гидрогеологических целей. Электротомография в отличие от ВЭЗ имеет большую разрешающую способность и сочетает в себе признаки зондирования и профилирования, поэтому интерпретация модели подходит для сред, содержащих как вертикальные, так и горизонтальные границы.

По результатам электротомографии в детальном разрезе талик имеет более сложную структуру (рис. 2). По результатам ВЭЗ предполагалось, что мощный талик перекрыт многолетнемерзлыми породами или «перелетками» сверху, но результаты электротомографии показали, что в пределах зоны талых пород, выявленных на разрезе ВЭЗ, имеется ряд более мелких, островных талых зон, другими словами, наблюдается оттаивание между вторым и третьим слоем ММП.

По результатам электротомографии выявлены две зоны пониженных удельных сопротивлений в пределах отметок x 900 – 920 и 960 – 1060 м. Первая зона имеет резкие границы по вертикали и овальную форму. Предполагаемый талик относится к внутримерзлотному типу с отсутствием питания с поверхности. Вторая зона пониженных сопротивлений имеет достаточно широкие пространственные границы, в основании разреза достигает ширины 100 м. Выше по разрезу границы сужаются, в верхней части предполагаемый талик выходит к дневной поверхности с узкой инфильтрационной зоной до 20 м. Такой талик классифицируется как сквозной.

Наибольшая зона талых пород, выявленная по электротомографии, была разбурена. Скважина располагалась на отметке профиля x = 1040 м. В разрезе с глубины 32 м вскрыты

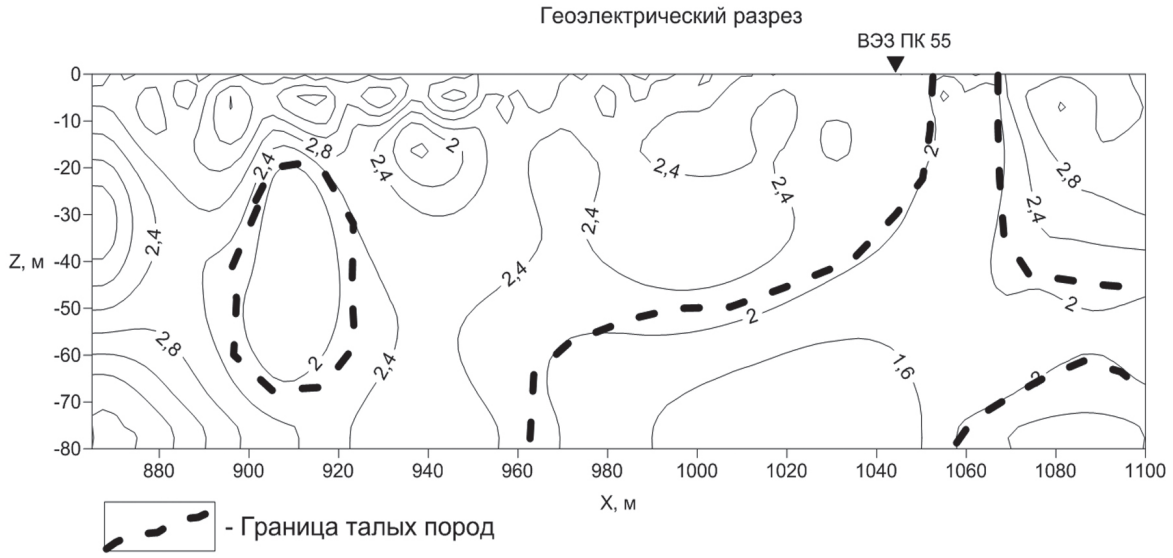


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по результатам электротомографии (изолиний в logρ)

талые пески. Выше залегают мерзлые пески, переслаивающиеся с пылеватым суглинком. Разрез по электротомографии соответствует результатам бурения. Однако при опробовании по скважине получен незначительный дебит.

Малый дебит скважины обусловлен криогенным и структурным строением разреза. Талики, выделенные по результатам электротомографии и ВЭЗ, не относятся к типу гидрогенных [3]. Оттаивание верхней части основного талика, выделенного на разрезе электротомографии, обусловлено изменением температурного режима за счет техногенного влияния, измененного стока ливневых вод. Но так как верхний слой разреза сложен пылеватым суглинком, инфильтрация поверхностных вод в широкую зону талых пород, сложенную песком, происходит медленно. Локальное распространение таликов в плановом разрезе подразумевает ограниченную водосборную площадь, что приводит к низкой обеспеченности ресурсного потенциала подземных вод.

Локальные слоистые структуры в талой зоне (слоистая мерзлота) может выступать как фактор, препятствующий формированию достаточного количества запасов подземных вод. Локальная слоистая мерзлота не отражается на результатах ВЭЗ и электротомографии из-за падения разрешающей способности электроразведочных методов с глубиной.

Список литературы

1. Электроразведка. Справочник геофизика. В двух книгах / [под ред. В. К. Хмелевского и В. М. Бондаренко]. 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Недра, 1989 ; кн. вторая, 438 с.

2. Достовалов, Б. Н. Общее мерзлотоведение / Б. Н. Достовалов, В. А. Кудрявцев. – М. : Издательство Московского университета, 1967. – 392 с.

3. Романовский, Н. Н. Талики в области многолетнемерзлых пород и схема их подразделения / Н. Н. Романовский // Вестник Московского университета. Серия геол. – 1972. – № 1. – С. 23–34.

О ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ПОНИЖЕНИЯ ПОДМЕРЗЛОТНЫХ ВОД ПРИ ОТРАБОТКЕ ТРУБКИ «ЮБИЛЕЙНОЙ» АК «АЛРОСА»

Лобанов В. В., Стручкова А. С.
Институт Якутнипроалмаз АК АЛРОСА, г. Мирный, LobanovVV@alrosa.ru; StruchkovaAS@alrosa.ru

Аннотация. В статье проанализированы гидрогеологические условия месторождения «Юбилейного», для оценки возможности и эффективности предлагаемого решения по оптимальной схеме защиты карьера от дренажных рассолов с использованием водопонижающих скважин. Приведены результаты моделирования предлагаемой схемы дренирования с оценкой экономической эффективности в сравнении с транспортированием притоков маломинерализованных вод автотранспортом в хвостохранилище.
Ключевые слова: *карьер «Юбилейный», водопритоки, рассолы, ММП.*

Abstract. The article analyzes the hydrogeological conditions of the deposit «Jubileiny», to assess the feasibility and effectiveness of the proposed solutions for the protection of mining operations suggestions for optimal protection scheme career from brine drainage using drainage wells. Simulation results of the proposed scheme with drainage assessment of economic efficiency in comparison with transportation tributaries mineralized water truck in the pond.
Key words: *Quarry* «*Jubileiny*»*, water production, brines, permafrost.*

Месторождение «Юбилейное» приурочено к области сочленения Тунгусского и Якутского артезианских бассейнов. В настоящее время водоносные горизонты трубки «Юбилейной» не вскрыты. Дренажные воды карьера представлены атмосферными водами и пресными водами подозёрных таликов (озера Проточное и Травянистое).

Предполагаемое вскрытие в 2018 г. карьером межмерзлотного водоносного комплекса, гидродинамически связанного в зоне рудовмещающего разлома с подмерзлотным водоносным комплексом с напорами более 200 м, приведет в летнее время к смешению пресного стока с рассолами. При этом расчетная по балансу притоков минерализация смешанных вод не превысит 20 – 40 г/л. Воды с такой минерализацией нельзя подавать на участок закачки. По опыту закачки в многолетнемерзлые толщи аналогичных рассолов Удачнинского ГОКа равновесная для температурных условий многолетнемерзлых пород минерализация рассолов составляет 80 – 100 г/л (рассолы с такой минерализацией не вымерзают в мерзлоте). Смешанные воды придется складировать в летнее время, например, в хвостохранилище, располагающееся в 10 км от месторождения, что связано со значительными затратами на их транспортировку, а также с негативным влиянием на безопасность эксплуатации хвостохранилища.

Предлагаемое решение по использованию для защиты месторождения от дренажных рассолов скважин с погружными насосами (опережающее водопонижение) при открытой доработке карьера до абсолютной отметки –100 м является альтернативой эксплуатации карьерного водоотлива. В обводнении карьера будут принимать участие подземные воды надмерзлотных, межмерзлотных и подмерзлотных комплексов, которые предлагается закачивать из карьера в толщу ММП.

Надмерзлотные воды существуют в пределах сезонноталого слоя (СТС) и в несквозных подрусловых и подозёрных таликах.

Нижнеордовикский межмерзлотный водоносный комплекс характеризуется спорадичностью распространения (только на северо-восточном фланге месторождения «Юбилейного»), наличием мерзлых пород выше и ниже обводненной части разреза, незначительным напором подземных вод и крайне низкой водообильностью отложений. Водосодержащие пласты – коллектора, приуроченные к нижней части олдондинской свиты (O_1ol) представлены песчанистыми доломитами, водорослевыми доломитами, известковистыми песчаниками,

переслаивающимися с плотными непроницаемыми глинистыми доломитами и мергелями. Степень водообильности комплекса очень слабая, коэффициент водопроводимости равен всего 0,0014 м^2/сут.

Верхнекембрийский подмерзлотный водоносный комплекс характеризуется повсеместным распространением, на всю изученную глубину (до 1200 м) является единственным водоносным комплексом (кроме спорадически распространенного нижнеордовикского), который будет оказывать влияние на обводнение месторождения при его отработке. Водоносный комплекс приурочен к карбонатным разностям отложений моркокинской ($Є_3$ mrk) и мархинской ($Є_3$ mrh) свит верхнего кембрия. Верхнекембрийские отложения вскрыты в интервале глубин 550 – 1334 м. Породы водоносного комплекса характеризуется низкими коллекторскими свойствами, которые ухудшаются с глубиной в связи с уплотнением пород и увеличением их глинистости. Значения коэффициентов водопроводимости колеблются в пределах 0,02 – 0,60 м^2/сут. Повышенными на порядок значениями параметров отличается лишь трещиноватая зона, приуроченная к Северо-Восточному рудовмещающему разлому. Подземные воды комплекса имеют напор, величина которого достигает 208 – 312 м.

Низкие фильтрационные характеристики нижнеордовикского межмерзлотного водоносного комплекса обеспечат незначительный приток рассолов, что не существенно повлияло бы на технологию ведения горных работ в карьере. Однако при высоких напорах в водоносном горизонте моркокинской свиты и наличии гидравлической связи водоносного горизонта моркокинской свиты верхнего кембрия с вышезалегающим нижнеордовикским водоносным комплексом через ослабленную зону Северо-Восточного рудовмещающего разлома, разгрузка водоносного горизонта моркокинской свиты в карьер начнется после вскрытия кровли нижнеордовикского водоносного комплекса. Следует учесть, что обводненность приконтактовой зоны вмещающих пород с кимберлитами в 2 и более раз выше, чем законтурной части. Гидрогеологическая схема месторождения показана на рис. 1.

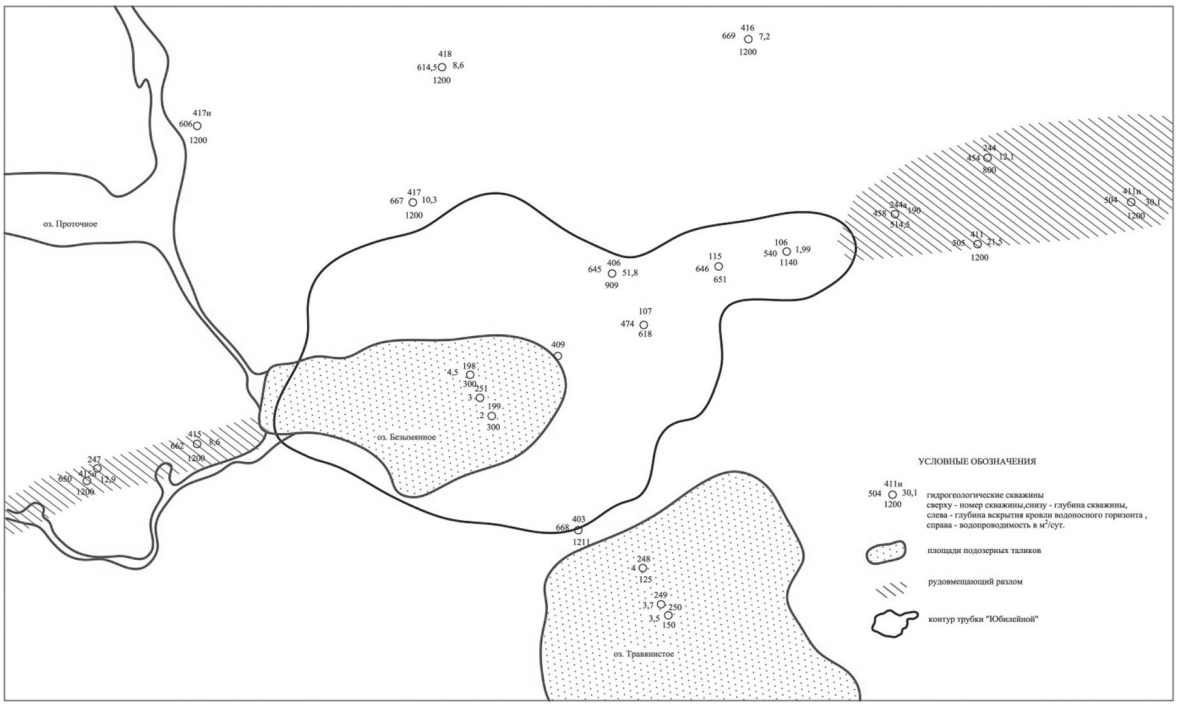


Рис. 1. Схематический гидрогеологический план месторождения трубки «Юбилейной»

На созданной гидродинамической модели условий месторождения трубки «Юбилейной» приняты следующие входные данные:

– исследуются два водоносных комплекса: нижнеордовикский межмерзлотный и верхнекембрийский подмерзлотный;

– межмерзлотный водоносный комплекс развит спорадически и присутствует только в приконтактовой зоне с кимберлитами в северо-восточной части и в зоне северо-восточного рудовмещающего разлома;

– размеры области моделирования приняты таким образом, чтобы ее внешние границы оказывали минимальное влияние на гидродинамические процессы, протекающие в районе отработки трубки «Юбилейной», то есть за пределами радиуса влияния дренажа;

– площадь района моделирования гидрогеологической ситуации при отработке месторождения до а.о. –100 м составила 400 (20 х 20) км^2;

– для расчета водопритоков на основе фактических данных были приняты следующие параметры: межмерзлотный водоносный горизонт – 0,00002 м/сут; подмерзлотный в зоне Северо-Восточного разлома – 0,01 м/сут, в остальной части – 0,005;

– начальные уровни заданы согласно статическим пьезометрическим уровням и равны +210 м абс.;

– граничными условиями для рассматриваемой гидродинамической задачи служат условия на контурах дренажа;

– расчет проводился в нестационарной постановке, период численного моделирования охватывал отработку месторождения открытым способом до отметки –100 м абс. (2028 г.) со скоростью опускания фронта подземных горных работ согласно проектным решениям 15 – 30 м в год.

Исходя из более высоких фильтрационных характеристик зоны Северо-Восточного разлома, предлагается вариант дренажа с сооружением водопонижающих скважин за контуром карьера в зоне рудовмещающей части разлома. На модели граничное условие 2-го рода задавалось четырьмя скважинами с общим дебитом откачки 40 м^3/ч и с заложением фильтров на верхнекембрийский подмерзлотный водоносный комплекс.

По результатам моделирования опережающий дренаж подземных вод (уровень в центре карьера ниже проектной отметки его забоя на соответствующий год) обеспечивается в центре карьера до 2025 г. (рис. 2).

Задание на гидродинамической модели проектных темпов понижения забоя карьера после 2024 г. обусловливало приток дренажных рассолов, наряду с рассолами, откачиваемыми скважинами, с величинами расходов 5 – 10 м^3/ч. Очевидно, что эти притоки рассолов в смеси с поверхностным стоком в летнее время придется рассматривать как рассолы с невысокой минерализацией (по балансовому расчету, примерно, 20 – 40 г/л), которые будут утилизированы в хвостохранилище. Их объем составит, примерно, 1,0 – 1,2 млн м^3 и с учетом растянутости времени утилизации не станет существенной нагрузкой на их транспортирование и фактором, влияющим на экологическую ситуацию.

При среднем фактическом притоке в карьер «Юбилейный» поверхностного стока в паводковый период 60 м^3/час, объемы смешанных вод, образующихся в этот период, за все время отработки месторождения после вскрытия подмерзлотных дренажных рассолов, согласно расчетам, в 3,5 раза больше, чем в предлагаемом варианте с опережающим водопонижением.

Затраты на откачку из карьера паводкового стока в период до 2025 г. при функционировании опережающего водопонижения будут меньше затрат на выдачу смешанных вод в этот период (нет притока в карьер дренажных рассолов). При отсутствии прямого притока в карьер дренажных рассолов пресный паводковый сток может повысить содержание солей только за счет выщелачивания солей в осушенной горной массе. В этом плане для обеспечения возможности использования существующей схемы сброса паводковых вод из карьера в канаву от оз. Мутного целесообразно будет минимизировать время нахождения паводкового стока на забое карьера и обеспечить перехват значительной части его объема зумпфами выше кровли нижнеордовикского водоносного комплекса.

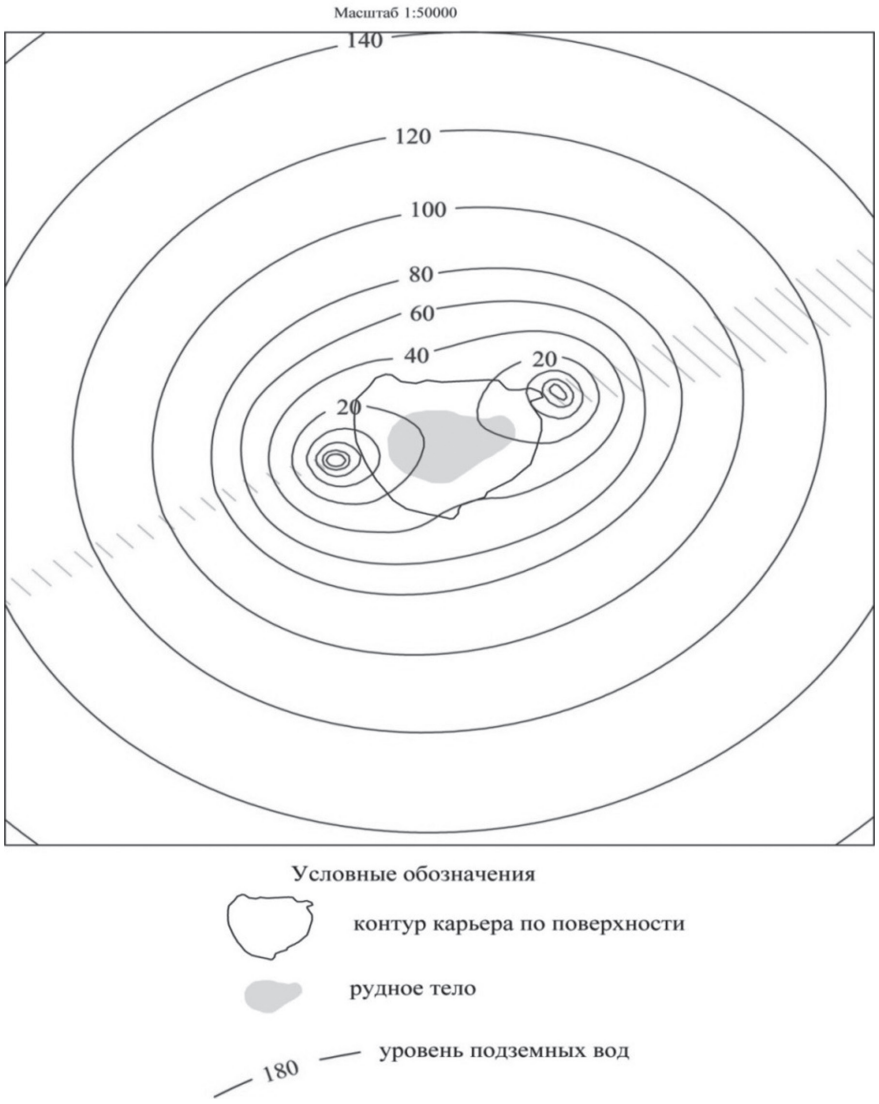


Рис. 2. Прогнозное распределение уровней подмерзлотных вод в районе трубки «Юбилейной»

Предлагаемое решение практически на весь период открытой отработки месторождения до а.о. –100 м делает систему дренажа независимой от развития горных работ в карьере и технологически управляемой.

Список литературы

1. Дроздов, А.В. Криогидрогеология алмазных месторождений Западной Якутии / А. В. Дроздов, Н. А. Иост, В. В. Лобанов. – Иркутск : Изд-во ИГТУ, 2008.

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ОТРАБОТКИ ПОДКАРЬЕРНЫХ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТРУБКИ «МИР» АК «АЛРОСА» В УСЛОВИЯХ ПРОСКОКОВ ДРЕНАЖНЫХ РАССОЛОВ МЕТЕГЕРО-ИЧЕРСКОГО ВОДОНОСНОГО КОМПЛЕКСА

Лобанов В. В.[1], Кисиличин А. И.[2], Каверин С. В.[2]
[1]Институт Якутнипроалмаз АК АЛРОСА, г. Мирный, LobanovVV@alrosa.ru;
[2]Мирнинский ГОК АК «АЛРОСА» (ОАО), г. Мирный, KisilichinAI@alrosa.ru;
KaverinSV@alrosa.ru

Аннотация. В статье проанализирована эффективность работы системы консервации карьера «Мир» как части проекта подземной отработки месторождения. Подтверждена эффективность перехвата проскоков подмерзлотных рассолов в дренажном слое над рудным целиком. Выявленные недостатки функционирования дренажной системы рудника позволили предложить и реализовать меры по изменению баланса управляемого и неуправляемого водопритока в рудник до соотношения 80% и 20%, соответственно.
Ключевые слова: *карьер «Мир», рудник «Мир», водопритоки, рассолы.*

Abstract. The article analyzes the effectiveness of the open pit «Mir» conservation system as the project part of the deposit underground mining. The effectiveness of pumping of the drain brines filtering in the drainage layer over the ore pillar was confirmed as a result of studies. Flaws detection in the work of the mine drainage system permitted to propose and implement measures to change the balance of guided and unguided water inflow to the mine in a proportion of 80% and 20% respectively.
Key words: *open pit* «*Mir*», *mine* «*Mir*»*, water production, brines.*

Переход на подземную отработку месторождения трубки «Мир» представлял собой сложную горно-технологическую проблему. Низкая устойчивость бортов карьера «Мир» (минимальный коэффициент запаса устойчивости борта 1,04, при нормативном не менее 1,25 – 1,3) предопределил проведение ускоренной консервации карьера. По соображениям безопасности подземных горных работ, в частности, элементов системы защиты рудника от затопления (противофильтрационной завесы (ПФЗ), дренажной системы карьера и т.д.) и с учетом морфологических особенностей рудного тела в интервале подземной отработки, предпочтительным рассматривался вариант консервации, сопровождающийся увеличением коэффициента запаса устойчивости бортов карьера. В соответствии с требованиями Госгортехнадзора Российской Федерации (ГГТН РФ) консервация карьера должна быть сухой, то есть отвод подземных вод из карьерного пространства системой водоотлива должен быть достаточным по объему для обеспечения оптимальных условий ведения подземных горных работ и полноты выемки полезного ископаемого.

Реализованный к настоящему времени проект консервации карьера «Мир» разработан НТЦ «НОВОТЭК» (г. Белгород) [1] по рекомендациям специалистов института «Якутнипроалмаз», согласован после специального рассмотрения ГГТН РФ и в полной мере отвечает требованиям безопасности подземной выемки подкарьерных запасов месторождения и условиям поддержания в устойчивом состоянии бортов карьера и основных элементов защиты месторождения от подземных рассолов.

Консервация карьера произведена путем формирования на его дне техногенного трехслойного массива общей мощностью примерно 50 м. Нижний слой толщиной до 30 м отсыпан из грубообломочных крепких долеритов и гидродинамически характеризуется как слой с ураганной проницаемостью. На этот слой на суглинистой подушке уложена непроницаемая полимерная пленка толщиной 2 мм, способная выдерживать значительные растягивающие нагрузки в рассолах с отрицательной температурой. На пленку, укрытую суглинком, отсыпаны глинистые вскрышные породы.

Техногенный массив сформировал отпор сдвигающим напряжениям неустойчивого борта карьера, повысив, согласно имеющимся геомеханическим расчетам, коэффициент запаса устойчивости до величины 1,25 и более. Это сняло проблему возможного влияния подвижек борта на состояние важных защитных элементов карьера и будущего рудника (ПФЗ, ПДК и др.).

Принципиальная схема консервации карьера представлена на рис. 1.

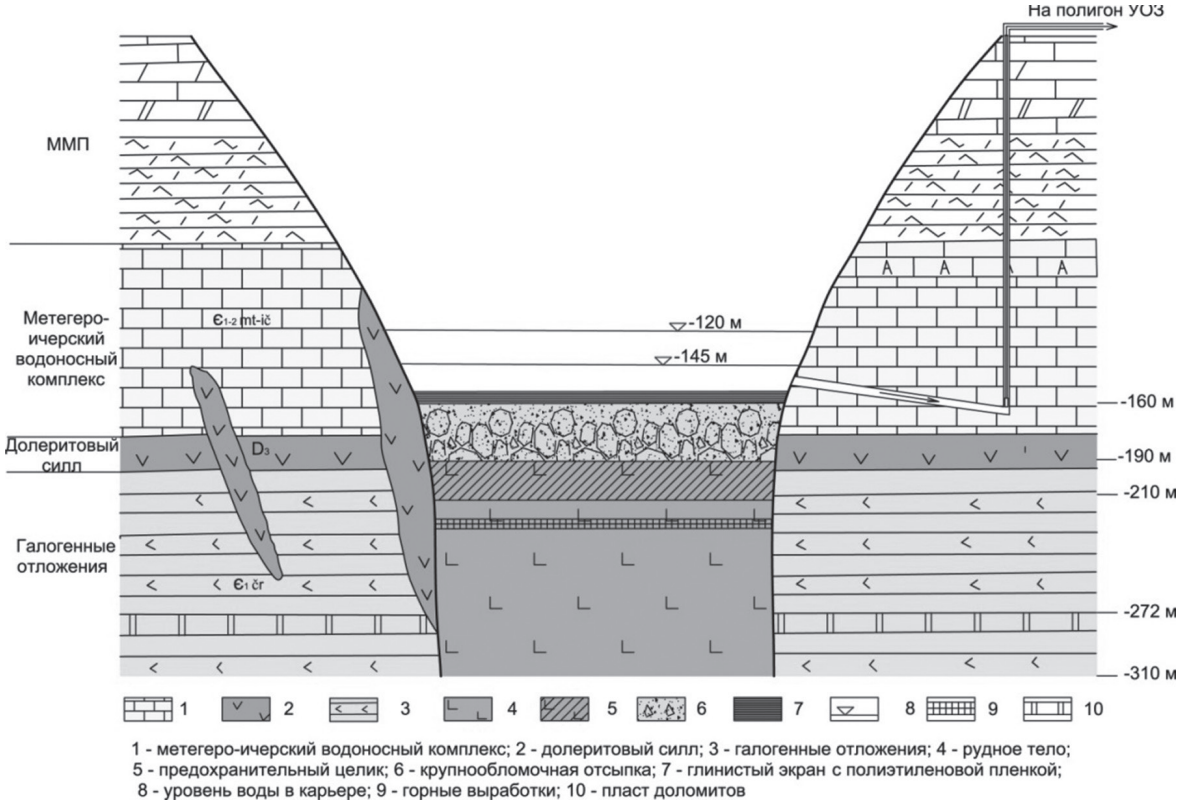


Рис. 1. Принципиальная схема консервации карьера трубки «Мир» (Западная Якутия)

Наличие слоя с ураганной проницаемостью позволяет эффективно дренировать его, уменьшая гидростатический напор на рудную поверхность до первых единиц метров. Сниженный гидростатический напор обеспечивает достаточную устойчивость предохранительного целика проектной мощностью 20 м.

Противофильтрационный экран над слоем ураганной проницаемости позволяет в существенной мере отсечь приток дренажных рассолов в карьер от попадания в нижний слой. Эффективность защитной роли экрана оценивалась величиной проскока в нижний слой (если начать его дренирование) с расходом не более 50 – 100 м^3/час.

Трудности с длительным поддержанием в рабочем состоянии транспортной бермы карьера, необходимой для обслуживания на забое карьерного водоотлива, обусловили принятие решения о сооружении так называемого заглубленного водоотлива, представляющего собой наклонную водоотводящую штольню, проходимую с отметки поверхности техногенного слоя. Откачка воды из этой штольни осуществляется погружными насосами, устанавливаемыми в специальные скважины большого диаметра, пробуренными в водоприемную камеру, сооруженную в конце штольни.

Проектом подземного рудника предусматривается первоочередная отработка подкарьерного этажа под защитой оставляемого 20-метрового рудного целика с закладкой выработанного пространства специальным закладочным материалом, несущим противофильтрационные функции. По завершению отработки и закладки подкарьерного этажа (12 – 15 лет) и после проведения

специальных работ по оценке защитных свойств искусственного целика будет принято решение о прекращении дренирования Метегеро-Ичерского водоносного комплекса.

Учитывая высокую ценность руды месторождения трубки «Мир», предусматривается возможность отработки 20-метрового целика по специальному проекту. Благоприятным условием для решения поставленной задачи является высокая проницаемость нижнего слоя техногенного массива, сложенного из грубообломочных не разрушаемых долеритов, который можно будет, например, последовательно заполнять глино-цементным нефильтрующим составом. Под защитой искусственной потолочины укороченными заходками будет отработан рудный целик.

До 2012 г. система консервации карьера с отводом дренажных рассолов из карьера по водоотводящей штольне и откачкой их с расходом 1100 – 1200 м^3/час из водоприемной емкости штольни погружными насосами РИТЦ функционировала достаточно стабильно. В 2012 г. в связи с частичным выходом из строя насосов РИТЦ состоялось первое подтопление карьера, в связи с чем проскоки в рудник выросли со 100 – 120 м^3/час до 250 м^3/час. Условия ведения горных работ в подкарьерном блоке резко усложнились. Принятое решение по тампонированию каналов фильтрации в рудном целике (пробурено и протампонировано более 70 скважин) существенного эффекта не принесло. Очевидной причиной данного результата был не снятый напор на кровлю рудного целика, равный, примерно, принятому давлению нагнетания тампонажных смесей при естественном отсутствии подпора в подземных выработках, дренирующих проскок дренажных рассолов. При повторном подтоплении карьера (обрушилась стенка бермы выше отметки расположения насосов РИТЦ с повреждением водоотливных коммуникаций) увеличенный водоприток через рудный целик уже перехватывался не только выработками подкарьерного блока (неуправляемый приток), но и дренажными скважинами (управляемый приток), забуренными в дренажный слой над кровлей рудного целика. Несмотря на малое количество дренажных скважин (эффективно работало 3-4 скважины), ими удалось перехватить до 20 – 30% общего притока рассолов или до 70% его увеличения после остановки насосов РИТЦ. Указанный опыт привел к существенной корректировке схемы рудничного водоотлива (рис. 2).

На горизонте –215 м в рудном теле вдоль его длинной оси пройдены три субпараллельные выработки (так называемый «трезубец»), играющие роль водосборников. Из них пробурена серия восстающих скважин в дренажный слой над кровлей рудного целика, а также субгоризонтальных скважин, с целью максимального подсечения фильтрационных каналов ниже рудного целика как в рудном теле, так и во вмещающем массиве.

Эффективность уже реализованного на руднике решения по перехвату проскоков дренажных рассолов через рудный целик видна по сопоставлению расходов откачки рассолов на горизонте –310 м (неуправляемый приток) в период уже упоминавшегося подтопления карьера в августе 2013 г. с январским подтоплением 2015 г. (часть насосов РИТЦ не работала). При примерно равном сроке подтопления (одна неделя) основная нагрузка увеличения притока (более 230 м^3/час из 356 м^3/час) в августе 2013 г. пришлась на горизонт –310 м. В январе 2015 г. основная нагрузка (280 м^3/час из 339 м^3/час) легла на горизонт –210 м. Наглядно ситуация представлена на рис. 3.

Резкий рост притоков в рудник при незначительном подъеме уровня в карьере (не более 8 – 10 м) может быть следствием увеличения площади фильтрации рассолов на кровле рудного целика с подключением дополнительных каналов фильтрации. При более длительном сроке повышенного притока рассолов в дренажный слой над кровлей рудного целика величина проскока, по-видимому, будет определяться только напором над кровлей рудного целика в дренажном слое. В целом, ситуация с перехватом проскока по соотношению управляемого и неуправляемого перехвата стабилизировалась с долями проскоков, примерно, 80 и 20%, соответственно. На это соотношение практически не влияет нестабильность работы насосов РИТЦ.

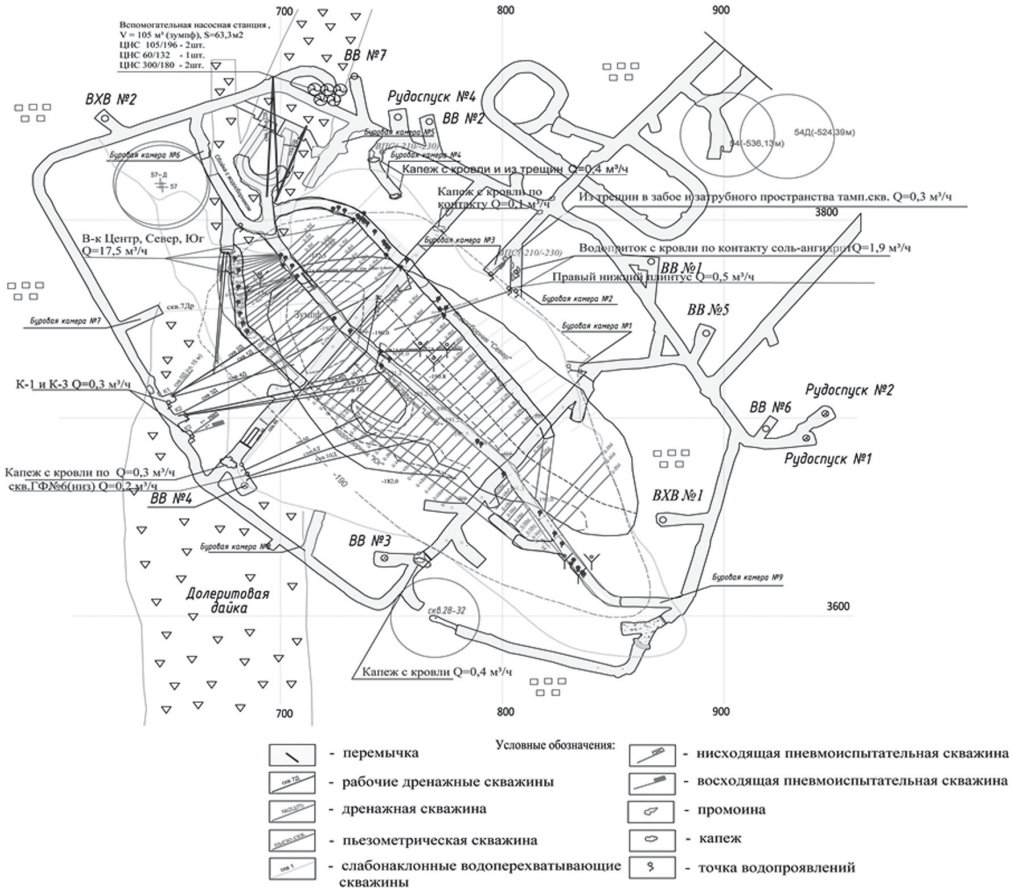


Рис. 2. Дренажные выработки «трезубца» на горизонте –215 м

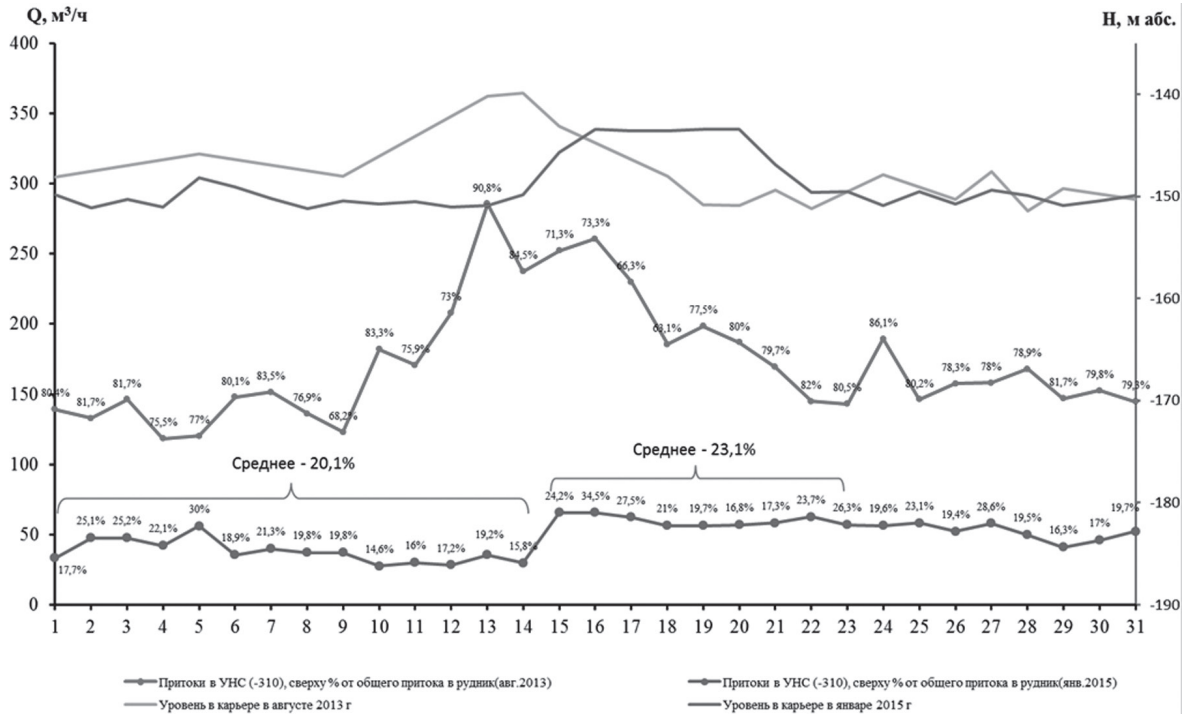


Рис. 3. Притоки рассолов на горизонте –310 м в августе 2013 г. и в январе 2015 г. с их долями (%) от общей величины притока в рудник трубки «Мир»

Зафиксированная ситуация позволяет ориентироваться на возможность более длительного периода подтопления карьера и, по большому счету, на допустимость планируемого складирования в выработанное пространство карьера «хвостов» обогащения при достаточной уверенности в эффективном дренировании напора на кровлю рудного целика системой дренажных скважин.

Список литературы

1. АК «АЛРОСА». Подземный рудник «Мир». Сухая консервация карьера : рабочая документация. НТЦ «НОВОТЭК» / Г. Н. Гензель, М. В. Якушенко. – Белгород, 2001.

СТАДИЙНОСТЬ РАЗВИТИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫХ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗСМБ

Матусевич В. М., Ковяткина Л. А.
Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, vyru@mail.ru

Аннотация. В настоящее время на территории Западно-Сибирского мегабассейна усиливается техногенное воздействие на подземную гидросферу. За полувековой период освоения этой уникальной структуры, ее нефтегазовых месторождений и эксплуатации сопутствующих объектов сформировались и продолжают развиваться природно-техногенные гидрогеологические системы, своеобразный конгломерат природных геологических и технических объектов. Функционирование таких систем носит сложный характер и зависит от многих факторов. В ходе развития система последовательно проходит ряд стадий от внутреннего развития до выхода процессов на земную поверхность. Сформулированы общие принципы изучения.

Ключевые слова: *подземные воды, гидрогеологическая система, стадии развития, методические основы изучения.*

Abstract. Currently, in the territory of the West Siberian megabasin enhanced anthropogenic impact on the underground hydrosphere. Over half a century of development of this unique structure, its oil and gas fields and associated facilities operation emerged and continue to develop the natural and man-made hydrogeological system, a kind of conglomerate of natural geological and technical facilities. During development, the system moves sequentially through a series of stages from internal development before the release of the processes on the earth's surface. General principles study.

Key words: *groundwater, hydrogeological system, stage of development, methodological basis of the study.*

Природно-техногенная гидрогеологическая система рассматривается нами как часть (подсистема) литотехнической системы (ЛТС по В. Т. Трофимову и др.) [1], охватывающая часть гидролитосферы, находящейся под влиянием хозяйственной деятельности человека, где формируется техногенное гидрогеологическое поле и его частные составляющие: гидродинамическое, концентрационное, гидрогеотермическое [2 – 4].

Природно-техногенная гидрогеологическая система, в дальнейшем именуемая ПТГГС, возникает и формируется в очень краткие промежутки геологического времени, то есть почти мгновенно. Продолжительность «жизни» такой системы определяется большим многообразием факторов, влияющих на ее развитие и дальнейшее функционирование. Период существования такой системы может быть определен по продолжительности эксплуатации ее технической составляющей, например, по времени работы водозабора или дренажной системы разрабатываемого месторождения твердых полезных ископаемых. Тем не менее после

прекращения деятельности любого технического объекта природная часть системы, на которую оказывалось в разной степени воздействие, не может вернуться в исходное состояние сразу после того, как объект был закрыт (законсервирован) или даже ликвидирован. Продолжается «жизнь» ПТГГС, но в течение какого времени, трудно или даже невозможно предсказать.

Весь период существования ПТГГС с момента ее зарождения можно разделить на несколько этапов-стадий по временным и пространственным критериям, по структуре (строению), свойствам и состоянию (количественным показателям составляющих гидрогеологическое поле), характеру и степени негативного влияния техногенного объекта на геологическую среду и экологическим последствиям. Временные рамки техногенной системы зависят от видов техногенных воздействий и типов строения геологической среды. В данном случае представляется возможным проследить развитие системы по этапам в зависимости от пространственного распределения негативных воздействий и их последствий в геологической среде и на поверхности Земли.

Первая стадия – «**латентная». Стадия «скрытого» внутреннего развития**. Охватывает начальный период функционирования ПТГГС, когда техногеннные изменения происходят только в объеме эксплуатируемой ГГС (пласта, горизонта подземных вод), все техногенные процессы протекают «in situ», в объеме той части гидролитосферы, которая испытывает прямое воздействие со стороны технической подсистемы. Наиболее простым и наглядным примером может служить загрязнение почв и пород, верховодки в зоне аэрации при попадании любых загрязнений с поверхности; засоление почвогрунтов при орошении; формирование воронки депрессии в эксплуатируемом водоносном горизонте, загрязнение поглощающего горизонта при утилизации стоков и другие.

Вторая стадия **– «метастазии» (***метастáз* – перемещение, смена положения) – характеризует распространение техногенных процессов на смежные системы (водоносные пласты, горизонты), формирование своеобразных «метастазов», если учитывать преимущественно негативный характер изменений – очагов и зон загрязнения, потоков и ореолов рассеяния загрязняющих веществ, расширение и углубление депрессионных воронок, их влияние на смежные пласты, привлечение ресурсов выше- и нижележащих пластов за счет усиления питания при снижении уровней и напоров как в эксплуатируемом, так и в питающем горизонтах, возникновение новых путей фильтрации флюидов при проведении гидроразрыва пластов и повышении давления при захоронении промстоков в недра и другие.

Третья стадия – **«терминальная»** (англ. *terminal* — «конечный») – наступает, когда негативные процессы охватывают весь объем подземной гидросферы, распространившись как по площади, так и в разрезе от верхней границы, то есть от поверхности земли до нижней границы ПТГГС. Нижняя граница может быть представлена региональным водоупором, кристаллическим фундаментом, сложенным непроницаемыми блоками пород, разделенных разломами, исключающими фильтрацию, «залеченных» нерастворимым цементом. Эта стадия ассоциируется с той ступенью заболевания организма человека, когда уже все органы подвержены тем или иным изменениям, и процессы приняли практически необратимый характер.

Четвертая стадия – «**экстравертная»** (критическая) – характеризуется выходом техногенных процессов из геологической во внешнюю среду и развитием процессов, вызывающих негативные экологические последствия. Негативные процессы выходят на поверхность Земли, что происходит подобно взрыву, вулканическому извержению, «геосолитону». В других случаях и, чаще всего, это происходит постепенно, аккумулятивным путем. Накопленная энергия системы достигает критического значения, происходит ее сброс (разрядка) в поверхностные оболочки Земли – в окружающую природную среду (реки, озера, атмосферу, биосферу).

Пятая стадия – «**релаксации» (**от латинского relaxatio – ослабление, уменьшение) – завершающая стадия. Она наступает, когда техническая составляющая системы перестает существовать, т.е. после прекращения эксплуатации объекта и его ликвидации. Тем не менее созданная человеком система продолжает «жить» в геологической среде, постепенно

освобождаясь от накопленной негативной энергии, самоочищаясь или восстанавливаясь с помощью разработанных инженерных решений. Вероятно, это самый длительный период существования ПТГГС, соразмеримый с геологическими масштабами.

Развитие системы протекает по разным сценариям и в разных временных рамках в зависимости от типа строения природной геологической среды и воздействия на нее «сверху» или «снизу» техногенных объектов. Для Западной Сибири нами выделены различные типы строения геологической среды и ТГГС [2 – 4]. Кратко остановимся на сценариях развития некоторых наиболее распространенных, и не только в Западной Сибири, природно-техногенных гидрогеологических систем.

Для ПТГГС, выделяемых **по типу воздействия «сверху» и «снизу»** нами определены приоритетные процессы, различные для областей развития талых и многолетнемерзлых пород (ММП) в условиях Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ). Как известно, талые горные породы распространены преимущественно в южной части ЗСМБ, а ММП – в северной его части, с различным строением мерзлой зоны: с юга на север выделяются области островной, двухслойной и сливающейся реликтовой и современной мерзлоты.

А. Для области развития талых горных пород наиболее распространенными ТГГГС являются: водозаборы пресных подземных вод, водозаборы минерализованных вод глубоких горизонтов различного назначения, мелиоративные оросительные и осушительные системы, нефтепромысловые комплексы, транспортные системы, урбанизированные территории городов и поселков, объекты промышленного и сельскохозяйственного производства. Те же системы получили развитие в северных районах, за исключением мелиоративных, а газовые промыслы превалируют над нефтяными.

1. Водозаборы пресных подземных вод хозяйственно-питьевого назначения городов и мелких населенных пунктов, промышленных объектов (имеющих собственные водозаборы, т.е. нецентрализованного типа), нефтепромыслов, предприятий горнодобывающей промышленности, крупных животноводческих и птицеводческих комплексов и другие. Воздействие сверху практически отсутствует при соблюдении норм санитарной охраны и соответствующем контроле. Возможно загрязнение сверху через зону аэрации грунтовых вод и гидравлически связанных с ними нижележащих напорных горизонтов, являющихся источниками водоснабжения за пределами первого пояса зоны санитарной охраны, т.е. в зоне ограничений. Такой вариант воздействия может произойти на территории нефтегазового месторождения в результате прорыва трубопровода с нефтью или пластовой водой, если он пересекает зону ограничений, что не так редко встречается на нефтепромыслах. Негативное воздействие могут оказывать россыпи и разливы различных реагентов, используемых для очистки воды и регенерации фильтров на очистных сооружениях водозабора, разливы неочищенных вод при авариях на трубопроводах и канализационных сетях.

2. Водозаборы минерализованных технических вод, а также минеральных лечебных, промышленных вод глубоких горизонтов. На территории Западной Сибири наибольшее распространение получили именно водозаборы технических вод, предназначенные для поддержания пластового давления на нефтепромыслах. Добыча воды ведется из апт-альб-сеноманского комплекса, содержащего чаще всего соленые воды, а в некоторых случаях и рассолы с минерализацией более 35 г/л. Разливы таких вод возникают довольно часто при опробовании скважин, а также при ремонте насосного оборудования, особенно если статические уровни устанавливаются выше поверхности Земли, т.е. скважины фонтанируют. Разрывы трубопроводов, подающих воду из добывающих в нагнетательные скважины, как свидетельствует статистика, тоже случаются часто. То же самое можно наблюдать при добыче минеральных лечебных вод и их использовании как для розлива, так и для ванн. Сброс использованной лечебной воды осуществлялся до недавнего времени (да и сейчас встречается) на «рельеф», т.е. в озера, старицы, реки и овраги. При этом засоление и загрязнение микрокомпонентами происходит не только озерной или речной воды и донных осадков, но и зоны аэрации, а через

нее и грунтовых вод. Гидравлическая связь поверхностных и подземных вод обеспечивает попадание загрязнений в водоносные горизонты.

3. Мелиоративные сельскохозяйственные системы – оросительные и осушительные – получили распространение в Западной Сибири, в ее южной засушливой части, где на плоских водоразделах в силу недостаточной дренированности глинистых отложений широко развиты болота. Орошение на юге Западной Сибири наибольшего расцвета достигло в 70-х годах прошлого века. Его позитивная роль в начальном периоде постепенно нивелировалась по разным причинам. Это и неправильно рассчитанные нормы орошения и капризы погоды, с более длительным бездождевым периодом относительно нормы, требующим дополнительного увлажнения, который, в свою очередь, сменяется резко и непредсказуемо интенсивными дождями, что ведет к переувлажнению почвенного покрова, повышению уровня грунтовых вод и смыву с поверхности внесенных удобрений, пестицидов и ядохимикатов. Длительный засушливый период способствует накоплению солей в почве и породах зоны аэрации, а при неглубоком залегании уровня грунтовых вод и повышению минерализации в результате испарительного концентрирования.

По данным Министерства сельского хозяйства [5] к 1990 г. площадь мелиорированных земель составила 11,27 млн га. В 1990 г. эти работы были практически остановлены. За 1990 – 2005 г. площадь мелиорированных земель сократилась с 11,27 до 9,28 млн га, в том числе орошаемых – с 6,16 до 4,50 млн га. Мелиоративное состояние этих земель ухудшается: площадь земель с хорошим почвенно-мелиоративным состоянием уменьшилась на орошаемых землях с 4,09 до 2,57 млн га; на осушенных – с 2,46 до 0,92 млн га.

Начало осушительных мелиоративных работ в Западной Сибири связано со строительством Транссибирской магистрали, что особенно касается юго-восточной ее части. Наибольшие объемы этих работ выполнены в 60 – 80-е годы прошлого века, назначение их преимущественно сельскохозяйственное. К настоящему времени многие из них пришли в негодность, их восстановление проводится в незначительных объемах. В результате осушенные земли выведены из сельскохозяйственного оборота, но система продолжает существовать в измененном состоянии. Таким образом, можно констатировать первоначальное понижение уровней подземных вод на 1,0 – 1,5 м, последующее его поддерживание в течение 15 – 20 и более лет. В перестроечную эпоху часть этих массивов перестала использоваться, дренаж, тем не менее, продолжает существовать, но оценить состояние не действующей системы невозможно, поскольку отсутствует сеть наблюдений.

4. Системы защитных дренажей городских территорий и промышленных предприятий от подтопления, водопонизительные системы месторождений твердых полезных ископаемых согласно своему предназначению вызывают снижение уровней подземных вод, порой весьма значительное и не только грунтовых потоков, но и напорных пластов, вскрываемых при разработке полезных ископаемых (шахтный водоотлив, осушение карьеров при разработке открытым способом). Откачиваемые любым методом воды необходимо куда-то сбрасывать. Зачастую это происходит простейшим способом, сбросом «на рельеф». т.е. в ближайшие понижения рельефа – в отработанные карьеры и местную речную сеть, в озера. Подземные воды отличаются от поверхностных повышенной минерализацией и содержанием компонентов, превышающих допустимые (разрешенные) уровни. Сброс неочищенных, нормативно и ненормативно очищенных вод приводит к загрязнению почв, зоны аэрации, поверхностных водотоков и водоемов, а через них – дренируемых водоносных горизонтов. Утилизация дренажных вод в глубокие горизонты, как наиболее экологичное решение, на сегодняшний день также не является бесспорным. Полигоны утилизации сточных вод, промышленных и бытовых, тем более ядерных отходов, представляют собой опасные объекты, требующие повышенного внимания и постоянного контроля.

5. Нефтегазовые промыслы. Территории промысловых объектов испытывают целый спектр негативных воздействий «сверху» в силу разнообразия инфраструктурных элементов.

Основными видами таких воздействий на подземную гидросферу являются загрязнения. Шламовые амбары продуктов бурения, склады химикатов, разливы нефти и нефтепродуктов, пластовых вод, просачиваясь с атмосферными осадками, загрязняют грунтовые воды, постепенно распространяясь в нижележащие водоносные горизонты, гидравлически с ними взаимосвязанные. Точечные очаги превращаются в ореолы рассеяния, размеры которых могут достигать десятки и сотни квадратных километров. Существующие наблюдательные сети не в состоянии контролировать ситуацию именно в связи с уникальным свойством воды – ее подвижностью. Вода – самое динамичное полезное ископаемое, способное переносить загрязняющие вещества за короткие промежутки времени на значительные расстояния. Чтобы перехватить загрязненный поток и в дальнейшем контролировать его распространение или ликвидацию, необходимо постоянно изменять (расширять) схему наблюдательной сети, разбуривать новые скважины.

Б. В зоне развития многолетнемерзлых пород (ММП) природно-техногенные ГГС, формирующиеся по принципу воздействия «сверху», размещаются вблизи поверхности Земли в пределах олигоцен-четвертичного комплекса. В районах сплошного развития мерзлых пород – в надмерзлотном горизонте сезонноталого слоя, в более южных районах, где развит преимущественно реликтовый слой, загрязнения с поверхности могут проникать на значительные глубины, включая подмерзлотные горизонты вод питьевого качества, а в области островного развития ММП загрязнения через «окна» талых пород могут распространяться до тавдинских глин регионального водоупора. Влияние «снизу» главным образом связано с изъятием углеводородов и подземных вод из продуктивных пластов на промыслах и водозаборах различного назначения.

Возможные варианты развития ПТГГС, с одной стороны, связаны с геологической средой селитебных и промышленных зон, полигонов твердых бытовых и промышленных отходов, водозаборов питьевого и технического назначения, с другой стороны, ПТГГС формируется под влиянием глубинного техногенеза на нефтегазовых месторождениях, охватывающего изначально продуктивные газовые и нефтяные горизонты мела и юры и распространяющегося впоследствии на вышележащие толщи. Кроме того, по мере накопления извлекаемых попутных вод, промышленных и бытовых стоков, нефтегазовым промыслам сопутствуют полигоны утилизации сточных вод в поглощающие горизонты апт-альб-сеноманского комплекса.

Отличительной чертой техногенеза в первом случае является изменение термического режима геологической среды, происходит деградация мерзлоты с поверхности, изменяются условия питания водоносных горизонтов сверху за счет атмосферных осадков, снижается степень защищенности подземных вод от поверхностных загрязнений. Снижение уровней и напоров подземных вод на водозаборах, так же как и вне области развития ММП, способствуют более глубокому проникновению загрязнений сверху. Во втором случае также происходит деградация мерзлоты, но уже на всю мощность за счет отепляющего влияния добываемых глубокими скважинами флюидов. Вокруг стволов скважин формируются таликовые зоны, снижается несущая способность грунтов, нарушается устойчивость скважинного оборудования; колоссальное перераспределение давлений и напоров не только в продуктивных пластах, но и в смежных; изменение ионно-солевого состава и загрязнение подземных вод при нагнетании воды и различных химических агентов для увеличения нефтеотдачи пластов. При этом изменяются строение пустотного пространства пород, их фильтрационно-емкостные свойства, гидродинамические параметры и структура потока, что особенно контрастно проявляется при проведении гидроразрыва пласта (ГРП).

Захоронение промстоков в недра приводит к росту пластовых давлений, соответственно к повышению напоров и уровней, растеканию по пласту в радиусе на сотни и тысячи метров техногенных флюидов [6], загрязняющих поглощающий горизонт. Во всех случаях с различной периодичностью проявляется влияние снизу через негерметичное затрубное пространство добывающих, нагнетательных, поглощающих скважин, и сверху при аварийных ситуациях

происходит загрязнение пород зоны аэрации и подземных вод первых от поверхности водоносных горизонтов, содержащих воды питьевого качества, что особенно опасно.

В методическом аспекте изучение ПТГГС должно проводиться поэтапно, начиная с оценки природной обстановки формирования подземных вод, методом последовательных приближений. Концептуальные позиции представляются следующим образом.

1. Изучение природной подсистемы: геологического строения и гидрогеологических условий территории размещения техногенных объектов. Особое внимание уделяется тем водоносным горизонтам и комплексам, которые намечаются к эксплуатации. Важно получить информацию о фоновом состоянии территории во всех взаимосвязанных компонентах геологической среды, биоты и ландшафтов в целом. Собирается информация по медико-санитарной обстановке. Оценивается исходное состояние экосистемы.

2. Изучение технической подсистемы: техногенной нагрузки, ее типизация по видам воздействия и предполагаемым экологическим последствиям.

3. Разработка гипотезы возникновения и возможных сценариев развития техногенных процессов на качественном и количественном уровнях, типизация ПТГГС, изучение взаимосвязей природной косной и живой материи с техногенными объектами.

4. Разработка подсистемы мониторинга геологической среды и техногенных объектов в системе единого комплексного экологического мониторинга.

5. Оценка состояния ПТГГГС по данным наблюдений. При отсутствии отклонений от фоновых показателей гидрогеологического поля наблюдения продолжаются по апробированной программе. При наличии отклонений от фоновых или нормативных значений (для качества подземных вод) составляется прогноз на разные сроки в зависимости от типа ПТГГС. Если состояние оценивается как критическое, требуется разработка срочных мер по прекращению воздействия или его ограничению при невозможности остановить работу технического объекта и ликвидации последствий.

Список литературы

1. Трофимов, В. Т. Экологическая геология / В. Т. Трофимов, Д. Г. Зилинг. – М. : ЗАО «Геоинформарк», 2002. – 415 с.

2. Матусевич, В. М. Техногенное поле – главный фактор формирования геологической среды / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина // Известия вузов. Нефть и газ. – 2012. – № 3. – С. 6–13.

3. Матусевич, В. М. Техногенное гидрогеологическое поле как отражение современного состояния геологической среды / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина // Материалы XX Всероссийского Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск, 2012. – С. 111–116.

4. Матусевич, В. М. Техногенное поле и его взаимодействие с физическими полями Земли / В. М. Матусевич, Л. А. Ковяткина // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6 (2). – С. 402–406.

5. Мелиорация в России (краткая историческая справка) [Электронный ресурс] http://www.mcx.ru/documents/ document/show/3368.htm/.

6. Матусевич, В. М. Актуальные проблемы нефтегазовой гидрогеологии Западно-Сибирского мегабассейна / В. М. Матусевич, А. Р. Курчиков, Л. А. Ковяткина // Современная гидрогеология нефти и газа. Фундаментальные и прикладные вопросы : материалы Всерос. науч. конф. – М. : ГЕОС. – 2010. – С. 55–61.

ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ЯКУТИИ

Пермяков П. П.[1], Константинова Т. И.[2], Капитонова В. С.[2]
[1]Институт физико-технических проблем Севера (ИФТПС) СО РАН,
г. Якутск, permyakov2005@mail.ru;
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН;
[2] Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова,
г. Якутск, vierakap@mail.ru

Аннотация. Приведены технологические схемы очистки подземных вод в условиях многолетней мерзлоты. Рассмотрен метод обратного осмоса и модульная очистная установка для малых населенных пунктов.

Ключевые слова: *подземная вода, обратный осмос, осветление, минеральная добавка, обеззараживание.*

Abstract. The technological schemes groundwater purification in permafrost condition are brought. The method of reverse osmosis and module cleaning installation for small communities are considered.

Key words: *groundwater, inverse osmosis, clarification, mineral addition, disinfection.*

Обеспечение населения питьевой водой нормативного качества – одна из важнейших проблем в каждой стране. В настоящее время большинство городов России снабжается водой, не соответствующей гигиеническим требованиям по общим показателям, основным микро- и макроэлементам. Ежегодные медицинские статистические данные свидетельствуют о том, что увеличение заболеваемости связано, в том числе и с потреблением недоброкачественной питьевой воды. Ущерб здоровью в этом случае соизмерим с потерями от стихийных бедствий, неблагоприятных экологических условий и других глобальных факторов.

В Центральной Якутии с каждым годом растет объем добычи подземных вод для хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения. Качество подземных вод по основным показателям химического состава соответствует существующим нормативным требованиям, за исключением повышенной концентрации фтора, брома и лития [1, 2]. С учетом химического состава подземных вод рекомендуемая технологическая схема очистки должна включать следующие операции [3]:

– подогрев;
– аэрация (отдувка сероводорода);
– дозирование коагулянта или флокулянта;
– контактная коагуляция – осветлительное фильтрование;
– сорбционное фильтрование через активированный уголь;
– минерализация;
– обеззараживание озонатором, ультрафиолетовым облучением.

При всей кажущейся простоте и очевидности этой технологии её внедрение потребуют немалых усилий и времени.

В ряде населенных пунктов Центральной Якутии, таких как поселки Маган, Хатассы, Бердигестях и другие, для водоснабжения используют подземные воды над- и межмерзлотных таликов.

В пос. Маган, например, с 60-х годов прошлого столетия осуществляется скважинный водозабор подземных вод из таликовой зоны, существующий под аласом Хомустах. Здесь в первые годы эксплуатации водозабора таликовые воды использовались преимущественно для питьевого водоснабжения. Однако в последующем происходило постепенное ухудшение качества извлекаемых таликовых вод. В конечном итоге использование таликовых вод для питьевых целей стало невозможным из-за превышения в них норм ПДК.

Скважина № Я-36 оборудована насосом ЭЦВ – 8-25-300, установленным на глубине 300 м. Предельно допустимое понижение уровня подземных вод в скважине составляет 84 м. Одиночная скважина работает на неутвержденных запасах подземных вод. По химическому составу подземные воды гидрокорбонатно-хлоридные натриевые с минерализацией 1,33 г/дм^3. По содержанию фтора – 2,69 мг/дм^3 (ПДК – 1,5 мг/дм^3), натрия – 408,5 мг/дм^3 (при норме 200 мг/дм^3), лития – 0,3 мг/дм^3 (ПДК 0,03 мг/дм^3) подземные воды не соответствуют нормам [4]. Зона санитарной охраны (ЗСО) первого пояса установлена радиусом 30 м. ЗСО второго и третьего пояса не устанавливаются в связи с защищенностью водоносного комплекса от загрязнения мощной толщей многолетнемерзлых пород. Сброс сточных вод осуществляется на поселковую свалку в 4,5 км от скважины. Использование подземных вод для хозяйственно-питьевых целей возможно после проведения водоподготовки. В настоящее время эти воды используются преимущественно в производственных целях.

Индивидуальное предприятие Е. П. Макарова ООО «Чистая вода – Хатасская» использует подземные воды из подмерзлотного горизонта. Результаты исследования воды из скважины по санитарно-гигиеническим исследованием не соответствует [4] норме по показателям: бор 0,95 – 0,28 мг/л (норма 0,5 мг/л), натрий – 287,5 мг/л (норма 200 мг/л). С учетом вышеуказанных требований вода очищается от избытка лития методом обратного осмоса. Обратный осмос является одним из наиболее перспективных и экономичных методов получения очищенной (умягченной и деминерализованной) воды, а также более экологически чистым в сравнении с ионообменными или сорбционными технологиями. В ряде случаев обратный осмос (удаление из воды таких загрязнений, как аммоний, фтор, литий, бор и т.п.) является практически единственным экономически оправданным методом [3]. Схема водоподготовки приведена на рис. 1.

Увеличение плотности упаковки мембранных элементов, т.е. рабочая поверхность и производительность элемента при сохранении его размеров, гидравлических и механических характеристик повышается. Это позволило снизить материалоемкость, а значит, и стоимость мембранной системы. Также существенно расширился рабочий диапазон pH, что позволяет проводить более жесткие и эффективные реагентные промывки без повреждения мембран и потери их характеристик.

Производится коррекция химического состава этой подземной воды биогенными элементами за счет введения минеральной добавки «Северянка плюс» производства ООО «Экопродукт». В состав минеральной добавки входят такие элементы, как кальций, магний, йод, калий, селен. По инструкции производителя минеральная добавка должна разводиться в пропорции 2 мл на 1 л очищенной воды. Обеззараживание воды производится в озонаторных установках.

Водопотребность с. Бердигестях – 62 м^3/сут. В качестве водоснабжения принята скважина № 4, расположенная на территории термокастровой котловины оз. Эбэ, которая передана недропользователю ГУП ЖКХ РС(Я). Результаты исследования воды из скважины не соответствует нормам по таким показателям:

– общей жесткости 7,85 – 1405 мг экв/дм^3 (при норме 7 мг экв/дм^3);

– цветности 80 град (при норме 20 град);

– окисляемости 21,74 – 35,4 мгO_2/дм^3 (при норме 5 мгO_2/дм^3);

– марганца 0,25 – 0,29 мг/дм^3 (при норме 0,1 мг/дм^3);

– железа 0,6 – 3,6 (при норме 0,3 мг/дм^3).

Схема модульной установки водоподготовки для с. Бердигестях производительностью 5 м^3/ч включает следующую технологию обработки воды.

I – предварительная напорная фильтрация с введением в исходную воду воздуха для окисления и последующего удаления железа в слое фильтрующей загрузки. Напорные фильтры предназначены для отделения механических примесей и растворенного железа. Фильтрация происходит непосредственно после подачи воздуха от компрессора в трубопровод

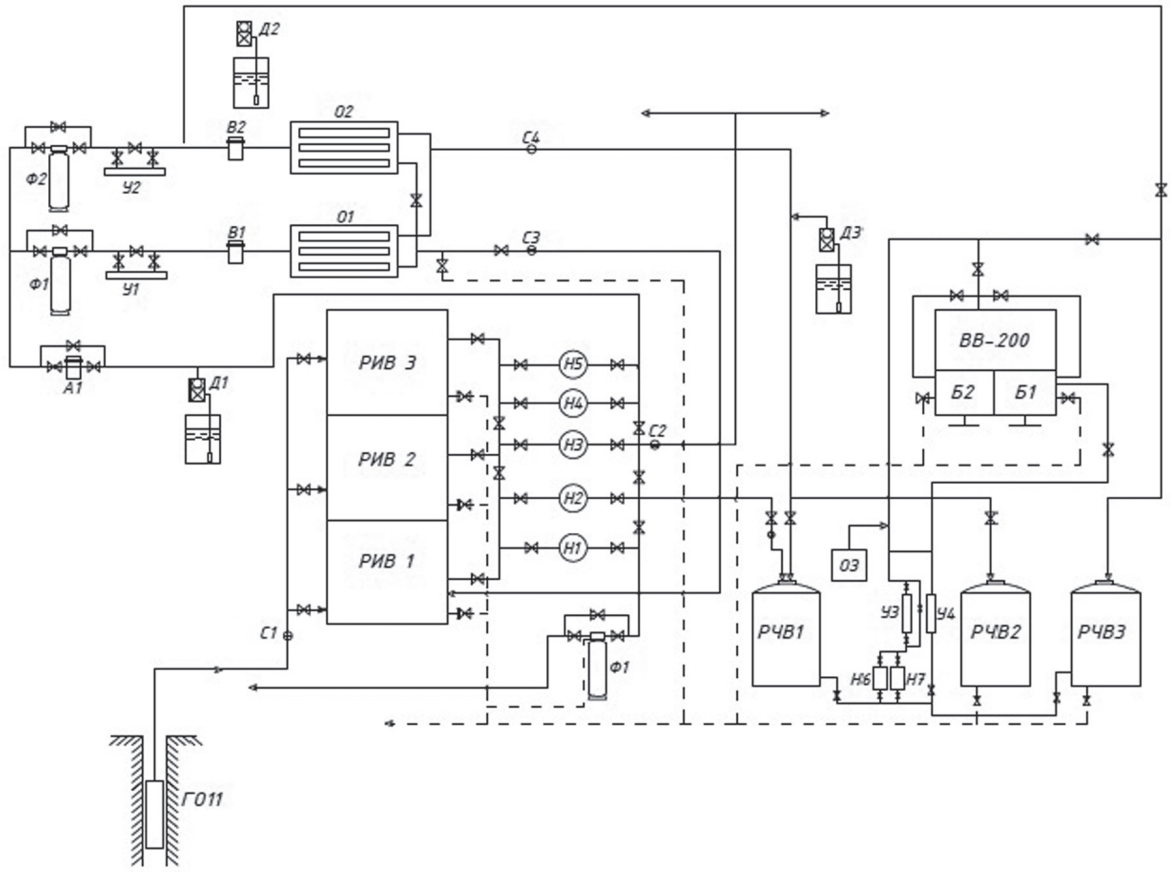


Рис. 1.

ГО11 – подземная скважина глубиной 450 м; РИВ 1, 2, 3 – резервуары исходной воды; С1-С4 – счетчики учета воды; Д1 – Д3 – насосы дозаторы ИОМС; А1 – фильтр механической очистки Arkall 50 мкм; Ф1 – Ф3 – скорые запасные фильтры RFM2420; У1 – У4 – ультрафиолетовые стерилизаторы UV 24GPM; В1, В2 – картриджные фильтры тонкой очистки 5 мкм ВВ20; О1, О2 – обратноосмотическая установка РВСП6; Н1 – Н5 – группа насосов подачи исходной воды Aspri45M; Н6, Н7 – группа насосов подачи чистой воды Aspri25M; О3 – станция дозирования озона; РЧВ1, 2, 3 – резервуары чистой воды; ВВ-200 – автоматическая машина розлива; Б1 – бак для моющего дезинфицирующего раствора; Б2 – бак воды для ополаскивания

исходной воды. Кислород воздуха окисляет двухвалентное железо до трехвалентного, которое, выпадая в осадок в виде гидроокиси, задерживается слоем активной загрузки и затем выводится при автоматической обратной промывке фильтров.

II – обработка фильтрата на фильтре с загрузкой из активированного угля для снижения цветности и окисляемости. Угольные фильтры поставляются с автоматическими мембранными клапанами и управляющим контроллером, оснащенными электронным программатором, который через заданные промежутки времени производит циклы взрыхления. Фильтрация происходит под остаточным напором после первой ступени фильтрации.

III – опреснение воды на установке обратного осмоса. Одноступенчатая установка обратного осмоса состоит из микрофильтра, мембранного модуля, системы автоматического контроля, системы дозирования ингибитора осадкообразования, системы химической промывки.

IV – корректировка pH опресненной воды на фильтре с кальцитовой загрузкой. Загрузка может быть различная – мраморная или доломитовая крошка, кальцит. По мере работы фильтра происходит растворение загрузки, что вызывает необходимость периодической дозагрузки фильтра. Очищенная до нормативов вода отводится в резервуары очищенной воды объемом 10 м^3 и далее насосами подается потребителю.

Обеззараживание питьевой воды производится ультрафиолетовым излучением. Технологическая схема модульной установки очистки представлена на рис. 2.

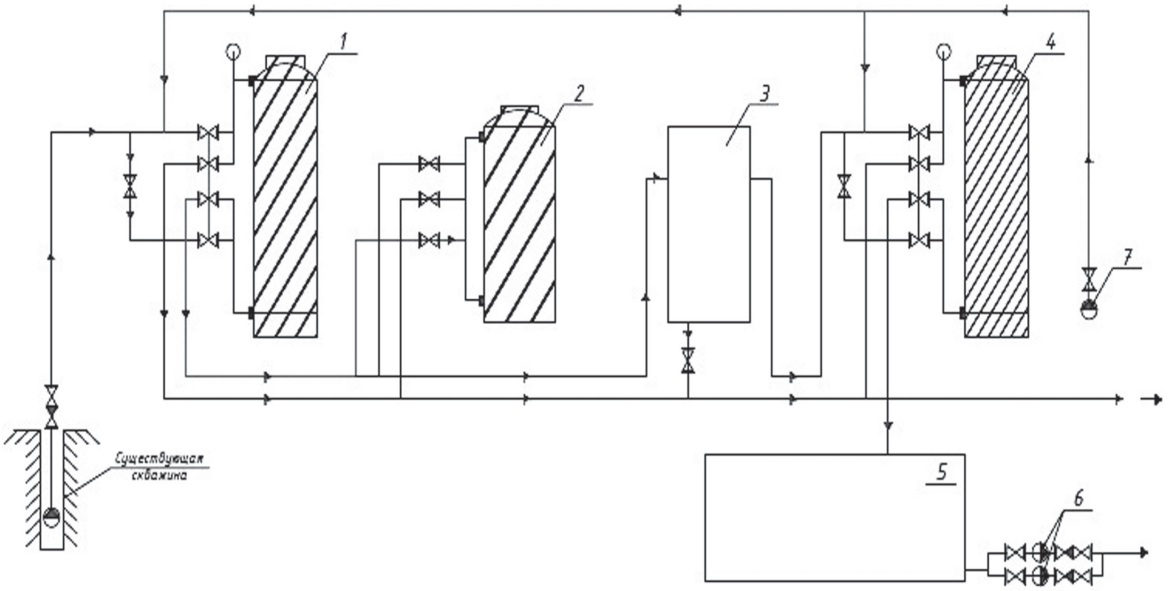


Рис. 2.

1 – напорный фильтр с фильтрующей загрузкой и системой автоматической промывки; 2 – угольный фильтр; 3 – одноступенчатая установка обратного осмоса; 4 – фильтр-нейтрализатор с кальцитовой загрузкой; 5 – резервуар чистой воды; 6 – насосы подачи очищенной воды потребителям; 7 – компрессорная установка поршневая с ресивером

После очистки подземных вод криолитозоны их можно использовать для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1) применить современные мембранные модули обратного осмоса;

2) корректировать очищенную воду с добавлением недостающих минеральных элементов;

3) подобрать соответствующие высокопроизводительные установки с учетом состава исходной воды.

Список литературы

1. Балобаев, В. Т. Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования / В. Т. Балобаев. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – 137 с.

2. Новгородов, П. Г. О качестве бутилированных питьевых вод Якутии / П. Г. Новгородов // Наука и техника в Якутии. – 2006. – № 2. – С. 94–99.

3. Рябчиков, Б. Е. Современные методы подготовки воды для промышленного и бытового использования / Б. Е. Рябчиков. – М. : ДеЛи принт, 2004. – 328 с.

4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М. : Минздрав России, 2002.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИНФИЛЬТРАЦИИ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННОГО РАСТВОРА В МЕРЗЛЫЙ МАССИВ

Попов В. И.
Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, г. Якутск, popov.gtf@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты математического моделирования процессов, сопровождающих инфильтрацию высокоминерализованного раствора в мерзлый массив горной породы. Моделирование проведено с учетом фазового равновесия высокоминерализованного раствора и дефекта объема при плавлении порового льда.

Ключевые слова: *математическое моделирование, высокоминерализованный раствор, инфильтрация, мерзлые породы, фазовые равновесия.*

Abstract. This article presents the results of mathematical modeling of processes accompanying infiltration of highly mineralized solutions in frozen rock mass. Simulation is carried out taking into account the phase equilibrium highly mineralized solutions and the defect volume on melting ice pore.

Key words: *mathematical modeling, highly mineralized solutions, infiltration, frozen rock, phase equilibria.*

Отработка некоторых алмазных месторождений сопровождается притоком в карьер высокоминерализованных подземных рассолов. Приток составляет до 80 м^3/час. Минерализация вод достигает 350 г/л. Из-за высокой концентрации галогенов сброс дренажных рассолов в речную сеть запрещен. Поэтому захоронение осуществляется в терригенно-карбонатные многолетнемерзлые породы кембрийского возраста, залегающие в интервале глубин 150 – 250 м [1].

В основе используемого метода захоронения рассолов лежит способность высокоминерализованных вод плавить текстурообразующие льды в горных породах в широком диапазоне отрицательных температур [1, 2].

В данной работе на основе вычислительного эксперимента рассматривается процесс миграции высокоминерализованного техногенного рассола в мерзлом горном массиве. Основное внимание при этом сосредоточено на моделировании фазового состояния рассола и процессов конвективного и диффузионного переноса рассола в массиве, включая соответственно механизмы разбавления порового рассола и плавления льда при контакте с рассолом.

Описываемый процесс также может быть связан с организацией некоторых технологий выщелачивания в условиях криолитозоны, например, при использовании реагентов, сохраняющих высокую активность в высокоминерализованном рассоле, обеспечивающем проницаемость мерзлой горной породы.

Для упрощения вычислительный эксперимент проведен в предположении однородности горных пород, характеризующихся одной формой уравнения фазового равновесия поровой влаги.

Математическая модель процесса тепломассопереноса при промерзании состоит из трех уравнений параболического типа с конвективным членом: 1) уравнения конвективной теплопроводности; 2) диффузионно-конвективного движения влаги; 3) растворенного компонента; замыкаемые уравнением фазового равновесия поровой влаги, объединяющим параметры термодинамического равновесия – температуру, влагосодержание и концентрацию. С помощью введения параметра захвата – $k_{ЗАХ}$ – предусмотрена возможность селекции растворенного компонента на границе «лед – рассол».

1) Уравнение теплопроводности:

$$\frac{\partial(c\rho T)}{\partial t} = -\nabla J_T + L\rho I_F; \qquad (1)$$

2) уравнение переноса влаги:

$$\frac{\partial(w)}{\partial t} = -\nabla J_W - I_F; \quad (2)$$

3) уравнение переноса солей:

$$\frac{\partial(wC)}{\partial t} = -\nabla J_C - k_{\text{ЗАХ}} C I_F, \quad (3)$$

где потоки компонентов, включая конвективный перенос, имеют вид:

$$J_w = -K\nabla w + V_f = J_w^m + V_f$$
$$J_C = -WD_C\nabla C + CJ_w = J_C^m + CV_f \quad . \quad (4)$$
$$J_q = -\lambda\nabla T + c_w\rho_w TJ_w = J_q^m + c_w\rho_w TV_f$$

Здесь ∇ – двумерный оператор дифференцирования по пространственным координатам. Система (1 – 4) замыкается уравнением состояния порового раствора, учитывающим специфические характеристики среды – потенциал адсорбционного взаимодействия, величину удельной поверхности, концентрацию порового раствора [3].

$$T_F = T_F(w, C) \quad (5)$$

В случае слоистой среды его параметры индивидуальны для каждого слоя.

Решение системы уравнений осуществляется на основе конечно-разностных соотношений, полученных с помощью интегро-интерполяционного метода. При решении задачи о фазовом превращении использован ранее разработанный метод прямого (не итерационного) определения количества влаги, замерзающей на каждом шаге по времени [3]. При этом используются процедуры расщепления по физическим процессам (фильтрация, диффузия, фазовый переход) исходной системы уравнений (1 – 4).

Для рассматриваемой задачи инфильтрации геометрия области представлена на рис. 1. В начальный момент периода времени $T_{\text{пер}}$ в течение времени $eT_{\text{пер}}$ ($0 < e < 1$) высокоминерализованный раствор с температурой $T_{\text{рас}}$ и концентрацией $C_{\text{рас}}$ инфильтрует на участке (АВ) внутренней области породного массива, имеющего отрицательную температуру – $T_{\text{мас}}$. По окончании времени инфильтрации $eT_{\text{пер}}$ условия на участке (АВ) меняются, т.е. соответствующие источники тепла и массы равны нулю. Далее по времени процесс периодически повторяется необходимое количество раз.

На границе Γ_4 постоянно действует конвективный теплообмен с воздушной средой с температурой $T_{\text{СР}}$, потоки влаги и солей равны нулю. На границах Γ_3, и Γ_1 также ставятся условия равенства нулю потоков тепла, влаги и соли. Так как массив имеет отрицательную температуру, то величины содержаний воды льда и концентрации определяются на основе уравнения фазового равновесия по начальным значениям однородного влагосодержания и концентрации, заданных для талого состояния.

На рис. 2 приведены результаты расчета температуры на момент t = 700 сут вдоль оси симметрии. Расчеты проведены для значений: коэффициента e = 0,5; температуры массива $T_{\text{мас}}$ = –4° С; температуры рассола $T_{\text{рас}}$ = –4° С; концентрации рассола $C_{\text{рас}} = 300C_0$; начальная концентрация порового раствора в массиве C_0 = 1 г/л; начальная влажность массива равна 0,2. Температура среды теплообмена также равна –4° С.

Понижение температуры вызвано процессами расплавления льда рассолом и соответствующим поглощением скрытой теплоты фазового перехода. Обнаружена зависимость величины понижения температуры от скорости фильтрации, что связано с энергетическими затратами на увеличивающийся объем расплавляемого рассолом льда.

Результаты расчетов качественно соответствуют основным особенностям процесса захоронения [1, 2] высокоминерализованных растворов – определяя снижение температуры в зоне плавления льда и понижение давления порового воздуха из-за дефекта объема при фазовом превращении «лед – вода».

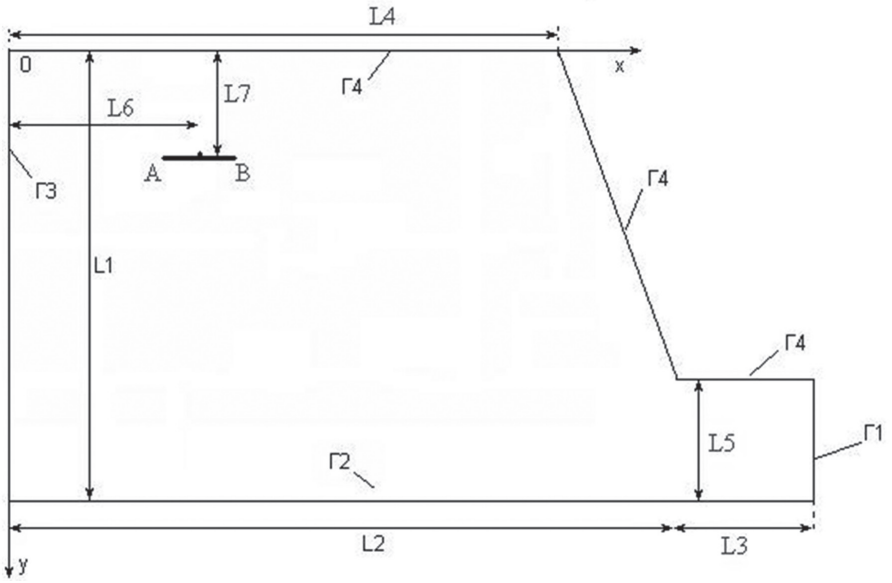


Рис. 1. Схема расчетной двумерной области

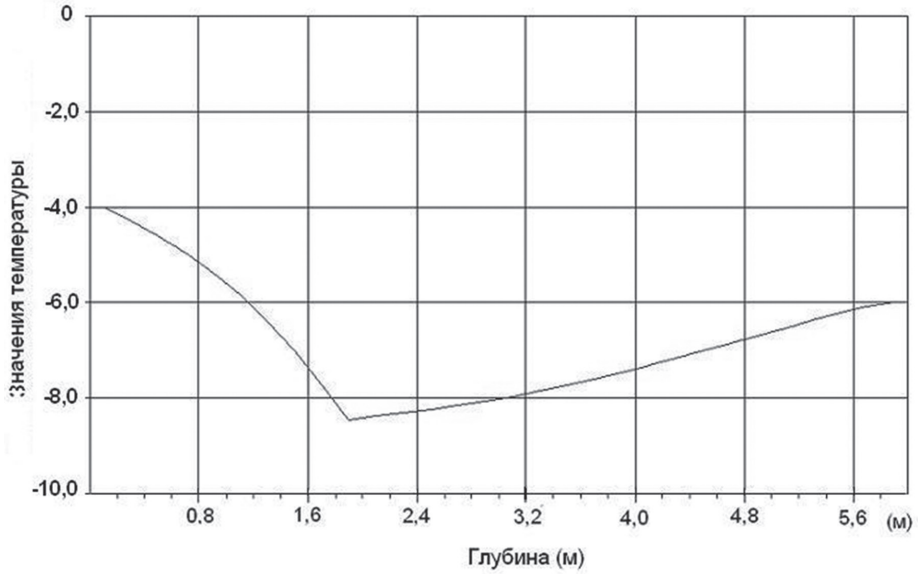


Рис. 2. Распределение температуры на оси симметрии при взаимодействии инфильтрационного потока со льдом

Список литературы

1. Алексеев, С. В. Первый опыт захоронения соленых дренажных вод карьера трубки «Удачная» в многолетнемерзлые породы / С. В. Алексеев, А. В. Дроздов, Т. И. Дроздова [и др.] // Криосфера Земли. – 2002. – Т. VI, № 2. – С. 61–65.

2. Климовский, И. В. Гидрогеологические условия полигона подземного захоронения дренажных вод трубки «Удачная» / И. В. Климовский, С. П. Готовцев, В. В. Шепелев // Криосфера Земли. – 2002. – Т. VI, № 3. – С. 45–50.

3. Попов, В. И. Новый метод решения задач промерзания в спектре температур / В. И. Попов // Проблемы и перспективы комплексного освоения месторождений полезных ископаемых криолитозоны : труды Междунар. научно-практ. конф. (г. Якутск, 14 – 17 июня 2005 г.). – Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2005. – Т. 2. – С. 57–59.

ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА КОРЯКСКОГО НАГОРЬЯ

Рузанов В. Т.
ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), г. Анадырь, gidrogeoruz@mail.ru

Аннотация. В статье с критических позиций рассматриваются опубликованные и новые материалы по многолетней мерзлоте и подземным водам северо-востока Корякского нагорья. Доказывается ошибочность мнения о широком развитии прерывистой и островной мерзлоты в различных районах исследуемой территории.
***Ключевые* слова:** *подземные воды, криолитозона, Корякское нагорье.*

Abstract. The article critically examined published and new materials on permafrost and undergroundwaters northeast Koryak Highlands. Proved a misconception about the considerable development discontinuous and island permafrost in various parts of the study area.
Keywords: *underground waters, cryolithozone, Koryak Highlands.*

Северо-восточная часть Корякского нагорья, по сравнению с его юго-западной («камчатской») частью, характеризуется значительно более высокой мерзлотно-гидрогеологической изученностью [1 – 9]. Основная задача настоящей статьи – дать краткий обзор мерзлотно-гидрогеологических исследований, проведенных за последние 80 лет на различных объектах данной территории, а также представить новые данные по некоторым месторождениям полезных ископаемых или участкам, где проводилось изучение многолетнемёрзлых пород (ММП) и подземных вод (рис. 1).

Рис. 1. Обзорная схема расположения месторождений (участков) в СВ части Корякского нагорья:
1 – золота: К – Кэнкэрэнское (Сквозное); 2 – ртути: Т – Тамватнейское; 3 – каменного угля: У – Бухты Угольной, Ам – Амаамское, ВА – Верхне-Алькатваамское; 4 – нефти и газа: Хнг – Хатырский осадочный бассейн; 5 – подземных вод: Б – Беринговское, Ал – Алькатваамское, М – Мейныпильгынское, Хпв – Хатырское; 6 – граница нагорья

В процессе геологоразведочных работ (ГРР) на уголь, нефть и газ, ртуть, золото, подземные воды, а также при инженерных изысканиях выполнены большие объёмы специализированных работ: гидрогеологические и мерзлотные съёмки, бурение геокриологических, гидрогеологических и инженерно-геологических скважин, многолетние режимные гидрогеологические, геотермические и гидрологические наблюдения, отбор проб воды на химические анализы.

Изучение подземных вод (ПВ) и многолетней мерзлоты рассматриваемой территории проводилось с 1935 г. – с началом разведки каменноугольного месторождения Бухты Угольной экспедициями Горно-геологического управления Севморпути (М. И. Бушуев, Д. Д. Староверов и др.). До 1940 г. выполнены гидрогеологические наблюдения при бурении, в 7 скважинах – геотермия, в 8 скважинах – кратковременные откачки и режимные наблюдения за уровнем. В 1953 – 1958 гг. ГГУ СМП проведены: гидрогеологическая съёмка в масштабе 1:50 000 на всей площади месторождения (П. И. Трофимук, 1956); опытно-фильтрационные работы, режимные наблюдения, определение нижней границы многолетнемёрзлых пород (НГМ) при доразведке участка Основного (В. Н. Никитская, 1956) и предварительной разведке углей на участке Засбросовом (А. Г. Савченко, 1958). В результате выделены 3 подмерзлотных водоносных горизонта (водовмещающие породы: песчаники, конгломераты, угли) и 2 региональных водоупора (алевролиты, аргиллиты).

Гидрогеологическое расчленение разреза месторождения Бухты Угольной, выполненное в 1950-е годы, не претерпело существенных изменений и при последующих, более детальных, исследованиях [2, 8]. В 1969 – 1995 гг. мерзлотно-гидрогеологические работы в составе геологоразведочных работ на уголь продолжены трестом «Дальвостуглеразведка» (М. В. Петайчук, З. Х. Акис, С. М. Медведь, В. А. Олейник, В. Т. Рузанов и др.). На шахтном поле и участках поисково-разведочных работ выполнено около 400 определений НГМ, 18 кустовых и более 40 одиночных откачек, многолетние режимные наблюдения за уровнем ПВ и др. Геотермия в скважинах частично выполнялась совместно с Институтом мерзлотоведения СО РАН (В. Г. Русаков). В результате построены общие и специальные гидрогеологические и геокриологические карты (гидроизогипс, максимальных напоров, НГМ и др.); подсчитаны водопритоки в шахту; доказано широкое развитие сквозных таликов под небольшими ручьями, оврагами и балками; установлена гидрогеологическая роль разломов как непроницаемых или слабопроницаемых линеаментов; определены максимальные амплитуды уровней ПВ в годовом разрезе (от 5 до 29 м в разных скважинах) [7, 8].

Другим важнейшим направлением гидрогеологических работ в районе месторождения были поиски ПВ для водоснабжения. В конце 1940 – первой половине 1941 гг. на берегу бухты Угольной были пробурены 4 разведочно-эксплуатационных скважины на воду для водоснабжения пос. Беринговского. Все они оборудовались на подмерзлотные воды. Бурение на воду не прекращалось в военные годы: в 1941 – 1945 гг. для водоснабжения посёлков пробурено около 10 скважин, но первичные материалы не сохранились. В последующие два десятилетия были пробурены водозаборные скважины во всех населённых пунктах района бухты Угольной – пос. Нагорном, Зареченске, Беринговском, с. Алькатваам (С. Д. Воскресенский, В. А. Знаменский, Э. П. Морозов, П. . Панюков, Н. Н. Сперанский и др.). Но проблема не была полностью решена, в основном из-за малых дебитов скважин, иногда засолённости и повышенных значений pH (9,0 – 10,3). В 1983 г. завершена детальная разведка ПВ для водоснабжения пос. Нагорного и шахты «Беринговской» (В. Т. Рузанов, С. М. Медведь и др.), в 1991 г. – детальная разведка на участке Речном для водоснабжения пос. Беринговского и Нагорного (В. А. Олейник, М. В. Кочетков и др.). Общие эксплуатационные запасы месторождения ПВ (МПВ) составили 34,5 тыс. $м^3$/сут, что в несколько раз превышало заявленную потребность.

Всего на площади месторождения Бухты Угольной за 1936 – 2000 гг. было пробурено более 200 гидрогеологических скважин, из них 58 водозаборных, проведено около 200 пробных, 22 кустовые откачки и одна групповая (с суммарным дебитом 84 л/с). Следует отметить, что с 1987 г. все новые водозаборные скважины (№ 182тех – 200тех) оборудовались

эксплуатационными колоннами обсадных труб диаметром 219 мм до глубин 56 – 105 м, под погружные высокопроизводительные насосы.

Амаамское месторождение. В 1945 – 1949 гг. трестом «Арктикразведка» ГГУ СМП проведены, в составе ГРР на уголь, мерзлотно-гидрогеологические исследования в Амаамской впадине (В. Н. Кузнецов, В. Т. Резниченко, 1950). Установлено отсутствие ММП в поймах рек и, по мнению авторов отчёта, вблизи лагуны Амаам. Следует, однако, отметить, что на низине у лагуны шириной 3 – 4 км и до 5 км «внутрь» впадины пробурена всего одна скважина (№ 14), и утверждать о наличии здесь островной мерзлоты оснований мало [1, 9]. В работе [2] территория вдоль побережья Берингова моря, от бухты Угольной и юго-восточнее, включая Амаамскую и Хатырскую впадины, отнесена ко 2-му температурному району, с температурами пород от –1,5 до –3,5° С, и, таким образом, распространение ММП здесь сплошное. На увалах, в удалении от ручьёв, НГМ установлена на глубинах 10 – 85 м, у бортов впадины – до 100 м и более. Температура ММП довольно высокая, на глубине нулевых амплитуд (7 – 15 м) составляла от –0,3 до –2,0° С.

С 2007 г. ЗАО «Северо-Тихоокеанская угольная компания» проводит на месторождении Амаам интенсивные ГРР. Планируется добыча коксующегося угля порядка 10 млн т в год. Использование новых данных позволит уточнить мерзлотно-гидрогеологические условия месторождения.

В 2012 г. силами ООО «Берингпромуголь» начались ГРР на Верхне-Алькатваамском месторождении коксующихся и энергетических каменных углей (см. рис. 1).

Месторождения Кэнкэрэнское (золото) и Тамватнейское (ртуть). На этих месторождениях в 1970 – 1980-х гг. Анадырской ГРЭ выполнены большие объёмы работ по изучению ПВ и ММП: опытно-фильтрационные работы (ОФР), режимные наблюдения, геотермия и др. Основные результаты отражены в публикациях [5, 9], в фондовых отчётах (Э. П. Морозов, Г. С. Гавриличева, 1981 и др.). На этих месторождениях установлено широкое развитие сквозных таликов под небольшими ручьями. На Кэнкэрэнском месторождении вследствие высокой обводнённости аллювиального ВГ (дебиты самоизлива превышали 30 л/с) отработка золотоносных россыпей законсервирована. На Тамватнейском месторождении можно отметить высокую обводнённость неогеновых конгломератов в зоне Главного надвига, при вскрытии которых разведочной штольней водоприток достигал 130 л/с; подмерзлотная водоносная зона трещиноватости (ВЗТ) гипербазитов характеризуется высокой водообильностью в зонах разломов, где удельные дебиты скважин составляли 0,5 – 9,0 л/с.

Алькатваамское МПВ находится в СЗ части депрессии Бухты Угольной, хорошо изученной в мерзлотно-гидрогеологическом отношении [2, 6 – 8]. Здесь отметим лишь, что в районе с. Алькатваам бурение, наземная геофизика, гидрогеологические съёмки, ОФР проводились с 1950-х годов экспедициями и партиями ГГУ СМП, «Севостгеологии», «Дальвостуглеразведки», СВКНИИ (С. И. Врублевский, 1952 – 1955; В. А. Знаменский, 1955; П. И. Трофимук, 1956; В. А. Кириллов, В. И. Аржановская, 1971; Б. А. Волянский, 1975; В. А. Олейник, 1982 – 1991; В. Т. Рузанов, 1982; 1988; 2011 и др.).

Мейныпильгынское МПВ изучалось партиями «Севвостгеологии» при поисках (В. А. Кириллов, В. И. Аржановская, 1973) и предварительной разведке ПВ (Д. Э. Репин, 1977). Позднее гидрогеологические исследования на действующем водозаборе проведены СВКНИИ (В. Т. Рузанов, 2011). Основной ВГ связан с морскими гравийно-галечниковыми отложениями мощностью до 10 м. Район отличается наличием множества озёр, рек, проток. Мощность ММП не превышает 50 м, распространены надмерзлотные и сквозные талики. Дебит водозаборной скв. 1Э в январе-феврале 2011 г. составил 3,82 л/с при постоянном понижении в 0,80 м.

В районе Хатырского МПВ мощность ММП, по данным ВЭЗ, составляет 10 – 80 м (В. А. Кириллов, 1972). По результатам предварительной разведки (М. Г. Шатунов, 1976) рекомендовалось построить водозабор в пойме ручья Хатырского, вблизи разведочной скв. 4 (рис. 2, 3).

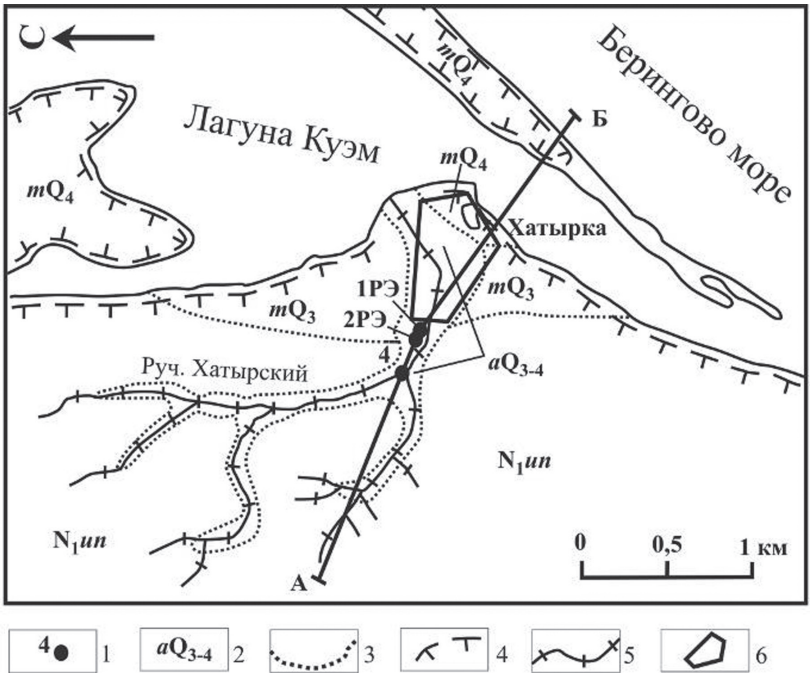


Рис. 2. Мерзлотно-гидрогеологическая схема района Хатырского МППВ:
1 – гидрогеологическая скважина, её номер; 2 – индекс гидрогеологического подразделения; 3 – граница между гидрогеологическими подразделениями; 4 – граница ММП на побережье лагуны и моря; 5 – участки сквозных подрусловых таликов; 6 – граница с. Хатырка

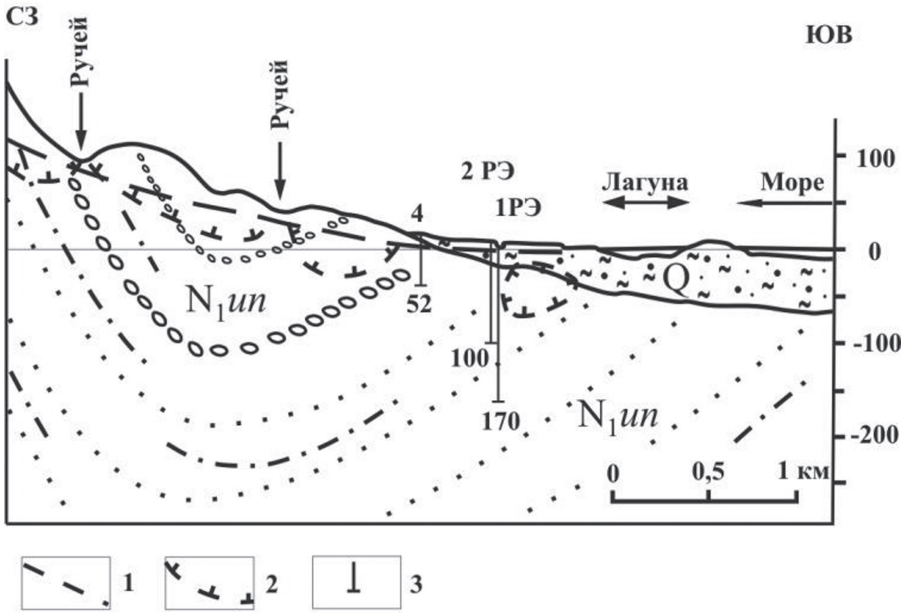


Рис. 3. Мерзлотно-гидрогеологический разрез по линии А-Б (см. рис. 2):
1 – положение уровня ПВ; 2 – граница ТМП; 3 – гидрогеологическая скважина, цифра внизу – глубина

Проблема с водоснабжением села решилась в 2003 – 2004 гг., когда были пробурены разведочно-эксплуатационные скважины 1РЭ, 2РЭ, построен водовод, проведены опытно-эксплуатационная откачка продолжительностью 42 суток и режимные наблюдения за эксплуатацией в течение 11 месяцев (В. Т. Рузанов, 2004). Район Хатырки характеризуется широким развитием сквозных таликов, но, тем не менее, распространение ММП здесь, как и для многих

участков Корякского нагорья, включая Хатырскую впадину, не прерывистое и не островное, как утверждалось в [1, 5, 9], а сплошное. По данным геотермии в скв. 2РЭ, мощность ММП для участка на западной окраине с. Хатырка находится в пределах 90 – 100 м (В. Т. Рузанов, 2004). По скважине ДальТИСИЗ, расположенной на территории села, температура на глубине 10 м составила –1,5° С. Суммарная площадь сквозных таликов на площади съёмки 1972 г. не превышает 5%.

В Хатырской впадине пробурено около 10 скважин на нефть и газ глубиной до 3,3 км. Мерзлотно-гидрогеологические сведения (НГМ, данные геотермии, уровни ПВ, минерализация и состав воды и др.) достаточно полно аккумулированы в работах В. Е. Глотова [2, 3].

Выводы. В статье дан краткий обзор мерзлотно-гидрогеологической изученности по основным объектам (месторождениям, участкам) на территории северо-восточной части Корякского нагорья. Приведены неопубликованные (или новые) данные по объектам, на которых были выполнены значительные объёмы работ по изучению ММП и ПВ региона. В геофондах (Чукотский ТФГИ, архивы СВКНИИ, ОАО «Георегион», ЗАО «СТУК» и др.) хранятся отчёты со сведениями о мощности и прерывистости мерзлоты, данными по геотермии, гидрохимии, обводнённости, режиму подмерзлотных и надмерзлотных вод, результатами работ для водоснабжения и др. Подтверждено широкое развитие сквозных таликов, в том числе под небольшими ручьями. Распространение ММП на всей территории северо-востока нагорья характеризуется как сплошное.

Список литературы

1. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. – М. : Недра, 1989. – 516 с.

2. Гидрогеология СССР. Т. XXV1. Северо-Восток СССР. Северо-Восточное территориальное геологическое управление / ред. О. Н. Толстихин. – М. : Недра, 1972. – 297 с.

3. Глотов, В. Е. Гидрогеология осадочных бассейнов Северо-Востока России / В. Е. Глотов ; Рос. акад. наук, Дальневост. отд-ние, Сев.-Вост. комплекс. НИИ. – Магадан : Кордис, 2009. – 232 с.

4. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / В. В. Шепелев [и др.]. – Новосибирск : Наука, 1984. – 191 с.

5. Морозов, Э. П. Особенности мерзлотно-гидрогеологических условий Тамватнейского месторождения ртути / Э. П. Морозов, И. С. Розенблюм // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-Востока СССР. – Магадан : Магаданское кн. изд-во, 1977. – Вып. 23, кн. 1. – С. 205–211.

6. Рузанов, В. Т. Сквозные талики в долинах малых водотоков Корякского нагорья и Золотого хребта / В. Т. Рузанов // Криогенные ресурсы полярных регионов : материалы межд. конф. Салехард, июнь 2007. – Пущино : ОНТИ ПНЦ РАН, 2007. – Т. 1. – С. 161–163.

7. Рузанов, В. Т. О гидрогеологической роли разломов на угольных месторождениях Юго-Востока Чукотки / В. Т. Рузанов // Подземные воды Востока России : материалы Всерос. совещания по подземным водам востока России (XIX Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока). – Тюмень : Тюменьский дом печати, 2009. – С. 277–280.

8. Рузанов, В. Т. Формирование уровенного режима подземных вод каменноугольного месторождения бухты Угольной (Чукотка) / В. Т. Рузанов, В. А. Олейник // Материалы Первой конференции геокриологов России. – М., 1996. – Кн. 1, ч. 1. – С. 130–138.

9. Тепкин, Н. А. О деградации вечномерзлых толщ в голоценовое время на юго-востоке Чукотки / Н. А. Тепкин // Мерзлотно-геологические процессы и палеогеография низменностей Северо-Востока Азии. – Магадан : СВКНИИ ДВНЦ АН СССР, 1982. – С. 116–118.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И ГИДРОГЕОТЕРМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ НАДМЕРЗЛОТНЫХ ВОД СЕЗОННОТАЛОГО СЛОЯ НА ВОДОСБОРНОЙ ПЛОЩАДИ ОЗЕРА ХАТЫЛЫМА (ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЯКУТИЯ)

Семенов И. С.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск

Аннотация. В зоне сочленения бестяхской и тюнгюлюнской террас р. Лены надмерзлотные воды сезонноталого слоя связаны преимущественно с песчаными отложениями верхней части геологического разреза и приурочены к деятельному слою. Режим их формирования полностью зависит от сезонного промерзания и оттаивания пород. На исследуемом участке водоносный слой имеет мощность 2,0 – 2,5 м, уровень подземных вод залегает на глубине 1,5 – 2,0 м. Результаты наблюдений за гидрогеотермическим режимом пород на участке распространения надмерзлотных вод сезонноталого слоя указывают на существенное влияние последних на формирование температурного поля водовмещающих отложений.
Ключевые слова: *надмерзлотные воды сезонноталого слоя, температура грунтов, конвекция.*

Abstract. Suprapermafrost groundwater in the suture zone between Bestyah and Tungulu the Lena River terraces is mainly related to sand deposits in the upper part of geological profile and occurs in the active layer. Regime of its formation entirely depends on seasonal ground freezing and thawing. In the studied area the depth of the aquifer is 2.0-2.5 m, groundwater level is on the depth of 1.5-2.0 m. Results of ground thermal and water regime observations in the area of suprapermafrost water occurrence in the active layer point out significant influence of groundwater on temperature pattern of water-bearing material.
Key words: *suprapermafrost water of active layer, ground temperature, convection.*

В Центральной Якутии, в зоне перехода бестяхской террасы р. Лены в тюнгюлюнскую, развиты участки с повышенной мощностью зоны аэрации (до глубины 2,5 – 5,0 м) и развитием на подошве слоя сезонного протаивания надмерзлотных вод различных подтипов. Этому способствует литологические особенности геологического строения данной территории: залегание хорошо проницаемых песчаных однородных грунтов до глубины 4 – 6 м, постилающихся супесями и суглинками. Надмерзлотные воды, формирующиеся в слое сезонного протаивания пород в летний период, значительно влияют на геотермический режим водовмещающих и подстилающих их отложений.

Для проведения исследования особенностей режима надмерзлотных вод сезонноталого слоя был выбран участок на границе бестяхской террасы с тюнгюлюнской на водосборной площади оз. Хатылыма. На данной территории запасы надмерзлотных вод сезонноталого слоя значительны, о чем свидетельствует использование их местными жителями в летний период. Надмерзлотные воды сезонноталого слоя каптируют колодцами глубиной до 2 м [1].

Гидрогеологический режим надмерзлотных вод сезонноталого слоя в течение одного года изучался в колодцах жителей с. Хатылыма. В 10 м от одного из колодцев и в 800 м. от оз. Хатылыма была пробурена геотермическая скважина, обсаженная пластиковыми трубами до глубины 4 м. В ней установлены датчики для автоматической регистрации температуры пород с интервалом 0,5 м. Показания фиксировались 1 раз в сутки.

По данным наблюдений, вода в колодцах появляется в мае. Уровень воды в них в течение лета залегает на глубине от 1,5 до 2,0 м и зависит от времени года и количества выпадающих атмосферных осадков. Нижней границей водоносного слоя служит кровля многолетнемерзлых пород, которая в период максимального протаивания пород достигает 4 м.

Благоприятным условием для формирования надмерзлотных вод сезонноталого слоя является хорошая проницаемость песчаных отложений, коэффициент фильтрации которых изменяется от 3 до 18 м/сут [1]. Хорошая проницаемость сухих песков способствует быстрой инфильтрации талых снеговых вод и атмосферных осадков. Поверхностный сток здесь отсутствует.

При просачивании атмосферных осадков глубина и скорость проникновения поверхностных температурных волн на участках, сложенных песчаными отложениями, значительно больше, чем в водоупорных породах. Это объясняется тем, что в последнем случае теплообмен происходит лишь благодаря молекулярной теплопроводности горных пород.

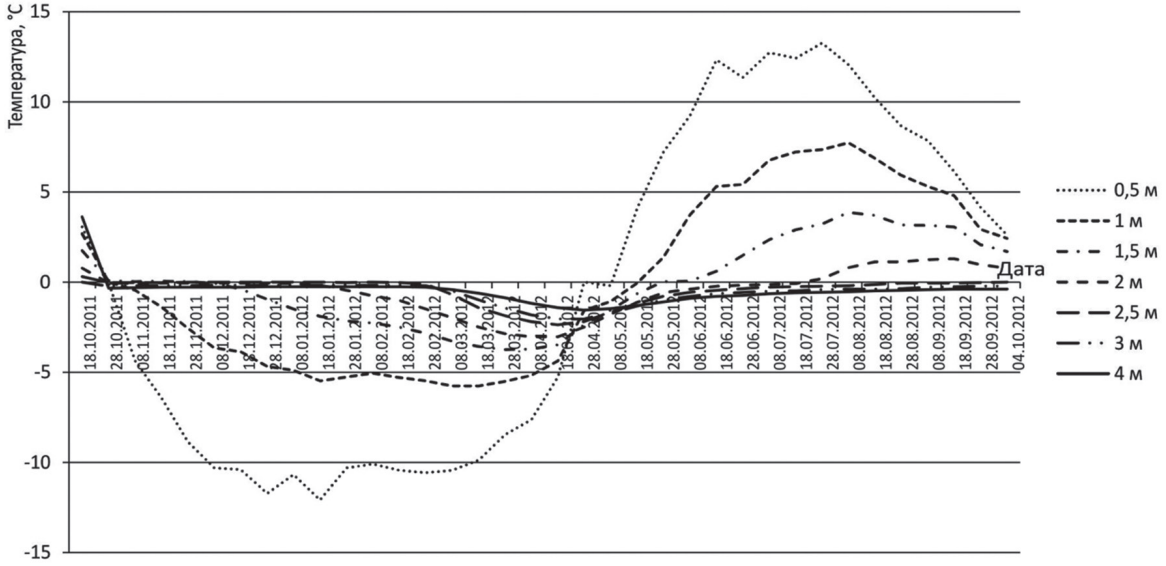


Рис. 1. Изменение температуры грунтов на водосборной площади оз. Хатылыма

В хорошо проницаемых породах передача тепла связана с перемещением массы воды под влиянием свободной и вынужденной конвекции. Свободная конвекция имеет место при определенных условиях в температурном режиме, при стратификации плотности воды в мощных слоях крупнозернистых хорошо проницаемых пород. Вынужденная конвекция имеет место при просачивании атмосферных осадков.

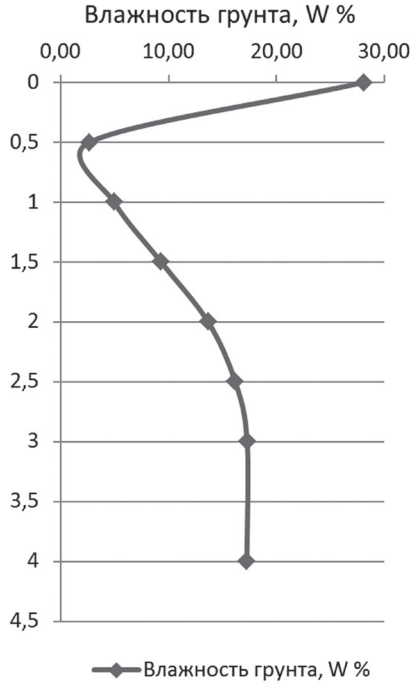


Рис. 2. Изменение влажности песков по глубине на водосборной площади оз. Хатылыма

Если сопоставить графики влажности и температуры горных пород, отмечается обратная зависимость скорости промерзания от влажности. По мере увеличения глубины влажность горных пород возрастает, а скорость их промерзания снижается. Ниже глубины 2 м, в водоносном слое, грунты промерзают и оттаивают медленнее из-за больших затрат холода зимой и тепла весной на фазовые переходы. На глубине 2,5, 3 и 4 м температура грунтов понижается синхронно, что свидетельствует о свободной тепловой конвекции. На глубине 4 м постоянно отмечается отрицательная температура. На этой глубине с середины октября до середины марта температура пород составляет –0,3° С. После полного промерзания водоносного слоя температура понижается. Минимальное ее значение наблюдается в начале мая и составляет –1,5° С.

Амплитуда колебания температуры водовмещающих отложений на глубине ниже 2 м незначительна. Зимой температура пород здесь не опускается ниже –3° С, а летом не поднимается выше +1° С.

Таким образом, большая иссушенность песков и их хорошая фильтрационная способность способствуют быстрому протаиванию грунтов в весенний период. В свою очередь, водоносный слой оказывает отепляющее влияние в зимний период, а летом охлаждающее, тем самым уменьшает мощность слоя годовых теплооборотов.

Список литературы

1. Анисимова, Н. П. Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии) / Н. П. Анисимова. – М. : Наука, 1971. – 195 с.

ОЦЕНКА РЕАКЦИИ МЕЖМЕРЗЛОТНЫХ ВОДОНОСНЫХ ГОРИЗОНТОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ НА СОВРЕМЕННУЮ ДИНАМИКУ КЛИМАТА

Семерня А. А. Гагарин Л. А.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Cf.251@list.ru

Аннотация. В статье изложены результаты многолетних наблюдений за процессом наледеобразования на круглогодично действующих источниках подземных вод в Центральной Якутии. Оценена величина естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта по объему формируемой наледи. На основе анализа количества выпадающих атмосферных осадков и объемов формирующейся наледи в урочище источника Ерююю сделан вывод о стабильности величины естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта на протяжении 40-летнего периода.

Ключевые слова: *межмерзлотный водоносный горизонт, естественные ресурсы, дебит источника, наледное питание, коэффициент корреляции.*

Abstract. Results of long-term observations on icing formation in the area of perennial groundwater springs in Central Yakutia are presented. The value of natural resources of Intrapermafrost aquifer is assessed based on icing volume. The conclusion about stability of Intrapermafrost aquifer natural resources for 40 years is drawn on the base of analysis of precipitation amount and icing volume.

Key words: *Intrapermafrost aquifer, natural resources, spring discharge, icing feed, correlation coefficient.*

На территории Центральной Якутии наибольший практический интерес для целей питьевого водоснабжения представляют локально распространенные на бестяхской террасе р. Лены подземные воды межмерзлотного типа. Водоносные талики залегают на глубине от 10 – 11 до 30 – 50 м, а подошва их вскрыта лишь отдельными скважинами на глубине 60 – 80 м. Естественные ресурсы межмерзлотных водоносных горизонтов превышают 50 тыс. м^3/сут [1].

Характерным признаком существования водоносного горизонта подобного типа на данной территории служит наличие круглогодично действующих наледеобразующих источников подземных вод у подножия бестяхской террасы.

IV надпойменная терраса р Лены, названная П. А. Соловьевым [2] бестяхской, протягивается вдоль правобережья современной долины р. Лены. Ширина террасы в устьевой части р. Лютенги составляет 2-3 км, на широте Табагинского мыса – 19, пос. Намцы – 31 км. Вблизи долины р. Алдана терраса выклинивается. Абсолютные отметки поверхности террасы постепенно понижаются с юга на север – от 163 до 140 м [3].

Поверхность террасы представляет собой чередование участков с характерно выраженными в рельефе песчаными грядами высотой от 2-3 до 10 – 20 м, чередующихся с врезанными долинами различных ручьев, небольших рек и озерных котловин.

Преобладающим типом растительности на площади бестяхской террасы является зрелый сосновый лес со следами свежих, старых и более древних пожаров. Вокруг поверхностных водопроявлений и в понижениях рельефа произрастают лиственничные леса и влаголюбивая кустарниковая растительность. Имеются периодически заболачиваемые участки, покрытые кочкарником и разнотравием, местами в мезопонижениях встречаются небольшие площади с сухим сосновым лесом, погибшим из-за повышения уровня надмерзлотных вод в наиболее влажные годы.

Район работ относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Тем не менее для бестяхской террасы хорактерно широкое развитие радиационно-тепловых и гидрогенных таликов [4, 5], площади которых до настоящего времени достоверно не установлены. Согласно классификации подземных вод относительно их залегания к многолетемерзлым породам [6, 7] на изучаемой территории выделяются три типа подземных вод: надмерзлотные, межмерзлотные и подмерзлотные.

Основной целью данной работы является оценка реакции межмерзлотных водоносных горизонтов на современную динамику климатических параметров на основе наблюдений за процессом наледеобразования в Центральной Якутии.

Для этого был выбран ключевой участок «Ерюю», который охватывает области питания, транзита и разгрузки межмерзлотных вод (рис. 1).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– получить современные данные об объемах наледей, формируемых межмерзлотными водами;

– сравнить их с ранее полученными фондовыми материалами и обработать собранную информацию по единой методике;

– изучить динамику современных климатических условий и оценить их влияние на ресурсы межмерзлотных вод и объемы формируемых ими наледей.

Источник подземных вод Ерюю находится на левом берегу р. Таммы (правый приток р. Лены), на расстоянии 12 км от ее устья. Выходы подземных вод приурочены к днищу корытообразного распадка, который врезан в песчаные отложения бестяхской террасы на глубину от 15 до 35 м [8]. Средний суммарный многолетний дебит источника в осенний период составляет 40 – 43 л/с (3400 – 3700 $м^3$/сут). Разгружающиеся подземные воды имеют стабильный в многолетнем цикле гидрокарбонатный натриевый состав, минерализация их в разных выходах варьирует от 0,2 до 0,5 г/л, температура постоянна в течение года и составляет 0,2° С.

Первые фактические сведения о питании источника Ерюю водами межмерзлотного водоносного горизонта появились в 1976 г. В это время режимным отрядом Института мерзлотоведения СО АН СССР в 200 м к северо-западу от основного участка разгрузки подземных вод была пробурена разведочная скважина № 1Е глубиной 68 м, вскрывшая водоносный горизонт в песчаных отложениях в интервале 24,5 – 55,4 м. [9]. Этим же отрядом, основываясь на результатах гидрохимического опробования разгружающихся межмерзлотных вод, подземных вод из скважины № 1Е и озерных вод, была оконтурена область питания межмерзлотного

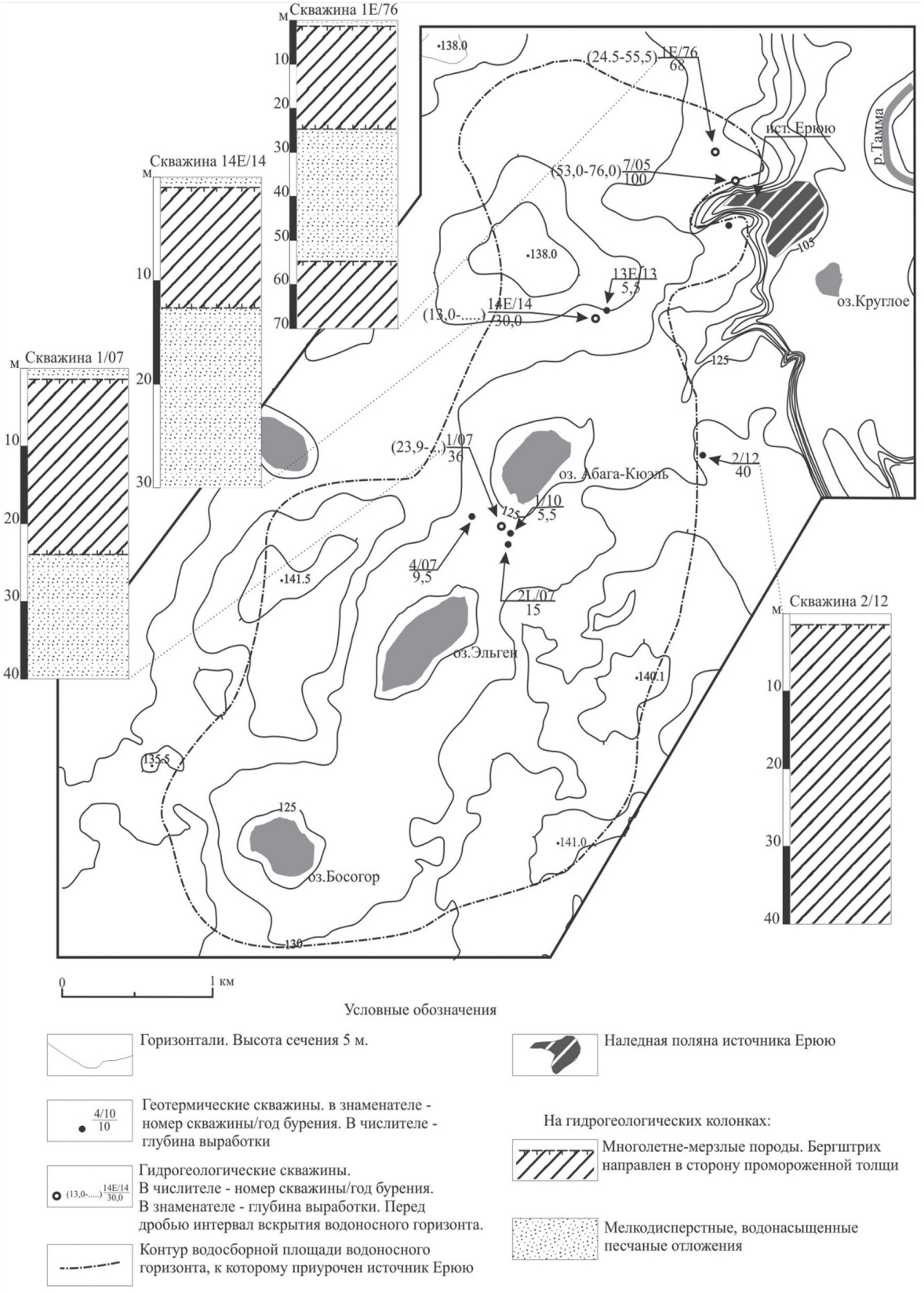


Рис. 1. Карта участка исследований

водоносного горизонта, а также ориентировочно рассчитана площадь поверхностного водосбора, которая оценивается в 26,5 км^2. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации поверхностных вод через талики, расположенные под серией озер – Эльген, Абага-Кюель и Босогор [9].

С 2007 по 2014 гг. сотрудниками лаборатории подземных вод ИМЗ СО РАН для уточнения мерзлотно-гидрогеологического строения области питания и транзита межмерзлотных вод в районе источника Ерюю были заданы три поисково-разведочных скважины. При бурения скважиниы 1-07Г, на участке между озерами Эльген и Абага-Кюэль, кровля водоносного горизонта была вскрыта на глубине 23,9 м. Скважина глубиной 36 м из талых пород не вышла. Скважиной № 14Е, заданной между озером Абага-Кюэль и источником Ерюю, кровля талика была зафиксирована на глубине 13 м, подошва его до глубины 30 м не была вскрыта. Разведочная скважина № 2-14 глубиной 40 м, расположенная в 0,9 км к юго-востоку от скв. № 14Е, была полностью пройдена в многолетнемерзлых породах, межмерзлотные воды не были вскрыты.

Таким образом, данные проведенных буровых работ свидетельствуют о том, что исследуемый межмерзлотный водоносный горизонт в пределах изучаемой площади не имеет сплошного распространения, а представляет собой локальный талик, залегающий в интервале глубин от 13 – 24,5 м до 55,4 м, приуроченый к линии распространения озерных котловин.

Для оценки естественных ресурсов водоносного горизонта и возможных их изменений в условиях современной динамики климата, в период с 2011 по 2014 гг. были проведены измерения максимального объема наледи, формируемой источником подземных вод Ерюю. В 2011 г. в пределах наледной поляны источника Ерюю было установлено 26 наблюдательных вех высотой от 2 до 3 м. Разовые замеры мощности проводились в конце марта – начале ареля.

Местоположение вех при их установке на местности выбиралось не случайно. Подобные наблюдения на данном участке уже проводились сотрудниками Института мерзлотоведения СО РАН в 1974 г. Информация о результатах этих работ имеется в фондах института. Чтобы результаты исследований были сопоставимы в методическом плане, расположение наблюдательных вех в пределах наледной поляны источника Ерюю было выполнено в 2012 – 2014 гг. аналогично их расстановке в 1974 г. Кроме того, результаты наледных наблюдений, полученные в разные годы, были обработаны по единой методике в компьютерной программе Surfer 10 (рис. 2).

Максимальный обьем наледи, формируемой источником Ерюю, наблюдался в 2014 г. и составлял 191 655 м^3, а минимальный отмечен в 2013 г., когда в пределах наледной поляны сконцентрировалось всего 148 234 м^3 льда. Максимальная мощность этой наледи ежегодно отмечается вдоль основного русла ручья и составляет в среднем около 3,0 м. В разные годы морфология наледи различна. Так, в 2014 г. наледь была равномерно рассредоточена по всей площади, а в 2013 г. основной ее объем сконцентрировался ближе к выходам подземных вод. Это можно объяснить особенностями климатической обстановки в эти годы. Так, в зиму 2013/2014 гг. сумма отрицательных зимних температур приземного воздуха составила 4728° С, а в зиму 2012/2013 гг. была равна 5490° С. В условиях более холодной зимы, основное русло ручья под формирующейся наледью промерзает быстрее, поэтому зимняя разгрузка подземных вод осущетвялется вблизи основных головок источника, формируя на этом участке более мощную наледь.

При относительно высоких зимних температурах воздуха процесс излияния воды на поверхность наледи происходит равномерно, через трещины в ледяных буграх пучения, формирующихся цепочкой вдоль русла ручья, образуемого источником.

Наледная обстановка на данном участке, наблюдавшаяся в апреле 1974 г., практически не отличается от современной. Максимальная мощность наледи в этот год составляла 3,09 м, а общий объем наледного льда равнялся 177 555 м^3. Основной объем был сфокусирован вблизи основных головок источника что соответствует климатической обстановке – сумма отрицательных зимних температур в зиму 1973/1974 г составила –5682° С. Рассчитанная величина

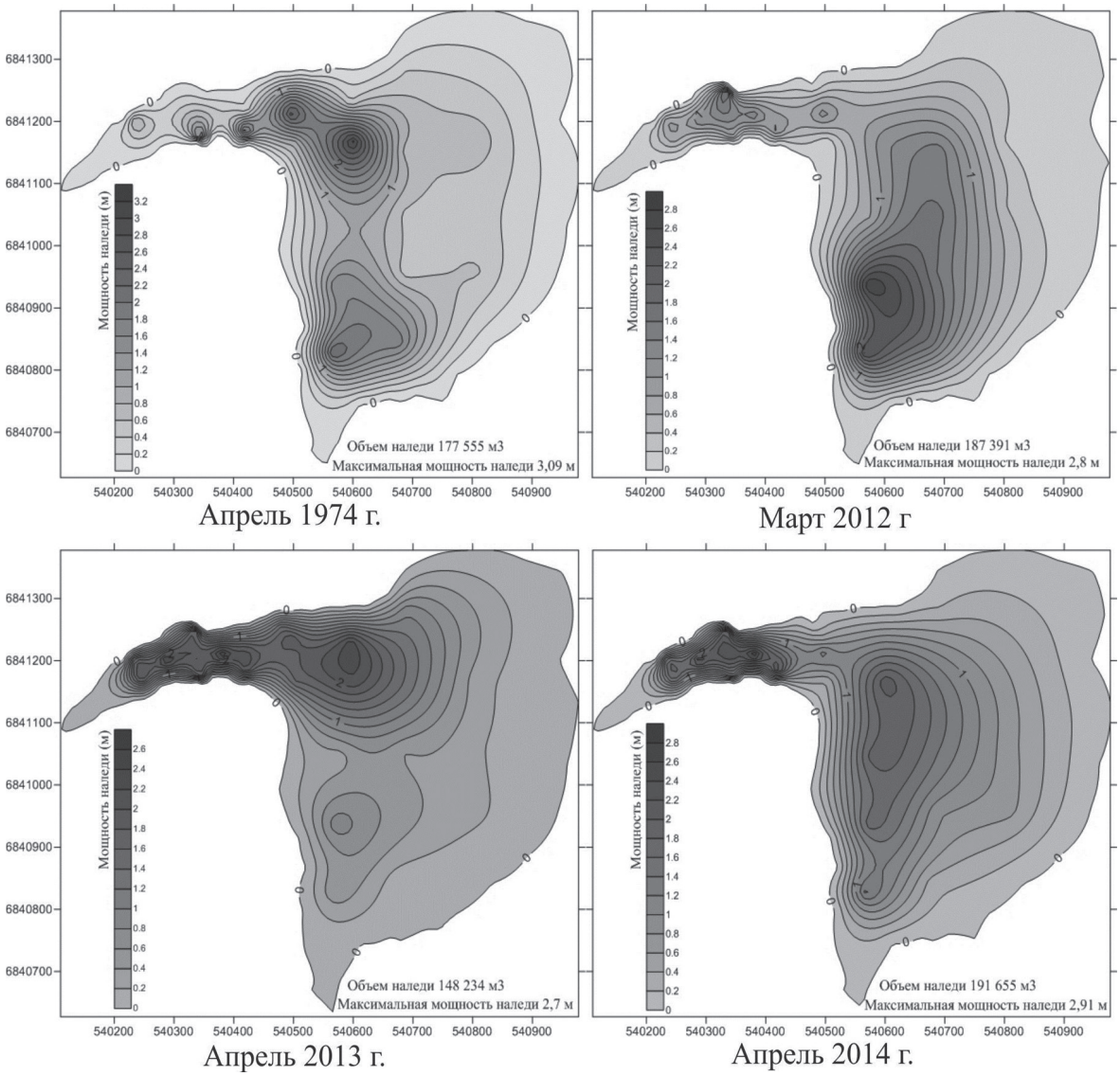


Рис. 2. Картосхемы динамики максимальной мощности наледи, образуемой источником подземных вод Ерюю

естественных ресурсов межмерзлотного водоносного горизонта по объему наледного питания в период с 2012 по 2014 гг. изменялась от 893 м^3/сут до 1154 м^3/сут, а в зимний период 1973/1974 гг. эта величина составляла 1069 м^3/сут. Основываясь на проведенном анализе результатов наледных наблюдений разных лет, можно говорить об отсутствии видимых изменений в величине наледного питания источника Ерюю за последние 40 лет.

Поскольку межмерзлотный водоносный горизонт, к которому приурочен данный источник, получает инфильтрационное питание через подозерные талики, а объем и уровни воды в озерах зависят от количества выпадающих атмосферных осадков, нами был проведен корреляционный анализ между годовым количеством атмосферных осадков и величиной дебита источника Ерюю за последние 50 лет [10]. Было отмечено, что коэффициент корреляции между осенним дебитом источника и суммой атмосферных осадков, выпавших за два года до измерения дебита источника, составляет 0,7. На основании этого был сделан вывод о том, что время фильтрации подземных вод от области питания до области разгрузки подземных вод составляет 2 года [10]. Таким образом, количество естественных ресурсов исследуемого водоносного горизонта определяется величиной атмосферных осадков.

При анализе многолетних наблюдений (1966 – 2012 гг.) за количеством выпадающих атмостферных осадков Центральной Якутии Ю. Б. Скачковым [11] было отмечено, что статистически значимое увеличение годовых осадков наблюдается лишь в районе г. Вилюйска. На метеостанциях, расположенных вблизи участка наших исследований (г. Покровск, пос. Усть – Майя, пос. Чурапча), статистически значимых трендов к снижению или увеличению количества выпадающих атмосферных осадков не зафиксировано.

Корреляционный анализ между количеством выпадающих атмосферных осадков и дебитом источника Ерюю, результаты многолетних наблюдений за объемом наледи, формируемой этим источником ежегодно, и данные о динамике температуры воздуха в Центральной Якутии позволяют сделать основной вывод о том, что за последние 40 лет, в условиях наблюдающегося потепления климата, величина наледного питания источника Ерюю существенных изменений не претерпела, поскольку естественные ресурсы межмерзлотного водоносного горизонта находятся в прямой зависимости от количества атмосферных осадков, годовые суммы которых за описываемый промежуток времени не имеют статистически значимых изменений.

Список литературы

1. Павлова, Н. А. Состав межмерзлотных вод в Центральной Якутии / Н. А. Павлова, А. Б. Колесников, В. С. Ефремов // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. – Томск : Издательство НТЛ, 2012. – С. 162–165.

2. Соловьев, П. А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья / П. А. Соловьев. – М. : Издательство АН СССР, 1959. – 144 с.

3. Иванов, М. С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины / М. С. Иванов. – Новосибирск : Наука, 1984. – 123 с.

4. Анисимова, Н. П. Формирование химического состава подземных вод таликов (на примере Центральной Якутии) / Н. П. Анисимова. – М. : Наука, 1971. – 195 с.

5. Бойцов, А. В. Геокриология и подземные воды криолитозоны / А. В. Бойцов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2011. – 176 с.

6. Толстихин, Н. И. Подземные воды мерзлой зоны литосферы / Н. И. Толстихин. – М. ; Л. : Госгеолтехиздат, 1941. – 202 с.

7. Шепелев, В. В. Надмерзлотные воды криолитозоны / Рос. акад. наук, Сиб. отд-е, Ин-т мерзлотоведения им. П. И. Мельникова ; В. В. Шепелев. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2011. – 169 с.

8. Шепелев, В. В. Озера криолитозоны бестяхской террасы р. Лены и их взаимосвязь с подземными водами / В. В. Шепелев, Н. С. Ломовцева // Тематические и региональные исследования мерзлых толщ Северной Евразии. – Якутск : Издательство Института мерзлотоведения СО АН СССР, 1981. – С. 106–115.

9. Шепелев, В. В. О взаимосвязи озер и подземных вод на массивах развиваемых песков Центральной Якутии: Гидрогеологичекие условия мерзлой зоны. – Якутск : Изд-во ИМЗ СО АН СССР, 1976. – С. 46–59.

10. Семерня, А. А. Роль озерных вод в формировании источников подземных вод бестяхской террасы р. Лены (Центральная Якутия) / А. А. Семерня // Геокриологоия – прошлое, настоящее, будущее. – Якутск : Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2010. – С. 93–98.

11. Скачков, Ю. Б. Тенденции изменения климата Центральной Якутии на рубеже XX – XXI вв. / Ю. Б. Скачков // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии. – Иркутск : Издательство Института географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2012. – С. 236–238.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПЛАНЕТЕ

Скворцов В. А.
Иркутский государственный университет; Институт земной коры СО РАН, skv@crust.irk.ru

Аннотация. С помощью программного комплекса «Селектор-С» с целью изучения причин изменения климата на планете проведено физико-химическое моделирование эмиссии парниковых газов и наночастиц в приповерхностном слое атмосферы до высоты 500 м, при средней температуре поверхности Земли 15° С и в нижних слоях тропосферы на высоте до 2 км при температуре 3° С и соответствующих давлениях 1013,25 и 790 гПа. Установлено, что при увеличении концентрации CO_2 в приземной атмосфере в 2 раза температура на планете к 2100 г. может возрасти до 18,16° С, с учетом дополнительного вклада CH_4 до 19,42° С, с учетом N_2O – до 18,7° С, а с учетом всех газов, включая хлорфторуглероды и водяной пар, – до 22,68° С. В нижней тропосфере при увеличении CO_2 температура поднимется до 4,62° С, с дополнительным вкладом CH_4 до 5,83° С, с учетом N_2O до 5,9° С, а с учетом всех газов, включая хлорфторуглероды и водяной пар, – до 7,91° С.

Ключевые слова: *физико-химическое моделирование, изменение климата, планета.*

Abstract. It is the first time that physicochemical modeling of the greenhouse gases emission and super microscope of solid aerosol particles have been carried out hear the earth's surface, on height 500 m, average temperature 15° C and in the troposphere, on height 2 km and temperature 3° C (according to pressure 1013,25 and 790 gPa) has been made with the help of program complex SELEKTOR-C for change condition of the climate on the planet. It is found that increasing CO_2 concentrations in the atmosphere at 2 times the surface temperature of the planet by the year 2100 could increase to 18,16° C, with the additional contribution of CH_4 to 19,42, with the N_2O to 18,7° C and taking into account all gases including chlorofluorocarbon and water vapor to 22,68° C in the lover troposphere CO_2 increases temperature will rise to4,62, with an additional contribution of CH_4 to 5,83° C the N_2O to 5,9° C, and taking into account all gases, including chlorofluorocarbon and taking into account all gases, including chlorofluorocarbon and steam up to 7,91° C.

Key words: *physical-chemical modeling, climate, planet.*

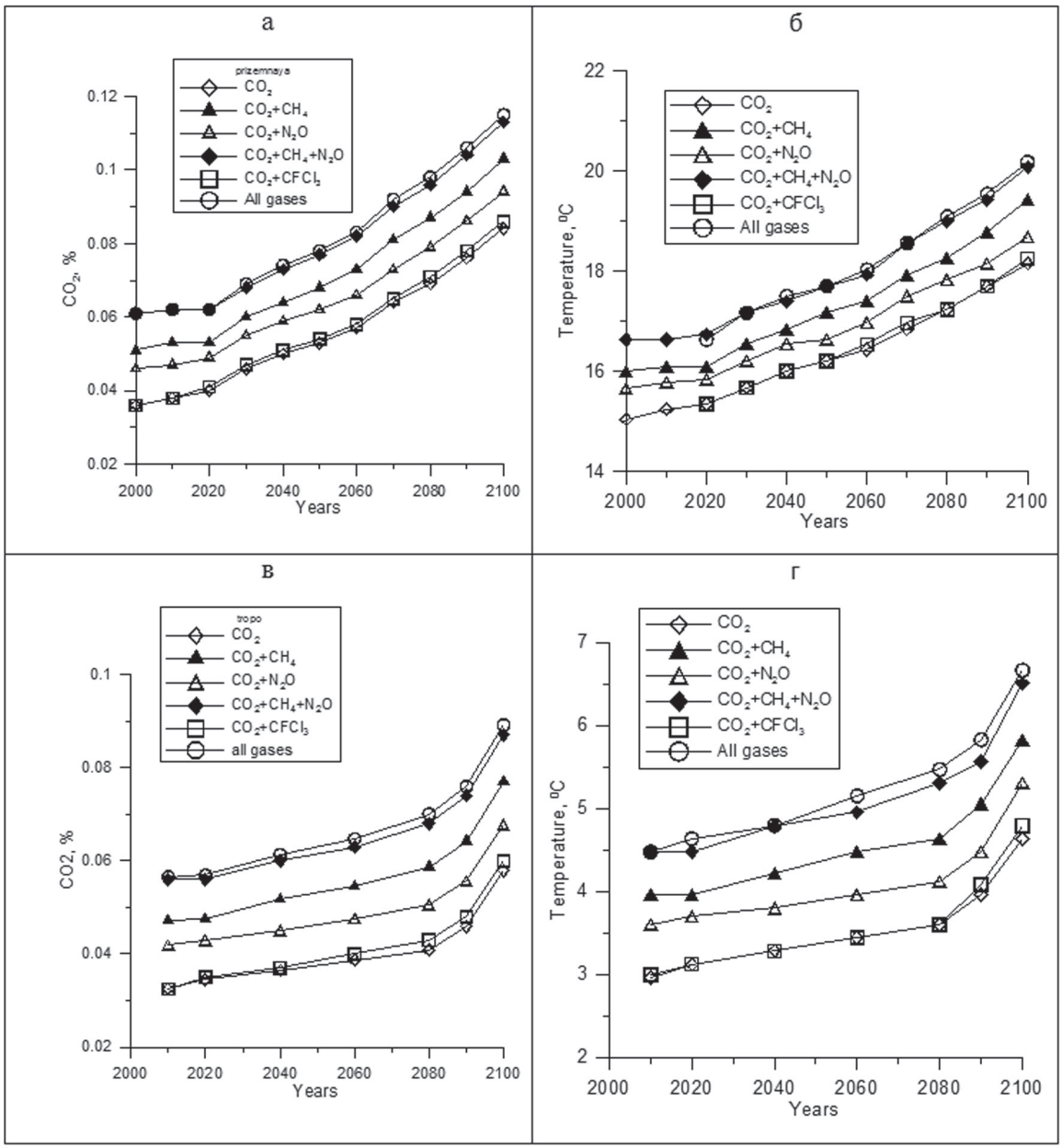
В качестве исходной «точки отсчета» при физико-химическом моделировании эмиссии углерода, метана, закиси азота, хлорфторуглеродов, озона, водяного пара и аэрозолей в приземной атмосфере и нижней тропосфере был принят современный состав атмосферы: для приземного слоя – средняя температура у поверхности Земли 15° С; атмосферное давление 1013,25 гПа; содержание углекислоты на период 2010 – 2011 гг., близкое к 0,04%; для нижней тропосферы (до высоты 2 км) температура 3° С; давление 790 гПа; концентрация CO_2 около 0,03%. В процессе моделирования имитировалось поступление углерода, метана, закиси азота, хлорфторуглеродов и других частиц в атмосферу из природных и техногенных источников: вулканических выбросов, продуктов сгорания ископаемого топлива и разложения наземной биоты. При взаимодействии углерода с кислородом в соответствии с реакциями

$$2C + O_2 = 2CO \text{ (неполное сгорание)}$$
$$2CO + O_2 = 2CO_2 \text{ (полное сгорание)}$$

происходит сжигание (окисление) углерода до образования углекислоты. Концентрация CO_2 при этом возрастает, и температура у поверхности Земли увеличивается (рисунок). Полученные в процессе исследования результаты сопоставлялись с данными по содержанию CO_2 в атмосфере, приведёнными в других работах [1, 2].

В результате физико-химического моделирования установлено, что в приповерхностном слое атмосферы (рисунок, а, б) при увеличении содержания одной только углекислоты до 0,05% к 2040 г. температура поднимется на 1° С, при увеличении CO_2 до 0,07% к 2080 г.

она повысится на 2° С, а к 2100 г., когда концентрация CO_2 станет 0,084%, температура на поверхности планеты приблизится к 18,16° С. Средний градиент изменения температуры за десятилетний период составляет 0,03° С в год. В нижней части тропосферы (рисунок, в, г) за это время также произойдут изменения: так, к 2040 г. при концентрации CO_2 0,0365% температура на высоте около 2 км увеличится на 0,3° С, к 2070 г. – на 0,5° С, а к 2100 г. – на 1,62° С и достигнет 4,62° С.



Изменение концентраций атмосферных газов и температуры по годам, рассчитанных с помощью термодинамического моделирования.
а, б – приземная атмосфера; в, г – нижняя тропосфера

Уменьшение концентрации углекислого газа в приповерхностном слое атмосферы до 0,015 – 0,010% приведет к снижению температуры до 13,3 – 13,4° С. А в тропосфере в этот период концентрация CO_2 упадет с 0,02 до 0,01% и установится температура 1,7° С, что в соответствии с данными предыдущих исследователей [2] может привести к очередному

оледенению на планете. Отрезок времени от начала последнего в истории Земли крупного оледенения (нижний плейстоцен) до промышленной революции составляет около 1 млн лет.

Помимо углекислого газа, определенный вклад в изменение температуры на планете вносят метан, закись азота, хлорфторуглероды, водяной пар, озон и другие газы. За учетную единицу парниковых газов принята одна тонна углеродного эквивалента, поэтому концентрации других парниковых газов были пересчитаны в виде добавки к молекуле CO_2 через соответствующие поправочные коэффициенты (потенциалы глобального потепления), которые были введены в 1997 г. Киотским протоколом [5].

Вторым по значимости газом, влияющим на температуру планеты, после углекислого газа оказывается метан. Содержание метана в современной атмосфере составляет 0,0002%, что в 200 раз меньше CO_2, а вклад в рассеивание и удержание тепла выше, чем у углекислого газа в 21 – 25 раз. Попадает метан в атмосферу из природных и антропогенных источников. В атмосфере метан находится 8 – 12 лет и то, в основном, в приземном слое, источником его является атмосферный озон. Средняя температура (рисунок, а, б) на планете (с учетом вклада метана и CO_2 в приземном слое атмосферы) в 2000 г. могла бы составить 16,11° С, к 2050 г. возрасти до 17,17° С, к 2080 г. – до 18,26° С и к 2100 г. – до 19,42° С. В нижней тропосфере на высоте около 2 км температура в 2010 г. была близкой к 4° С, в 2090 г. она поднимется до 5° С, в 2100 г. почти до 6° С. Ежегодный рост концентрации метана к 2030 г. составит 0,000013%, в 2100 г. – 0,000025%. Это, несомненно, приведет к изменениям в газовом составе атмосферы, за которым сразу могут последовать повышение концентрации озона и снижение содержания гидроксила.

Третий газ, приводящий к изменению температуры на планете, – закись азота (N_2O). Закись азота – относительно инертное соединение и по сравнению с такими радиационно-активными газами, как метан и углекислый газ, имеет в атмосфере меньшую концентрацию. Содержание закиси азота в настоящее время составляет 0,00003%, что в 6 раз меньше, чем метана и более чем в 1000 раз – углекислоты. Среднее время жизни молекулы N_2O – около 180 лет. В результате значительного времени пребывания в атмосфере и высокого потенциала глобального потепления за 100 лет (в 310 раз превосходящего углекислый газ) закись азота вносит определенный вклад в изменение климата. В атмосферу закись азота поступает в основном из природных источников (60%) и антропогенных (40%). За счёт вклада N_2O (в качестве добавки к CO_2) температура на планете в приземном слое атмосферы (рисунок, а, б) в 2000 г. составляла 15,6° С, к 2030 может подняться до 16,2° С, к 2060 г. – до 17° С, а к 2100 – до 18,7° С. Средний ежегодный приток N_2O в атмосферу за период с 2000 по 2100 гг. составит 12 ppb. В тропосфере на высоте до 2 км (рисунок, в, г) за счет вклада закиси азота в 2010 г. температура была 3,6° С, в 2080 г. она может возрасти до 4° С, а к 2100 – до 5,3° С.

Кроме рассмотренных газов, в атмосферу из антропогенных источников поступают и различные галоидоуглероды. Относящиеся к ним хлорфторуглероды (фреоны) являются химическими инертными веществами. Они попадают в нижние слои тропосферы и медленно поднимаются в стратосферу, где под воздействием ультрафиолетового излучения разлагаются с образованием атомов хлора, которые уничтожают озоновый слой. Для оценки его вклада в изменение температуры использовались данные по концентрации ХФУ-11, приведённые в работе [3]. Темпы изменения концентрации ХФУ-11 в интервале от 2000 к 2100 гг. будут изменяться от –50 pptv до –10 pptv (возможно, и ниже). Даже при таких значениях, несмотря на то, что он обладает высоким потенциалом потепления относительно CO_2, вклад его в увеличение температуры в приземной атмосфере (рисунок, а и б) получается незначительным, и графики изменения концентраций ХФУ-11 ($CFCl_3$) близки к графикам CO_2. В нижней тропосфере его доля также малозаметна: в 2020 г. они вместе с CO_2 могут увеличить температуру всего на 0,1° С, а к 2100 г. способны поднять ее до 4,79° С.

Озон в атмосфере встречается в виде двух разновидностей: в приземном слое – тропосферный озон, в верхних частях тропосферы (на границе со стратосферой) – стратосферный

озон. Концентрации озона в нижней тропосфере, согласно прогнозируемому сценарию А2 и термодинамическому моделированию, изменяются от 0,000003 до 0,0001%. При повышении концентрации метана содержание озона в тропосфере увеличивается, и его рост за последние десятилетия составил 1-2% в год. Способность озона поглощать длинноволновое излучение и оставаться в тропосфере несколько месяцев позволяет рассматривать его вклад в повышение температуры без учета потенциала глобального потепления. Концентрации озона в будущем будут определяться выбросами метана и загрязняющих веществ.

Водяной пар в воздухе составляет в среднем 0,2% в высоких широтах при низкой влажности и 2,5% – в тропиках. После испарения водяного пара с поверхности Земли в атмосферу происходит его конденсация: в результате в нижние слои тропосферы (за счет конвекции) переносится до 40% тепла. Таким образом, водяной пар при испарении сначала немного понижает температуру поверхности Земли, а в дальнейшем (за счет выделившегося в результате конденсации пара тепла) разогревает приземную атмосферу и поверхность Земли. Водяной пар с углекислым газом и метаном имеют сильные обратные связи, за счет которых отмечается косвенное влияние водяного пара на повышение температуры.

Моделируя процесс испарения водяного пара, следует отметить, что когда соотношение газовой и жидкой фаз в воздухе меняется, то при pH от 10,832 до 8,390 и Eh от 0,633 до 0,734 В происходит насыщение воздуха водяным паром (таблица). Содержание водяного пара при этом изменяется от 0,11 до 1,09%, а его парциальное давление – от 1,7 до 17,2 гПа. Все происходит в пределах относительной влажности воздуха от 10 до 100% и абсолютной – от 1,3 до 12,9 г/м^3. В водной фазе на всем протяжении присутствуют сульфаты (моль): $CaSO_4^0 – 10^{-9}$, $NaSO_4^- – 10^{-9}$, $SO_4^{-2} – 10^{-11}$, хлориды $CaCl_2^0 – 10^{-8}$, $MgCl^+ – 10^{-9}$, карбонаты $MgCO_3 – 10^{-8}$ и другие, но в меньших количествах.

Насыщение воздуха водяным паром

Фазовый состав атмосферы, %			pH	Eh, B	Содержание в воздухе, %		Парциальное давление водяного пара, гПа	Относительная влажность, %	Абсолютная влажность, г/м^3
газовая	жидкая	твердая, 10^{-7}			водяного пара	капельно-жидкой воды			
99,99	$7,8\cdot10^{-7}$	1,8-2,0	10,83	0,63	0,11	$8,0\cdot10^{-8}$	1,7	10	1,3
99,99	$8,2\cdot10^{-7}$	1,6-2,0	10,56	0,64	0,23	$1,1\cdot10^{-7}$	3,5	20	2,7
99,99	$1,7\cdot10^{-6}$	1,8-2,4	9,97	0,67	0,33	$3,5\cdot10^{-7}$	5,1	30	3,9
99,99	$1,9\cdot10^{-6}$	1,8-2,0	9,84	0,67	0,43	$4,6\cdot10^{-7}$	6,8	40	5,1
99,99	$2,1\cdot10^{-6}$	1,8-2,0	9,69	0,67	0,58	$6,7\cdot10^{-7}$	9,1	53	6,7
99,99	$2,2\cdot10^{-6}$	1,8-2,0	9,63	0,68	0,65	$7,9\cdot10^{-7}$	10,3	60	7,7
99,99	$2,7\cdot10^{-6}$	1,8-2,0	9,49	0,68	0,78	$1,3\cdot10^{-6}$	12,4	72	9,3
99,99	$3,3\cdot10^{-6}$	1,8-2,0	9,40	0,68	0,87	$1,9\cdot10^{-6}$	13,7	80	10,3
99,99	$3,3\cdot10^{-5}$	1,8-2,0	9,14	0,69	0,91	$3,2\cdot10^{-5}$	16,4	90	11,5
99,99	$2,2\cdot10^{-3}$	1,8-2,0	8,39	0,73	1,09	$2,2\cdot10^{-3}$	17,2	100	12,9

Следует заметить, что на механизм окисления SO_2 здесь, в облачных каплях, существенное влияние оказывают кислородсодержащие комплексы типа OH^-, H_2O_2 и озон, переводящие SO_2 последовательно в H_2SO_4, который присутствует в системе в значительно меньшем количестве. С уменьшением pH в растворе скорость окисления SO_2 падает. В твердой фазе в атмосфере отмечаются наночастицы халцедона, хлорита и селадонита (в субщелочной среде), а ближе к нейтральной – только хлорит и селадонит.

Постоянная циркуляция воздушных потоков в атмосфере, насыщенной аэрозолями, которые в миниатюре можно рассматривать как самостоятельные трехфазные физико-химические системы, сопровождается изменением термодинамических условий (T, P, C, pH, Eh и

фазового состава), что приводит к распаду аэрозолей, их последующей нуклеации, коагуляции и переносу. Этим и объясняется изменение состава аэрозолей и концентрации компонентов в атмосфере. Как показывает проведенный анализ, из всех разновидностей аэрозолей сульфатные оказывают наибольшее влияние на изменение климата на планете. Во время переноса в атмосфере субмикронные частицы сульфатного аэрозоля рассеивают часть радиации обратно в пространство, в то время как частицы промышленного углерода поглощают значительное количество коротковолновой солнечной радиации и оказывают влияние на поток земной длинноволновой радиации. Присутствие большого количества аэрозолей воздействует на вертикальную устойчивость атмосферы. Частицы аэрозолей, выпадающие на поверхность, уменьшают альбедо снега, что в конечном итоге приводит к изменению климата.

Отсутствие аэрозолей летучих углеводородов в приземной атмосфере и тропосфере в процессе термодинамического моделирования объясняется тем, что, обладая высокой реакционной способностью и скоростью переноса, они легко рассеиваются и из-за малых концентраций (исключая метан), участия в химических реакциях практически не принимают, поэтому в качестве устойчивых стабильных продуктов не фиксируются.

Термодинамическое моделирование эмиссии парниковых газов в атмосферу позволило нам по-новому, в отличие от предыдущих исследователей [4], подойти к решению проблемы изменения климата и скорректировать долевой вклад парниковых газов в глобальное потепление, который составляет (%): для поверхностного слоя по CO_2 – 41, H_2O – 32, CH_4 – 16, N_2O – 7, хлорфторуглероду – 3 и озону – менее 1; в нижней тропосфере по CO_2 – 33, H_2O – 25, CH_4 – 24, N_2O – 14, хлорфторуглероду – 4 и озону менее 1. Что касается роли воздействия аэрозольных наночастиц на изменение климата, то она отмечается обычно в процессе облако- и осадконакопления и определяется составом аэрозоля. Когда в составе аэрозольных частиц доминируют сульфатные комплексы, являющиеся рассеивающей средой для парниковых газов, глобальное потепление может и замедляться.

При таком развитии сценария, кроме медленного потепления на планете, к которому человек и всё живое легко адаптируется, серьёзных нарушений (за исключением незначительного подтопления краевых участков континентов и отступления границ вечной мерзлоты на 100 – 200 км к северу) не произойдёт. Ускорить процесс глобального потепления в данном случае могут только природные факторы, например, увеличение количества аэрозоля в атмосфере вследствие одновременных вулканических выбросов, уменьшение альбедо земной поверхности, изменение температуры вод океанов и др. Что касается техногенных факторов (если даже учесть возможность развития в отдельных районах площадных пожаров и аварий на крупных объектах), то к увеличению выбросов в атмосферу углекислого газа в 1,5 – 2,0 раза за указанный срок они не приведут.

Список литературы

1. Борисенков, Е. П. Климат и его изменения / Е. П. Борисенко. – Л. : Знание. Сер. Физика, 1976. – № 6. – 64 с.

2. Будыко, М. И. Изменение климата / М. И. Будыко. – Л. : Гидрометеоиздат, 1974. – 280 с.

3. Изменение климата: оценки МГЭИК за 1990 и 1992 г. – МГЭИК, Канада, 1992. – 168 с.

4. Кароль, И. Л. Изменение содержания парниковых газов и аэрозоля в атмосфере и их влияние на климат / И. Л. Кароль, А. И. Решетников, А. Л. Махоткина [и др.] // Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 1. Изменение климата. – М. : Росгидромет, 2008. – С. 88–111.

5. Проблемы учета парниковых газов в России // ЭСКО Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». – 2002. – № 10. – С. 1–7.

СТРОЕНИЕ И ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ПОРОД ПОД РУСЛОМ Р. БОЛ. КУОНАМКИ (БАССЕЙН Р. АНАБАРА) В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМАТИКОЙ ОТРАБОТКИ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сыромятников И. И., Галанин А. А.
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск,
syromyatnikov@mpi.ysn.ru

Аннотация. Рассмотрены геокриологические условия и температурный режим русла р. Бол. Куонамки в ее среднем течении. Установлено отсутствие сквозных подрусловых таликов в районе исследований. Сделан вывод о благоприятных мерзлотных условиях, влияющих на разработку россыпных месторождений алмазов.

Ключевые слова: *талики, мерзлые породы, геотермические измерения, россыпные месторождения.*

Abstract. The geocryological conditions and ground temperature regime beneath the Bolshaya Kuonamka River in its middle reaches are discussed. The study has shown that no open taliks are present below the river channel in the study area. It is concluded that the geocryological conditions are favorable for placer diamond mining.

Keywords: *taliks, permafrost, ground temperature measurements, placer deposits.*

Введение. Территория бассейна р. Анабара в геокриологическом отношении является одним из наименее изученных регионов Средней Сибири. Первая карта с представлением о мерзлых толщах горных пород была издана более полувека назад [1].

В 1965 г. Е. Г. Карповым и В. В. Куницким выполнено измерение температуры по буровым скважинам на севере Куонамского междуречья и криолитологическое описание разрезов разведочных выработок Амакинской экспедиции, вскрывших льдистые толщи четвертичных отложений в верховьях долины р. Мачала (северная часть Куонамского междуречья) и в истоках р. Лев. Баргыдамалах на склоне Анабарского плоскогорья [2, 3].

В 1966 – 1969 гг. сотрудниками Института мерзлотоведения СО АН СССР было продолжено изучение территории Анабаро-Оленекского пластового плато, в частности проведены геотермические наблюдения в буровых скважинах, выполнено описание разрезов разведочных канав и шурфов на участках Эбеляхского месторождения. Материалы этих исследований представлены в соответствующих трудах [4, 5, 6].

В 1978 – 1979 гг. В. А. Базылев и В. В. Куницкий исследовали в температурном и криолитологическом отношении водораздельные разрезы Эбеляхской россыпи. Это было вызвано тем, что на данной площади геологами были вскрыты бурением толщи дисперсного и полностью промороженного грунта большой (60 – 100 м) мощности, выполняющего эрозионно-карстовые и карстовые депрессии, которые часто не выражены в рельефе карбонатного плато.

В 1978 г. геокриологическое изучение разрезов вышеупомянутых депрессий также проводили С. Ф. Хруцкий и А. Ю. Деревягин. Они отметили значительную льдистость дисперсного материала, выполняющего эрозионно-карстовые и карстовые депрессии, установили присутствие в нем отдельных и местами мощных (до 8 м) пластов ископаемого льда с включением песка, гальки и гравия в районе Эбеляхского месторождения [7].

В 2007 и 2011 – 2013 гг. сотрудники ИМЗ СО РАН по заказу ЗАО «Нижне-Ленское» провели комплексные инженерно-геологические и гидрологические исследования долины рек Талахтах и Бол. Куонамка.

Район исследований. Для изучения строения и температурного режима пород под руслом р. Бол. Куонамки был выбран участок «Талахтах», который был одним из ключевых участков, исследованных нами ранее. Участок расположен в 300 м ниже по течению от устья одноименного ручья. В ландшафтно-геоморфологическом отношении участок представляет

собой широкий междуречный увал между ручьями Талахтах и Мачала. Водораздельные поверхности представляют собой ровные и пологоволнистые увалы, которые плавно сочленяются с широкими заболоченными открытыми долинами. Долина р. Бол. Куонамки в пределах участка имеет асимметричную V-образную форму. Правый склон пологий залесенный, а левый – крутой, сложен вертикальными скалами и развалами коренных пород. В зависимости от формы склонов и особенностей литологии коренных пород процессы формирования рыхлого чехла на склонах представляют собой различные комбинации мерзлотно-геологических процессов: эрозии, солифлюкации, курумообразования, морозобойного растрескивания и т.д.

Пойма р. Бол. Куонамки на данном участке представляет собой слабонаклонную поверхность, густо заросшую кустарниками ивы. Примерно в 15 – 20 м от уреза воды начинается крутой уступ первой надпойменной террасы высотой 10 – 12 м. Поверхность террасы слабовогнутая и залесена лиственничным лесом средней густоты. Высота деревьев 8 – 12 м, при толщине стволов 5 – 10 см (реже до 25 – 30 см). Поверхность леса бугристо-западинная, много наклоненных деревьев («пьяный лес»), что говорит об активном проявлении криогенных процессов. Переход поверхности террасы на склон постепенный, т.е. четко выраженного тылового шва террасы нет. Склон северо-западной экспозиции пологий, залесен редким лиственничным лесом.

Русловая часть р. Бол. Куонамки представляет собой фацию переката, соединяющего плеса выше и ниже по течению. В период летней межени ширина водного потока сужается до 30 – 40 м, глубина русла не превышает 1,5 м.

На основе режимных гидрологических наблюдений на гидропосту Талахтах в ходе предшествующих работ косвенными методами на основе анализа весенне-летне-осенних расходов и гидрографа, а также химического состава воды установлено, что р. Бол. Куонамка в период зимней межени характеризуется крайне низким, возможно, нулевым расходом, что связано с отсутствием грунтового питания и гидравлической связи с подмерзлотными таликами. Для подтверждения данного предположения Институтом мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН были организованы в 2014 г. исследования, главной целью которых являлось выяснение геотермических условий в русловой части р. Бол. Куонамки, выявление наличия и мощности таликовой зоны, руслового и подруслового стока.

Методика исследований. Для изучения мерзлых пород под руслом р. Бол. Куонамки был выбран участок реки, где предположительно происходит максимальное промерзание ее русла. На этом участке была запроектирована буровая линия № 831.

В марте-апреле 2014 г. силами ОАО «Алмазы Анабара» на буровой линии № 831 были пробурены 7 геотермических скважин глубиной от 10 до 22 м. Скважины были заложены поперек русла р. Бол. Куонамки. В каждой скважине до глубины 10 м замеры температуры горных пород производили термокосой, что позволяло фиксировать температуру на каждом метре глубины. Для снятия температурных данных использовался ноутбук, где было установлено специальное программное обеспечение для считывания показаний термодатчиков. Ошибка определения температуры горных пород по используемой методике, как правило, не превышает ±0,05° С, что соответствует масштабу и статусу проводимых исследований.

Результаты и обсуждения**.** Буровые исследования показали, что, в целом, геологический разрез по линии 831 представлен доломитами юстмастахской свиты, которые перекрываются аллювиальными отложениями (рис. 1).

Мощность аллювия изменяется от 0,5 до 2,0 м. Повышение мощности этих отложений отмечается в скважинах 831-4 и 831-6. На месте бурения скв. 831-5 был вскрыт довольно мощный слой (5,2 м) разрушенных доломитов с суглинистым заполнителем.

Терраса р. Бол. Куонамки сложена породами ледового комплекса, которые представлены сильнольдистыми суглинками с повторно-жильными льдами и включениями растительных остатков. По данным радиоуглеродной датировки, возраст отложений первой террасы составил 6900±200 лет назад, что относится к голоцену.

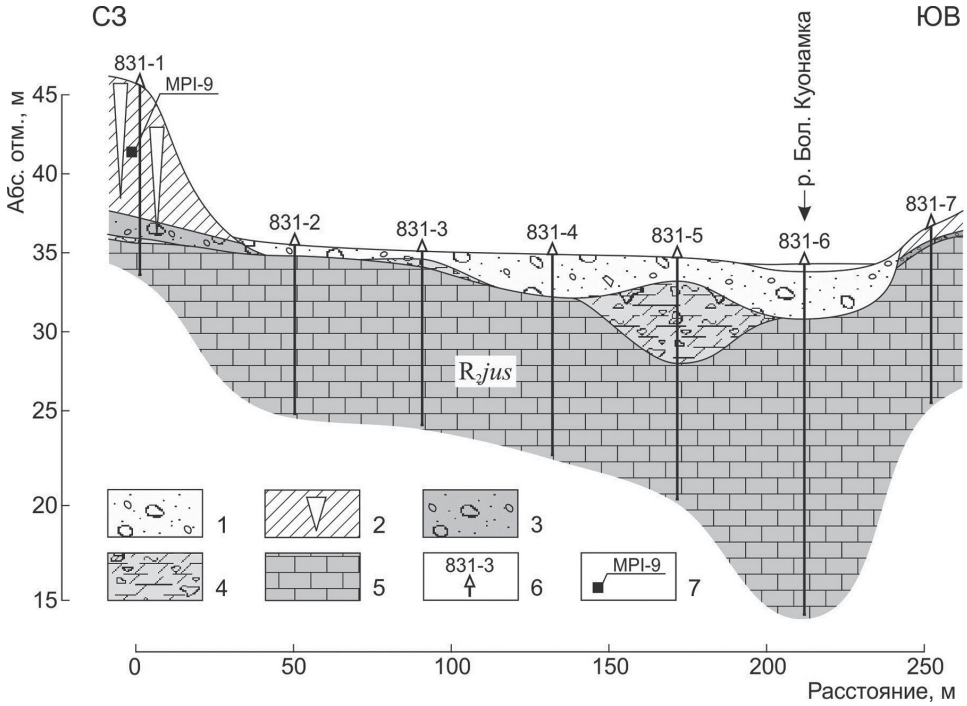


Рис. 1. Геологический разрез по линии 831:

1 – современный аллювий; 2 – породы ледового комплекса с ПЖЛ; 3 – древний аллювий; 4 – криогенный элювий (кора выветривания); 5 – карбонатные породы; 6 – буровая скважина и ее номер; 7 – место отбора проб на радиоуглеродный анализ

Следует отметить, что на линии 831 речной лед был вскрыт только на месте бурения скв. 831-6. На момент буровых работ (конец марта – начало апреля) река на этом месте была промерзла до дна и мощность льда составила всего 0,5 м.

При бурении скв. 831-6 в интервале глубин 3,5 – 4,0 м были вскрыты водоносные талики, которые проявляются в зоне трещиноватых доломитов. Во время дальнейших буровых работ самоизлияние таликовых вод из скважины не наблюдалось. Это показывает, что таликовые воды безнапорны.

Геотермическое исследования в конце марта – начале апреля на буровой линии 831 показали, что наиболее низкие температуры пород наблюдаются вблизи бровки надпойменной террасы левого берега и высокой поймы правого берега р. Бол. Куонамки. Так, на подошве сезоннопротаивающего слоя значение температуры устанавливается ниже –10° С. На глубине 10 м температура горных пород составила от –5,0 до –5,5° С. Такие низкие температуры объясняются тем, что промерзание горных пород в зимнее время происходит с двух сторон: сверху и с боков берега.

Геотемпературное поле низкой поймы р. Бол. Куонамки характеризуют данные по скважинам 831-2, 831-3 и 831-4. Поскольку эти скважины находятся примерно на одном уровне, то в них на глубине 1,0 м наблюдаются близкие значения температуры мерзлых толщ (–7,1 – –7,5° С). Вместе с тем в сторону фарватера реки наблюдается повышение температуры горных пород по разрезу. Например, если в скважине 831-2 температура пород на глубине 10 м составила –2,2° С, то в скважине 831-4 их температура на такой же глубине повысилась до значения –0,8° С.

Повышение температуры горных пород под руслом реки в сторону более ее глубокого участка подтверждается в скважине 831-5. Как видно из графика, температура пород на глубине 1,0 м составила –4,5° С. Глубже 5,0 м значение температуры устанавливается выше отметки –1,0° С. Такое явление объясняется наличием таликовой зоны под руслом р. Бол. Куонамки, которая приурочена к фарватеру реки.

Измерение температуры горных пород в апреле 2014 г. в скважине 831-6 в пределах глубин 3 – 5 м показало наличие подруслового талика. Температура пород в таликовой зоне составила около 0° С. На глубине 6,0 м отмечается отрицательная температура горных пород (–0,6). Глубже по разрезу наблюдается низкоградиентное понижение температуры горных пород, и на забое скважины (21 м) она опускается до значения –1,6° С.

Обобщенные представления о структуре и динамике теплового поля горных пород на буровой линии 831 дает геотермический профиль, приведенный на рис. 2.

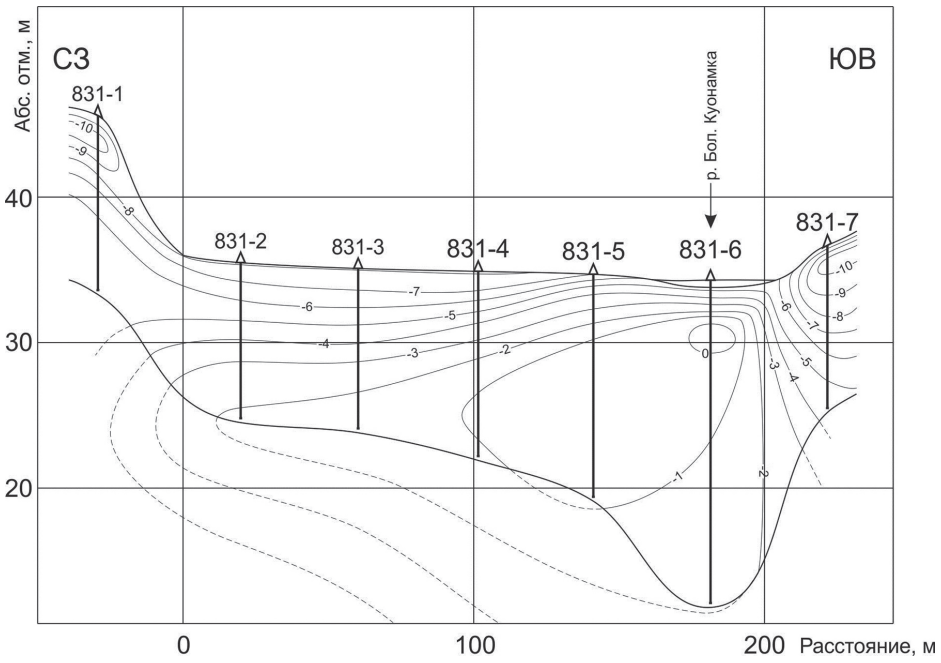


Рис. 2. Геотермический профиль по линии 831

Заключение. В результате изучения закономерностей формирования глубины сезонного протаивания грунтов и геотермических условий долины р. Бол. Куонамки в пределах буровой линии 831 можно заключить следующее.

В осенний период уровень воды р. Бол. Куонамки сильно понижается и иногда падает всего до 0,5 м. В результате этого на косах и перекатах реки обширные участки дна выходят на дневную поверхность. В зимнее время эти участки глубоко промерзают и сливаются с многолетнемерзлыми породами.

Таким образом, в гидрологическом отношении р. Бол. Куонамка, несмотря на потепление климата, в зимний период представляет собой отдельные водные участки в виде изолированных плес, гидравлическая связь между которыми весьма слабая либо, вообще, отсутствует. Об этом свидетельствует отсутствие гидростатического напора в пробуренных скважинах и самоизлияния воды из них, отсутствие наледей на всем протяжении долины в пределах исследуемой территории. Из вышесказанного следует, что образование сквозных таликов под руслом р. Бол. Куонамки крайне маловероятно. Только на некоторых участках долины реки наблюдаются несквозные подрусловые талики небольшой мощности.

Следует отметить, что выявленные особенности геотермического режима и характера таликовой зоны, в целом, благоприятны для разработки россыпных месторождений в русловой части р. Бол. Куонамки. Для смягчения последствий негативного воздействия на окружающую среду перед разработкой плессовых участков Бол. Куонамки рекомендуется выполнить искусственную проморозку нижележащих перекатов путем удаления с последних снега и льда, заложение траншей поперек русла. Кроме того, для сохранения популяций ихтиофауны

и бентосных организмов, перезимовывающих в непромерзающих плесах, следует выполнять разработку плессовых участков не одновременно, а в разные годы. Таким образом, загрязнение взвешенными наносами будет локализовано.

Высокий и быстрый весенний паводок, характерный для р. Бол. Куонамки, является благоприятным фактором, способствующим быстрому естественному восстановлению морфологии русла и дна нарушенных участков в течение одного сезона, после чего популяции бентосных организмов и ихтиофауны быстро восстановятся путем миграции из соседних ненарушенных плессовых участков.

Список литературы

1. Геокриологическая карта СССР: схематическая обзорная. Масштаб 1:10 000 000 / ред. И. Я. Баранов. – М., 1956. – 1 л.

2. Куницкий, В. В. Криогенное строение четвертичных отложений севера Анабаро-Оленекского плато как показатель условий их накопления / В. В. Куницкий // Проблемы изучения четвертичного периода. – Хабаровск : Хабаровское кн. изд-во, 1968. – С. 24–25.

3. Куницкий, В. В. О температуре многолетнемерзлых пород Прианабарской денудационной равнины / В. В. Куницкий // Геокриологические и гидрогеологические исследования Якутии. – Якутск : Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО АН СССР, 1978а. – С. 42–49.

4. Некрасов, И. А. Мерзлая зона / И. А. Некрасов, О. Н. Толстихин // Ресурсы поверхностных вод. Лено-Индигирский район. – Л. : ГИМИЗ, 1972. – С. 41–43.

5. Куницкий, В. В. О криогенном строении покровных образований Анабаро-Оленекского плато / В. В. Куницкий // Общее мерзлотоведение. – Новосибирск : Наука, 1978б. – С. 87–95.

6. Куницкий, В. В. Криогенное строение склоновых отложений на севере Среднесибирского плоскогорья / В. В. Куницкий // Строение и тепловой режим горных пород. – Новосибирск : Наука, 1981. – С. 21–25.

7. Хруцкий, С. Ф. Криолитологическая характеристика верхней части криолитозоны Анабаро-Оленекского низкого пластового плато / С. Ф. Хруцкий, А. Ю. Деревягин // Проблемы криолитологии. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – Вып. IX. – С. 139–149.

НАЛЕДИ НА МАЛЫХ ВОДОТОКАХ ЗОНЫ НЕГЛУБОКОГО СЕЗОННОГО ПРОМЕРЗАНИЯ ГРУНТОВ: РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА САТИНСКОМ УЧЕБНО-НАУЧНОМ ПОЛИГОНЕ МГУ (КАЛУЖСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Тарбеева А. М., Крыленко И. В., Сурков В. В.
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, amtarbeeva@yandex.ru

Аннотация. На основе полустационарных наблюдений на ручье Язвицы в Калужской области установлены основные черты наледеобразования в зоне неглубокого сезонного промерзания грунтов. Выделены четыре типа наледеобразования по генезису питающих вод, механизмам образования и морфологическим характеристикам наледей. Установлено, что решающим фактором образования наледей являются запасы грунтовых вод, которые имеют, в целом, обратную связь с объемом наледей.

Ключевые слова: *малые водотоки, наледи, русловые процессы, зона сезонного промерзания.*

Abstract. Field observations on the Yazvitsy stream in the Kaluga region allowed to reveal the main features of icing formation in the zone of shallow seasonal soil freezing. Four types of icing formation on the genesis of the water sources, the mechanisms of formation and morphological characteristics of icing are detected. Crucial in the formation of icing play groundwater, the volumes of which have an inverse relationship with the amount of ice accumulation.

Key words: *small streams, icings, channel processes, the zone of shallow seasonal soil freezing.*

Введение. Процессы, связанные с образованием и разрушением наледей, являются одной из причин специфичности морфологии русел, гидрологического режима и ландшафтного строения пойм наледных рек [1]. Между тем условия образования русловых наледей на границе зоны их существования – в зоне неглубокого сезонного промерзания грунтов – практически не исследованы.

В южной части лесной зоны Русской равнины, в условиях относительно мягких зим и существенной многолетней изменчивости температуры и осадков, наледи не являются типичным явлением. Всё же небольшие объемы грунтового питания малых водотоков приводят к возможности перемерзания русел и образования наледей в особенно холодные зимы. Наледи в руслах рек способствуют повышению уровня затопления поймы, развитию второстепенных рукавов, спрямлению излучин, расширению русла в результате сосредоточения потока по контакту льда и берега, формированию на малых водотоках специфических форм русел, не свойственных более крупным рекам этой территории [2].

С целью выявления условий и механизмов формирования русловых форм, связанных с наледями, в 2005 г. сотрудниками НИЛ эрозии почв и русловых процессов им. Н. И. Маккавеева на территории Сатинского учебно-научного полигона МГУ в Калужской области были организованы наблюдения за образованием, разрушением и основными факторами формирования наледей в руслах малых водотоков.

Методика и объект исследования. Наблюдения за образованием наледей проводились на водотоках 2 – 4 порядков в бассейне р. Протвы. В качестве ключевого объекта исследований был выбран ручей Язвицы (2 порядок). Площадь водосбора ручья составляет 7,6 км^2, расход воды в межень на участках с постоянным течением – 0,1 – 1,0 л/с, расходы в половодье достигают 200 – 300 л/с. Ручей является типичным для вторичной моренной равнины московского возраста. Его долина максимальной глубиной около 30 м прорезает разновозрастные горизонты покровных, ледниковых и водно-ледниковых отложений, представленных валунными суглинками, песками, супесями; в среднем течении вскрывает погребенные древние аллювиальные отложения песчаного и гравийно-песчаного состава [3]. Водосбор ручья залесен на 80%, здесь практически не ведется хозяйственная деятельность.

Образование наледей происходит на малых водотоках территории не ежегодно и лишь на отдельных участках русел. В ручье Язвицы наледь образуется преимущественно в среднем течении ручья, где наблюдаются круглогодичные выходы грунтовых вод. В благоприятные годы наледи заполняют всё русло ручья на участке 400 – 1200 м от устья, а местами выходят на пойму. Мощность наледей достигает 1 м, ширина – 10 – 15 м. В образовании формы наледи существенная роль принадлежит заломам в русле, которые играют роль плотин при накоплении льда. Благодаря заломам наледь имеет ступенчатый продольный профиль.

Наблюдения за наледями включали периодические маршрутные обследования русел ручьев с фотографированием и описанием наледей в зимне-весенний период, а с 2011 г. на ключевом объекте – ручье Явицы – проводятся инструментальные наблюдения за темпами прироста льда на 7 ключевых створах, измеряется температура воздуха, почвы и донного грунта (таблица).

Для выявления источников питания наледей в осенне-зимнюю межень проводилась оценка изменения по длине ручья температуры и электропроводности воды. Данные были сопоставлены с геологическим профилем ручья и схемой распределения мощности наледей по длине ручья.

Для определения метеорологических условий, при которых возможно образование наледей на малых водотоках, были проанализированы данные о температуре воздуха и количестве осадков по метеостанции Малоярославец, расположенной в 25 км к югу от объекта исследований, за период с 2005 по 2014 гг., взятые из общедоступного Интернет-источника Rp5.ru. Эти данные были сопоставлены с материалами полевых наблюдений за формированием наледей.

Изменение мощности наледей, температуры воздуха и донного грунта в среднем течении ручья Язвицы (400 – 1200 м от устья) в течение периода наледеобразования зимой 2011 – 2012 гг.

Номер створа сверху вниз по течению	Мощность наледи по датам наблюдений, см						
	09 января	29 января	04 февраля	12 февраля	25февраля	09 марта	25 марта
1	0	40	65,5	68	88	106	113
2	0	28	36	43	60	65	72,5
3	0	10	10,5	10,5	23	36	43
4	0	12	17	19	21	41	47,5
5	0	4	3	3	4	19	24
6	0	43,5	42,5	43	43,5	44	55
7	0	19	17	17	17	18	18,5
Средние температуры воздуха и донного грунта на створе 4 в течение интервалов между наблюдениями, ° С							
Даты	21 ноября – 9 января	9 – 29 января	29 января – 04 февраля	04 – 12 февраля	12 – 25 февраля	25 февраля – 09 марта	9– 25 марта
Воздух	–0,6	–9,0	–19,8	–17,5	–10,7	–4,8	–2,4
Грунт	0,7	–0,6	–5,6	–4,7	–2,1	0,1	–0,1

Метеорологические условия образования наледей. Возможность образования наледей определяется соотношением температур воздуха, которые приводят к перемерзанию дна и берегов водотоков, и объемов грунтового питания, косвенным показателем которого могут служить суммы осадков за предшествующий зиме период [1]. Помимо этих факторов, важна также продолжительность периода похолодания, мощность снежного покрова и другие факторы.

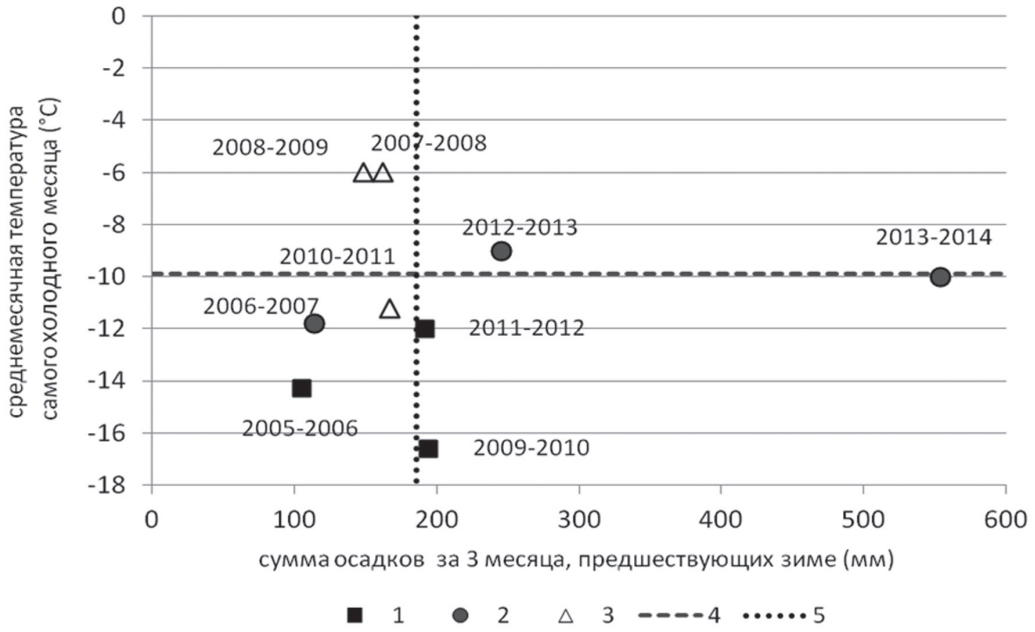
В качестве метеорологических показателей, характеризующих возможность образования наледей, были выбраны средняя месячная температура воздуха самого холодного зимнего месяца и сумма осадков за три месяца, предшествующих первому месяцу с отрицательной среднемесячной температурой воздуха. Выбор «плавающих» показателей связан с сильной межгодовой изменчивостью метеорологических условий.

Период наблюдений с 2005 по 2014 гг. охватывает 9 зим, из которых особенно мощные наледи отмечались в зимы 2005/2006, 2009/2010 и 2011/2012 гг. (рисунок). В эти годы наледей было много, а их максимальная мощность достигала 1 м. Как видно, благоприятные для наледеобразования годы характеризуются, в целом, малым или средним количеством осадков в осенний период (100 – 200 мм) и низкими средними месячными зимними температурами воздуха (от –12° С).

Две из трех зим, в которые не наблюдалось образование наледей, характеризовались повышенным количеством осенних осадков. В третью из этих зим похолодания были очень непродолжительными: максимальная продолжительность периода со средней суточной температурой ниже минус 10° С составила всего 8 дней.

Детальные наблюдения, проведенные в 2011 – 2014 гг. показали, что в зиму 2011 – 2012 гг., когда наблюдалось широкое распространение и значительная мощность наледей, температура донного грунта на ключевом створе № 3 достигала минус 6,9° С, тогда как в остальные годы с незначительным наледеобразованием она составляла всего минус 0,9 – минус 1,6° С.

Различия в значениях температур донного грунта в разные годы вероятнее всего объясняются различными запасами тепла, т.е. объемом грунтовых вод, которые связаны с характером осеннего увлажнения, а также с разной продолжительностью периода похолодания.



Взаимосвязь условий наледеобразования с мощностью образующихся наледей за период наблюдений (2005 – 2014 гг.):

1 – зимы с мощными наледями; 2 – зимы с отсутствием или незначительными наледями; 3 – зимы со средними по объему наледями; 4 – средняя многолетняя температура воздуха наиболее холодного месяца (января); 5 – средняя многолетняя сумма осадков за сентябрь, октябрь и ноябрь

Похолодание в зиму 2011/2012 гг. произошло во второй половине зимнего периода (с 13 января по 23 февраля), когда запасы грунтовых вод были уже невелики. Период низких температур воздуха (ниже минус 10° С) продолжался 24 дня, что привело к образованию мощных (до 1 м) наледей.

В зиму 2012/2013 гг. похолодание было даже более существенным, но менее продолжительным (период с температурами воздуха ниже минус 10° С длился 11 дней). Похолодание происходило в первой половине зимы (в декабре), когда запасы грунтовых вод были еще значительными, поэтому наледи не получили широкого распространения и рост их продолжался недолго.

Ход температур воздуха в зиму 2013/2014 гг. был аналогичен зиме 2011/2012 гг., однако сильному похолоданию предшествовали аномальные дожди (сумма осадков за три месяца превысила 550 мм), что способствовало увеличению запасов грунтовых вод, поэтому образование наледей было также несущественным.

Важную роль в образовании наледей играет также мощность снежного покрова. При отсутствии снежного покрова образование наледей происходит при гораздо более высоких температурах, чем при наличии снежного покрова. Так, бесснежной и маловодной осенью 2014 г. образование наледей происходило при температуре воздуха всего минус 5° С.

Источники и механизмы формирования наледей. За время наблюдений на ручье было выделено несколько типов наледеобразования, которые сменяют друг друга в течение зимы и различаются по генезису питающей наледь воды, механизму прироста льда и форме образующихся ледовых масс.

В начале зимы при малых расходах воды в ручье и сильных похолоданиях наблюдается промерзание грунта на перекатах, в то время как плёсы лишь покрываются сверху льдом. Воды ручья, выходящие на промерзшую поверхность перекатов, замерзают, образуя натечные языки, стекающие вниз по перекатному участку, постепенно «сползая» на покрытые льдом нижерасположенные плёсы. Такой тип наледеобразования характерен лишь для условий малого стока в осенний период, при сильном понижении температуры воздуха и отсутствии снежного

покрова, как это наблюдалось осенью 2014 г. Основной объем подобных наледей образуется во второй половине зимы, когда запасы грунтовых вод снижаются и наблюдаются минимальные зимние температуры воздуха.

Наиболее мощные наледи образуются за счет замерзания подземных вод из точечного источника в среднем течении ручья, имеющего круглогодичный дебит около 0,1 л/с, ниже которого и начинается наледный участок русла. Это подземные воды, выходящие из вскрытых долиной погребенных аллювиальных отложений, имеющие круглый год температуру около +6° С и достаточно низкую электропроводность около 480 мкСм/см. Воды, поступающие в русло из этого источника, замерзают на расстоянии 100 – 400 м от него, образуя ледяные языки, спускающиеся вниз по руслу. Из таблицы видно, что основная мощность льда и его наиболее интенсивный прирост наблюдаются на первых четырех створах, расположенных ближе всего к источнику подземных вод. В нижней части участка наледеобразования (створы № 5 – 7) по мере промерзания отложений рост наледи прекращается.

Формирование наледей третьего типа происходит за счет подземных вод, высачивающихся вдоль берегового уступа по всей длине ручья при сильных понижениях температуры и промерзании грунта на пойме. Воды, питающие наледи такого типа, поступают в толщу пойменных отложений из сильно карбонатизированных межморенных водоносных горизонтов, вскрывающихся на склонах долины, поэтому они имеют относительно низкую температуру (около 1° С) и высокую электропроводность (560 – 600 мкСм/см). Наледи этого типа образуют характерную натечную кайму вдоль береговых уступов и вокруг лежащих в русле объектов: камней, деревьев и проч. Следует отметить, что максимальный прирост таких наледей происходит в начале периода понижения температур воздуха. При длительных морозах, вероятно из-за перемерзания мест разгрузки подземных вод, рост таких наледей сокращается.

Четвертый наблюдавшийся нами тип образования наледей связан с повторным замерзанием талых вод, которое происходит, как правило, в начале весны, при положительных дневных температурах воздуха. Воды, поступающие в русло из нижних горизонтов снежной толщи при таянии снега, растекаются по холодной поверхности льда и снова замерзают. При этом уже может наблюдаться таяние нижней части наледи за счет появления стока в русле. Такие наледи образуют ровные гладкие субгоризональные поверхности в русле и на пойме и покрывают поверхность наледного участка русла на всем его протяжении. Из таблицы видно, что с 9 по 25 марта, несмотря на достаточно высокие температуры воздуха, произошел значительный прирост мощности льда на всех створах.

Выводы. Можно выделить несколько особенностей наледеобразования в руслах малых водотоков зоны неглубокого сезонного промерзания грунтов.

В условиях мягких зим решающее значение в формировании наледей играют запасы подземных грунтовых вод, объемы которых имеют обратную связь с объемом наледей. Существенную роль в образовании наледей играет также мощность снежного покрова и продолжительность периодов похолодания.

Образование наледей происходит преимущественно во второй половине зимы, что является характерной особенностью зоны сезонного промерзания. В зоне многолетней мерзлоты образование наледей происходит, как правило, в первой половине зимы, пока не иссякли или не перемерзли запасы подземных вод [1].

Наледи, образующиеся в руслах малых водотоков, полигенетичны и имеют сложное строение. В их образовании принимают участие воды нескольких генетических типов, благодаря чему интенсивность прироста наледей сильно изменяется во времени и по длине ручья.

Мощность образующихся наледей не является единственным показателем степени их влияния на русло. Благоприятным условием для влияния наледеобразования на морфологию русла является резкое весеннее потепление после длительного похолодания.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ (проект НШ-1010-2014.5).

Список литературы

1. Алексеев, В. Р. Наледи / В. Р. Алексеев. – Новосибирск : Наука, 1987. – 256 с.
2. Тарбеева, А. М. Влияние ледового режима на русловые процессы и морфологию русел малых постоянных водотоков / А. М. Тарбеева // Метеорология и гидрология. – 2008. – № 11. – С. 76–79.
3. Строение и история развития долины р. Протвы / под ред. Г. И. Рычагова, С. И. Антонова. – М. : Изд.-во МГУ, 1996. – 129 с.

РИТМИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ КЛИМАТА КАК ОСНОВА ДЛЯ МЕРЗЛОТНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОГНОЗОВ

Толстихин О. Н.[1], Поморцев О. А.[2], Попов В. Ф.[2]
[1] Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, ton_ykt@mail.ru;
[2] Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, fess117@rambler.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрена динамика климата Якутии на основе теории ритмов Шнитникова – Максимова. При этом уделено внимание последовательному чередованию холодно-сухих, тепло-сухих, холодно-влажных и тепло-влажных климатических интервалов. На основании прогноза климатических тенденций представлен прогноз реакции мерзлотно-гидрогеологических обстановок, анализируются наиболее вероятные сценарии наледеобразования на XXI столетие. Показано, что значительные сдвиги в эволюции наледей можно ожидать в зонах прерывистого и островного распространения многолетнемерзлых пород.
Ключевые слова: *климат, ритм, наледеобразование, подземные воды, геокриологические условия.*

Abstract. In this paper, the dynamics of climate Yakutia based on the theory of rhythms Shnitnikov – Maximov. In this case, attention is paid to succession of cold-dry, heat-dry, cool-humid and warm humid intervals. On the basis of the forecast climate trends presents a forecast of the reaction of permafrost-hydrogeological environments, analyzes the most likely scenarios for the XXI century icing formation. It is shown that significant changes in the evolution of ice accumulation can be expected in areas of discontinuous and sporadic permafrost.
Keywords: *climate, rhythm, icing formation, groundwater, permafrost conditions.*

Несмотря на бесспорную тенденцию потепления климата во всех районах земного шара, временные закономерности развития потепления и реакции на него природной среды менее очевидны. На большей части России и других стран Северного полушария, расположенных в области вечной мерзлоты, потепление может стать угрозой номер один для их дальнейшего благополучия. В настоящее время не существует не только ни одного надёжно обоснованного прогноза о поведении толщи мерзлоты при развивающемся потеплении, но и надёжного обоснования тренда потепления. Из десятков исследователей, прогнозировавших изменение климата в XX столетии, современное потепление предсказали только двое – А. В. Шнитников [1] и Е. В. Максимов [2]. Шнитников основывался на открытом им долгопериодичном ритме в 1850 лет, меняющим увлажнённость земного шара, а Максимов – ещё и на ритме Миланковича в 40 700 лет, «обусловливающим чередование потеплений и похолоданий и жёстко связанным с 1850-летним ритмом». Другие исследователи предсказывали, главным образом, похолодание. Они опирались на ритмы короткой периодичности и не учитывали фонового влияния долгопериодичных ритмов, имеющих для прогноза ключевое значение.

Климатические условия Земли, в целом, и любого ее региона в частности, определяются сочетанием тепла и влаги. Поэтому важной задачей при исследовании климата является

выяснение хода увлажненности в связи с динамикой теплообеспеченности. Попытаемся показать это на примере внутривековых ходов температуры и атмосферных осадков на репрезентативной и одной из наиболее длиннорядных метеостанций Северо-Востока Евразии – ГМС Якутск и многовековых планетарных изменений, по Е. В. Максимову [2]. Сопоставление ходов теплообеспеченности и увлажненности показывает, что на протяжении XX столетия в Якутске происходит чередование тепло-сухих (ТС) – холодно-влажных (ХВ) – тепло-влажных (ТВ) – и тепло-сухих (ТС) интервалов климата. По ходу большинства из выделенных климатических фаз (с учетом фазы 1930-х годов) просматривается периодичность, близкая к 22-летней. Сама же последовательность чередования выделенных в масштабах векового периода климатических интервалов, по сути, копирует структуру ритмов более высокого ранга. Это создает предпосылку для возможности обоснования долгосрочного прогноза климата в Якутии.

Если обратиться к долгопериодным ритмам Шнитникова и Миланковича, на фоне которых развиваются ритмы векового и внутривекового ранга, то резерв у современного потепления еще очень высок. По ходу 1850-летнего ритма Шнитникова последний холодный климатический интервал (ХС) приходится на XVI – первую половину XIX вв. Пересечение температурной кривой «нулевой» линии и выход ее в положительную область произошел с завершением Малой ледниковой эпохи (МЛЭ) в конце XIX столетия. Отсюда собственно и берет начало современное потепление. Это подтверждается данными инструментальных наблюдений в г. Якутске.

Теплая волна с ростом увлажненности будет продолжаться по ходу 1850-летнего ритма Шнитникова еще около 800 лет. Для ритма Миланковича в 40 700 лет теплый интервал продлится в будущем примерно на 7 тыс. лет. Совпадение двух теплых климатических интервалов (ТС в 1850-летнем и ТВ в 40 700-летнем) двух ведущих долгопериодных ритмов должно дать такой эффект, который никакой другой ритм в настоящее время изменить не сможет. У короткопериодных внутривековых (11 – 22 года) и векового (90 – 100 лет) ритмов энергии для этого недостаточно. Они могут вызвать резкие кратковременные похолодания, но не могут изменить устойчивой многолетней тенденции потепления климата, задаваемой долгопериодными ритмами Шнитникова и Миланковича.

Если говорить о перспективах устойчивой многолетней тенденции потепления климата в Якутии, то наш прогноз сводится к тому, что зимы станут короче и теплее, а лето – теплее и влажнее. Тренд таких изменений подтверждается уже сегодня. В частности, в Якутии ярко выражена инверсия зонального повышения зимних температур, имеющих вдвое более высокие показатели, чем в Монголии и Прибайкалье. Начиная с 1970-х годов, зимы в Якутии потеплели на 7° С, в Монголии – на 3° С, в Прибайкалье – на 4° С [3].

Таким образом, исходя из установленных выше закономерностей, можно утверждать, что впереди нас ждёт затяжной относительно теплый и влажный период с господством мягких зим. По ходу реализации ключевых ритмов Шнитникова и Миланковича он растянется на 800 лет и будет чередоваться вековыми волнами потеплений-похолоданий на границах и внутри столетий.

Как же отреагирует мерзлотно-гидрогеологическая обстановка в Якутии на подобные климатические изменения?

Потепление климата на 2 – 3° С, прогнозируемое для Северо-Востока Сибири на конец XXI столетия, не приведет к коренному изменению режима и распространения многолетнемерзлых пород, поскольку их средняя годовая температура останется отрицательной (в настоящее время – –4° С и ниже). Вследствие увеличения количества и объемов гидрогенных и гидрогеогенных таликов (сквозных и несквозных) и улучшения условий питания и разгрузки подземных вод многодебитные источники, питающие крупные и гигантские наледи, будут давать больший транзитный подрусловой и поверхностный сток, что приведет к рассредоточению крупных наледей и формированию новых небольших наледей. Увеличение глубины

летнего протаивания и количества несквозных таликов приведет к возникновению новых наледей грунтовых вод. Таким образом, общий объем, площадь и средние размеры наледей уменьшатся, а их количество увеличится. При дальнейшем усилении процесса потепления зим следует ожидать более глубоких изменений генетических типов наледей и существенного уменьшения их размеров. При этом и пространственное, и высотное соотношение поясов наледей, и нивального пояса в горах также изменится. Повышение высоты снеговой границы, а следовательно, и границы питания ледников и освобождение от ледникового льда и снежников значительных площадей в верховьях долин и на водоразделах приведет к увеличению площади бассейнов поверхностных и подземных вод, что, в свою очередь, приведет к перемещению верхней границы наледного пояса на более высокие этажи гляциосферы. Наледи, имевшие питание за счет талого ледникового стока, деградируют, уменьшив свои размеры, или сохранятся, сменив источник питания на талые снеговые и подземные надмерзлотные воды. В последнем случае может измениться не только морфология, но и пространственное положение наледей в долине.

Определенные сдвиги в процессах наледеобразования отмечаются уже сегодня. Так, на участке разгрузки подземных вод источника Улахан-Тарын (Центральная Якутия) можно наблюдать перестройку зоны разгрузки – ее рассредоточение с образованием новых групп источников. Следствием этого явилось увеличение количества наледей при уменьшении объемов и мощности формирующихся наледных тел.

Вместе с тем короткопериодные (внутривековые) колебания климата практически не будут влиять на морфометрические параметры крупных наледей подземных вод, особенно на их объем. Мелкие же наледи грунтовых и речных вод сильно реагируют даже на изменения отдельных метеорологических элементов, меняя свое положение и размеры, вплоть до полного исчезновения в одни годы и появления в другие.

Более значительные сдвиги в эволюции наледей можно ожидать в зонах прерывистого и островного распространения многолетнемерзлых пород. Поскольку температура пород здесь, как правило, не ниже –3° С , потепление на 2 – 3° С приведет к практически полной их деградации. Следствием этого станет деградация наледей подземных вод и сохранение только небольших наледей грунтовых вод аналогично тому, что мы наблюдаем вне области многолетнемерзлых пород.

Список литературы

1. Шнитников, А. В. Изменчивость общей увлажнённости материков Северного полушария / А. В. Шнитников // Зап. ГО СССР, новая серия. – М. ; Л., 1957. – Т. 16. – 337 с.

2. Максимов, Е. В. Ритмичность природных явлений и ее смысл / Е. В. Максимов // Известия ВГО. – 1977. – Т. 109, № 5. – С. 418–427.

3. Гаврилова, М. К. Изменение современного климата области «вечной мерзлоты» в Азии / М. К. Гаврилова // Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии. – Якутск : Изд-во СО РАН, 2003. – С. 13–18.

ОСОБЕННОСТИ ИЗУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

Федоров А. А., Федоров М. А.
ГУ ГГП РС(Я) «Якутскгеология», г. Якутск, gidrosfera_fedorov@mail.ru

Аннотация. В статье представлены основные результаты геологоразведочных работ ГУ ГГП РС(Я) «Якутскгеология» по подземным минеральным водам в Центральной Якутии.
Ключевые слова: *минеральные воды, Центральная Якутия, подмерзлотные воды, водоносный комплекс, бальнеология.*

Abstract. The main results of geological exploration for mineral groundwater in Central Yakutia are presented in the paper. Examples of mining experience of mineral groundwater are discussed. Recommendations of development of studied fields are formulated.
Key words: *mineral groundwater, Central Yakutia, subpermafrost groundwater, water-bearing complex, balneology*

Начало XXI в. для российской геологии связано с возрождением отрасли после ее упадка в 90-х годах прошлого столетия. В этот период за счет средств бюджета РС(Я) проведен ряд геологоразведочных работ, направленных на изучение минеральных вод Центральной Якутии.

О наличии минеральных вод в Нюрбинском, Хангаласском и Мегино-Кангаласском улусах РС(Я) известно с прошлого века. Но разведочных работ с выходом на оценку запасов подземных вод, детальным изучением их химического состава и бальнеологических свойств на этих месторождениях ранее не проводилось.

Типовой комплекс геологоразведочных работ, необходимый для оценки запасов минеральных подземных вод, включает в себя следующие мероприятия.

1. Бурение гидрогеологических скважин.

2. Опытные откачки продолжительностью не менее 15 суток с целью определения фильтрационных параметров водоносных пород, а также для изучения качества и подтверждения стабильности химического состава подземных вод.

3. Аналитические исследования водных проб, отобранных в ходе откачек, в лабораториях Роспотребнадзора и в других аккредитованных лабораториях, и, что особенно важно, в лабораториях специализированных институтов по курортологии и физиотерапии. Специфика оценочных работ на минеральные подземные воды заключается в необходимости получения бальнеологического заключения и справки о кондициях минеральных вод.

4. В отличие от водозаборов питьевых подземных вод, вокруг которых организуется зона санитарной охраны, около водозаборов минеральных подземных вод должен быть создан округ горно-санитарной охраны, поэтому на стадии оценки запасов требуется подтвердить возможность его организации.

5. Составление геологического отчета с подсчетом запасов подземных вод, который направляется на государственную геологическую экспертизу.

В статье рассматриваются некоторые результаты геологоразведочных работ по изучению минеральных подземных вод Центральной Якутии. В этом регионе обнаружено несколько типов минеральных вод.

Запасы гидросульфидных лечебных минеральных вод в 1990 г. разведаны в районе пос. Бестях в Хангаласском улусе. Скважиной глубиной 400 м с глубины 110 м вскрыт подмерзлотный водоносный комплекс маломинерализованных трещинно-пластовых вод. По химическому составу воды этого комплекса гидрокарбонатно-хлоридные натриевые слабощелочные, с минерализацией в зависимости от глубины опробования от 1,8 до 3,0 г/дм^3. Содержание в подземных водах сероводорода 170 – 210 мг/дм^3. По заключению Всесоюзного

научного центра медицинской реабилитации (г. Москва) вода может использоваться для наружных бальнеопроцедур в виде общих и локальных ванн, орошений, ингаляций при заболеваниях органов движения, центральной и периферической нервной системы, сердечно-сосудистых, гинекологических заболеваниях. Месторождение подготовлено к промышленному освоению. В районе было намечено строительство крупного бальнеологического курорта.

Очень интересные результаты были получены в ходе бурения 900-метровой скважины на Табагинском мысе. По результатам комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемки м-ба 1:200 000, выполненной в 1981 – 1985 гг., В. А. Белых и Е. М. Дмитриев выделили Приленскую зону минеральных вод. Приурочена она к водоносным комплексам мезозойского, палеозойского и протерозойского возраста. Подземные минеральные воды вскрыты под многолетнемерзлыми породами с глубины от 178 м до 938 м. В процессе геологоразведочных работ было опробовано несколько интервалов водоносных горизонтов.

Совместный среднекембрийский и нижнеюрский водоносный комплекс был изучен при проведении оценки запасов месторождения минеральных лечебно-столовых вод «Ленские зори». Месторождение приурочено к верхней части гидрогеологического разреза. Группой скважин вскрыты подмерзлотные воды в интервале 178,0 – 300,0 м. Воды высоконапорные, пьезометрический уровень устанавливается на глубинах 8,86 – 9,23 м от поверхности земли. Во всех скважинах проведены опытные откачки с дебитом 2,94 – 4,41 л/с, при этом наблюдалось понижение уровня от 0,95 до 43,9 м. По химическому составу воды хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 1,4 – 1,6 г/дм^3, очень мягкие высокощелочные с содержанием фтора от 1,9 до 4,56 мг/дм^3, брома – до 4,0 мг/дм^3. По заключению Томского НИИ курортологии и физиотерапии подземные воды из скважин 2 и 3 являются питьевыми лечебно-столовыми и относятся к минеральным гидрокарбонатно-хлоридным натриевым XXIII группы (Обуховский тип), из скважины 1 – к лечебно-столовым хлоридно-гидрокарбонатным натриевым XXI группы (Геленджикский тип).

Водоносный комплекс вендских отложений вскрыт скважиной 32 (пос. Табага), под толщей нижнекембрийских отложений в интервале 603,6 – 750,8 м. Пьезометрический уровень установился на глубине 18,78 м. Дебит скважины при проведении опытной откачки из данного водоносного комплекса составил 3,23 л/с при понижении 53,27 м, удельный дебит – 0,061 л/с·м. По химическому составу воды сульфатные магниево-кальциево-натриевые умеренносолоноватые с минерализацией 4,0 г/дм^3.

Водоносный комплекс архейских образований вскрыт этой же скважиной в интервале 904,5 – 939,7 м. При дебите 2 л/с понижение уровня при откачке составило 109,6 м. Незначительная водопроницаемость пород архея объясняется низкой трещиноватостью пород.

Минеральные воды вендских и архейских пород могут использоваться в бальнеологической практике для наружных процедур в виде ванн при лечении заболеваний сердечно-сосудистой и нервной систем, органов движения и опоры, кожных, гинекологических и некоторых других заболеваниях.

В Мегино-Кангаласском улусе на участке «Ломтука» подмерзлотные воды представлены среднекембрийским водоносным комплексом и вскрыты скважиной на глубине 253,0 м. Водовмещающими являются трещиноватые закарстованные известняки и доломиты. Подмерзлотные воды высоконапорные, их пьезометрический уровень на момент вскрытия установился на глубине 9,5 м. По химическому составу подземные воды гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 0,9 – 1,3 г/дм^3. По заключению Томского НИИ курортологии и физиотерапии вода из скважины может быть отнесена к минеральным лечебно-столовым водам и является разновидностью минеральных вод I группы (Майкопский тип).

Субкриогенный водоносный комплекс карбонатных среднекембрийских отложений имеет региональное распространение. Впервые бальнеологические свойства его воды были изучены в 1958 г., когда в котловине оз. Абалах подмерзлотные воды были вскрыты скважиной 1-А с глубины 260,0 м в трещиноватых закарстованных известняках и доломитах.

По химическому составу эти подземные воды хлоридно-гидрокарбонатные натриевые с минерализацией 1,6 г/дм^3. В соответствии с заключением Томского НИИ курортологии и физиотерапии, они относятся к I группе минеральных вод и сходны с лечебно-столовыми водами Горяче-Ключевского типа с показаниями для внутреннего применения при условии дегазирования (удаление H_2S).

В 2011 г. вблизи оз. Абалах пробурена скважина 1-АН глубиной 260 м, которой вскрыты минеральные воды с глубины 173,3 м. Бальнеологическими исследованиями этой воды Томским НИИ курортологии и физиотерапии, в соответствии с критериями оценки минеральных вод, установленными МУ МЗ РФ №2000/34 «Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации», было установлено, что подземная вода из скважины 1-АН является природной минеральной водой наружного применения, которую условно можно отнести ко 2 группе. Воды данного типа используются наружно (в виде ванн) при лечении болезней системы кровообращения, нервной системы, косно-мышечной, эндокринной и мочеполовой систем, болезнях кожи. В случае дегазирования (удаления сероводорода) данная вода является природной минеральной питьевой лечебно-столовой, которая может быть отнесена к I группе (Майкопский тип). Воды данного типа показаны для внутреннего приема при ряде заболеваний.

В западной части Центральноякутской равнины минеральные подземные воды изучены в бассейне среднего течения р. Вилюя в г. Нюрбе. Гидрогеологической скважиной глубиной 600 м вскрыт подмерзлотный водоносный комплекс в интервале глубин 563 – 600 м, приуроченный к песчано-глинистым отложениям нижней юры. Пьезометрический уровень подземных вод залегает на глубине 132,27 м. Дебит, полученный по результатам опытно-фильтрационных работ, составил 2,1 л/с. Химический состав воды из скважины хлоридный кальциево-натриевый с минерализацией 9,9 г/дм^3. В соответствии с критериями оценки минеральных вод подземная вода из скважины № 2 является природной минеральной питьевой лечебно-столовой водой, которую можно отнести к XXIV группе минеральных вод (Нижне-Сергинский тип).

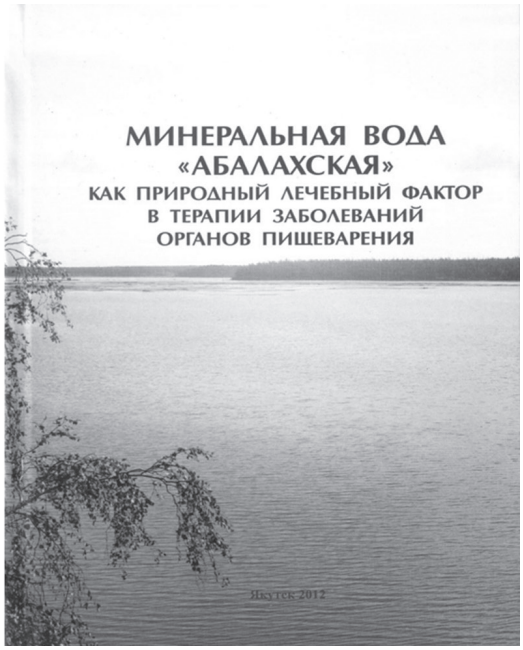
Таким образом, Центральная Якутия обладает значительными запасами подземных минеральных вод, которые могут быть использованы для профилактических и лечебных мероприятий по оздоровлению населения. Однако на практике попытки использования местных минеральных вод особых успехов не принесли. Так, например, наибольший опыт по использованию минеральных вод имеется у ГУБ РС(Я) «Абалахский республиканский центр восстановительной медицины и реабилитации». Однако при этом на месторождении никогда не было полноценной действующей эксплуатационной скважины. До 2011 г., судя по всему, опробование подземных вод для лечебного исследования осуществлялось из пробуренной в 60-х годах неисправной скважины, действующей на неоцененных запасах. Такая эксплуатация не может гарантировать соответствующее качество минеральных вод.

Попытка пользования минеральных вод из скважины в профилактории «Ленские зори» также не увенчалась успехом. Эти воды разливались и поставлялись в торговые организации г. Якутска. Однако, несмотря на достаточно низкую цену и доказанную бальнеологическую значимость минеральных вод, объемы реализации были низкими и розлив был прекращен.

Аналогичная ситуация сложилась и с «Нюрбинской» минеральной водой. При финансовой поддержке ОАО «Алроса-Нюрба» добычу минеральной воды осуществлял ОАО «Нюрбинский пищекомбинат» (рисунок).

Бутилированная минеральная вода распространялась по торговым организациям РС(Я), но и эта вода на рынке не удержалась, а пищекомбинат обанкротился.

Добыча минеральных вод в Центральной Якутии имеет значительные перспективы. Использование минеральных вод необходимо для оздоровления населения и дальнейшего развития системы местных производителей.



Минеральная вода «Нюрбинская» (Центральная Якутия)

Не очень удачные попытки использования минеральных вод Центральной Якутии показали, что для освоения разведанных их месторождений требуется грамотная маркетинговая политика производителя и целенаправленная поддержка со стороны Правительства РС(Я).

СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗУЧЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)

Шепелев В. В., Павлова Н. А., Иванова Л. Д.
Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, pavlova@mpi.ysn.ru

Аннотация. В статье рассматривается ресурсный потенциал подземных вод Якутии. Приводится характеристика химического состава подземных вод. Выделены районы, которые являются перспективными в отношении удовлетворения текущих и перспективных потребностей населения республики качественными запасами подземных вод.

Ключевые слова: *ресурсы подземных вод, подмерзлотные воды, промышленные воды, гидроминеральные ресурсы.*

Abstract. This paper discusses the groundwater resource potential in Yakutia. The chemistry of groundwater is characterized. Regions are identified which show promise to meet current and projected demands for high-quality groundwater resources.

Key words: *groundwater resources, subpermafrost water, industrial water use, mineral water resources.*

Подземные воды в Якутии по минерализации, газовому и химическому составу, их температуре весьма разнообразны. Связано это с особыми мерзлотными условиями, которые обусловливают специфичность формирования и режима подземных вод, а также различную глубину их залегания. Разные условия распространения и мощность многолетнемерзлых пород определяют сложность разведки и оценки запасов подземных вод и трудность их эксплуатации.

Пресные подземные воды распространены во многих гидрогеологических структурах Якутии и представлены подмерзлотными, межмерзлотными и надмерзлотными водоносными горизонтами и комплексами. Пресные подмерзлотные воды обладают исключительной стерильностью, богатым микрокомпонентным составом, отличаются значительными запасами. Наилучшим природным качеством, практически не требующим водоподготовки, отличаются пресные подземные воды в Южной Якутии. Именно по этой причине подмерзлотные воды в кристаллических и метаморфических породах архея и протерозоя широко используются в данном регионе. В Алданском и Нерюнгринском районах все водоснабжение базируется на использовании подземных вод. В центральных районах Якутии перспективными для водоснабжения являются межмерзлотные воды субаэральных таликов средневысотных надпойменных террас рек Лены и Вилюя. Источники межмерзлотных вод разведаны на правобережной бестяхской террасе р. Лены в Центральной Якутии [1]. Водоносные горизонты приурочены здесь к контакту четвертичных песчаных отложений и кембрийских известняков или юрских песчаников. Ресурсы пресных подземных вод межмерзлотных субаэральных таликов оцениваются более чем в 43 тыс. $м^3$/сут, что полностью может покрыть потребности населения Мегино-Кангаласского и Хангаласского районов республики в питьевой воде. В настоящее время доля использования межмерзлотных вод составляет лишь 0,2%.

На остальной территории Якутии для приведения качества подземных вод до регламентируемого нормативными документами уровня требуется предварительная очистка. При этом часто возникают ограничения для использования подземных вод в питьевых целях из-за незначительного превышения содержания одного-двух компонентов, что по существующим нормативным требованиям автоматически приводит к переводу подземных вод, в целом хорошего качества, в категорию технических. Наглядным примером могут быть бактериологически стерильные и защищенные от техногенных загрязнений подмерзлотные воды Якутского артезианского бассейна. В природном состоянии они содержат относительно повышенные концентрации лития и фтора [2]. Приведение содержаний этих компонентов до требуемых норм возможно только при использовании обратноосмотических систем очистки, которые задерживают 97 – 99% всех растворенных веществ. Такая деминерализованная вода может стать более опасной для здоровья, нежели в естественном состоянии. Не стоит забывать и о технологических потерях при водоподготовке, достигающих 50 – 90% пропускаемой через мембраны воды.

Среди пресных надмерзлотных вод практический интерес представляют грунтовые воды, формируемые в подрусловых таликовых зонах. Во многих улусах республики эти воды обладают значительными ресурсами и могут служить основой для организации централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. В настоящее время подрусловые надмерзлотные воды эксплуатируются в городах и поселках республики (Даркылахский водозабор в г. Якутске, Кангаласский групповой водозабор, а также одиночные водозаборные скважины в Намском улусе и в г. Вилюйске). Однако неглубокое залегание этих вод от дневной поверхности и тесная их связь с поверхностными водами способствуют тому, что они теряют те основные преимущества, которые присущи, например, подмерзлотным водам, а русловые процессы (размыв и аккумуляция аллювия), происходящие при переносе песчаных отложений крупными водными потоками, требуют основательного изучения и обязательного учета морфологии и динамики развития речных русел.

В Якутии достаточно широкое распространение имеют промышленные подземные воды [3]. Особенно перспективными в этом отношении являются районы Западной Якутии, где развиты хлоридные натриевые и кальциевые подземные рассолы. Они содержат в своем составе значительные концентрации таких элементов, как бром, йод, калий и другие. Следовательно, эти подземные рассолы могут служить сырьевой базой для перерабатывающих заводов по получению промышленно ценных компонентов и их соединений. Пока же в республике существует лишь один небольшой перерабатывающий завод, использующий подземные воды Кемпендяйских источников для получения пищевой и технической соли.

На территории Якутии известно около 200 проявлений минеральных вод. Наиболее изучены минеральные воды, приуроченные к подмерзлотным водоносным горизонтам. Большую ценность представляют углекислые минеральные воды, разведанные в юго-восточном Верхоянье, в бассейнах р. Дыбы (Менкечинские) и р. Тыры (Нежданинские), а также вблизи пос. Кулар. В бассейне р. Дыбы на глубине 134 м обнаружены редкие по составу железистые гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды с минерализацией 3,4 г/л [5]. Они представляют собой аналог известного курорта Кука. Нежданинские подмерзлотные воды являются уникальными для Якутии и относятся к боржомскому типу содовых углекислых вод, лечебные свойства которых общеизвестны.

В Западной Якутии широкое распространение имеют холодные хлоридные натриевые бромные минеральные подземные воды, обогащенные в Ленском и Мирнинском районах еще и сульфидами. Эти воды можно вскрыть здесь практически всюду на глубине 300 – 400 м [6]. Известны и естественные выходы этих вод на поверхность в бассейнах рек Кемпендяй, Бага, Намана и др. Рассолы используются для бальнеологических процедур в Кемпендяйской грязелечебнице, а также проводят их технологическую подготовку до уровня искусственных минеральных вод. В Нюрбинском районе разведано месторождение подземных вод, близких по составу к водам источника «Трускавец 2».

В центральных районах Якутии распространены весьма ценные для лечебного применения сульфидные подземные воды. Слабосульфидные подмерзлотные воды Горного района являются разновидностью минеральных лечебно-столовых вод Каспийского типа. На правобережье р. Лены вскрыты крепкие сульфидные воды, фонтанирующие из скважин. Эти воды являются аналогами известных в бальнеологической практике подземных минеральных вод, использующихся на курортах Пятигорска, Мацесты, Усть-Качки [7].

Вблизи г. Якутска разведано месторождение «Ленские зори», подмерзлотные маломинерализованные гидрокарбонатно-хлоридные натриевые воды которого относятся к Обуховскому типу [5]. В районах Центральной Якутии широко распространены подмерзлотные маломинерализованные гидрокарбонатно-натриевые воды, близкие к Майкопкому типу.

На территории Южной Якутии известны месторождения радоновых минеральных подземных вод, содержание радиоактивного элемента в них составляет 500 эман [8]. По действующим нормам подземные воды относятся к лечебным минеральным при содержании радона не менее 50 эман. Особое место занимают зоны глубоких тектонических нарушений глубокого заложения, выводящие на поверхность теплые и горячие воды в долинах рек Горбылях, Малый Нахот, Олекма, Тунгурча и др. [6]. Так, температура Олекминских азотных кремнистых терм в естественных выходах достигает зимой 50 – 52º С. Эти горячие воды подобны Больше-Банным источникам на Камчатке и Горячинскому источнику в Саяно-Байкальской области. На Мало-Нахотском участке термальные воды обогащены кремнекислотой.

Несмотря на разнообразие состава и большие запасы минеральных лечебных подземных вод в Якутии, подавляющее число их месторождений остается неосвоенными. Некогда проводившийся розлив лечебных и лечебно-столовых вод прекратился в связи с экономической нерентабельностью (удаленность от крупных населенных пунктов). В настоящее время на прилавках магазинов республики можно увидеть лишь одну-две марки минеральных подземных вод, добытых в Якутии. В то же время спрос на санаторно-курортное лечение очень высок и далеко не удовлетворяется приобретением путевок в центральные и южные курорты страны. Кроме того, установлено, что отдых и лечение в местных здравницах и санаториях наиболее эффективны, поскольку в этом случае не нарушаются биологические ритмы в организме человека и не происходят психологические перегрузки, связанные с трудностями дальних поездок на курорты.

Кроме подземных вод, на территории республики имеются минеральные озера, которые могут рассматриваться как потенциальные источники лечебных минеральных вод и грязей. Наиболее широко известно оз. Абалах в Центральной Якутии. Озеро является уникальным

гидроминеральным объектом, обладающим редкостной по генезису и комплексу природно-ресурсной базой [9]. Наибольшую известность оно получило благодаря своим иловым минеральным грязям, которые успешно применяются с 1935 г. для лечения и профилактики заболеваний органов движения и опорно-двигательного аппарата, позвоночника, нервной системы, мочеполовых органов и др. Термокарстовое происхождение данного озера, своеобразная мерзлотно-гидрогеологическая обстановка, резко континентальный засушливый климат и активно протекающие криогенные процессы (солифлюкция, термоабразия, криометаморфизм и др.) обусловили специфику формирования и своеобразный химический состав не только илистых донных отложений озера, но и его рапы и подземных меж- и подмерзлотных вод. Подмерзлотные гидрокарбонатно-натриевые маломинерализованные слабощелочные воды оз. Абалах относятся к минеральным лечебным водам Горяче-Ключевского типа. Не менее ценным гидроминеральным ресурсом оз. Абалах является его рапа (насыщенный соляной раствор воды озера). К сожалению, в настоящее время абалахская рапа используется недостаточно из-за значительной удаленности грязелечебницы от озера. Кроме того, не оценены особенности изменения её состава и минерализации в годовом и многолетнем циклах. Слабо исследованы основные особенности применения рапы оз. Абалах в лечебных и восстановительных целях.

Помимо оз. Абалах, известны своими лечебными качествами озера Мохсоголлох, Малый и Большой Рассол, Тус-Кюель в Сунтарском районе. На территории республики имеются содовые озера, вода которых также может использоваться для наружного применения. Однако наряду с достаточно большим количеством выявленных разнообразных по химическому составу воды озер и подозерных таликов, изучению условий их формирования, распространения и режима в республике уделяется чрезвычайно мало внимания.

В последний год после вступления в силу федерального закона 223-ФЗ (закон о госзакупках) возникла еще одна проблема при изучении подземных вод. В конкурсах на выполнение геологоразведочных работ по разведке месторождений подземных вод и подсчету их запасов участвуют и выигрывают предприятия, сотрудники которых не знакомы с природно-климатическими и мерзлотно-гидрогеологическими условиями территории. В результате этого на гидрогеологическую госэкспертизу представляются проекты и отчеты очень низкого качества, авторы которых не имеют представления об особенностях гидрогеологии криолитозоны.

Подземные воды Якутии являются ценнейшим богатством республики. В связи с этим следует считать весьма перспективным постановку исследовательских и поисково-разведочных работ по более широкому использованию пресных подземных вод для питьевого и сельскохозяйственного водоснабжения, а также изучению минеральных, термальных и промышленных подземных вод для развития курортного дела, нетрадиционной энергетики и гидроминеральной добывающей отрасли. Нам представляется, что это положение должно быть отражено в решении XXI Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока.

Список литературы

1. Мониторинг подземных вод криолитозоны / В. В. Шепелев [и др.] ; [отв. ред. В. Т. Балобаев, В. В. Шепелев]; – Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. – 172 с.

2. Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования / В.Т. Балобаев [и др.] ; [отв. ред. Н.П. Анисимова]; – Новосибирск : Филиал «ГЕО» ИСО РАН, 2003. – С. 174.

3. Шепелев, В. В. Родниковые воды Якутии / В. В. Шепелев. – Якутск : Якут. кн. изд-во, 1987. – 127 с.

4. Шепелев, В. В. Подземные воды – богатство Якутии / В. В. Шепелев // Наука и техника в Якутии. – 2006. – № 2 (11). – С. 13–18.

5. Скутин, В. И. Минеральные воды Якутии и перспективы их использования в лечебно-оздоровительных целях / В. И. Скутин, Д. Г. Тихонов // Актуальные проблемы курортологии. Профилактика,

реабилитация и восстановительное лечение на Крайнем Севере : мат-лы конф. – Якутск, 2005. – С. 102–106.

6. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири / В. В. Шепелев [и др.] ; отв. ред. П. И. Мельников. – Новосибирск : Наука, 1984. – 192 с.

7. Павлова, Н. А. Перспективы использования минеральных вод Мегино-Кангалассского улуса / Н. А. Павлова, Л. Д. Иванова, Н. М. Никитина // Актуальные вопросы курортологии и физиотерапии в условиях Севера : мат-лы научно-практической конференции. – Якутск : Изд-во СВФУ, 2010. – С. 27–30.

8. Черепанова, А. П. Мерзлотно-гидрогеологические условия формирования и перспективы использования минеральных лечебных подземных вод якутской части сибирской платформы: автореф. … канд. геол.-мин. наук / А. П. Черепанова. – Якутск, 2009. – 24 с.

9. Шепелев, В. В. О перспективах и проблемах использования природных ресурсов озера Абалах / В. В. Шепелев // Наука и техника в Якутии. – 2010. – № 2 (19). – С. 42–46.

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ В УСЛОВИЯХ ДЕГРАДАЦИИ КРИОЛИТОЗОНЫ (НА ПРИМЕРЕ Г. ЧИТЫ)

Шестернев Д. М., Васютич Л. А
Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, shesdm@mail.ru; lyudmila-vasyuti@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности формирования химического состава подземных вод на территории г. Читы, расположенной в зоне интенсивной деградации криолитозоны. Установлены изменения химического состава подземных вод на урбанизированной территории и за ее пределами в условиях глобального изменения климата и технической нагрузки. Выделено три этапа изменения химического состава подземных вод с учетом трансформации геокриологической среды в постгеокриогелогическую, изменения плотности урбанизации и развития промышленного производства.

Ключевые слова: *криолитозона, деградация, химический состав, подземные воды.*

Abstract. This paper discusses the chemistry of groundwater in the urban area of Chita located in the zone of intensive permafrost degradation. The effects of global climate change and human activities on the chemical composition of groundwater in the urban and adjacent areas are examined. Three stages in the groundwater chemistry modification have been identified in relation to (1) the transformation of the cryogenic environment to post-cryogenic, and (2) the dynamics of population and industrial development in the urban area.

Key words: *permafrost, degradation, chemical composition, groundwater.*

Введение. В 80 – 90 годах прошлого столетия на территории г. Читы службой ОАО «Читагеомониторинг» было установлено существенное изменение химического состава питьевых вод по ряду компонентов, нормативные значения которых предусмотрены в СанПиН 2.1.4.1074-01. В водоносном горизонте средне-верхнеплейстоценовых аллювиальных и озерно-аллювиальных отложений высоких аккумулятивных левобережных террас р. Читинки, защищенного мощной зоной аэрации (30 – 40 м), качество воды соответствовало нормативным требованиям. На участках, где водоносный горизонт средне-верхнеплейстоценовых отложений имеет маломощную зону аэрации, качество подземных вод существенно ухудшилось и к концу 90-х годов прошлого столетия уровень загрязнения достиг максимума. Главным показателем загрязнения явилась концентрация нитратов (1,33 – 2,2 ПДК). Вместе с этим почти удвоилось содержание сульфатов, хлоридов и значение жесткости. Кроме нитратов фиксировался устойчивый рост pH (с 6 до 8,1), т.е. кислая среда сменилась на щелочную. С 1960 по 1990 гг. прошлого столетия ухудшение качества подземных вод наблюдалось и для водоносного комплекса нижнемеловых отложений, подземные воды которого используются для питьевых целей в г. Читы.

Ухудшение качества питьевых подземных вод долго связывалось преимущественно с влиянием на их состав технического загрязнения поверхностных вод, а также устаревшими конструкциями и материалами водозаборных скважин. Чтобы снизить воздействие этих причин, предполагалось увеличить глубину водозаборов до 250 – 300 м и провести их реконструкцию. Однако уже в то время нами высказывалось мнение о том, что основной причиной ухудшения качества подземных вод является не столько устаревшие конструкции скважин, сколько деградация криолитозоны, перекрывавшая ранее доступ загрязняющих веществ в подземные воды. Площадь распространения многолетнемерзлых пород к 2008 – 2010 гг. сократилась с 70 – 75% (начало 60-х годов прошлого века) до 15 – 20% в настоящее время. Причем на оставшихся территориях глубина залегания кровли криолитозоны значительно ниже глубины сезонного промерзания горных пород.

Таким образом, основной целью статьи является анализ причин изменения химического состава подземных вод урбанизированной территории г. Читы на фоне деградации криолитозоны с середины XX по начало XXI столетия.

Авторы доклада высказывают свою признательность коллективу ОАО «Читагеомониторинг» (руководитель В. И. Цыганко), а также сотрудникам кафедры гидрогеологии и инженерной геологии ЧитГУ (заведующий кафедрой А. Г. Верхотуров), совместно с которыми получены материалы, ставшие основой данной статьи.

Методика исследований. Для выявления причин изменений химического состава подземных вод нами были собраны два массива данных мониторинговых исследований гидрохимического состава подземных вод с 70 – 80-х годов прошлого столетия (начало снижения качества подземных вод) по настоящее время. В первом массиве данных были проанализированы результаты изменения химического состава подземных вод, залегающих на периферии урбанизированной территории, во втором – материалы наблюдений, проведенных непосредственно на этой территории города. Параллельно была проведена работа по изучению влияния естественного хода изменения климата и технической нагрузки на трансформацию геокриологической среды. Для реализации этой задачи было выполнено ландшафтно-ботаническое микрорайонирование территории исследований, проанализированы изменения основных климатических параметров, изучены физико-механические и теплофизические свойства грунтов, а также глубина залегания и химический состав надмерзлотных и подмерзлотных вод.

Полученные массивы количественной информации обрабатывались с использованием современных аналитических программ, позволяющих визуализировать результаты исследований, создавая графические модели.

Результаты исследований и их анализ. Результаты исследований динамики изменения геокриологических условий территории исследований показали, что в течение 50 – 60 лет они были подвержены существенным изменениям. Причем на урбанизированной территории необходимо рассматривать две основные причины этого процесса. К первой следует отнести изменение климатических параметров, сильно влияющих на формирование геокриологических условий и мощность снежного покрова. Установлено, что средняя годовая температура воздуха повысились с –3,0 до –0,8° С, а средняя зимняя мощность снежного покрова увеличилась с 5,0 до 15 см.

Геокриологическая среда представляет собой объем криолитозоны, находящийся во взаимодействии с технической средой. В результате трансформации криолитозоны в постгеокриологическую среду установлено формирование инфильтрационных и фильтрационных путей транспортировки тепла и массы. При этом в первом случае возможно формирование гидравлической связи вышележащих горизонтов подземных вод с нижезалегающими водоносными горизонтами и их смешивание, а во втором случае подземные воды могут перемещаться в субгоризонтальном направлении к местам разгрузки в постоянно или временно действующие водотоки, или во внутренние водоемы. В том и в другом случаях подземные поды испытывают не только химическое, но и тепловое загрязнение.

В ходе комплексных мониторинговых исследований установлено, что для *водоносного комплекса нижнемеловых отложений*, на фоне снижения уровня подземных вод, с 1998 г. гидрохимический режим характеризуется преимущественно увеличением концентраций основных солеобразующих макрокомпонентов и, в конечном итоге, ростом минерализации. Так, в бассейне р. Ингоды на Сибирском участке Читинского месторождения подземных вод (междуречье р. Ингоды и оз. Кенон), где происходит разгрузка вод глубоких горизонтов водоносного комплекса нижнемеловых отложений, наблюдается устойчивый рост содержания гидрокарбонат-иона, кальция и магния и, как следствие, рост сухого остатка (скв. 20). В многолетнем плане в условиях слабонарушенного режима имеет место увеличение суммы солей с 190 мг/дм^3 в 1982 г. до 370 мг/дм^3 в 2010 г., что связано с изменением химического состава озерной воды под влиянием Читинской ТЭЦ-1. В другом случае в центральной части межгорной впадины (скв. 459), прослеживается тенденция медленного снижения минерализации с 450 мг/дм^3 в 1994 г. до 350 мг/дм^3 в 2010 г. (рис. 1).

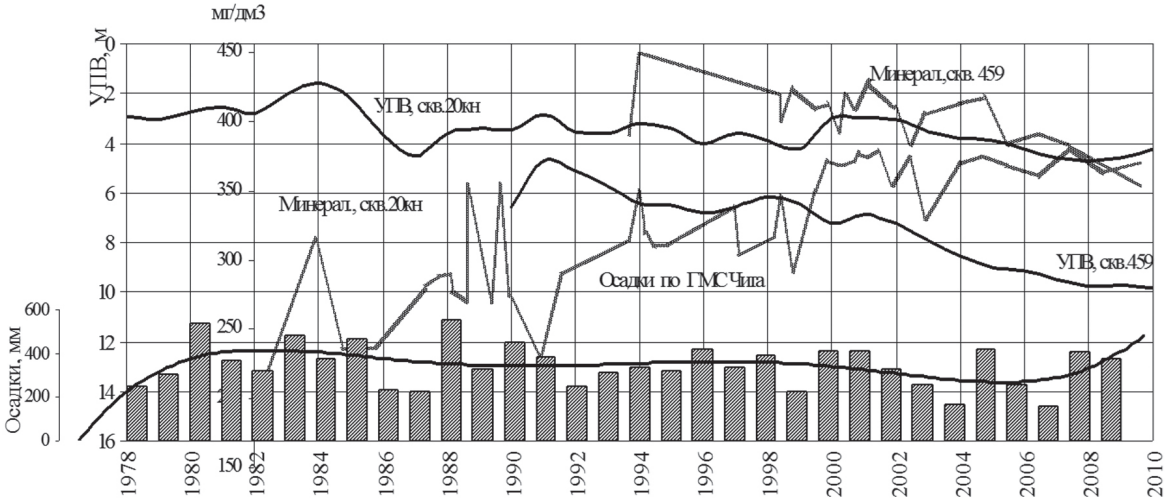


Рис. 1. Изменение среднего годового уровня и минерализации подземных вод в скважинах 20кн и 459 в ненарушенных условиях

В подземных водах, режим которых не нарушен или слабо нарушен из элементов, регулярно или периодически превышающих ПДК, присутствуют ионы железа и марганца до 4,5 – 33 ПДК. Эпизодически в воде появляются в незначительных количествах нитраты. Изменение водности лет заметно отражается на гидрохимическом режиме трещинных вод у северо-западного борта Читино-Ингодинской впадины, где в 2003 – 2009 гг. наблюдался рост суммы солей при снижении среднего годового уровня в 2002 – 2008 гг. с 4,73 м до 7,94 м. С 2009 г. уровень подземных вод начал повышаться и в 2010 г. концентрация всех макрокомпонентов (за исключением сульфат-иона) резко понизилась.

Гидрохимический режим на водозаборах в пределах урбанизированных территорий в 2010 г. наблюдался по эксплуатационным скважинам (основной объем информации) и по части скважин специализированной наблюдательной сети. Проблемы качества воды на водозаборах связаны с подтягиванием некондиционных вод при интенсивной эксплуатации, а также с их загрязнением из различных техногенных источников. Практически на 8 водозаборных скважинах из 9 качество подземных вод постепенно по мере деградации криолитозоны ухудшалось и достигло максимума в 90-е годы прошлого столетия. По-видимому, это связано с увеличением площади гидравлической связи поверхностных и подземных вод, что постепенно увеличивало поступление в нижележащие горизонты загрязняющих веществ, накопленных в ранее существовавшем горизонте надмерзлотных вод. К началу XXI столетия этот процесс

стал менее активным, поскольку количество накопленных вредных веществ сократилось, а новые стали поступать менее активно, что обусловлено стагнацией промышленного производства на урбанизированной территории.

Гидрогеохимическое состояние подземных вод на водозаборах характеризуется на примере Угданского, который введён в эксплуатацию в 1963 г. За пятьдесят прошедших лет эксплуатации первоначальное качество воды продолжает сохраняться лишь в одной из шести скважин – самой северной. В южной части водозаборной площади (скв. 4026, 4030) происходит интенсивное подтягивание некондиционных вод, что привело к увеличению концентрации натрий-иона до 360 мг/л (первоначально 120 – 160 мг/л), сухого остатка до 1,4 г/л (первоначально 0,45 – 0,5 г/л), фиксируется постоянный рост сульфатов, содержание которых в 2010 г. составило 283 мг/л (первоначально4 – 8 мг/л) (рис. 2).

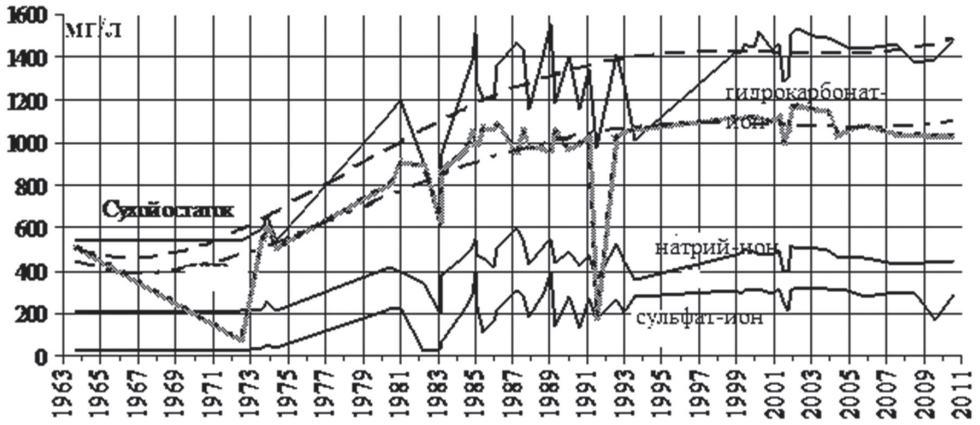


Рис. 2. Изменение концентрации некоторых компонентов в подземных водах (южная часть Угданского водозабора, скв. 4026)

Химический состав подземных вод Прибрежного водозабора, достигший максимума загрязнения в 90-е годы прошлого столетия, остается и в настоящее время практически постоянным. Это связано с инфильтрацией техногенных в вод из гидрозолоотвалов ТЭЦ-1 через посткриогенный слой грунтов деградировавшей криолитозоны, ранее использующейся как противофильтрационный экран. Аналогичная ситуация характерна и для внутренних водоемов. Например, в настоящее время вода оз. Кенон, которая используется для смыва золы со скрубберов ТЭЦ-1 и ее транспортировки, по химическому составу сульфатно-гидрокарбонатная кальциево-магниевая, с минерализацией до 0,49 г/дм^3, жесткостью до 5,9 мг-экв/дм^3, концентрацией сульфат-иона до 198 мг/дм^3 (по результатам опробования в 2010 г.). При сравнении результатов анализов воды из этих двух водоемов (золоотвала и озера), видно, что в процессе транспортировки золы происходит рост минерализации, жесткости, содержания макро- и микрокомпонентов более чем в два раза, а частичный возврат осветленной воды в озеро ведет к изменению химического состава воды в последнем. Первоначальный состав воды в оз. Кенон был гидрокарбонатный кальциевый с минерализацией 0,25 г/дм^3, общей жесткостью до 3 мг-экв/дм^3, содержанием сульфат-иона до 80 мг/дм^3.

Технологическая вода, фильтруясь по ослабленным тектоническим зонам и хорошо проницаемым слоям песчаников, загрязняет подземные воды нижнемелового водоносного комплекса и современного четвертичного водоносного горизонта аллювиальных и озерных отложений, а через них – поверхностные воды р. Кадалинки и оз. Кенон. Ореол загрязнения подземных вод сульфатами (более 500 мг/дм^3) вокруг золоотвала вытянут по потоку подземных вод в сторону долины р. Кадалинки, и оз. Кенон, а его площадь в 2010 г составила 12,5 км^2.

Выводы. В изменении химического состава подземных вод территории г. Читы можно выделить три временных этапа:

1-й этап (с начала индустриализации урбанизированной территории до 60-х годов прошлого столетия), когда происходило постепенное загрязнение надмерзлотных вод и грунтов их вмещающих, до глубины 3 – 5 м;

2-й этап (с 60-х годов прошлого столетия до начала XXI столетия) соответствующий периоду существенного изменения климата в Забайкалье, сопровождающегося переходом прерывистого типа криолитозоны в редко-островной тип. В этот отрезок времени качество подземных вод постепенно снижалось, достигнув максимальных значений в 90-е годы;

3-й этап (с начала XXI столетия по настоящее время) – характеризуется постепенным улучшением качества подземных вод, горизонты загрязненных подземных вод постепенно срабатываются, а вновь поступающие воды из областей питания содержат значительно меньшее количество загрязняющих веществ.

Результаты исследований, представленные выше, позволяют предположить, что в течение одного-двух десятилетий качество подземных вод на урбанизированной территории г. Читы в значительной мере улучшится и будет соответствовать существующим нормам СанПиН 2.1.4.2580-10.

CHANGES IN PERMAFROST HYDROGEOLOGY IN THE HEADWATERS AREA OF THE YELLOW RIVER (HAYR), NORTHEASTERN QINGHAI-TIBET PLATEAU, CHINA

Huijun Jin, Dongliang Luo, Shaoling Wang
State Key Laboratory of Frozen Soils Engineering (SKLFSE), Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute (CAREERI), Chinese Academy of Sciences (CAS), Lanzhou, 730000 China; hjjin@lzb.ac.cn

Аннотация. В течение последних десятилетий многолетнемерзлые породы интенсивно деградируют в верховьях р. Хуанхэ, в переходной зоне между мерзлотой и зоной сезонного промерзания на северо-восточной границе Тибетского плато (Китай). Более глубокий сезонноталый слой и отепленные маломощные почвы с улучшенной проницаемостью привели к существенному понижению уровню надмерзлотных вод в регионе, вследствие чего значительно сократилась влажность почвы, поменялись водный баланс и гидрогеологическая среда. Межмерзлотные воды формируются в очень теплой (> –0,5° С) мерзлоте и могут влиять на наблюдаемые изменения в речном стоке и уровнях озер. Тем не менее, остается значительная неопределенность и необходимы последующие исследования.

Ключевые слова: *верховья р. Хуанхэ, гидрогеология, уровень подземных вод, проницаемость теплой мерзлоты, водный баланс.*

Abstract. Permafrost has been degrading extensively in the headwaters area of the Yellow River (HAYR) in a transition zone from permafrost to seasonally frozen ground on northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, China during last decades. Deepening active layer and warming shallow soils with improved permeability have extensively lowered regional supra-permafrost water table, remarkably reduced the soil moisture for ecology and altered the water balance and hydrogeological environment. The endo-permafrost water formed in very warm (> −0.5° C) permafrost, and could have contributed to the observed changes in river flows and lake levels. However, uncertainty remains large and further investigations deem necessary.

Key words*: Headwater area of the Yellow River (HAYR), hydrogeology, groundwater table, permeability of warm permafrost; water balance.*

Introduction. As one of the major water resources formation and modulation regions in the North and Northwest China, the headwaters area of the Yellow River (HAYR) is in a transition zone from permafrost to seasonally frozen ground on the northeastern margin of the Qinghai-Tibet Plateau, China (fig. 1) [7]. Extensive and persistent presence of lakes and wetlands and permafrost

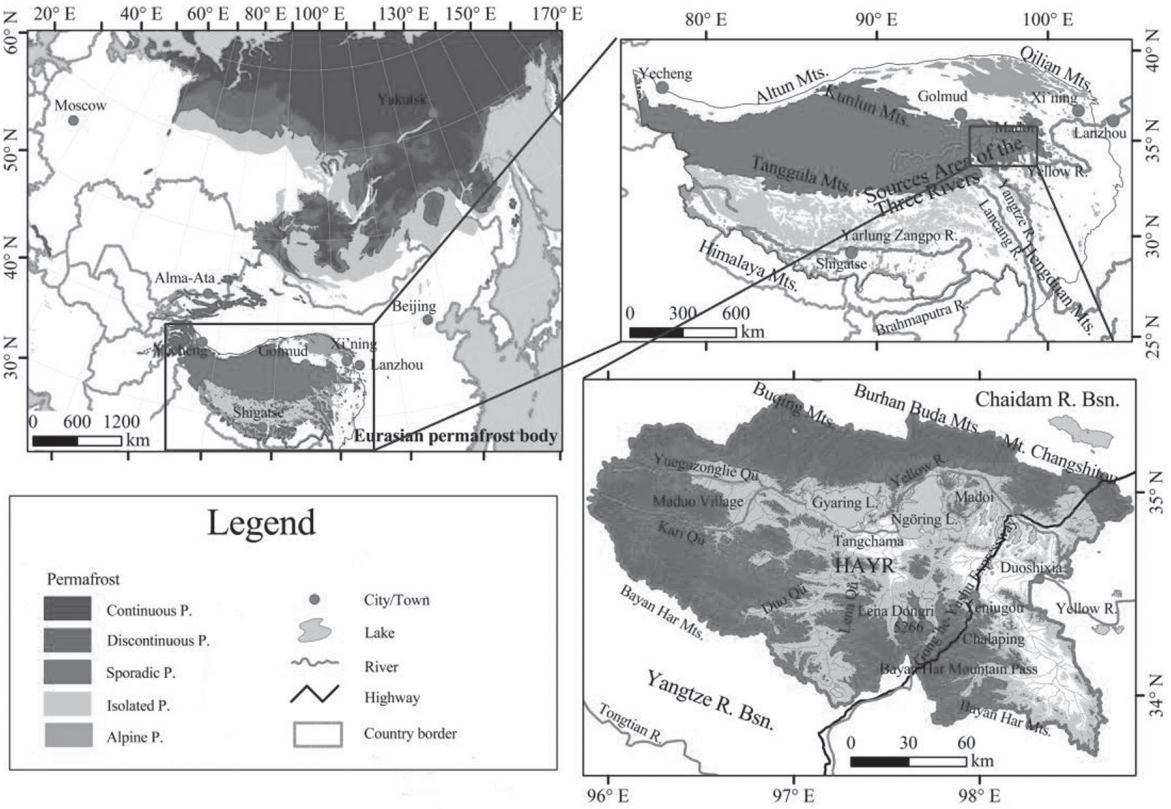


Fig. 1. Permafrost in and location of the Headwaters Area of the Yellow River on northeastern Qinghai-Tibet Plateau

have greatly shaped groundwater dynamics, structures and aquifer systems. Groundwater depends on spatiotemporal variations in ground temperatures [2, 3, 5, 17]. As a regional aquitard, permafrost substantially prevents or reduces the hydraulic connections of groundwater and surface waters, and controls the formation, movement and distribution of groundwater and hydrological cycling in the HAYR.

Above 4,500 m asl in the HAYR, permafrost is continuous, groundwater is mainly present in the forms of the supra- and sub-permafrost waters; at 4,250-4,500 m asl, sporadic and patchy permafrost and river and lake taliks are mosaicked, and groundwater types are complex; below, seasonally frozen ground widely occur and phreatic pore water in Quaternary sediments and weathered/fractured rocks dominates.

Observed Changes in Hydrogeology in the HAYR. During last few decades, permafrost has degraded extensively in the HAYR [7, 14, 17]. This has altered the hydrogeological conditions and aquifer structures, and directly disturbed the storage and balance of groundwater and surface waters. As a result, water resources in the HAYR has declined affecting the groundwater at shallow depths and surface waters, and many eco-environmental issues arise [4, 6, 12, 19]. Impacts of permafrost degradation on the groundwater in the HAYR mainly include the following aspects:

Facilitating the conversion of groundwater types. As a regional aquitard, permafrost limits hydraulic connections and flow pathways at varied spatiotemporal scales. Distributive and structural features of permafrost are critical for understanding cold regions groundwater, which is generally divided into three types and six subtypes (fig. 2) [2].

Notes: A. Suprapermafrost water; B. Intrapermafrost water, which can be further divided into three subtypes on the basis of its relationship to permafrost layers: Intrapermafrost water (B1) is completely surrounded by permafrost at all directions; Intrapermafrost water (B_2) is surround by

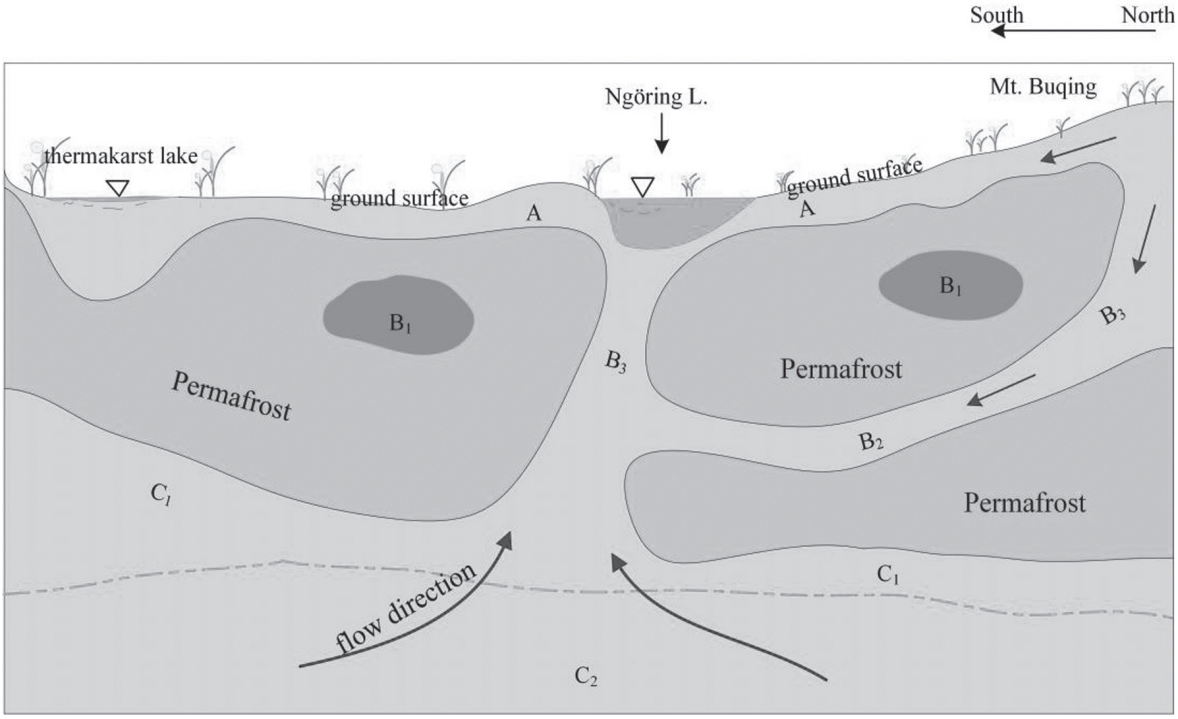


Fig. 2. Schematic diagram for groundwater types in the HAYR

permafrost from above and under, and Talik channel water (B_3) is surrounded by permafrost at all directions except from above and under; C. Subpermafrost water, which can be further divided into two subtypes on the basis of the conact situation of aquifer and the permafrost base: Subpermafrost water directly in contact with the base of permafrost (C_1) and Subpermafrost water indirectly in contact with the base of permafrost (C_2).

During last few decades, permafrost has extensively degraded from continuous to discontinuous, or even to sporadic or patchy permafrost zones in southeastern parts, in the HAYR. As a result, groundwater types and hydrogeological structures have changed. The permafrost table has lowered by 20-80 cm, resulting in a lowered suprapermafrost table and thickened vadose zone for larger water storage. In patchy permafrost zone, talik has expanded, and the supra-, intra- and sub-permafrost waters have been connected, and they are converted either to phreatic water in taliks or recharge deep groundwater. Upon thawing of thin permafrost, original aquifer systems and storage become simpler: only pore and crevice waters present at the shallower depths, and artesian water at larger depths.

Changing permeability of warming frozen ground. As an aquitard, permafrost has a low permeability at low temperatures due to ice saturation in soil voids. However, with rising soil temperatures, and in thawing permafrost soils near the permafrost table in particular, unfrozen water content increases rapidly with soil temperatures approaching −0.3 ~ 0° C. At these temperatures, coarse-grained soils show permeability, and soils become weakly pervious [13]. In the 1980s-1990s, at the Huashixia and Madoi towns on northeastern Qinghai-Tibet Plateau, most water wells utilized the endo-permafrost water in frozen sands and gravels with high temperatures, which has been thawing or warming rapidly [13]. During the last decade, the two towns have been found in urban taliks, and the endo-permafrost water has been converted to phreatic pore water in taliks.

In the HAYR, the maximum depth of frost penetration has shrunk at a decadal rate of about 2~3 cm during 1961-2010 as a result of ground surface warming of 0.33° C per decade. In particular, since the 1980s, the frost penetration depth has reduced by 12 cm, and soils at shallow depths (0-5 m) has warmed by 0.5~0.7° C [9]. This has resulted in extensively rising permafrost temperatures, lowering permafrost and groundwater tables, and improving soil permeability.

Extensively lowering groundwater table. In the HAYR, permafrost has been degrading as evidenced by rising soil temperatures, shrinking and disintegrating permafrost and expanding talik. As a result, in some segments, permeability of permafrost have been improving and groundwater discharge enlarged. The lowering permafrost table and deepening active layer have also expanded groundwater storage, resulting in the lowering groundwater table, as evidenced by that in water wells in towns and downward movement of spring locations and overflow zones of groundwater in the fluvio-pluvial piedmont in the Madoi valley [20]. In 1992-2001, the groundwater table was persistently lowered by 0.36~1.68 m during the measured 8 years, with an average lowering of 1.00 m and an average lowering rate of 0.1 m/a (ranging 0.04-0.17 m per year) (table 1).

Table 1. Statistics on well groundwater table at Madoi [13]

Well No.	Groundwater table (m)					Lowered water table (m) during 1992-2001	Average lowering rate of water table (m/a)
	1992-06-17	1992-09-04	1995-07-22	2000-07-29	2001-08-21		
53	9.21	8.64	9.60	10.33	10.30	1.09	0.019
54	12.66	12.30	13.10	14.37	13.84	1.18	0.118
57	12.64	11.74	13.10	13.82	13.65	1.01	0.101
58	6.18	5.02	5.25	5.25	7.05	0.87	0.087
59	8.15	7.48	8.45		9.75	1.60	0.160
63	2.07	1.52	2.42	3.61	3.75	1.68	0.168
64	6.13	5.43	6.10	6.54	6.60	0.47	0.047
65	7.43	6.75	7.72		.15	0.72	0.072
66	3.90	2.64	3.65	4.14	5.25	1.35	0.135
67	6.23	5.62	6.19		6.75	0.52	0.052
68	3.99	1.49	3.15	3.50	4.35	0.36	0.036
69	5.21	4.42	5.04	5.54	6.30	1.09	0.109
73	4.84	2.89	4.55		5.45	0.61	0.061
74	2.15	1.57	2.80		3.50	1.35	0.135
75	5.97	5.35	6.09	6.78	7.18	1.21	0.121
76	5.89	5.28	5.75	6.43	6.80	0.91	0.091

In the mountainous areas, gravity springs from the suprapermafrost water have migrated downslope as a result of deepening active layer. They are evidenced by the 45-m downward movement (3 m by elevational drop) of the Spring No. 4042 in Dongfeng Village and by a 76-m horizontal movement (vertical drop of 6 m) of the Spring No. 4042 in the vicinity of Toro Qü Riverside; the migration of outflow zones at the large piedmont fluvial fans is also evident, with a largest downslope migration of 2.0 km [20].

The most evident lowering of groundwater table was observed for the suprapermafrost water, which is extensively distributed and pivotal in many interactive and interdependent hydrothermal processes among the atmosphere, biosphere and hydrosphere. Therefore, most conversions of water types are eventually focused on the water balance of suprapermafrost water. Due to the lowered water table and resultant enhanced river erosion, much groundwater and soil waters have been lost, resulting many ecological problems, such as shrinking lakes and wetlands, and degraded grasslands and ecosystems.

Prior to the 1980s, extensive wetlands and alpine meadows above the suprapermafrost water and was well identified Cori Gaze on the shore of the Ngöring Lake. Afterwards, surface runoffs dried up gradually. By the 1990s, water wells in the village dried, and wetlands were converted to alpine meadows and steppes, with dwarfed and sparse vegetation and dominant sedges (*Kobresia*) replaced by forbs, a symbol of severe grassland degradation. Therefore, the abundance of suprapermafrost and shallow soil waters and their spatiotemporal distributive features are directly related to changes in the ecological environment, and will cast profound influences on water resources.

Altered relationships of groundwater recharge, flow paths and discharge. In the HAYR, groundwater dynamics are mainly controlled by permafrost distribution. Permafrost degradation will invariably lead to changes in hydrogeological structures and dynamics, and groundwater storage.

In intermontane basins and valleys underlain by continuous permafrost, the precipitation-fed suprapermafrost water occurs in near-surface strata. Its flow paths are similar to those of alpine bedrock zones, and groundwater is mainly lost by vertical evaporation. During last few decades, evaporation has been enhanced at an annual rate of 0.6 mm [9]. Additionally, the suprapermafrost water supplies to rivers or lakes in the form of springs. As a result of permafrost degradation and deepening active layer, gravity springs have lowered along the slopes, and subsequently the outflow zones of suprapermafrost water also have moved downslope. The suprapermafrost water can also recharge the sub-permafrost water via talik channels. Since continuous permafrost has shrunk and groundwater movement and discharge have been improved, the water cycling has been shortened.

In patchy permafrost zones, different types of groundwater are complicatedly connected and sensitive to changes in climate and permafrost. Changes in permafrost and groundwater dynamics facilitate each other, leading to conversions in groundwater types. In areas with sands, gravels and pebbly loams, the endo-permafrost water flows in forms of layers, veins, and pipes in warm permafrost or thawing soil strata. This has facilitated the thermal exchange between permafrost layers and groundwater flow systems, and further the growth of unfrozen water, endo-permafrost water, talik and seasonally frozen ground, such as enhancing the permeability and saturation of thawing permafrost soils. This has been observed in Madoi, where the vanishing of permafrost has accelerated the water cycling, and water cycles for phreatic water have been shortened to 1 to 4 years, similar to those in seasonally frozen ground [15, 16].

Destabilizing water balance and shrinking water resources. As results of climate warming and permafrost degradation, groundwater table and surface flow rate lowers and subsequently the water balance in the HAYR is interrupted. On the basis of computations on multiyear average water balance in the HAYR by since the 1950s, water storage was only positive in years with rich precipitation and high flow rates; alternatively positive and negative water storage in the 1950s-1980s; largely negative in the 1990s, with a worsening drying trend [1]. Data during 1956-1999 indicate a substantial decline in the annual river discharge at the Yellow Riverside, Madoi County, Qinghai Province during the 1990s when with an appreciable increase in precipitation (table 2) [18]. Is it related to the extensive lowering of groundwater table? The discharge rates at both Yellow Riverside and Tang Nag hydrological stations are well related. the latter is at more downstream of the Yellow River and thus with less permafrost extent. Represented by Yellow Riverside, the discharge in the HAYR declined by 25.8% in the 1990s in comparison with that before the 1980s, while at Tang Nag by only 8.5%. This difference in discharge reduction could be attributed to the permafrost degradation in the HAYR.

Table 2. Water balance (mm) in the HAYR [18]

Period	Precipitation (mm)	Annual Discharge/ (100 million m^3)		Natural runoff (mm)	Evaporation (mm)	Balance (mm)
		Measured	Natural			
1959-1989	302.4	7.3	7.43	3.55	287.7	-20.8
1990-1999	327.6	4.98	5.49	26.2	329.2	-27.8
Multiyear average	309.8	6.63	6.88	32.9	299.9	-23.0

Permafrost degradation flattens seasonal flow processes because with increasing thaw depths, rising soil temperatures and shrinking permafrost extents, the limitation of permafrost on aquifers declines. Additionally, surface runoff generation may be reduced by allowing more infiltration into

ground. Basal flow processes can be extended well into late or entire winter season, and winter flow recedes slowly with prolonging thawing period. Moreover, expansion of recharge areas and thickened active layer enlarge groundwater storage, resulting in later water recession.

In the HAYR, the suprapermafrost is extensive and serves as a major water supply for ecosystems. During last few decades, permafrost degradation has resulted in extensive lowering of groundwater table. Most gravity springs fed on the suprapermafrost water have died out. Statistics on single spring runoff modulus indicate that during 1989-2003, natural recharge for suprapermafrost water declined by 150 million m^3 (42%), or an average annual rate of 11 million m^3 [19]. Since the suprapermafrost water accounts for 88% of total water resources in the HAYR, a sharp reduction in the suprapermafrost water has grave consequences.

After 2003, a series of relief measures have been taken for protecting the environment, and ecological and hydrological environments have ameliorated, as evidenced by increasing and expanding lakes and rising water levels. This also coincides with rising precipitation, declining evaporation and degrading permafrost in the same period. Therefore, melting ground ice may have directly contribute to water supplies to rivers [10]. In comparison with the multiyear average discharge, the HAYR has come into a wetter period, and after 2007 its discharge rates have exceeded the multiyear average, and in 2012 it has reached the maximum of last 20 years [8. 11]. If the warming-wetting trend persists, the hydrological environment in the HAYR may improve, forming a virtuous circle.

Conclusions and prospects. The hydrogeological environment in the HAYR is unique in the sense of cold and arid climate and complex combinations of various plateau permafrost types, in addition to the presence of extensive wetlands and numerous lakes and rivers. During last few decades, changes in hydrogeological and ecological environments are evident due many natural causes, such as climate warming and resultant permafrost degradation, as well as anthropogenic activities such as illogical exploitation of natural resources and other economical development. However, permafrost degradation is basic for changes in groundwater types and hydrological structures. As results, regional groundwater table has been lowered and water balance disrupted, and shallow water resources declined. In particular, storage and movement of groundwater are very complex and dynamic in patchy permafrost regions, where hydrothermal fluxes change with spatiotemporal variations in permafrost and permafrost controls groundwater dynamics.

Melting of ground ice may release some gravitational water. Part of the water (excess ice) could recharge groundwater depending on the ice content and soil properties such as porosity and permeability. Therefore, it is essential to survey basic hydrogeological conditions, and to analyze formation mechanisms and distributive features of groundwater. In particular, the mechanisms and volume of water recharge into the groundwater from the thawing of permafrost soils based on ice-content are basic for understanding the hydrological impacts from the degrading permafrost. Long-term groundwater dynamics should be monitored for understanding mutual conversions of precipitation, surface waters and groundwater, for better estimating utilizable groundwater resources, and for predicting trends in groundwater dynamics under a persistently and extensively degrading permafrost.

In recent years, surface water resources have been increasing, largely due to the increasing precipitation. It is still uncertain whether ground ice have contributed to the recharge of groundwater and further to surface waters, and this deems more and better assessment. The climate warming-wetting in the HAYR could be decadal or longer. After a transition from warm-dry to warm-wet climate, wetting can result in more moisture on ground surfaces and at shallow depths, rising groundwater table and vegetative coverage. Would these to some extent abate the degradation of permafrost in the HAYR, or should the permafrost degradation keep on accelerating? How would permafrost change in a long term? How would these impact the groundwater dynamics and features? They all worth further and detailed investigations. In a word, permafrost degradation and the ensued changes in hydrogeology need long-term monitoring and investigations.

References

1. Cao W., Wang, L., Zeng, Y., Hu, F., Chen, J. 2006. Impacts of global warming on the eco-environment in the headwaters region of the Yellow River. Earth Science Frontiers 13(1): 40-47 (in Chinese).

2. Cheng, G., Jin, H. 2013. Groundwater in the permafrost regions on the Qinghai-Tibet Plateau and it changes. Hydrogeology and Engineering Geology 40(1): 1-12 (in Chinese).

3. Cheng, G., Jin, H. 2013. Permafrost and groundwater on the Qinghai-Tibet plateau and in northeast China. Hydrogoeology Journal 21: 5-23.

4. Cheng, G., Wang, G., Wang, X. 1998. On the eco-environmental changes and analysis in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers. Advances in Earth Sciences 13(Suppl.): 24-31 (in Chinese).

5. Guo, P. 1989. Basic features of groundwater types in permafrost regions on the Qinghai-Tibet Plateau. In Lanzhou Institute of Glaciology and Geocryology, Chinese Academy of Sciences (ed.), Proceedings of the Third Chinese Conference on Geocryology, Harbin, China, 19-24 August, 1986. Beijing: Science Press. 29-36 (in Chinese).

6. Jin, H., He, R., Cheng, G., Wu, Q., Wang, S., Lü L., Chang, X. 2009. Change in frozen ground and eco-environmental impacts in the Sources Area of the Yellow River (SAYR) on the northeastern Qinghai-Tibet Plateau, China. Environmental Research Letters 4: 045206. DOI: 10.1088/1748-9326/4/045206.

7. Jin, H., Wang, S., Lü, L., He, R., Chang, X., Luo, D. 2010. Features and degradation of frozen ground in the Sources Area of the Yellow River, China. Journal of Glaciology and Geocryology 32(1): 10-17 (in Chinese).

8. Lan, Y., Lu, C., La, C., Shen, Y., Jin, H., Song, J., Wen, J., Liu, J. 2013. The fact of climate shift to warm-humid in the source regions of the Yellow River and Its hydrological response. Journal of Glaciology and Geocryology 35(4): 920-927 (in Chinese).

9. Li, K., Li, X., Wang, C., Qiao, Y. 2013. Research on the environmental effect by climate change in the Sources Region of the Yellow River. Journal of Glaciology and Geocryology 35(5): 183-1192 (in Chinese).

10. Li, L., Wang, Q., Zhang, G., Fu, Y., Yan, L. 2004. The influence of climate change on surface waters in the Upper Yellow River. Acta Geographica Sinica 59(5): 716-722 (in Chinese).

11. Li, L., Wu, S., Zhu, X., Chang, G., Li, F. 2008. Response of the Plateau Lakes to Changes of Climate and Frozen Earth Environment in the Headwaters of the Yellow River since the 21st Century. Journal of Natural Resources 23(2): 245-253 (in Chinese).

12. Peng, X., Wu, Q., Tian, M. 2003. The effect of lowering groundwater table on ecological environment in the Headwaters of the Yellow River. Journal of Glaciology and Geocryology 25(6): 667-670 (in Chinese).

13. Wang, S. 1990. On intrapermafrost water. Hydrogeology and Engineering Geology 17(1): 46-47 (in Chinese).

14. Wang, S. 1997. Study of permafrost degradation on the Qinghai-Tibet Plateau. Advances in Earth Sciences 12(2): 164-167 (in Chinese).

15. Wang, S., Li, Z., Liu, J., Liang, Z. 1990. Study on the Tritium (T) isotopes in the surface waters and groundwater on eastern Qinghai-Tibet Plateau. Environmental Science 11(1): 24-27 (in Chinese).

16. Yang, Z., Liu, J., Zeng, Q., Chen, Z. 2000. Cold Regions Hydrology in China. Beijing: Science Press, 100-124 (in Chinese).

17. Zhang S., Wang Y,. Zhao, Y., Huang, Y., Li Y., Shi, W., Shang, X. 2004. Permafrost Degradation and Its Environmental Sequent in the Source Regions of the Yellow River. Journal of Glaciology and Geocryology 26(1): 1-6 (in Chinese).

18. Zhang, S., Jia, S., Liu, C., Cao, W., Hao, F., Liu, J., Yan, H. 2004. Changes in water cycles in the Source Area of the Yellow River and its impacts. Science in China (Ser. E Technological Sciences) 34(Suppl. 1): 117-125 (in Chinese).

19. Zhang, S., Li Y., Wang, Y., Shi, W., Lü, B., Zhuang, Y., Li, Y. 2009. Decline in regional groundwater level and related environment problems in the head water area of the Yellow River. Hydrogeology and Engineering Geology 36(6): 109-113 (in Chinese).

20. Zhang, S., Wang, Y., Zhu, H., Cao, W., Shi, W., Huang, Y., Li, Y. 2003. Changes of water environment in the source area of the Yellow River and their eco-environmental and -geological effects. Hydrogeology and Engineering Geology 30(3): 11-13 (in Chinese).

СЕКЦИЯ 2
ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА И ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ НЕДР НА ГОРНОДОБЫВАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЯХ (НА ПРИМЕРЕ УРАЛЬСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)

Арзамасцев А. А., Елохина С. Н., Киндлер А. А.
ОАО «Уральская гидрогеологическая экспедиция», г. Екатеринбург, elohina.s@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье раскрывается одна из задач государственного мониторинга состояния недр, связанная с регистрацией опасных геологических процессов. Для электронного учета получаемой информации на федеральном уровне реализована специальная программа. Расширение функций программы предлагается с помощью паспортизации отработанных горных выработок, форма которых сейчас разрабатывается и апробируется.
***Ключевые слова**: мониторинг, горная выработка, геологические процессы, Урал.*

Abstract. In present paper one of problems of the state monitoring a condition of the entrails, connected with registration of dangerous geological processes is opened. For the electronic account of the gained information at a federal level the special program is implemented. Expansion of functions of the program is offered with the help of certification of waste mine workings which form develops now and approved.
***Key words**: Monitoring, mine working, geological processes, Ural.*

Система государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) организована по территориальному (субъектному) принципу. В пределах территории Уральского федерального округа региональный и, в значительной степени, территориальный уровень реализации ГМСН осуществляется ОАО «Уральская гидрогеологическая экспедиция» (УГГЭ).

Среди решаемых задач важное место занимает оценка техногенного воздействия на состояние подземных вод и активизация экзогенных геологических процессов (ЭГП). Горнодобывающая деятельность на Урале насчитывает 300-летнюю историю и её воздействие наиболее весомо [1, 2]. Закономерно, что среди наблюдаемых объектов значатся территории, нарушенные горными работами, в первую очередь недостаточно рекультивированные, создающие геологические опасности для населения и источников питьевого водоснабжения. Рекультивация, как показали обследования остановленных рудников Урала, часто растягивается во времени и иногда не выполняется в полном объеме. В результате на объектах сохраняются как поверхностные, так и подземные проявления горнодобывающей деятельности, обычно затопленные подземными водами.

Наблюдения за объектами горнодобывающей деятельности авторами выполняются с 1985 г., когда с началом массового затопления шахт и карьеров в составе УГГЭ был организован отряд изучения и прогнозирования ЭГП. Остановка и закрытие горных предприятий провоцировали активизацию комплекса опасных геологических процессов гидрогеологической, инженерно-геологической, геохимической, геофизической специализации, сопровождающих перестройку гидрогеологической обстановки с техногенной на природно-техногенную [2].

Обобщение региональных данных выделяет по степени геологической опасности три группы объектов горнодобывающего профиля с полным циклом их освоения. Старые рудники, шахты и копи, составляющие *первую* историческую группу отработанных и закрытых горных объектов Урала, отличались незначительной глубиной заложения, редко более 20 – 40 метров,

изолированностью и обособленностью. Долгие годы они служили поисковыми признаками следующих рудных месторождений: Кабанское (Колпаковское), Пьянко-Ломовское, Южно-Улукское колчеданные месторождения. Неглубокое заложение горизонтальных выработанных пространств, некачественная рекультивация вертикальных стволов провоцирует просадки и провалы на поверхности земли, а отсутствие достоверных планов их расположения создает условия для непредсказуемости и катастрофичности их проявлений. К таким объектам относятся копи и шахты Режевского природно-минералогического заказника, шахты в пос. Медный г. Екатеринбурга и Согринского рудника в пос. Аять и др. Согласно исторической справке, в 1918 г. на Урале было национализировано более 200 рудников, большая часть из которых в период гражданской войны была заброшена (чаще всего затоплена).

Ко *второй* группе можно отнести современные шахты, построенные во второй половине XX века, имеющие глубину 350 – 500 и более метров, сбитые между собой и образующие обширные подработанные пространства площадью до нескольких квадратных километров и более (Дегтярский, Левихинский и др. рудники). Депрессионные воронки дренажных систем охватывают ещё большие площади, вызывая перестройку общего водного баланса территории, специфическую водохозяйственную ситуацию, истощение и загрязнение подземных вод.

Третья группа остановленных рудников представляет собой современные промышленные горные разработки, пространственно сопряженные с объектами первой исторической группы. С геоэкологической точки зрения это наиболее опасная группа объектов, сочетающих глубину и масштабность современных преобразований литогенетических систем с большим количеством мелких и нерекультивированных подземных выработок, угрожающих:

– прорывами воды при их вскрытии современными горными работами;

– при строительстве и эксплуатации инженерных объектов по причине неглубокого заложения провоцирующего просадки на поверхности земли при отсутствии достоверных планов их расположения.

Примером объектов третьей группы являются затопленные Гумешевский и Шиловский рудники, золоторудные шахты VIII – IX веков на Березовском руднике, соседствующие с современными выработками. Территории рудников входят в границы земель соответственно Полевского, Екатеринбургского и Березовского городских округов Свердловской области и отчасти сопряжены с селитебной застройкой.

Практика закрытия объектов второй и третьей групп создает максимальные геоэкологические угрозы, из-за которых приходится иногда сохранять нерентабельные рудники (например, Березовский) или выполнять дорогостоящие мероприятия по поддержанию водоотлива (Пышминско-Ключевской рудник в г. Верхняя Пышма).

Расположение рудников в первую очередь связано с зеленокаменной полосой восточного склона горноскладчатого Урала, откуда в XVIII в. и начиналось освоение территории Уральского региона, в основном в его средней низкогорной части. Объем, протяженность и глубина подземных горных выработок может быть самая разнообразная. На рубеже XX и XXI веков в основном ликвидируются шахтные поля с пустотностью тысячи м^3 (путем затопления). Приведем лишь некоторые горнотехнические параметры ликвидируемых объектов на Среднем Урале:

– частично затопленный в 1957 г. Богомоловский золотодобывающий рудник имеет подземных пустот до глубины 280 м суммарным объемом около 27 тыс. м^3;

– объём подземных пустот ликвидированного в 2004 г. Крылатовского золотодобывающего рудника при максимальной глубине 490 м составляет около 300 тыс. м^3;

– согласно ведомости, пустоты Березовского золотодобывающего рудника, вопрос затопления которого обсуждается уже более 5 лет, составляют более 1900 тыс. м^3 при максимальной глубине горных выработок 712 м.

Таким образом, горное производство существует многие тысячи лет. Наиболее активно его воздействие на литосферу, в силу объективных законов развития человеческого общества,

ощущается последние 100 лет. Сначала происходил рост числа горных выработок, достаточно мелких. Затем увеличивалась глубина горных выработок и площадь отдельного шахтного поля. На затопленных шахтных полях в результате отработки месторождений созданы подземные свободные пространства, потенциал которых ещё недостаточно оценен.

В целом на Урале, как и на всей планете, площади, нарушенные горным производством, неуклонно растут, увеличивая масштабы горного техногенеза. Отслеживание его параметров на пассивной стадии выполняется Уральским региональным центром ГМСН на таких объектах, как Дегтярский, Левихинский, Липовский рудники, Копейский угольный бассейн.

Важным моментом является унификация описания разнородных объектов, их инвентаризация и форма хранения баз данных (БД). В качестве инструмента рассматривается форма электронных паспортов отработанных горных выработок (ОГВ), которая сейчас разрабатывается в Уральском центре мониторинга и апробируется на обследуемых горнопромышленных объектах.

Совокупность проблем вокруг создания и ведения БД ОГВ подразделяется на две основные части: организационно-правовую и научно-методическую. Круг организационно-правовых вопросов требует разработки механизма учета, межведомственной передачи данных по ОГВ и их хранению, и должен внедряться с учетом специфики каждого региона. В некоторых субъектах РФ такая программа уже реализована (Самарская область и др.).

На территории Уральского федерального округа (Свердловская и Челябинская области) Уральским региональным центром ГМСН совместно с Уральским государственным горным университетом начаты работы по созданию региональной БД ОГВ, как подсистемы базы данных опасных экзогенных геологических процессов. Решение научно-методических проблем, связанных с формой универсального паспорта ОГВ и структурой региональной БД, является первым шагом в указанном направлении.

Разработка научно-методических основ включает в себя следующие моменты:

1. Обоснование и выбор критериев и показателей регистрации ОГВ.

2. Разработка формы паспорта ОГВ (универсального или по видам ОГВ).

3. Выбор оболочки и структуры БД для удобства сбора, хранения и пользования информацией по ОГВ.

Критерии и показатели разделяются на следующие блоки:

1. Тип ОГВ (одиночная, группа, шахтное поле – соединенные подземными каналами разного происхождения).

2. Привязка (географическая, административная, водохозяйственная). При групповом типе задается для каждого объекта отдельно (до 100 объектов).

3. Горно-технический (при групповом типе задается для каждого объекта отдельно):

а) открытая, подземная, комбинированная ОГВ;

б) геометрические размеры (максимальные, средние): глубина (м), площадь (га), количество этажей (горизонтов, уступов);

в) сохранность, степень и характер рекультивации (отсутствует, частично или полностью);

г) направление и способ рекультивации, а также недропользователи объекта;

д) тип и площадь воздействия на окружающую среду.

4. Инженерно-геологический:

а) реестр точек контроля (до 50) с геологической привязкой и характеристикой, координатами: отдельно опасные геологические процессы, инженерные сооружения и участки рекультивации;

б) опасные геологические процессы по их видам (оползни, осыпи, оврагообразования, провалы, зоны сдвижения и обрушения, просадки, подтопление, вторичная аккумуляция), геометрические и динамические характеристики процессов в точках контроля с датами наблюдений;

в) инженерные объекты и сооружения, расположенные в зоне влияния ОГВ, их назначение (водозаборы, жилая застройка, линейные сооружения и т.д.), степень ответственности, современное состояние с датами наблюдений;

г) участки реализованных мероприятий по рекультивации, их характеристика, современное состояние с датами наблюдений.

5. Гидрогеологический:

а) реестр точек контроля (до 50) с гидрогеологической привязкой и гидрогеологической характеристикой, координатами;

б) степень обводненности ОГВ по точкам контроля с указанием глубины и абсолютных отметок уровня воды по датам наблюдений;

в) наличие шахтоизлива и его производительность по точкам контроля и датам наблюдения;

г) химический (газовый) состав карьерных или шахтных вод (в подземных ёмкостях, на изливе) по точкам контроля и датам наблюдения;

д) температурный режим по точкам контроля с датами наблюдения.

6. Гидрологический:

а) реестр водотоков, расположенных в зоне влияния ОГВ, их водохозяйственное и рыбохозяйственное значение с гидрологической привязкой и характеристикой;

б) реестр гидростворов по каждому водному объекту с координатами, расстоянием от истоков, гидрологическими характеристиками;

в) датированные гидрометрические характеристики водного объекта по гидростворам;

г) химический (газовый) состав воды в поверхностных водных объектах (водотоки и водоёмы) по гидростворам с датами наблюдений;

д) температурный режим воды по гидростворам с датами наблюдений;

е) химический состав донных отложений в поверхностных водных объектах по гидростворам с датами наблюдений.

7. Экологический:

а) реестр точек контроля состояния снегового, почвенного и растительного покровов в зоне влияния ОГВ с их привязкой по зонам почвенного и лесотаксонометрического районирования и координатами;

б) состояние снегового покрова в точках контроля по датам наблюдения : мощность, содержание пыли, химический состав пылевой нагрузки и снеговой воды;

в) агромелиоративные параметры почвенного покрова в точках контроля по датам наблюдения: мощность гумусового слоя, почвенный профиль, химический состав и др.;

г) показатели состояния растительности в точках контроля по датам наблюдения: бонитет, годовой прирост, химический состав листьев и др.;

д) наличие других источников загрязнения в районе ОГВ, их краткая характеристика, ведомственная принадлежность (например отвалы фторгипса в зоне обрушения над шахтным полем и т.п.).

8. Прочие данные предусмотрены для внесения уникальных сведений по объекту. Например, данные о провоцировании чрезвычайных ситуаций и способах и периодах их ликвидации, различных ущербах, гибели людей и животных, вторичном использовании (дайвинг, спелеостологические работы, музейный потенциал и др.), рекомендации по рекультивации ОГВ и реабилитации прилегающей территории.

В каждом блоке желательно давать пояснения текстовым файлом (в «Примечании»), в том числе источник информации, и присоединять фотодокументацию и картографический материал по каждой точке и замеру и в целом по объекту (заложен резерв для задания до 50 точек контроля, а все динамические характеристики имеют ёмкость до 100 замеров (на 25 лет).

Паспорта ОГВ могут быть универсальными и тематическими. Каждый из них имеет свое назначение, недостатки и преимущества.

Универсальные паспорта ОГВ предназначены для проведения специализированных полевых наблюдений на объектах и содержат все выделенные выше критерии и показатели в их динамике. Это своеобразная подсказка при выполнении описания и разного рода опробованиях. Предусмотрено включение в универсальный паспорт пустых незаполненных блоков по точкам контроля, участкам и гидростворам для их полевого заполнения.

Недостатком бумажной версии универсального паспорта являются его громоздкость и большой объем.

Задание тематических паспортов ОГВ позволяет избавиться от излишнего объема при рассмотрении конкретной тематической подборки объектов только с заданными характеристиками. Например, выборка делается только по шахтным полям, влияющим на водотоки в пределах конкретных административных единиц. Для этого в БД ОГВ закладываются поисковые возможности по целой группе показателей. Промежуточным этапом при выводе тематических паспортов служит формирование тематических списков ОГВ.

Структура и оболочка БД ОГВ выбирается, исходя из заданного набора критериев и показателей, требования общедоступности формата, а также обязательности взаимодействия БД с картографическим изображением списка ОГВ на прикрепленной картографической основе трехмасштабного уровня, в том числе при запросах при формировании выборок тематических паспортов и списков.

Выбор масштаба картографической привязки соотносится с уровнями административного управления: крупномасштабный (муниципальный), среднемасштабный (субъектный) и мелкомасштабный (региональный). Крупномасштабный уровень должен иметь картографическую основу от 1:10 000 до 1:25 0000 масштаба, что наиболее сложно в реализации, учитывая её секретность. Субъектный уровень может быть соотнесен в доступном масштабе 1:100 000 или 1:200 000. Наиболее обеспечен цифровой картографической основой региональный уровень в масштабе 1: 1 000 000 или 1:2 500 000.

В настоящее время выбор оболочки ещё не завершен, и проводится экспериментальное опробование различных вариантов в среде ArcView, Excel, Access и др.

Предполагается задание дополнительных возможностей в рамках фактографической и картографической БД ОГВ, связанных с зонированием по степени техноприродной геологической опасности территории воздействия ОГВ, разработанной и реализуемой авторами [3] и др.

Апробация системы проводится на отдельных, наиболее изученных объектах Свердловской области, к которым относиться Дегтярский затопленный рудник [4].

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Свердловской области в 2013 г. – Екатеринбург : Изд-во «УМЦ УПИ». – 349 с.

2. Елохина, С. Н. Гидрогеоэкологические проблемы затопленных рудников Урала / Под ред. О. Н. Грязнова. – Екатеринбург : Изд. УИПЦ, 2013. – 190 с.

3. Елохина, С. Н. Техноприродные опасности на затопленных рудниках Урала // Известия вузов. Горный журнал. – 2005. – № 3. – С. 120–127.

4. Елохина, С. Н. Параметры постэксплуатационного техногенеза горнорудного профиля в зоне влияния Дегтярского рудника / С. Н. Елохина [и др.] // Сергеевские чтения. Вып. 15. Устойчивое развитие : задачи геоэкологии (инженерно- геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты) : мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (21 – 22 марта 2013 г.) – М. : Изд. РУДН, 2013. – С. 249–254.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЧИНЫ ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЭКСПЛУАТИРУЕМЫМ И ОТРАБОТАННЫМ МЕСТОРОЖДЕНИЯМ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Верхотуров А. Г.
Забайкальский государственный университет, г. Чита, weral0606@yandex.ru

Аннотация. Подтопление территорий в Забайкалье носит локальный характер и связано с потерями из водонесущих сетей, деградацией многолетнемерзлых пород, фильтрационными потерями из водохранилищ, прекращением водопонижения на отработанных месторождениях. В криолитозоне Забайкалья исходные гидрогеологические условия после отработки не восстанавливаются. Поднятие уровней грунтовых вод к поверхности провоцирует опасные процессы.

Ключевые слова: *водоприток, месторождение, подземные воды, карьер, многолетняя мерзлота.*

Abstract. The underflooding of areas in Transbaikalia is local and is associated with loss of water-bearing networks, degradation ofpermafrost, filtration losses from reservoirs, termination of dewatering on waste deposits. In the permafrost of Transbaikaliathe original hydrogeological conditions has not recoveredafter a mining of the deposit. Raisingof groundwater levels to the surface provokes the dangerous processes.

Key words: *water production, field, groundwater, mine, permafrost.*

В Забайкалье проблемы подтопления территорий за счет подземных вод носят локальный характер, что обусловлено малым количеством атмосферных осадков и высокими значениями испаряемости. Территории, на которых отмечается подтопление в естественных условиях, приурочены, в основном, к участкам, где на небольшой глубине залегают глинистые или многолетнемерзлые породы (ММП). К ним относятся поймы рек, подножья склонов и террас.

Обследование подтопленных в разные годы участков показало, что наиболее интенсивно процесс развивается на освоенных территориях и может быть обусловлен несколькими причинами: 1) утечками из водонесущих сетей; 2) фильтрационными потерями из водохранилищ, хвостохранилищ, прудов-отстойников; 3) созданием барражей на пути движения поверхностных и подземных вод; 3) прекращением водопонижения на отработанных месторождениях. Подтопление влияет на экологическое состояние территорий, обеспечение безопасности движения и эксплуатацию зданий и сооружений, поэтому анализ причин и оценка факторов, влияющих на интенсивность процесса в Забайкалье, представляет несомненный научный и практический интерес.

Утечки из водонесуших сетей обуславливают подтопление находящихся в зоне аэрации фундаментов и подвалов жилых домов, промышленных зданий, обогатительных фабрик и происходят при близком залегании к поверхности глин, суглинков на склонах и элювия нижнемеловых алевролитов и аргиллитов – во впадинах. Подтопление вызывает снижение несущей способности грунтов, активизирует деградацию ММП, если здания были построены по первому принципу, с сохранением мерзлого состояния грунтов основания.

Фильтрационные потери из хвостохранилищ, водохранилищ, прудов-отстойников отмечены во многих населенных пунктах Забайкалья, где есть горнодобывающие предприятия. Они фиксируются и на участках некоторых золоотвалов, вблизи крупных тепловых электростанций: Читинской, Краснокаменской, Приаргунской, Шерловогорской ТЭЦ, Харанорской ГРЭС. Например, с 1973 по 1977 гг. в результате фильтрации техногенных вод из гидрозолоотвала Читинской ТЭЦ-1 произошел подъем уровней подземных вод на прилегающей площади, завершившийся в конце 70-х годов XX-в. В то же время в области разгрузки подземных вод в долине р. Кадалинка, расположенной ниже по рельефу, началось подтопление взлетно-посадочной полосы Читинского аэропорта. Создание дренажной системы в 80-х годах и реконструкция ВПП вначале 90-х годов снизили остроту проблемы.

С момента создания в 1968 году Приаргунского горно-химического предприятия (в настоящее время – ОАО «ППГХО») в районе г. Краснокаменска идет подъем уровня грунтовых вод, который зафиксирован почти всеми наблюдательными скважинами. Подавляющее большинство наблюдательных скважин сети гидрогеологического мониторинга расположено на площади развития водоносного таликового комплекса четвертичных отложений. Общая мощность четвертичных отложений колеблется от 4,4 до 64,6 м, причем суммарная мощность обводненных пород составляет 3,7 – 64 м. Максимальные мощности (40 – 60 м) приурочены к центральной части долины. К бортам за счет увеличения содержания в разрезе глин мощность обводненных пород уменьшается до 1,1 м. Мощность комплекса также уменьшается в зонах развития многолетнемерзлых пород. В пределах депрессии питание подземных вод очень ограниченно. Это связано с тем что среднее годовое количество атмосферных осадков составляет 204 – 360 мм, а соответствующая величина испарения достигает 350 – 700 мм. Наличие залегающих близко к поверхности литологических водоупоров также способствует снижению величины инфильтрации атмосферных осадков. Подъем уровней подземных вод в районе города составил 7 – 10 м, а вблизи водохранилищ и хвостохранилищ – до 25 – 27 м.

Причины подтопления территории г. Краснокаменска и многолетнего подъема уровня связаны с фильтрацией воды из резервного водохранилища, гидрозолоотвала Краснокаменской ТЭЦ, а также нескольких хвостохранилищ в пади Широндукуй. Объем карьерного и шахтного водоотлива в ОАО «ППГХО» в 2011 г. составлял 254,18 тыс. $м^3$/сут, из которых для технического водоснабжения используется всего 34,1 тыс. $м^3$/сут.

Анализ графиков изменения уровня подземных вод показал следующие закономерности:

– наиболее интенсивный подъем уровня приходится на период от начала семидесятых до начала девяностых годов, затем имеет место стабилизация или незначительное повышение уровня;

– сезонные колебания уровней выражены очень слабо.

При создании барражей на пути движения подземных вод в результате устройства заглубленных на 2 – 3 этажа подвальных помещений на надпойменных террасах р. Чита иногда наблюдается не только повышение уровня грунтовых вод, но и начинают активизироваться суффозионные процессы. Искусственные препятствия на пути на пути движения поверхностных вод в виде дамб, водопропускных труб недостаточного сечения также могут провоцировать подтопление территории, как это происходит при прохождении паводков в 1 микрорайоне г. Чита и в с. Чара.

Подтопление территории, связанное с разработкой полезных ископаемых, может включать как вышерассмотренные случаи, так и подтопление, вызванное прекращением водопонижения на отработанных месторождениях. Прекращение разработки месторождения в Забайкалье, как правило, не приводит к восстановлению исходных гидрогеологических условий, существовавших до начала освоения месторождения. Это связано с тем, что в условиях развития многолетнемерзлых пород подмерзлотные воды глубоких горизонтов (трещинные, трещинно-пластовые, трещинно-жильные) имеют напоры иногда выше поверхности земли. В процессе разработки в центральных и южных районах Забайкалья из-за изменений условий теплообмена мерзлые породы деградируют, а после консервации или прекращения горных работ происходит затопление шахт и карьеров водой. Уровни вод в шахтах и карьерах в ряде случаев поднимаются настолько высоко, что происходит подтопление населенных пунктов. В марте 2012 г. в пос. Вершина Шахтамы Шелопугинского района Забайкальского края подземные воды из заброшенных шахт, разрушив небольшую дамбу, хлынули на улицы и подворья и затопили их, в результате чего образовалась наледь мощностью от десятков сантиметров до нескольких метров (рис. 1). Поселок, ранее известный благодаря уникальному месторождению молибдена, оказался на грани экологического бедствия.

Рис. 1. Затопление наледными водами жилого дома в пос. Вершина Шахтамы (фото ГУП «Забайкалгеомониторинг»)

Причина подтопления связана с тем, что в районе рудника Вершино-Шахтаминский после прекращения водоотлива в 1994 г. началось восстановление уровней подземных вод. В 2010 г. появился сток из вентиляционной шахты, расход которого около 2 л/с, температура воды 2,5° С. Превышение устья ствола шахты над днищем пади Шахтама составляет 80 м. В зимний период 2012 г. самоизлив воды из горных выработок и вызвал формирование наледи, подтопившей поселок.

Такие процессы наблюдаются также в настоящее время и в г. Чита на станции Черновская, вблизи отработанного подземным способом Черновского месторождения угля. В процессе отработки Черновского буроугольного месторождения в 1985 г. была осушена 90-метровая толща угленосных отложений, причем ранее в районе при вскрытии подмерзлотных вод напор был зафиксирован выше поверхности земли на 9,8 м (1902 г.). Шахтный водоотлив в течение длительного времени обусловил формирование депрессионной воронки. Например, на участки станции Черновская, непосредственно прилегающей к контуру месторождения, уровни грунтовых вод к 1983 г. находились ниже поверхности земли на 15 м. Прекращение шахтного водоотлива из подземных горных выработок в 1984 г. привело не только к восстановлению уровня грунтовых вод, но и к значительному его превышению за счет подмерзлотных вод водоносного комплекса нижнемеловых отложений. За контуром влияния месторождения многолетнемерзлые породы сохранились, что обусловило подъем уровня, по данным ГУП «Забайкалгеомониторинг», со скоростью в 1985 – 1996 гг. 7 см в год. Это привело к затоплению горных выработок, а на отдельных участках и к подтоплению гражданских и промышленных сооружений, которые были построены на осушенных участках. До строительства железнодорожного пути в районе станции Черновская существовало застойное оз. Нижнее. Земляное полотно послужило дамбой, препятствующей

свободному пропуску шахтных вод, и способствовало образованию оз. Верхнее (рис. 2).

Рис. 2. Район станции Черновская

После восстановления уровня подземных вод в контуре месторождения увеличились площади озер, которые оказали решающее влияние на деградацию многолетнемерзлых пород в районе станции Черновская. В питании озера «Верхнее» существенная доля приходится на подмерзлотные напорные воды, поступающие через талики.

По данным службы пути Забайкальской железной дороги к 1932 г. глубина оттаивания ММП составила 9 м (км 6173 ПК8), к 1988 – 10,2 м. Скорость деградации ММП с 1932 по 1988 гг. составила около 2 см в год. В 2009 г. глубины залегания ММП достигала 12,7 – 22 м (км 6175 ПК0), а под земляным полотном многолетнемерзлые породы полностью деградировали. В зимний период при промерзании пород на отдельных участках развивался сильный гидродинамический напор. В настоящее время этот участок железной дороги характеризуется развитием деформаций, связанных с пучением грунтов при промерзании и осадками насыпи при оттаивании, а также в результате вибрационных воздействий на обводненные грунты.

По результатам работ можно сделать следующие выводы:

1. Длительное осушение месторождений приводит к понижению уровня грунтовых вод на территориях, прилегающих к горным отводам, и делает более благоприятными условия для застройки. Осушенные территории застраиваются поселками, используются для развития инфраструктуры. После отработки месторождения и прекращения водоотлива уровень грунтовых вод восстанавливается и становится близким к первоначальному. При вскрытии горными выработками артезианских вод или напорных подмерзлотных вод уровень устанавливается вблизи поверхности, зачастую имеет место подтопление территории и формирование озер, а в зимний период – наледей.

2. Время восстановления уровня подземных вод на отработанных месторождениях, интенсивность подтопления зависят от конкретных гидрогеологических условий в пределах горного отвода, рельефа, глубин и объемов отработки, вида горных выработок.

3. Строительство в районах месторождений должно вестись с учетом возможного подтопления территорий после завершения их отработки и возникновения неблагоприятных экологических последствий из-за загрязнения шахтными водами.

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СЛЕДСТВИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

Глотова Л. П.
Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН, г. Магадан, glotova@neisri.ru

Аннотация. Приведена краткая характеристика основных факторов формирования природных вод региона. Отмечено, что в настоящее время для водоснабжения используется только около 90 тыс. м^3. Среди используемых подземных вод имеются также термальные и бальнеологические. Установлено, что использование подземных вод вызывает комплекс негативных геоэкологических проблем. Описаны наиболее изученные из них.

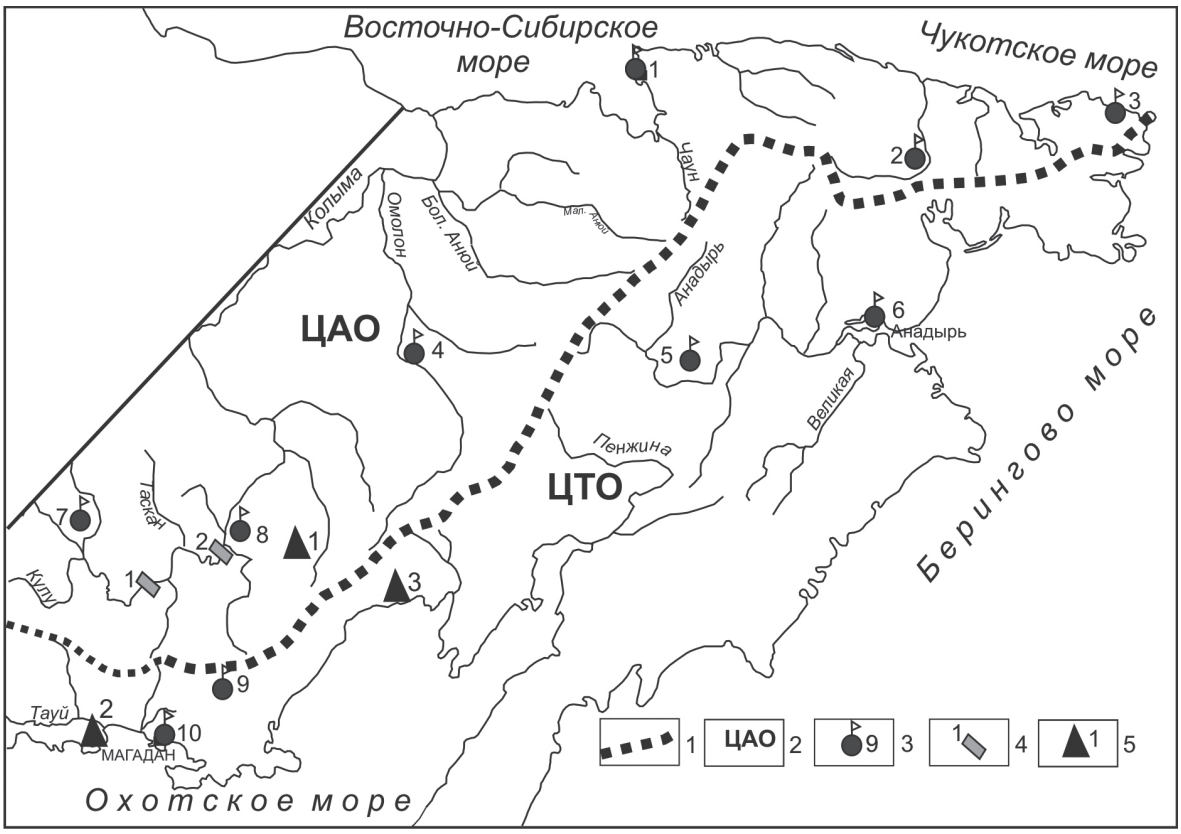
Ключевые слова: *пресные подземные воды, минеральные воды, естественные и техногенные факторы формирования, геоэкологические следствия.*

Abstract. The main factors of the natural water's formation of the region are briefly described. It is noted that currently the fresh groundwater resources are used for water supply only about 90 thousands of cubic meters. Among the used underground water there are also thermal and balneological. Found that the use of natural groundwater resources causes a complex negative geoecological problem. The most learned of them are characterized.

Key words: *underground fresh water, mineral water, natural and technogenic factors of formation, geoecological consequences.*

Введение. *Общие положения.* Северо-Восток России (СВР) в географическом отношении является типичным полуостровом, омываемым с юга и востока морями Тихого океана, с севера – Северного Ледовитого. До конца 20-х гг. XX в. этот регион практически был пустынным краем. Население региона, представленное в основном народами Севера общей численностью около 30 – 35 тыс. человек, тяготело к морским побережьям. Положение в корне изменилось, когда благодаря экспедициям С. В. Обручева и Ю. А. Билибина стало ясно, что в бассейне верхнего течения р. Колыма находится одна из крупнейших в мире провинций россыпной и рудной золотоносности. С 1932 г. здесь стали возникать мощные горнодобывающие предприятия, нуждающиеся в устойчивом обеспечении пресной водой в течение всего года. В это же время установлено повсеместное развитие многолетнемерзлых пород (ММП) и выявлена главная особенность рек региона – крайне неравномерное распределение поверхностного стока, когда практически до 95% его осуществляется летом. Зимой многие реки пересыхают или перемерзают, возникает дефицит питьевой воды с ноября по апрель, т.е. менее полугода. По этой причине уже более 80 лет назад стали создаваться водозаборы подземных вод, используемых преимущественно для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения населенных пунктов, в том числе лагерей для заключенных, приисков на месторождениях россыпного золота, предприятий на разведываемых и эксплуатируемых рудных месторождениях золота и олова. К настоящему времени только на территории Магаданской области (без Чукотского АО) разведано более 90 месторождений пресных подземных вод (МППВ) с суммарными запасами 860 тыс. м^3/сут., из них эксплуатируется около 10%. По ряду причин разведанные крупные МППВ не эксплуатируются, в том числе с запасами в тыс. м^3/сут: Палаткинское – 13,4, Дукчинское – 15, Танонское – 71, Уптарское – 6,3 и др. Практически все крупные населенные пункты (г. Магадан, пос. Сокол, пос. Ягодное и др.), в которых проживает около 90% населения области, используют питьевую воду из водохранилищ. Тем не менее, все новооткрытые золото- и серебродобывающие предприятия (Кубака, Джульетта, Гольцовое) используют для питьевого и технического водоснабжения подземные воды. Часть сохранившихся поселков снабжаются питьевой водой из скважин (поселки Омсукчан, Ола, Стекольный, Армань, Талон и др.). Все населенные пункты эксплуатируют месторождения

ППВ, представленных безнапорными или слабонапорными порово-пластовыми водами современных рыхлых отложений в долинах рек и ручьев. Чаще всего грунтовые воды гидравлически связаны с трещинными водами зоны гипергенной или тектонической трещиноватости. Объем извлекаемой воды на водозаборах не превышает 500 м^3/сут., однако возникают определенные экологические проблемы, связанные с водоотбором. Наряду с месторождениями пресных вод эксплуатируются месторождения термоминеральных (рисунок).



Схематическая обзорная карта Северо-Востока России: *1 – Главный мировой водораздел; 2 – ЦАО (Циркумарктическая мерзлотно-гидрогеологическая область); 3 – метеопосты, номера по таблице; 4 – ГЭС на р. Колыма, в том числе: 1 – Колымская, 2 – Усть-Среднеканская; 5 – разведанные и эксплуатируемые месторождения термоминеральных вод, в том числе 1 – Тальское, 2 – Мотыклейское, 3 – Таватумское*

Цель доклада – выявить изменения в окружающей среде, возникающие при эксплуатации ресурсов пресных и термоминеральных вод на территории Северо-Востока России.

Материалы, использованные в докладе, получены как лично автором, так и большим числом коллег – гидрогеологов бывшего Северо-Восточного территориального геологического управления (СВТГУ), Колымского территориального управления гидрометеослужбы (КУГМС).

Объект исследований – территория Северо-Востока России, прежде всего, территория Магаданской области, охватывающая водосборную площадь Верхней Колымы и правобережные притоки этой реки в среднем ее течении (рр. Сугой, Коркодон, частично Омолон). Юг Магаданской области омывается водами Охотского моря.

Предмет исследования – эксплуатируемые месторождения пресных подземных вод, источники термоминеральных вод, где выявлены негативные геоэкологические последствия.

Общая характеристика объекта исследования. Северо-Восток России разделен Главным водоразделом Земли (ГВЗ) на две области стока природных вод – Циркумарктическую (ЦАО) и Циркумтихоокеанскую (ЦТО) [1]. Первой принадлежит водосборная площадь

р. Колыма, водосборы арктических рек, впадающих в Восточно-Сибирское и Чукотское моря. ЦТО включает бассейны стока рек, впадающих в Охотское и Берингово моря. Наиболее крупные реки этой области Тауй, Яма, Анадырь и др. (см. рисунок).

Рельеф региона преимущественно горный. Около 20% его общей площади занято межгорными впадинами и широкими грабен-долинами. Преобладает рельеф низкогорный, с выположенными водоразделами высотой до 1200 м. На фоне низкогорья выделяются горные массивы и гряды среднегорного рельефа с альпинотипными формами.

Климат. Среднегодовая температура воздуха повсеместно отрицательная. За последние десятилетия установлены изменения климатических характеристик в обеих областях стока (таблица). Данные таблицы показывают, что климатические преобразования на всей площади региона отчетливо проявляются ростом среднегодовых температур воздуха, увеличением количества осадков.

Основные среднемноголетние климатические характеристики (по материалам КУГМС), [2]

№ п/п	№ по схеме	Метеопункты	Среднемноголетние характеристики			
			Температура воздуха, °С		Количество осадков, мм	
			до 1960 г.	1961 – 2014 гг.	до 1960 г.	1961 – 2014 гг.
Циркумтихоокеанская область стока						
1	6	Анадырь	–7,7	–6,9	312	382
2	9	Палатка	–6,6	–5,5	383	416
3	10	Магадан (Нагаево)	–4,1	–2,7	548	550
4	5	Марково	–9,5	–7,2	334	432
5	–	Охотск	–5,3	–3,8	358	499
Циркумарктическая область стока						
6	3	Уэлен	–8,2	–7,1	386	н/св.
7	2	Амгуэма*	–11,9	–11,5	422	466
8	1	Певек	–10,4	–9,5	136	190
9	4	Омолон	–13	–11,6	256	264
10	8	Сеймчан	–11,9	–11,4	286	307
11	7	Сусуман	–13,7	–10,2	258	295

**Значение температуры и количества осадков за 1961 – 1987 гг.*

Особенности геологического фактора формирования МППВ в горных районах криолитозоны Северо-Востока, водоносность основных структурных элементов зоны свободного водообмена (сезонноталый слой, надмерзлотные и сквозные талики, реже – подмерзлотные водоносные объекты) связаны с геодинамической природой террейнов, на основе которых сформировались гидрогеологические структуры (см. доклад Глотова В. Е.).

Вышерассмотренными факторами формирования подземных вод определяются особенности эксплуатации их месторождений и проявления негативных последствий.

Экологические следствия добычи подземных вод. Практическое использование ресурсов подземных вод определяется их составом, минерализацией и температурой. Основное направление – водоснабжение населенных пунктов и промышленных предприятий. Вторым следует считать использование их в бальнеологии, частично для теплофикации.

Наиболее крупными водозаборами подземных вод на Северо-Востоке, где замечены экологические последствия эксплуатации подземных вод, являются (или являлись) водозаборы золотоизвлекательных фабрик (ЗИФ) в долинах рек Омчак вблизи пос. Омчак (до 4,1 тыс. м^3/сут.), Иультинка Чукотского АО (до 10 тыс. м^3/сут.), Берелех у г. Сусуман (до 2,5 тыс. м^3/сут.), Детрин у пос. Усть-Омчуг (до 7,4 тыс. м^3/сут.), Ола у пос. Ола (5,6 тыс. м^3/сут.).

Водозабор в долине р. Омчак (с сезонным стоком) состоит из эксплуатационной скважины глубиной до 193 м и двух наблюдательных. Скважины каптируют водоносные образования в инфильтрационном сквозном талике. Особенность работы водозабора в том, что ресурсы воды в сквозном талике срабатываются почти полностью, уровни подземных вод в эксплуатационной скважине понижаются на 86 – 90 м при среднесуточном водоотборе 36,2 л/с. С началом таяния снега в первых числах мая начинается процесс самовосстановления ресурсов. В первые десятилетия эксплуатации длительность самовосстановления при наличии потока воды в русле составляла 25 суток; в последующие годы эта длительность возрастала, составив в начале 70-х гг. 35 суток, к концу 80-х гг. – 60 суток, в начале XXI в. – до 75 суток. Причина подобного увеличения длительности заполнения водой воронки депрессии – кальматация верхней, наиболее трещиноватой части выветрелых пермских осадочных пород за счет вмывания в трещины тонкозернистых и пелитовых частиц из элювиального горизонта. Подобные случаи известны и в других районах Северо-Востока России [3]. При этом формируется дополнительный слой, защищающий подземные воды от загрязнения, но не благоприятный для восполнения их запасов. Поэтому мы рекомендовали принудительную закачку воды из реки в скважины для ускорения заполнения водой воронки депрессии.

Более сложные проблемы возникают в случае изменения качества добываемых вод. Так, ежегодные глубокие (до 90 м) понижения уровня в ряде водозаборных скважин активизируют водообмен в пределах воронки депрессии и вызывают оттаивание окружающих мерзлых пород. Из-за повсеместной сульфидизации это приводит к формированию сульфатных вод, возрастанию в их составе железа выше ПДК. Такое явление произошло, например, в 1974 г. в пос. им. Горького, водозабор которого эксплуатировал подземные воды сквозного талика под руслом р. Малый Ат-урях. В период разведки этого месторождения вода имела минерализацию 0,23 г/дм^3, содержание сульфат-иона – 0,062 г/дм^3, железа общего – 0,25 мг/дм^3. После двух лет эксплуатации отбираемая вода приобрела минерализацию 0,4 г/л, содержание сульфат-иона возросло до 0,12 г/дм^3, железа общего – до 1,2 мг/дм^3, т.е. выше ПДК. Происходящие изменения носили необратимый характер. Об этом свидетельствуют данные нашего опробования вышеупомянутого водозабора в 2001 г. после прекращения его работы в 1995 г. Минерализация воды сохранилась на уровне 0,384 г/дм^3, воды сульфатные с содержанием железа общего 3 – 5 мг/дм^3.

Негативная геоэкологическая проблема может быть связана с преобразованием обстановок в долинах малых горных рек из-за эксплуатации воды надмерзлотных таликов. Поверхностный сток в них обычно прекращается в конце октября, поэтому за счет ускоренной по сравнению с естественными условиями, сработки водных ресурсов надмерзлотных таликов, начинается их усиленное промерзание, вплоть до прекращения функционирования даже с началом водного стока и последующего вывода из строя водозаборов. Такие случаи изучали В. Г. Гольдтман, П. М. Калмыков и В. Н. Мефодиев в 1970 г. на Чукотке. Для предупреждения подобного явления применяется метод торможения стока, направленный на затруднение естественной сработки водных ресурсов в начале зимнего периода стока, в том числе перекачивание воды в верхние от водозабора створы, устройство барражей, простейших запруд [4]. Следует при этом иметь в виду, что при наличии многолетнемерзлых аллювиальных отложений в бортах подруслового надмерзлотного талика длительное существование подпорного уровня подземных вод может привести к негативным экологическим последствиям, связанным с оттаиванием мерзлых пород в бортах талика и его днища. Подобное произошло в долине р. Кэпэрвеем (левый приток р. Мал. Анюй) после устройства барража подземных вод талика для обеспечения работы водозабора пос. Билибино.

Развитие глубокой воронки депрессии в зимнее время угрожает подтягиванием загрязненных, а на морском побережье – соленых морских вод. В связи с глобальным подъемом уровня моря общая тенденция в формировании химического состава вод прибрежно-морских территорий направлена на увеличение минерализации подземных вод. Например, на берегу

Тауйской губы Охотского моря, примерно в 300 м от берега, вблизи р. Речка была пробурена скважина глубиной 20 м, вскрывшая воды с минерализацией 0,08 г/дм^3. Вода использовалась для водоснабжения пос. Новостройка. В сентябре 1992 г. при штормовом нагоне морской воды водоносный горизонт был засолонен, и все последующие попытки очистить и искусственно опреснить его оказались безуспешными.

Экологически неблагоприятные последствия может иметь и процесс поглощения части стока в зимнее время водозабором, гидравлически связанным с не промерзшим до дна водотоком. В наших условиях такие водотоки в зимнее время являются убежищем для пресноводных рыб и нерестилищами для лососевых. Отток воды из непромерзшего водотока понизит ее уровень и содержание кислорода в зимовальных ямах, что повлечет за собой экологическую катастрофу для водных обитателей. Каких-либо действенных мер, кроме ограничения забора воды до 10% зимнего стока, пока не предложено.

Бальнеологическое и теплоэнергетическое направление эксплуатации водных ресурсов ограничивается только комплексным использованием вод Тальского источника, на базе которого функционирует одноименный курорт. Минеральные воды источника, относящегося к горячим азотным кремнистым термам, в естественном состоянии имели температуру 92,7° С.

Химический состав их выражается формулой $M0{,}5\frac{(HCO_3+CO_3)49Cl14SO_410}{(Na+K)96}$, H_2S 2,6 – 4,2 мг/дм^3; H_2SiO_3 118 – 167 мг/дм^3; pH 8. Воды источника каптированы скважиной глубиной 162 м и используются для бальнеологических целей, отопления зданий курорта и теплиц, для бассейна, температура воды в котором 25 – 30° С. Эксплуатационные запасы, равные 1,26 тыс. м^3/сут. по категории $A+B+C_1$, используются полностью. Дополнительный водоотбор вызывает подток холодных вод, терапевтические свойства минеральных вод и их температура резко снижаются. Прекращение избыточного водоотбора приводит к самовосстановлению свойств термальной воды.

Воды источников Таватумского, Чаплинского, Кукунского (Лоринского) используются в малых масштабах для теплиц, бассейнов. На базе Таватумского источника много лет функционировал пионерский лагерь. Мотыклейский термоминеральный источник расположен в месте, доступном для неконтролируемого использования, что способствует созданию антисанитарных условий в его окрестностях.

В целом отметим, что в связи с малым объемом использования термоминеральных вод можно только теоретически предвидеть негативные экологические следствия (изменения температуры, дебита, химического и газового состава минеральных вод), которые могут возникнуть под влиянием нерационального водоотбора.

Обсуждение результатов исследования. Анализируя все известные случаи негативных изменений на участках действующих водозаборов, последние можно разделить на 2 группы. В первую входят водозаборы, на площади которых происходят процессы, способствующие самовосстановлению качественных и количественных характеристик ресурсов пресных подземных вод. Ко второй относятся водозаборы, на участках которых самовосстановительные процессы не происходят, поэтому необходимо вмешательство человека для их осуществления. Участки первой группы расположены на территориях, в которых глобальные изменения природной среды благоприятны для увеличения объема зоны свободного водообмена. В геологическом отношении такие участки приурочены к кратонам, гранитным массивам, террейнам пассивной континентальной окраины на фоне неотектонических воздыманий. Участки второй группы расположены на террейнах активной океанической окраины или в артезианских бассейнах, открытых в море, на площадях неотектонического погружения. Из приведенных выше примеров применения методов торможения стока водозабор в долине р. Иультинка относится к первой группе, в долине р. Кэпэрвеем – ко второй. Ко второй относится и водозабор бывшего поселка Новостройка в Нижне-Арманской впадине.

Заключение. В докладе приведена информация о происходящих негативных экологических последствиях эксплуатации подземных вод таликов речных долин. В числе этих последствий: кальматация трещин зоны гипергенеза в сквозных таликах, ускорение сработки ресурсов подземных вод и вымерзание надмерзлотных таликов, подтягивание загрязненных и соленых вод, понижение температуры и минерализации термальных вод. Происходящие изменения бывают обратимыми и необратимыми. Самовосстановление качества и количества ресурсов происходит на участках, характеризующихся процессами текущих изменений природной среды, благоприятных для увеличения объема пресных вод в зоне свободного водообмена. Если эти процессы неблагоприятны, то происходящие изменения могут быть необратимыми и потребуют постоянного активного техногенного воздействия.

Список литературы

1. Глотов, В. Е. Районирование Северо-Востока России по степени участия подземных вод в формировании общего речного стока / В. Е. Глотов // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике : сборн. докл. – Магадан : СВНЦ ДВО РАН, 2002. – С. 182–200.

2. Погода и климат// http://pogodaklimat.ru/climate/25051.htm

3. Волкова, В. П. Особенности мерзлотно-гидрогеологических условий и проблема рационального использования водных ресурсов и охраны подземных вод / В. П. Волкова, Н. Н. Романовский, Т. А. Куринова; ред. Э. Д. Ершова // Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. – М. : Недра, 1989. – С. 491–503.

4. Романовский, Н. Н. Подземные воды криолитозоны / Н. Н. Романовский. – М. : МГУ, 1983. – 232 с.

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА

Елохина С. Н.

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, elohina.s@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматривается горнопромышленный техногенез как комплекс эжекционных и инжекционных процессов, протекающих в литосфере и развивающихся в две стадии: активную и пассивную. Активная стадия формируется техногенными, а пассивная – природно-техногенными геологическими процессами, а их замена определяется, в основном, гидрогеологическим фактором (положением уровня подземных вод). Историческим фактом является неоднократная смена стадий на некоторых горнодобывающих объектах. По материалам горнорудных объектов Урала приводится обоснование авторской принципиальной (эвристической) модели горного техногенеза.

Ключевые слова: *техногенез, геологические процессы, горнорудное производство, Урал.*

Abstract. In this paper mining «technogen» is observed as a complex of the geological processes of extraction and injection of energy and substance into lithosphere. Complex of geological processes develop during two stage: active and passive. The active stage is connecting with technogensis geological processes, passive stage - with natural-technogenesis ones. Stage replacement depend on the hydrogeological factor (position of a level of ground water). Historical numerous interleaving of stages on the some mining objects have demonstrating. The author offered the principle (heuristic) model of the mining technogen, which is based on data of Ural ore mines.

Key words: *technogen, geological processes, ore mine, Ural.*

Горнодобывающая деятельность сопровождается техногенезом, который квалифицируется Н. И. Плотниковым [1], как комплекс техногенных процессов горнопромышленного профиля, являющихся следствием техногенных мероприятий (горнодобычных работ). В центре техногенного преобразования находится литосфера и подземные воды, как её часть.

После завершения горных работ на пассивной стадии техногенеза, после прекращения активных техногенных мероприятий, геологические процессы приобретают природно-техногенный характер [2]. Рекультивационные мероприятия, как показали обследования территории затопленных рудников Урала, часто растягиваются во времени и обычно не выполняются в полном объеме. В результате на объектах сохраняются как поверхностные, так и подземные проявления горнодобывающей деятельности, которые заполняются подземными водами – наиболее важным агентом подземного физико-механического воздействия. На таких территориях доказано формирование ***совокупности техногенных водоносных горизонтов***, приуроченных к геологическим телам техногенного происхождения:

1. Техногенные водоносные горизонты отвального типа, приуроченные к отвалам горных пород.

2. Техногенные водоносные горизонты коммунального типа, образованные при строительной планировке местности.

3. Техногенные водоносные горизонты шахтного типа, связанные с техногенными горизонтальными и вертикальными каналами гиперпроницаемости.

В совокупности техногенные водоносные горизонты обеспечивают ***необратимость*** техногенного воздействия, которое квалифицируется как ***структурное преобразование*** подземной гидросферы, наряду с существованием и обратимых техногенных воздействий (рис. 1).

Гидрогеологические структуры (ГГС) и связанные с ними подземные водоносные системы (ПВС) иерархически соподчинены [3, 4]. Первые – это подземная ёмкость, совокупность элементарных гидрогеологических тел (ГГТ), вторая отвечает за особенности движения воды, определяя взаимосвязь подземной ёмкости с внешними средами (поверхностными водными объектами и т.п.). Гидрогеологическая структура – есть неотъемлемый элемент подземной водоносной системы того же порядка. Она определяет внутренние свойства подземной водоносной системы и является её ядром (рис. 2).

Подобная трактовка определяет место главного приложения техногенного воздействия горнопромышленного профиля – на гидрогеологическую структуру. Современные масштабы горных работ, учитывая бурение и эксплуатацию нефтяных и газовых скважин, уже достигают нескольких километров по глубине и десятки-сотни квадратных километров по площади, что сопоставимо с размерами природных гидрогеологических структур III – IV порядка.

При остановке рудников техногенные режимообразующие факторы воздействия на подземные воды полностью или частично (при сохранении водоотлива в санитарном объеме) ликвидируются на фоне сохранения техногенных режимообразующих условий – техногенных водоносных горизонтов, природно-техногенных ГГС и соответствующих им природно-техногенных ПВС. Сообразно типу техногенеза природно-техногенные ГГС и ПВС целесообразно относить к *горнопромышленному профилю* (горнопромышленный техногенез).

Доказательством функционирования природно-техногенных ПВС служат следующие признаки, установленные на территории Урала при выполнении поисково-оценочных и разведочных гидрогеологических работ, ведении экологического мониторинга промышленных объектов, комплексных инженерно-геологических изысканиях:

1. *Специфические участки разгрузки* (техногенные родники). При прекращении горных работ и рудничных водоотливов происходит как восстановление ранее осушенных родников, так и формирование новой техногенной родниковой разгрузки через шахтные стволы, провалы, скважины. Подотвальные родники являются участками разгрузки техногенных горизонтов отвального типа, формирующихся в теле свалок, отвалов и других объектов складирования твердых техногенных образований.

2. *Изменение гидрохимических параметров* родникового стока. Техногенный родниковый сток техногенных водоносных горизонтов является крайней степенью метаморфизма естественного подземного стока. На шахтоизливе кислые подземные воды колчеданных месторождений (pH от 2 до 4) имеют сульфатный магниево-кальциевый состав с минерализацией

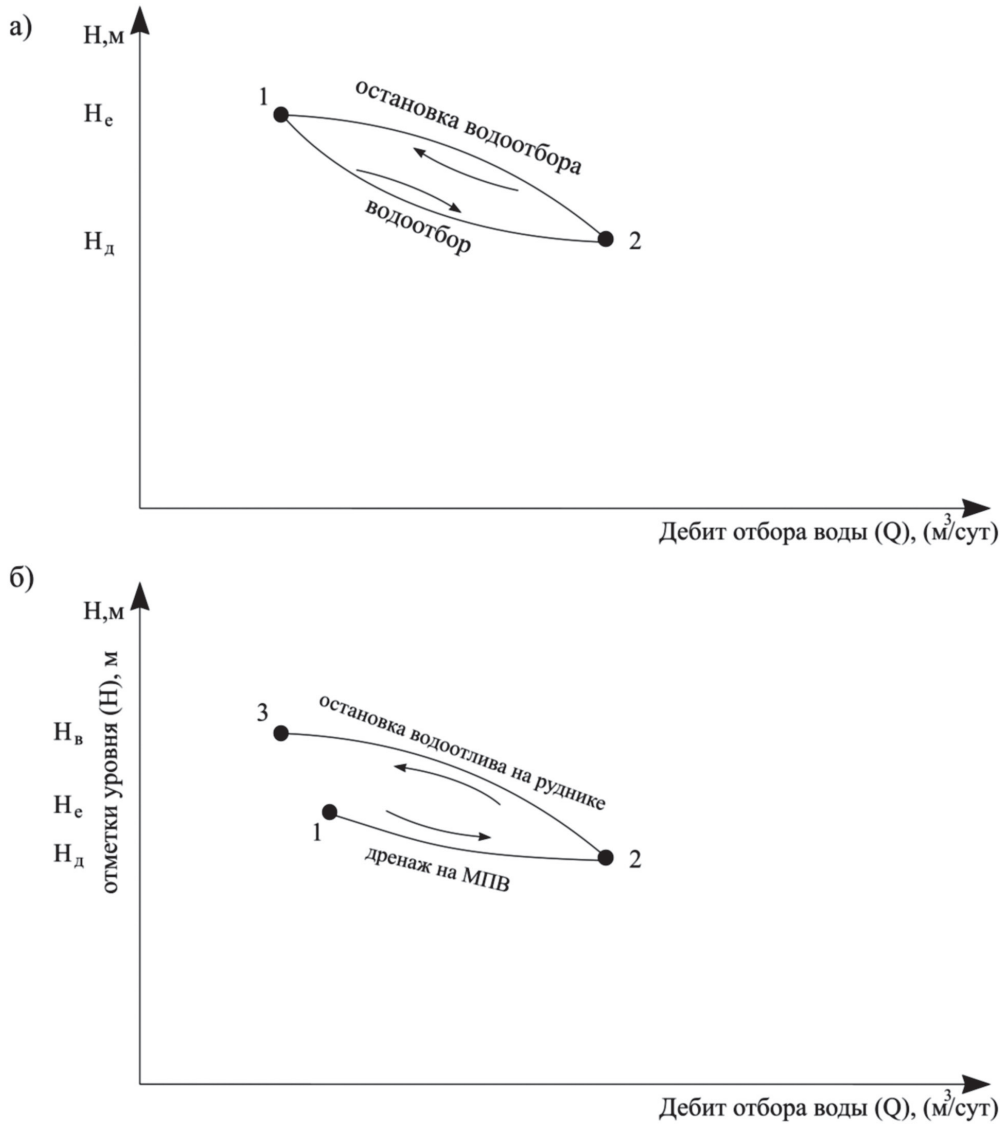


Рис. 1. Состояние подземной водоносной системы (ПВС) при разном уровне техногенного воздействия: а) обратимом; б) необратимом.

В точках 1, 2 и 3 тип ПВС соответственно природный, техногенный, природно-техногенный с соответствующим положением уровня подземных вод: статическим ($Н_е$), динамическим ($Н_д$), восстановленным ($Н_в$)

Рис. 2. Логическая схема взаимосвязи ГТС и ПВС

от 0,5 до 2,0 и более г/л. Суммарные концентрации железа, цинка, и других техногенных элементов могут достигать 10 – 5% ммоль. Даже после прекращения горных работ химический состав шахтных вод достаточно длительное время может иметь специфические свойства.

3. Участки со *специфическим питанием* подземных вод. Площадь питания изменяется за счет создания новых техногенных водоразделов, а интенсивность атмосферного питания растет в результате увеличения коэффициента просачивания на подработанных пространствах, вплоть до полного поглощения атмосферных осадков (Крылатовский, Богомоловский, Дегтярский и др. рудники). Межбассейновое перераспределение водных ресурсов также способствует увеличению приходной части баланса подземных вод (Пышминский, Березовский и др. рудники).

На пассивной стадии техногенеза формируются природно-техногенные ПВС, в которых могут доминировать или сосуществовать как природные, так и техногенные режимообразующие факторы. Встраиваясь в природные гидрогеологические объекты, техногенные водоносные горизонты формируют ***природно-техногенные*** гидрогеологические структуры и подземные водоносные системы, с которыми сопряжены особые посттехногенные типы ландшафтов [5].

В условиях криолитозоны диапазоны формирования природно-техногенных гидрогеологических структур и систем имеют ещё больший потенциал [1], особенно в совокупности с горнодобычными работами.

Оценивания эволюцию нарушенной геосистемы в постэксплуатационный период, учитываются её способности к самоорганизации. Согласно термодинамическим законам самоорганизации (Николис, Пригожин, 1979), учитываемых в работах Н. И. Плотникова (1989) и Э. Ф. Емлина (1991), открытые природные системы развиваются (эволюционируют) в направлении упрощения структурных связей, снижения кинетической энергии и увеличения энтропии. Это выражается выравниванием ландшафтов водной и ветровой эрозий, гравитационными силами, химическим и физическим выветриванием скальных массивов и др. При этом миграционные потоки как разрушают первичные, так и формируют вторичные месторождения и рудопроявления (Перельман А. И., Борисенко Е. Н., 1977).

В природно-техногенных условиях постэксплуатационного периода на фоне общих термодинамических закономерностей возникают новые параметры самоорганизации, отличные от природных. Изменения затрагивают все аспекты существования подземных вод, начиная от формы и проницаемости геологического тела, их баланса и режима, до положения кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных барьеров. Система становится неравновесной и часто обогащает подземную водную среду нехарактерными для природных условий ингредиентами, замещающими типичные геохимические ореолы.

Отношение R:W («порода-вода»), которое служит важным параметром эволюции геосистем, при увеличении в 2 – 3 раза скорости водообмена в природно-техногенных подземных водоносных системах горнорудного профиля иногда резко снижается. Согласно балансовым оценкам по Дегтярскому руднику (А. И. Вишняк и др., 2005), объем выноса минеральных веществ дренажным стоком на пассивной стадии сопоставим с периодом активного техногенеза. Специфическая гидрохимическая обстановка всегда унаследована от активной стадии техногенеза, что проявляется в химическом составе дренажного стока затопленных рудников.

Восстановление природной гидродинамической обстановки также происходит частично: структура фильтрационного потока возвращает центробежный характер при иных условиях питания, разгрузки и транзита подземных вод (формирование техногенных родников, подтопление и т.п.).

Кроме того, исторические события на Урале показывают, что горнодобывающая деятельность на месторождениях или их отдельных участках может производиться с перерывами, иногда длительными (сотни лет), иногда короткими (менее 10 лет), составляя горнорудные циклы. Каждый включает активную и пассивную стадии техногенеза. Перерывы связаны с политическими событиями, сменой социально-экономической обстановки, достижениями науки и техники и др.

С учетом вышеизложенного концептуальная модель техногенеза на любом горнорудном объекте представляется в следующем виде (рис. 3).

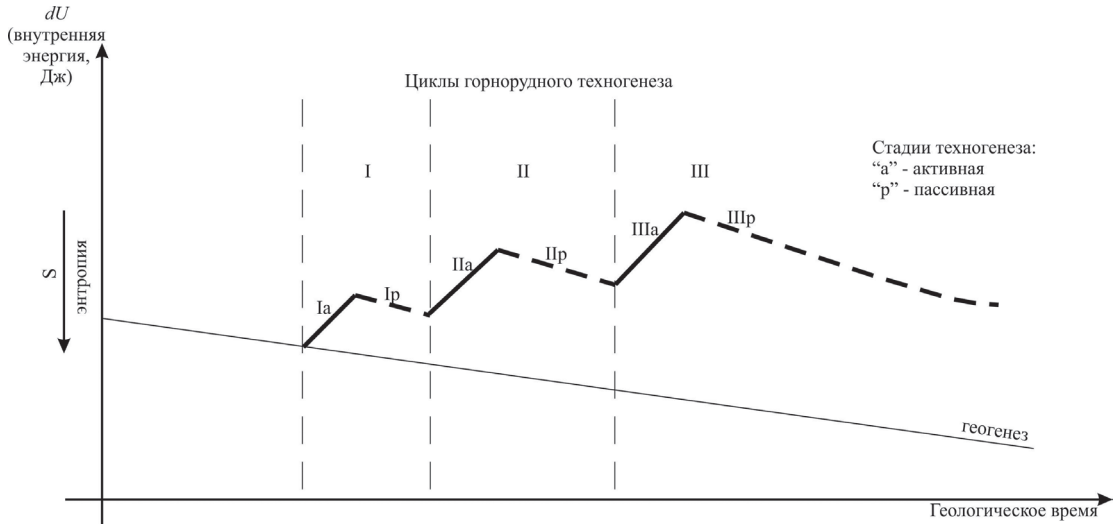


Рис. 3. Концептуальная (эвристическая) модель горнорудного техногенеза

Цикличность горнорудного производства доказывает вскрытие старых затопленных выработок при разведке и освоении Гумешевского, Березовского, Дегтярского, Турьинского, Шиловского и др. рудников. Например, на Гумешевском руднике автором выделено четыре исторических периода горных работ (горнорудных цикла). При этом на пассивной стадии техногенеза каждого цикла отмечены особые горнотехнические и гидрохимические условия. От цикла к циклу зона воздействия горнорудного профиля увеличивается, как и разнообразие природно-техногенных процессов. Вначале горные работы велись выше уровня грунтовых вод, проявления техногенеза были минимальными. На втором этапе глубина многочисленных одиночных горных выработок достигала уже десятки метров (20 – 60), и их последующее вскрытие обнаружило не только обогащенные минеральными соединениями рудничные воды, но и полости, заполненные промышленными отходами (фенолами и др.). Третий этап довел глубину совмещенной техногенной нарушенности массива горных пород до сотен метров, формирование самопроизвольного выхода рудничных вод на поверхность земли на пассивной стадии, что существенно затруднило реализацию подземного выщелачивания меди на четвертом горнорудном цикле.

Выводы. Горнопромышленный техногенез развивается в две последовательных стадии: активную и пассивную, связанных, соответственно, с техногенными и природно-техногенными геологическими процессами. Для гидрогеологических условий указанное воздействие всегда носит необратимый характер. На некоторых объектах отмечается историческое многократное чередование стадий, приводящее к усугублению уровня необратимости техногенного воздействия.

Список литературы

1. Плотников, Н. И. Техногенные изменения гидрогеологических условий / Н. И. Плотников. – М. : Недра, 1989. – 268 с.

2. Елохина, С. Н. Гидрогеоэкологические проблемы затопленных рудников Урала / С. Н. Елохина; под ред. О. Н. Грязнова. – Екатеринбург : Изд. УИПЦ, 2013. – 190 с.

3. Кирюхин, В. А. Региональная гидрогеология / В. А. Кирюхин. – С-Пб. : Изд-во С-Пб Гос. горный институт, 2005. – 344 с.

4. Основы гидрогеологии. Общая гидрогеология / Под общ. ред. Е. В. Пиннекера. – Новосибирск : Наука, 1980. – 231 с.

5. Алексеев, С. В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции / Науч. ред. Е. В. Скляров. – Новосибирск : Академ. изд-во «ГЕО», 2009. – 319 с.

ВЛИЯНИЕ ПОДЗЕМНОГО ЗАХОРОНЕНИЯ РАССОЛОВ ТРУБКИ «УДАЧНАЯ» НА ГИДРОГЕОХИМИЮ РЕЧНЫХ ВОД

Макаров В. Н., Семерня А. А., Торговкин Н. В.
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН,
г. Якутск, makarov@mpi.ysn.ru

Аннотация. В статье рассматривается влияние поступления на поверхность дренажных рассолов трубки «Удачная» на химический состав воды рек Далдын и Марха (бассейн р. Вилюй).
***Ключевые слова**: гидросфера, кимберлиты, дренажные рассолы, захоронение.*

Abstract. Abstract. This article examines the impact of income on the surface drainage brines Udachnaya the chemical composition of water in rivers Daldyn and Markha (basin river Viluy).
***Key words:** hydrosphere, kimberlites, drainage brines burial, Yakutia.*

Трубка «Удачная» – наиболее крупное месторождение алмазов в Далдыно-Алакитском алмазоносном районе. По масштабам воздействия на окружающую среду трубка не имеет себе равных на севере Якутской алмазоносной провинции. К настоящему времени верхняя часть кимберлитового тела вскрыта горными работами до глубины 385 м. Отработка трубки «Удачная» с 1983 г. ведется в условиях поступления в карьер подземных вод, которые представляют собой крепкие рассолы с высоким содержанием токсичных элементов. Захоронение карьерных вод осуществлялось с 1985 г. по 2002 г. на Октябрьском полигоне, затем на Киенгском, расположенном в 5 км юго-восточнее трубки «Удачная», в настоящее время на полигоне Левобережном.

Бассейн р. Далдын представляет собой региональную природную геохимическую аномалию, формирование которой связано с процессами развития Далдынского кимберлитового поля, внедрением пород трапповой формации и существованием нижнепалеозойских водоносных комплексов, представленных высокоминерализованными водами. Эколого-геохимические особенности района трубки «Удачная» определяются природными факторами: химическим составом рудного тела – кимберлитов, слагающих субвертикальные рудные столбы, и вмещающих отложений, представленных карбонатными и терригенно-карбонатными породами кембрия, ордовика и силура, пластовыми телами долеритов и четвертичными суглинками, песками, галечниками и активными техногенным преобразованием окружающей среды [1, 2].

Непосредственно в районе деятельности ГОКа, на междуречье нижнего течения р. Сытыкан – р. Далдын в результате интенсивного техногенного давления на водные системы сформировалась крупная гидрогеохимическая аномалия, занимающая площадь около 120 км^2 – 11х11 км. В её пределах поверхностные и надмерзлотные воды обогащены широким кругом макро- и микрокомпонентов: Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Cl^-, NH_4^+, Sr, Li, Mn, Br. Обводненность месторождения токсичными рассолами оказывает воздействие на экологическую обстановку на территориях, прилегающих к Удачнинскому ГОКу.

Практически в центральной части данной гидрогеохимической аномалии располагаются Октябрьский и Киенгский полигоны. Оценка уровня химического загрязнения природных вод в этом районе показала высокую степень загрязнения поверхностных и грунтовых вод на площадках гидрогеологических скважин, вблизи хвостохранилищ и отвалов карьера трубки «Удачная». Максимальная аномальность природных вод характерна для комплекса Br-Li-Sr-Mn, обладающего высокой степенью токсичности. Загрязнение р. Далдын рядом микроэлементов – Br и F, в меньшей степени – Li, Sr, Cu, Zn, – отмечается на протяжении 4 – 4,5 км от промышленных объектов, что является следствием высокой степени техногенного давления инфраструктуры Удачнинского ГОКа на водные системы.

На правом берегу р. Далдын (юго-западная часть полигона закачки дренажных рассолов «Киенг»), была зафиксирована разгрузка подземных вод. Разгрузка представляет собой ряд мелких нисходящих потоков, сливающихся в единое русло с дебитом около 9 – 10 л/с (32,4 – 36 м^3/час), и один крупный грифон в уже сформированном нисходящими потоками русле. Диаметр грифона составляет 60 – 65 см, дебит 7 – 9 л/с. Наблюдается также мощный поток, выходящий под уступом террасы, из трещины торфянистого покрова. Дебит его составил 25 л/с (90 м^3/час). Растительный покров в районе выхода подземных вод на поверхность практически весь погиб. Основная часть лесного массива представляет собой редкие сухие лиственницы. Протяженность площади погибшей растительности вдоль правого берега реки – 600 м, ширина от подножья террасы в сторону реки Далдын составляет 190 м. По химическому составу вода источника хлоридная магниево-кальциевая, с минерализацией 121,7 г/л.

В русле ручья, сформированном минерализованными водами, в некоторых местах наблюдаются застойные места с водой оранжевого и светло-зеленоватого цвета. Минерализация воды в этих скоплениях очень высокая и изменяется от 20 г/л (скопления зеленого цвета), до 41 г/л (скопления оранжевого цвета).

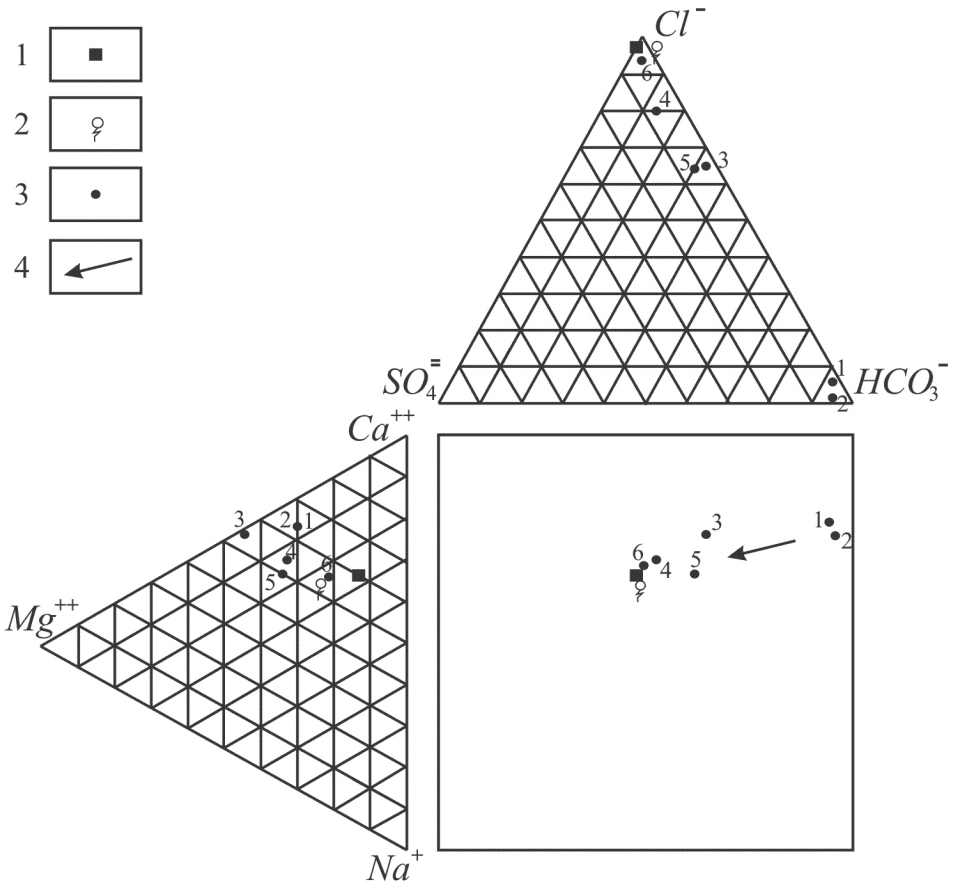
Источник рассолов возник в результате аварийного сброса дренажных рассолов Удачнинского ГОКа, захороненных на полигоне Киенгский.

Величина минерализации в воде р. Далдын, отобранной выше по течению г. Удачный, составляет 278 мг/л. По химическому составу вода гидрокарбонатная магниево-кальциевая. В ионном составе преобладают гидрокарбонаты, содержание которых изменяется от 150 до 200 мг/л. В катионном составе основным ионом является кальций (30 – 40 мг/л). Величина pH изменяется от слабокислой до слабощелочной – 6,0 – 7,5. В период весеннего половодья минерализация воды понижается до минимальных значений – 105 – 107 мг/л, в период летних паводков возрастает до 280 – 320 мг/л, а в летнюю межень достигает 380 мг/л. Минерализация вод реки ниже города составляет 405 мг/л, а после впадения в русло источника минерализованных вод достигает 652 мг/л. В реке Далдын, ниже по течению от источника минерализованных вод до устья, минерализация не понижается ниже 621 мг/л, а в зимнее время достигает 9 – 10 г/л (март 2014 г.), что свидетельствует о существенном влиянии техногенного фактора на химический состав водотока.

Для сравнения химического состава воды источника с исходным дренажным рассолом, закачиваемым в подземные полигоны захоронения, была исследована вода на насосной станции в карьере «Удачный». Тип химического состава воды хлоридно-кальциевый с минерализацией 431,7 г/л, Уменьшение минерализация воды источника по сравнению с водами исходного рассола связано с растворением подземного льда рассолами на полигоне захоронения. Сходство химического состава этих вод свидетельствует о наличии гидравлической связи между водами источника и водами полигона подземного захоронения дренажных рассолов.

Под воздействием инфраструктуры Удачнинского ГОКа (хвостохранилища, отвалы карьера, дренажные рассолы) природный гидрокарбонатно-кальциевый состав воды р. Далдын (в 1956 – 1966 гг.) в результате многолетней (около 30 лет) техногенной метаморфизации химического состава изменился на хлоридный магниево-кальциевый (рисунок).

Сток техногенно-метаморфизованной загрязненной воды р. Далдан влияет на изменение химического состава воды реки Марха. В фоновой пробе, отобранной из р. Мархи выше устья р. Далдын (25.07.14 г.), минерализация воды равна 108 мг/л, химический состав гидрокарбонатный магниево-кальциевый. Ниже устья р. Далдын тип химического состава воды р. Марха изменяется на гидрокарбонатно-хлоридный магниево-кальциевый, а минерализация увеличивается почти в 4 раза до 400 мг/л. Минерализация воды в р. Марха в 20 км ниже ниже устья р. Далдын составляет 709, а в Шологонцах – 557 мг/л, при преобладании в солевом составе хлоридов. В то время как до момента интенсивного поступления техногенных рассолов в речную систему минерализация воды в р. Марха в пунктах Шологонцы, Чумпурук и Малыкай в летнюю межень составляла 73 – 140 мг/л [3].



Техногенная метаморфизация химического состава воды в устье р. Далдын.
1 – дренажные рассолы трубки «Удачная»; 2 – источник рассолов;
3 – р. Далдын: 1 – 1956, 2 – 1966, 3 – 2012, 4 – 2013, 5 – 2014, 6 – 2014 г.;
4 – направление техногенной метаморфизации воды р. Далдын

Влияние солевого загрязнения на естественные экосистемы в бассейне р. Марха будет наблюдаться до снижения концентрации токсичных компонентов рассолов до природного уровня. Это может произойти на удалении 350 – 400 км ниже от устья р. Далдын, примерно в районе впадения р. Мархара в р.Марха. При этом отрицательное влияние аварийного сброса дренажных рассолов будет зависеть и от степени экологической опасности компонентов минерализации, особенно Br, B, Li, Hg, концентрация которых в дренажных рассолах на 2 – 3 порядка превышает ПДК. В зависимости от класса опасности токсичных компонентов и их влияния на гигиеническое или рыбохозяйственное качество воды, протяженность зоны экологического дискомфорта может изменяться в значительных пределах.

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 17. Лено-Индигирский район / Гл. управление гидрометеорол. службы при СМ СССР. – Л. : Гидрометеоиздат, 1972. – 651 с.

2. Ягнышев, Б. С. Экология Западной Якутии (геохимия геоэкосистем: состояние и проблемы) / Б. С. Ягнышев [и др.]. – Якутск : Изд-во ЯНЦ СО РАН, 2005. – 432 с.

3. Макаров, В. Н. Формирование техногенных надмерзлотных вод на территории промплощадки подземного рудника Удачнинского ГОКа (Западная Якутия) / В. Н. Макаров, Н. В. Торговкин // Вопросы географии Якутии. Вып. 11. Влияние изменений климата на природные процессы криолитозоны. – Якутск, 2013. – С. 122–127.

ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ – СВИНЕЦ И МЫШЬЯК – В ГИДРОСФЕРЕ ЯКУТИИ

Макаров В. Н.
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН,
г. Якутск,Makarov@mpi.ysn.ru

Аннотация. В статье рассматриваются особенности распределения в гидросфере Якутии (атмосферных осадках, в речных и озерных водотоках и водоемах и подземных водах) токсичных микроэлементов – свинца и мышьяка. С экологической точки зрения опасность представляют ураганные концентрации свинца и мышьяка в рудничных и ореольных водах месторождений, в хвостохранилищах обогатительных фабрик и при разливах подмерзлотных рассолов, попадающих на поверхность при шахтном и скважинном водоотливе.
***Ключевые слова**: гидросфера, Якутия, токсичность, свинец, мышьяк.*

Abstract. In this paper discusses the features of the distribution in the hydrosphere Yakutia (precipitation, river and lake and groundwater) of toxic trace elements - lead and arsenic. From an environmental point of view, the risk of hurricane represent concentrations of lead and arsenic in mine waters and aureole deposits, concentrators and tailings impoundments subpermafrost brines incident on the surface at the mine dewatering and boreholes.
***Key words:** hydrosphere, Yakutia, toxicity, lead, arsenic.*

Мышьяк и свинец входят в спектр наиболее токсичных металлов – 2 класс опасности в природных водах. Автором изучалось распространение и концентрация Pb и As в природных и техногенных компонентах гидросферы (атмосферных осадках, снежном покрове, поверхностных и подземных водах) Якутии – крупного региона, занимающего примерно 1/6 территории России.

Фоновая концентрация свинца и мышьяка в атмосферных аэрозолях Якутии превышает данные по Южному полюсу – эталону чистого воздуха – на один (Pb)-два (As) порядка.

Содержание свинца в атмосферных осадках в непромышленных зонах Якутии – одно из самых низких на территории России, в среднем 0,05 – 0,3 мкг/л. В пробах снега, отобранного в арктических районах Якутии, концентрации Pb и As ещё ниже – около 0,01 – 0,1 мкг/л. Зимой количество Pb и As в атмосферных осадках увеличивается, что определяется более высоким уровнем загрязнения воздуха в этот период [1, 2].

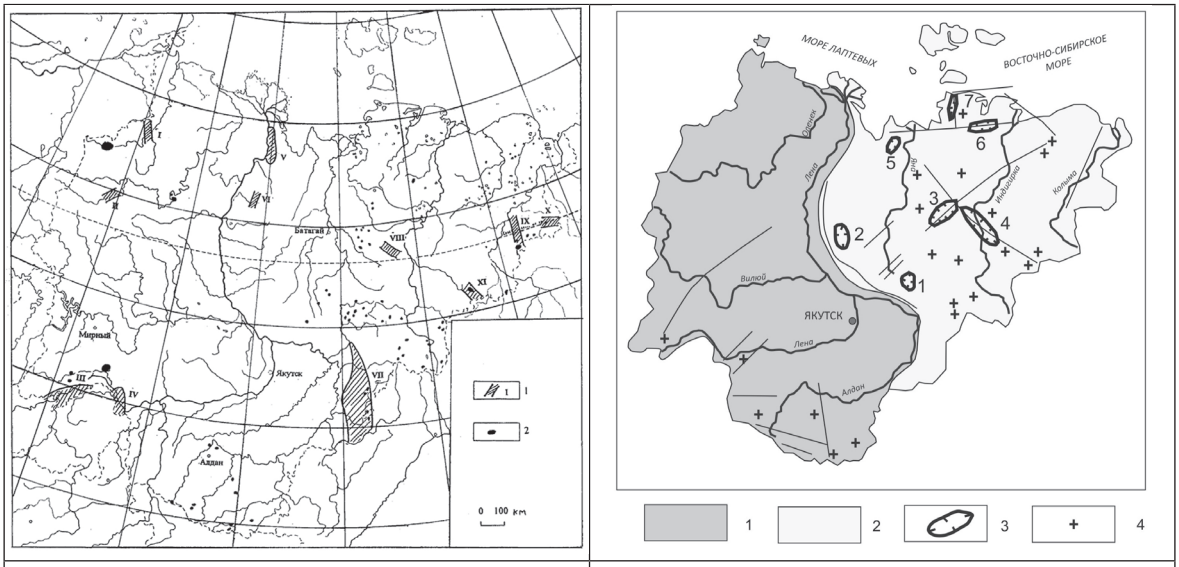
Для определения источников поступления Pb и As, накопившихся в снежном покрове в различных формах миграции, был определен коэффициент накопления этих элементов путем сравнения со средним содержанием в речных водах и кларком земной коры. Наблюдается обогащение свинцом и мышьяком растворимой фазы снежного покрова и очевидный недостаток этих элементов в твердой фазе снега, что связано с незначительным пылевым поступлением с поверхности в атмосферу в зимний период.

Основными источниками поступления свинца и мышьяка в гидросферу Якутии являются зоны рудной минерализации (месторождения) и геохимические аномалии этих элементов, большинство которых расположено в восточной части региона – области мезозойской складчатости (рисунок).

Среднее содержание свинца и мышьяка в речных и озерных водах отличается очень низкой концентрацией – менее 1 мкг/л, характеризующей, по-видимому, природное значение при практическом отсутствии загрязнения техногенными стоками, но заметно возрастает в водотоках, дренирующих рудные районы.

Как для Pb, так и As характерна значительная составляющая солевого стока. В природных водах горно-таежных терригенных мерзлотных ландшафтов Северо-Востока Якутии доля солевого стока этих металлов в среднем составляет около 40%.

По имеющимся данным, в горноскладчатой и платформенной части субарктической и арктической зоны Якутии весьма ощутима роль современного солевого стока, а, следовательно,



Размещение зон рудной минерализации и геохимических аномалий свинца на территории Якутии.

1 – основные площади стратиформного свинцового оруденения: I – Куонамская, II – Силигирская, III – Патомская, IV – Березовская, V – Туорасисская, VI – Кыллахская, VII – Сетте-Дабанская, VIII - Умбинская, IX – Каменская, X – Муастахская, XI – Омулевская; 2 – геохимические аномалии свинца

Размещение зон рудной минерализации и геохимических аномалий мышьяка на территории Якутии.

1 – Сибирская платформа; 2 – Область мезозойской складчатости; 3 – рудные зоны с проявлениями мышьяка: 1 – Южно-Верхоянская, 2 – Западно-Верхоянская, 3 – Дербеке-Нельгехинская, 4 – Адыча-Тарынская, 5 – Куларская, 6 – Полоусненская, 7 – Чохчур-Чокурдахская; 4 – геохимические аномалии мышьяка

Размещение зон рудной минерализации и геохимических аномалий свинца и мышьяка на территории Якутии

и современного химического выветривания. Соотношение растворенного и твердого стока в речных водах (химического и механического выветривания) колеблется от 0,3 в области распространения терригенных формаций Верхояно-Чукотской складчатой области до 8 – 10 – в пределах карбонатных формаций Сибирской платформы.

Для терригенных мерзлотных ландшафтов Арктической зоны региона характерен в основном механический (твердый) сток свинца и мышьяка, а доля солевого стока понижается до 10%. Тем не менее, как физическое, так и химическое рассеяние Pb и As в условиях криогенеза протекает достаточно интенсивно, особенно в пределах таликов и в сезонно-талом слое.

Среднее содержание свинца в поверхностных водах большинства рудных месторождений Якутии находится в пределах 0,2 – 3,0 мкг/л, но аномальные концентрации, например, на полиметаллических месторождениях (Сардана, Уруй), могут достигать ураганных величин – до 30 мг/л. Концентрация мышьяка в рудничных водах золоторудных, золото-сурьмяных, золото-сурьмяно-ртутных и олово-полиметаллических месторождений и хвостохранилищах обогатительных фабрик достигает $10 \cdot n – 1000 \cdot n$ мкг/л.

Содержание свинца и мышьяка в воде исследованных озер Якутии отличается очень низкой концентрацией, характеризующей, по-видимому, природное значение при практическом отсутствии загрязнения техногенными стоками. В большинстве озер содержание растворенного свинца составляет 0,05 – 0,1 мкг/л и только в воде озера Бысыттах около села Балагаччи (Вилюйский улус) незначительно увеличивается – до 0,3 мкг/л.

С уменьшением количества органических веществ интенсивность миграции свинца понижается, и воды обедняются подвижными формами металла.

В Южной Якутии установлены четыре крупных гидрогеохимических аномалии свинца. Максимальное содержание свинца (до 300 мкг/л) установлено в верхнем течении р. Тяни –

правого притока р. Токко. Три другие крупные аномалии расположены на Алдано-Амгинском междуречье (до 3,0 мкг/л), Центрально-Алданском районе (до 1,5 – 3,0 мкг/л) и в нижнем течении р. Гонам (до10 мкг/л).

Содержание мышьяка в наледных льдах достигает 5 – 16 мкг/л.

Среднее содержание свинца в природных водах большинства рудных месторождений Якутии находится в пределах 0,2 – 3,0 мкг/л, но аномальное, например, на полиметаллических месторождениях, может достигать ураганных величин – до 30 мг/л.

На территории сульфидных месторождений мышьяк встречается и в подземных льдах, которые представляют собой по большей части законсервированные (замороженные) рудничные грунтовые воды. Подземные льды, обогащенные As, встречены нами как на рудных месторождениях: ртутных (Гал-Хая) и золотосурьмяных (Сарылах), так и на участках приплотиковых россыпей – Омолойской россыпи золота в бассейне р. Колымы.

Очень скудно освещены процессы миграции свинца и мышьяка в подземных водах Якутии, в основном в надмерзлотных, реже – межмерзлотных и подмерзлотных водах, вскрытых бурением при разведке месторождений полезных ископаемых (таблица).

Содержание свинца и мышьяка в подземных водах Якутии

Тип водопункта	t° C	pH	Eh, B	H_2S, мг/л	CO_2, мг/л	Pb, мкг/л	As, мкг/л	Формула химического состава
Углекислые								
Источник «Нахот»	17,0	6,9	Не опр.	Не опр.	1,0	0,05	Не опр.	$2{,}8\frac{SO_4 94\ HCO_3 5}{Ca75Na20Mg1}$
Сероводородные и азотно-метановые								
Трубка «Удачная»	-4	6,1	0,47	Не обн.	Не опр.	2000 – 9500	740	$300\frac{Cl99Br1}{Ca60Na20Mg16K3}$
Трубка «Мир»	-2	7,8	Не опр.	100	Не опр.	500 – 3400	1,9	$100\frac{Cl92SO_4 8HCO_3 0{,}1}{Na89Ca6\ Mg5K0{,}3}$
Азотные термальные								
Источник «Сытыгын-Сылба»	26,0	8,95	0,25	0,45	48,4	0,5	0,03	$0{,}4\frac{Cl49SO_4 26HCO_3 25}{Na96Ca4\ Mg0{,}4}$
Источник «Тунгурча»	48	7,0	Не опр.	Не опр.	0,3	Не опр	1,5	$0{,}5\frac{Cl46SO_4 36HCO_3 9}{Na75Ca24\ Mg1}$
Азотно-кислородные								
Источник «Булуус»	0,1	7,8	0,496	Не опр.	Не опр.	<0,035	25	$0{,}3\frac{HCO_3 94SO_4 5Cl1}{Na54Ca46}$

Содержание свинца в углекислых, азотно-термальных и азотно-кислородных типах подземных вод не превышает 0,5 мкг/л, чаще всего на порядок ниже. Максимальные концентрации элемента – до 9500 мкг/л – обнаружены в сероводородных и азотно-метановых подземных рассолах Сибирской платформы.

Как и для свинца, содержание мышьяка в подземных водах обычно не превышает 1,5 – 2,0 мкг/л. Максимальные концентрации элемента – 10·n – 100·n мкг/л – наблюдаются в подмерзлотных водах золоторудных и золото-сурьмяных месторождений, а также в азотно-метановых подземных рассолах трубки «Удачная» – 740 мкг/л.

С экологической точки зрения, распределение свинца и мышьяка в природных водах, используемых в хозяйственно-питьевых целях на территории Якутии, в большинстве случаев не представляет опасности. Исключением могут быть «ураганные» концентрации в рудничных водах месторождений, которые могут иметь негативные последствия для жителей вахтовых поселков разведчиков. Потенциальную опасность поступления токсичных элементов в окружающую среду, особенно мышьяка, представляют хвостохранилища обогатительных фабрик рудных месторождений и разливы подмерзлотных рассолов, попадающих на поверхность при шахтном и скважинном водоотливе на месторождениях алмазов.

Список литературы

1. Макаров, В. Н. Свинец в биосфере Якутии / В. Н. Макаров. – Якутск : Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2002. – 113 с.

2. Макаров, В. Н. Мышьяк в окружающей среде Якутии / В. Н. Макаров // Мат. Всерос. совещания «Современные проблемы геохимии». – Иркутск : Изд-во Института географии СО РАН, 2012. – Т. 1. С. 175–178.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ГЛЕЕВОЙ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ В ТЕЛЕ ГРУНТОВОЙ ПЛОТИНЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Максимович Н. Г., Хмурчик В. Т., Деменев А. Д.
Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, г. Пермь, nmax54@gmail.com

Аннотация: На одном из гидротехнических сооружений Камско-Волжского каскада наблюдался похожий на суффозию вынос взвеси водами, фильтрующимися через основание и тело земляной плотины. Проведенные комплексные исследования показали, что источником выносимого вещества были водорастворенные ионы, образующиеся при микробиологической трансформации водовмещающих грунтов и пород, а не вещество тела плотины.

Ключевые слова: *водорастворенное органическое вещество, глеевая геохимическая обстановка, микробиологическое выщелачивание ионов, окислительный геохимический барьер.*

Abstract: Visual observation of hydropower plant dam revealed the efflux of suspended matter with percolating ground waters like suffusion. Complex investigation showed, the sources of effluxed matter were microbiologically transformed water-bearing grounds and rocks, not the dam's body.

Key words: *dissolved organic matter, gley geochemical conditions, microbiological leaching of ions, oxidative geochemical barrier.*

На одной из плотин Волжско-Камского каскада в ходе осуществления мероприятий по контролю за состоянием различных систем сооружения и процессов, на облицовке стенок и дна дренажной системы было обнаружено отложение осадка охристого цвета. Анализ дренажных вод показал существенное превышение их мутности по сравнению с пробами вод из водохранилища, что является одним из признаков суффозионного процесса.

По данным лабораторного химического анализа осадок представлял собой гидроксид трехвалентного железа, в то время как осадок отфильтрованной воды из водохранилища был представлен силикатными минералами. Образование осадка гидроксида трехвалентного железа наблюдалось также в пробах дренажных вод при их хранении в неплотно закупоренной таре, а также на фильтрах при пробоподготовке перед химическими анализами. Таким образом, протекание суффозионного процесса в теле плотины не подтвердилось, однако остался

вопрос механизма образования осадка. В связи с этим нами был разработан и проведен комплексный метод исследования грунтов и вод плотины [1].

Стандартные гидрохимические исследования проб воды, фильтрующейся через тело плотины, показали, что на сравнительно небольшой площади исследований химический состав воды в теле плотины имеет довольно пеструю картину. Так, очаговый характер распространения проявили ионы аммония (максимальное содержание до 21,6 мг/дм^3), нитрит- и нитрат-ионы (максимальное содержание до 4,6 и 3,3 мг/дм^3, соответственно), а также ионы Fe^{2+} (максимальное содержание до 19,8 мг/дм^3) (рис. 1а – г). При этом очаг распространения повышенного содержания в воде ионов аммония примерно совпадал с очагом повышенного содержания ионов Fe^{2+}. Содержание гидрокарбонат-ионов в этой зоне также было повышенным (до 366,1 мг/дм^3) (рис. 1, д), в то время как вне зоны оно в среднем составляло 207 мг/дм^3.

Проведенный хроматомасс-спектрометрической анализ показал, что вода, фильтрующаяся через тело плотины, характеризовалась повышенным содержанием водорастворенного органического вещества ($C_{орг.}$ от 108 до 122 мг/дм^3), в то время как его содержание в поверхностных и маломинерализованных водах Пермского края обычно не превышает 30 – 40 мг/дм^3, достигая в отдельных случаях 60 – 70 мг/дм^3. Исследования показали, что водорастворенное органическое вещество имело преимущественно техногенное происхождение, так как присутствие природных органических веществ торфяного типа было выражено весьма слабо – отсутствовали присущие ему фенольные, углеводные и аминокислотные структуры, а также характерные для растительности эфиры высших жирных кислот (пальмитиновой, стеариновой, олеиновой). Присутствие низкомолекулярных галогеналканов, изоцианатов и изотиоцианатов ряда C_2-C_4, а также оксиранов ряда C_{10}-C_{14}, свидетельствовало о протекании в теле плотины процессов преобразования органического вещества.

Для газогеохимического опробования состава подпочвенных газов грунтовой плотины проводили шпуровую съемку (глубина шпуров 0,5 – 0,7 м, расстояние между шпурами 10 м) с использованием переносного экспресс-газоанализатора «Ecoprobe-5». Опробование выявило совпадение трендов распространения метана (среднее содержание 58,5 мг/м^3) и углеводородных газов C_2-C_5 (среднее содержание 37,5 мг/м^3); тренды распространения летучих органических соединений (среднее содержание 5,5 мг/м^3) и углекислого газа (среднее содержание 483,1 мг/м^3) имели обратный характер (рис. 2).

Комплекс исследований включал также колонковое бурение до глубины залегания аллювиального горизонта, подстилающего подошву тела плотины, с отбором образцов грунта ненарушенной структуры. По данным лабораторных испытаний в строении тела плотины в основном принимали участие глинистые грунты – суглинки тяжелые пылеватые и глины легкие пылеватые. При этом водонасыщенные грунты имели серую и серо-зеленую окраску. Глинистые грунты тела плотины обладали высокой физико-химической активностью, содержали в значительном количестве органические вещества (до 8%) и микроэлементы. Лабораторные исследования показали присутствие в грунтах тела плотины жизнеспособного микробного сообщества, способного оказывать влияние на жидкую, твердую и газовую фазы грунта при активизации жизнедеятельности [2, 3].

Наблюдаемая неоднородность распространения в водах, фильтрующихся через тело плотины отдельных ионов может являться, по нашему мнению, результатом микробиологических процессов, протекающих в теле плотины. Повышение содержания ионов аммония и гидрокарбонат-ионов свидетельствует о процессах разложения органического вещества, а наличие нитрит- и нитрат-ионов – об аэробном характере этого процесса. Примечательно, что нитрит- и нитрат-ионы обнаруживаются вблизи верхнего бьефа плотины, а в пробах воды, отобранных из скважин вблизи нижнего бьефа плотины, они отсутствуют. Это может являться показателем того, что аэробное разложение органического вещества идет за счет кислорода, растворенного в фильтрующихся водах, который полностью расходуется за время прохождения вод через тело плотины. Наличие пространственно совпадающих очагов распространения повышенного

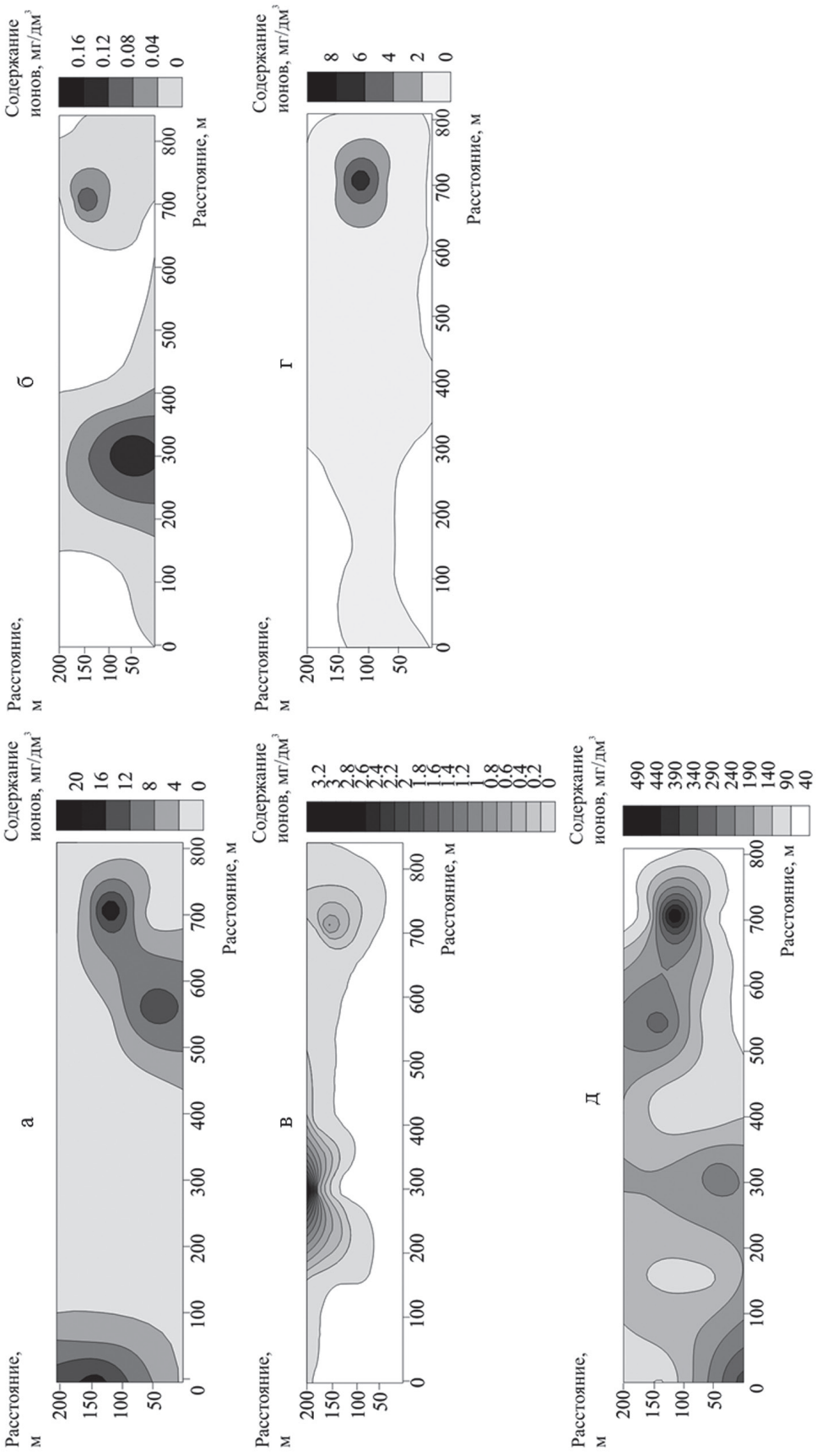


Рис. 1. Содержание отдельных ионов в пробах воды:

а) ионы аммония; б) нитрит-ионы; в) нитрат-ионы; г) ионы Fe^{2+}; д) гидрокарбонат-ионы

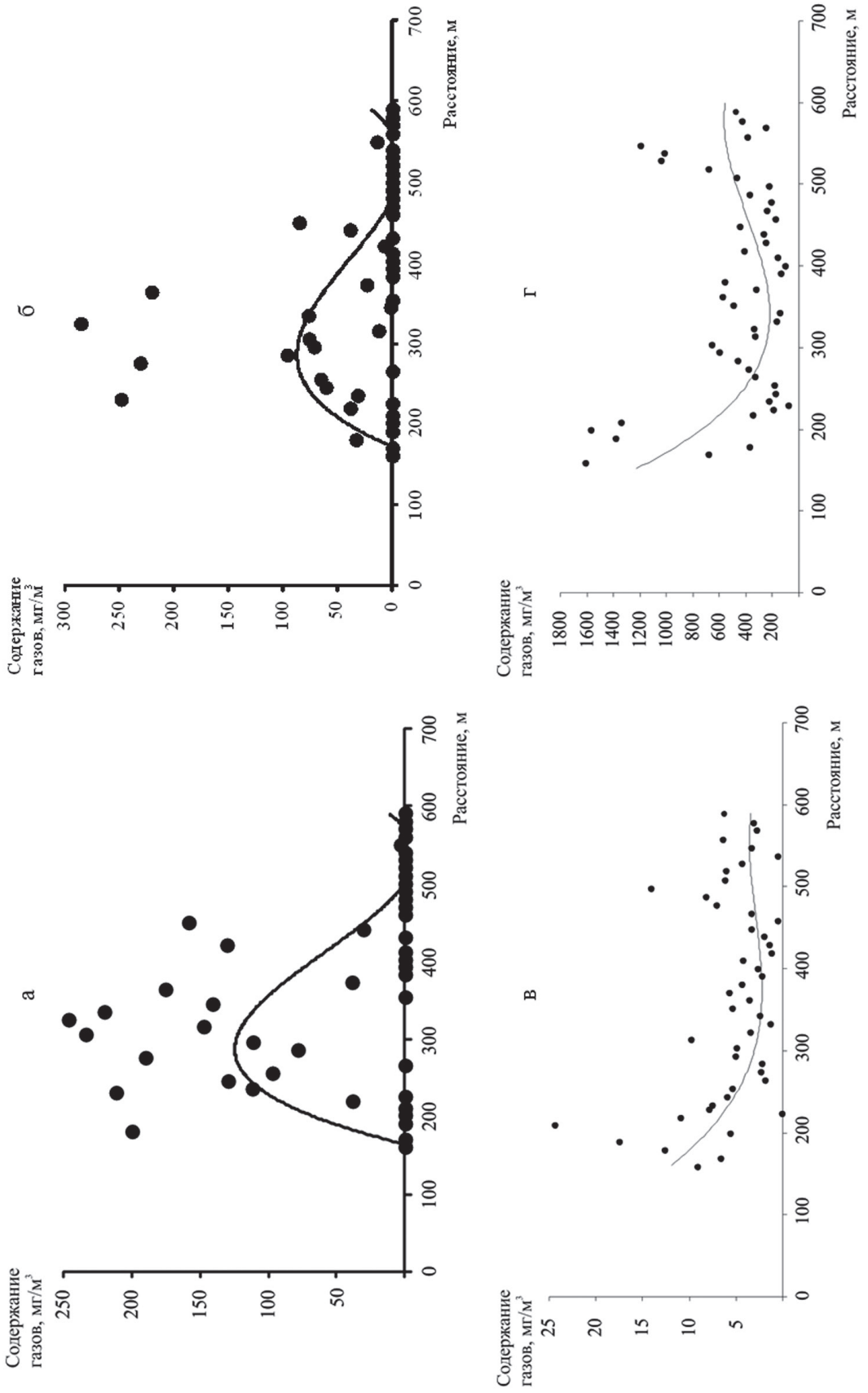


Рис. 2. Состав подпочвенных газов:

а) метан; б) углеводородные газы C_2-C_5; в) летучие органические соединения; г) углекислый газ

содержания ионов аммония и Fe^{2+} свидетельствует о том, что в данной зоне идет анаэробное разложение органического вещества. При этом источником ионов аммония служит органическое вещество, а ионов Fe^{2+} – железосодержащие минералы и породы тела плотины [4, 5, 6]. Ионы Fe^{2+} при выходе на дневную поверхность выпадают в осадок в форме гидроксида железа (III), что объясняет значительное повышение мутности вод, фильтрующихся через тело плотины, по сравнению с водами водохранилища. Совпадение характера распространения в почвогрунтах метана и углеводородных газов C_2-C_5, а также противоположный характер распространения летучих органических соединений могут являться результатом бактериального преобразования в теле плотины органического вещества, в результате которого и образуются летучие органические соединения, которые в дальнейшем также могут быть использованы микроорганизмами с образованием метана и углеводородных газов C_2-C_5. Наблюдаемый характер распределения и состава газов может свидетельствовать об их едином генезисе, связанном, по всей вероятности, с преобразованием сингенетичного органического вещества.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в теле грунтовой плотины в результате жизнедеятельности микроорганизмов получила развитие глеевая геохимическая обстановка [7, 8, 9]. Проведенные исследования также показали, что процессы, имеющие внешние признаки суффозионных, могут и не являться таковыми: источником повышения мутности дренажных вод явился не механический вынос частиц грунта из тела плотины, а новообразование на окислительном геохимическом барьере осадка из ионов, находившихся до этого в водорастворенном состоянии.

Список литературы

1. Максимович, Н. Г. Комплекс методов исследования микробиологической активности в грунтовых плотинах / Н. Г. Максимович [и др.] // Вестник СПбГУ. – 2014. – Сер. 7, вып. 4. – С. 88–100.

2. Деменев, А. Д. Роль микроорганизмов в миграции железа в глинистых грунтах / А. Д. Деменев, В. Т. Хмурчик // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. – 2014. – № 14. – С. 103–105.

3. Maksimovich, N. G. The Influence of Microbiological Processes of Subsurface Waters and Grounds in River Dam Basement / N. G. Maksimovich, V T. Khmurchik // Engineering Geology for Society and Territory. – 2014, V. 6. Applied Geology for Major Engineering Projects. – P. 563 – 565.

4. Максимович, Н. Г. Влияние микроорганизмов на минеральный состав и свойства грунтов / Н. Г. Максимович, В. Т. Хмурчик // Вестник Пермского университета. Сер. Геология. – 2012. – Вып. 3 (16). – С. 47–54.

5. Geatches D. L. Iron reduction in nontronite-type clay minerals: Modelling a complex system / D. L. Geatches, S. J. Clark, H. C. Greenwell // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2012. – V. 81. – P. 13–27.

6. Lovley, D. R. Humic substances as a mediator for microbially catalised metal reduction / D. R. Lovley // Acta Hydrochimica et Hydrobiologica. –1998. – V. 26. – № 3. – P. 152–157.

7. Зайдельман, Ф. Р. Подзоло- и глееобразование / Ф. Р. Зайдельман. – М. : Наука, 1974. – 208 с.

8. Перельман, А. И. Биокосные системы Земли / А. И. Перельман. – М. : Наука, 1977. – 160 с.

9. Перельман, А. И. Геохимия эпигенетических процессов / А. И. Перельман. – М. : Недра, 1965. – 272 с.

ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ПРИ ДОБЫЧЕ УРАНА НА ТЕРРИТОРИИ ВИТИМСКОГО ПЛОСКОГОРЬЯ

Наделяев В. О.[1], Белякова Е. В.[2], Флешлер В. И.[3]
[1]АО «Хиагда», г. Чита, referent@hiagda.ru;
[2]ГУП «Забайкалгеомониторинг», г. Чита, gmgschita@mail.ru;
[3]ООО «Лаборатория экологических проблем», г. Чита, zabnii@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматривается изменение подземной и поверхностной гидросферы при промышленной эксплуатации урановорудных залежей гидрогенного генезиса в

условиях сплошной многолетней мерзлоты методом скважинного подземного выщелачивания на Хиагдинском месторождении урана. Установлено, что загрязнение подземных и поверхностных вод ограничивается пределами добычных блоков. Продолжение регулярных наблюдений динамики и состава вод необходимы для надежного прогноза и оценки экологического ущерба.
Ключевые слова: *гидросфера, уран, СПВ, окружающая среда.*

Abstract. In this article the changing in surface and underground hydrosphere is examined in industrial operation uranium ore deposits of hydrogenic genesis in the terms of continuous permafrost by the drillhole in situ leaching method on the "Hiagda" uranium field. It was established that the pollytion of surface and underground waters is determined by limits of mining blocks. The continuation of regular observations of the dynamics and composition of waters is needed for the reliable prediction and evaluation of the environmental damage.
Key words: *hydrosphere, uranium, drillhole in situ leaching, environment.*

Предпочтительность скважинного подземного выщелачивания (СПВ) при добыче урановых руд является общепризнанной, поскольку из технологического цикла исключаются: извлечение руды и горной массы на поверхность, образование отвалов и другие обстоятельства, связанные с традиционными технологиями.

Однако природные пластовые воды замещаются продуктивными растворами с повышенной кислотностью и концентрацией урана и сопутствующих элементов; формируются и аналогичные по составу «остаточные» в отработанном геологическом пространстве [1, 2].

Не следует исключать возможность загрязнения объектов окружающей среды на поверхности – водотоков, водоемов, почвогрунтов, аллювия, биоты – вследствие проливов на рельеф и переполнения из отстойников, эксплуатационных скважин, аварий на трубопроводах и спецтранспорте.

Оруденение Витимского промышленного урановорудного района (ПУРР), эпигенетическое по отношению к слаболитифицированным континентально-терригенным осадкам, представлено линзовидными, пластообразными рудными телами в аллювиальных, делювиальных и пролювиальных отложениях аркозового состава, перекрытых эффузивами Амалатского базальтового плато, залегает на глубинах от 61 до 244 м. Мощность залежей – от долей до нескольких десятков метров, содержание урана – от 0,13 до 0,3%, продуктивность – от 1,5 до 81,3 кг/м^2. Урановая минерализация представлена тонкодисперсными выделениями настурана, редко – коффинита, частично сорбированных глинистым и углистым веществом; примеси – скандий и редкие земли. По геотехнологическому сорту (величине проницаемости) рудные интервалы Хиагдинского месторождения относятся к слабопроницаемым – коэффициент фильтрации около 1 м/сут [3].

Наблюдения 1986 – 1987 гг. проводились в условиях минимального техногенного воздействия – отсутствия на территории ПУРР постоянных населенных пунктов, промышленных предприятий, равного удаления от основных транспортных коммуникаций – БАМа и Транссиба (рисунок). Наблюдаемые в этот период концентрации поллютантов в гидросфере и метеорных осадках (таблица), так же как и сезонные и пространственные вариации, не являются маскирующим обстоятельством для обнаружения техногенного загрязнения.

В процессе выщелачивания происходит обмен вещественного состава между технологическими растворами и подземными водами, в которых содержатся химические элементы и соединения, характерные, с одной стороны, для руд, а с другой – для выщелачивающих растворов [1, 4, 5].

Руды месторождений Хиагдинской группы относятся к алюмосиликатным, содержащим, помимо урана, скандий, лантаноиды, дисульфиды железа [6]. В составе выщелачивающих растворов абсолютно доминирует техническая серная кислота, разбавляемая водой из местных источников.

В составе продуктивных растворов – главной причины техногенного прессинга, индикатором должны являться «метки» рудного вещества, реагента и разбавителя (воды).

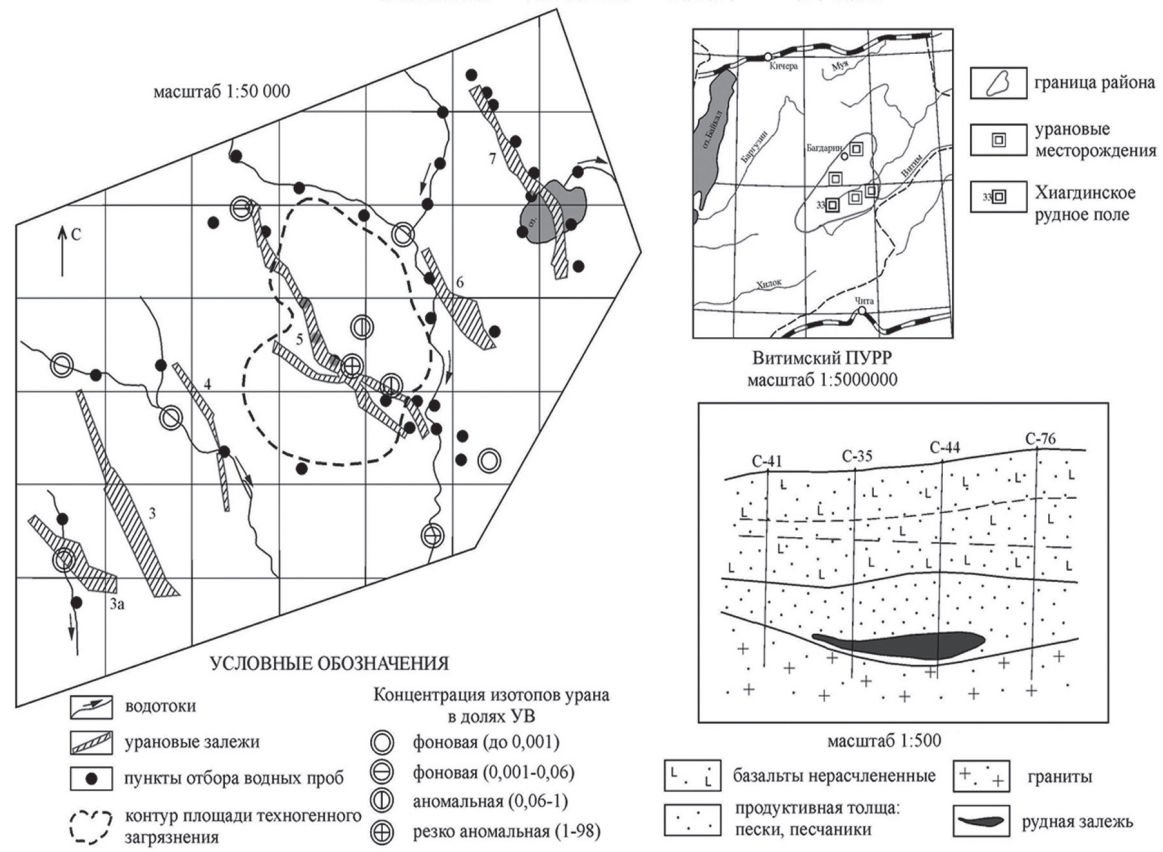


Схема исследования Хиагдинского рудного поля

Состав метеорных осадков, поверхностных и подземных вод, продуктивных растворов и реактивной серной кислоты

а) объекты доэксплуатационного периода

Параметр	Минерализация	Uвал	Fe	pH	Примечание
ед. изм.	мг/л	мкг/л	мг/л	ед.	
1986 – 1987 Метеорные осадки					ультрапресные, 93 пробы
min	6,0	0,01	0,2	6,1	
max	6,5	0,24	3,1	6,9	
среднее	6,3	0,12	1,6	6,2	
1986 – 1987 Поверхностные воды					гидрокарбонатные, кальциево-магниевые, 519 проб
min	10	0,05	0,05	4,4	
max	660	3,4	4,4	9,5	
среднее	480	1,72	0,4	5,9	
1986 – 1987 Подземные воды					гидрокарбонатные, кальциево-магниевые, 68 проб
min	20	0,1	1,6	4,8	
max	360	60,3	266	8,4	
среднее	190	3,7	130	5,9	

б) объекты периода промышленной эксплуатации

Параметр	Ед. изм.	Основной водозабор 2012 – 2013 гг.	Серная кислота 10%, 2013 г.	ПР 2013 г. отстойник 7.1	ПР 2012 г. отстойник 5.1	Примечание
Al	мг/л	39,8	0,50	1899		
Si	мг/л		0,12	95,6		
S	мг/л	0,68	35542	7423	6841	
Fe	мг/л	0,09	0,26	880		
Zn	мг/л	0,22	<ПО	66,4		ПО=0,04 1)
As	мг/л	<ПО	<ПО	<ПО	0,02	ПО=0,01
Hg	мг/л	<ПО	<ПО	<ПО		ПО=0,001
Li	мкг/л		<ПО	2907		ПО=0,5
Be	мкг/л		<ПО	790		
Mo	мкг/л		9,3	4066		
Cd	мкг/л	0,02	<ПО	87,0		ПО=0,3
Ce	мкг/л	0,44	4,9	21630		
W	мкг/л	<ПО	<ПО	1,5		ПО=0,4
Th вал.	мкг/л	0,014	1,0	2124		
U вал.	мкг/л	0,26	24,5	115400	99000	
U-238	Бк/кг	<0,005	-	1270	262	УВ=3,0 2)
U-234	Бк/кг	0,008	-	1285	274	УВ=2,8
pH	ед.	6,9	<1,0	1,38	1,66	

Примечание: 1) – ПО, порог определения; 2) – уровень вмешательства.

Основным источником питьевого, хозяйственного и технологического водоснабжения является вода скважин, вскрывающих базальтовый водоносный горизонт. Вода низкоминерализованная, с нейтральной кислотностью, содержащая фоновые (низкие) концентрации (таблица) макро (S, Fe, Al) и микроэлементов (Cd, Ce, W, Th, U), в составе продуктивного раствора может являться только разбавителем.

Состав кислоты и продуктивных растворов также приведен в табл., из которой следует, что «кислотное» обогащение продуктивного раствора 15 определявшимися химическими элементами, невозможно.

В пробах продуктивного раствора из отстойников 5.1 (2012 г.) и 7.1 (2013 г.) содержание серы, мышьяка, валового урана, кислоты, достаточно близки: содержание четных изотопов урана увеличилось за год более, чем в 3 раза – предположительно из-за возросшей степени извлечения этого компонента из рудных интервалов. Число определяемых в 2013 г. элементов загрязнителей возросло по сравнению с предыдущим периодом с 6 до 18. Таким образом, характерная ассоциация элементов – «портрет» критического признака главного загрязняющего процесса – стала более достоверной. Аномальными значениями выделяются: Al, Si, S, Fe, Li, Be, Mo, Ce, Th, Uвал, U-238, U-234; не являются характерными – Zn, Cd, W, а Hg и As – отсутствуют.

Математико-статистический анализ результатов 71 пробы с площади 17 кв. км. определил для поверхносной гидросферы профиль I фактора: 0,98 S +0,87 Mn + 0,85 Fe + 0,81 Zn + +0,95 Pb + 0,9 Th + 0,96 U – 0,38 As; информационная доля – 74,5 %.

Наиболее подверженными техногенному воздействию являются естественные дрены ландшафта – долины и водотоки, содержащие воду и аллювий мелкодисперсной фракции – илисто-глинистые отложения.

Наиболее загрязненными являются водотоки и илы, находящиеся в руслах руч. Дренажный и р. Тетрах-1, вблизи от отстойника (ПОМС) на залежи № 6. Эта площадь подвержена заметному техногенному прессингу по данным факторного анализа [3]; в формулу 1 фактора входили уран, сера, железо и др. показатели, присутствующие в продуктивном растворе.

За пределами обозначенной территории суммарный показатель загрязнения для водотоков и аллювия находится на уровне низкого (естественного фона). Относительное повышение показателя в СЗ окончании залежей № 5 и № 7 и концентрации Al, Th, U, W и Si, может быть связано с действующими или высохшими отстойниками технологических жидкостей. Следует также отметить, что превышение допустимых концентраций урана в водотоках [7, 8] наблюдаются только в двух пунктах на реке Тетрах-1, ниже траверса действующего комплекса перекачки технологических растворов, где русло реки подходит вплотную к промплощадке, а поверхностный сток во время отбора пробы практически отсутствовал. В пункте наблюдения – мост на р. Тетрах-1, находящемся в 1,5 км ниже по течению, содержание урана в воде падает до безопасного уровня 0,36 от ПДК, а в илисто-глинистой пробе соответствует фону.

Следовательно, интенсивное промышленное загрязнение водотоков и аллювиальных отложений в 2013 г. ограничивалось пределами эксплуатационных блоков на участках залежей № 5 и № 6.

Разброс значений концентрации в водных пробах из скважин для большинства химических элементов весьма значителен: для урана, тория, серы и железа – в несколько тысяч раз, для марганца – в 765, для изотопов урана – в 200 раз; низкие абсолютные концентрации и незначительные вариации – для мышьяка и вольфрама.

Почти все опробованные наблюдательные скважины сосредоточены вдоль залежи № 5, и максимальные концентрации элементов-индикаторов, аналогичные ассоциации продуктивного раствора, относятся к ее центральной части. Аномальные значения концентрации валового урана в скважинах соответствуют 10, 0,1 и 0,01 ПДК, в остальных – существенно ниже, а в скважинах водоснабжения не превышают 0,0006 предельно допустимой концентрации. К участку аномальных концентраций в районе 5-й залежи примыкает и скв. на залежи 6, с повышенными содержаниями U, S, Ce, Cd, Sr, не превосходящими допустимых пределов. Логично предположить, что высокие содержания поллютантов будут обнаружены и в подземных водах залежи № 7 при ее дальнейшей разработке.

На юго-восточном фланге рудного поля признаков загрязнения водоносного базальтового горизонта нет. Не наблюдается какой-либо связи состава воды скважин с температурой – она близка везде к нулю вследствие ММП – и с отметкой уровня, хотя при более частых во времени наблюдениях такая связь вследствие влияния технологических скважин может быть обнаружена. В целом, вполне правомерным является вывод о наличии загрязнения подземных вод, не распространяющегося за пределы эксплуатируемых блоков горного пространства.

В специальной литературе [9, 5] геохимия четных изотопов урана рассмотрена в т.ч. и применительно к их содержанию в урановом оруденении, водах, континентальных отложениях и определению абсолютного возраста.

Физико-химической основой разделения (фракционирования) изотопов является различное состояние их атомов в кристаллической решетке минералов, а повышенное содержание урана-234 есть следствие избирательного выщелачивания атомов, испытавших «эффект отдачи» и значительно большей (в 17 тыс. раз) скорости распада по отношению к родоначальнику радиоактивного ряда.

Возможную аналогию в природном фракционировании четных изотопов (234 и 238) по условиям миграции в водотоках можно предположить для районов Витимского плоскогорья и Прииссыккулья: наличие эндогенного и экзогенного уранового оруденения, сезонные колебания в питании рек, их горный характер и др. особенности резкоконтинентального климата [2, 5].

Максимальная концентрация изотопов урана в объектах Хиагдинского месторождения наблюдается (таблица, рисунок) в продуктивных растворах, значимые отличия (в сотни фоновых значений) – в руч. Дренажный и наблюдательных скважинах между залежами 5 и 6.

Верховья р. Тетрах-2, руч. Правый, р. Тетрах-1 и вода скважин водоснабжения отличаются низкой (на пределе уровня обнаружения) концентрацией всех природных изотопов урана.

Техногенное воздействие на подземную гидросферу при подземном извлечении урана, как правило, ограничивается рудовмещающими водоносными пластами, где природные воды по окончанию добычи загрязняются, превращаясь в «остаточные» растворы, самоокисляющиеся за первые годы после окончания добычи [2].

Специфические характеристики грунтово-инфильтрационных месторождений Витимского рудного района (в т.ч. и Хиагдинского) – наличие мощной толщи ММП, низкая среднегодовая температура (–6° С), гранулометрический состав продуктивных отложений, повышенная концентрация газов в напорных водах – обуславливают необходимость продолжения регулярных измерений динамики и состава подземных вод на добычных полигонах с увеличением плотности наблюдательных скважин и поинтервальным их опробованием.

Такие измерения явятся основой объективной оценки степени и скорости восстановления природной окружающей среды, предотвращения или минимизации экологического ущерба.

Список литературы

1. Геохимия окружающей среды / А. А. Беус [и др.]. – М. : Недра, 1976. – 248 с.

2. Прогноз, поиски, разведка и промышленная оценка месторождений урана для отработки ПВ / К. Г. Бровин [и др.]. – Алматы : Гылым, 1997. – 384 с.

3. Грабовников, В. А. Геотехнологические исследования при разведке металлов / В. А. Грабовников. – М. : Недра, 1983.

4. Живов, В. П. Уран: геология, добыча, экономика / В. П. Живов, А. В. Бойцов, М. В. Шумилин. – М. : РИС «ВИМС», 2012. – 304 с.

5. Чердынцев, В. В. Уран-234 / В. В.Чердынцев. – М. : Атомиздат, 1969. – 308 с.

6. Самович Д. А., Гаврилов Л. П., Никифоров О. С. и др. Минерально-сырьевая база урана Восточной Сибири / Д. А. Самович [и др.]. – Иркутск : МПР РФ, 2007. – 139 с.

7. ГН 2.1.5.1315.03. Предельно допустимые и ориентировочно допустимые концентрации химических веществ в воде объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового пользования. – М. : Роспотребнадзор, 2006.

8. ГН 2.1.7.2041-06, 2.1.7.2042-06. Предельно допустимые (ПДК) и ориентировочно допустимые (ОДК) концентрации химических веществ в почве. – М. : Роспотребнадзор, 2006.

9. Чалов, П. И. Датирование по неравновесному урану / П. И. Чалов. – Фрунзе : Илим, 1968. – 109 с.

ОСНОВНЫЕ ФАКТОРЫ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ХОЛБОЛЬДЖИНСКОГО УГОЛЬНОГО РАЗРЕЗА (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Плюснин А. М., Чернявский М. К., Перязева Е. Г.
ГИН СО РАН, г. Улан-Удэ, gin@gin.bscnet.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены особенности формирования ресурсов и химического состава грунтовых и поверхностных вод на территории размещения отходов производства угольного разреза. В карьерах разработки угольных пластов за счет водопритоков формируются водоемы, содержащие миллионы кубических метров минерализованной воды. Показано, что в результате выщелачивания продуктов выветривания горных пород, вмещающих угольные пласты, в грунтовые воды в больших количествах поступают азотсодержащие соединения, сульфат-ион, фторид, железо, марганец, цинк, стронций, литий. Установлено, что под воздействием загрязненных подземных вод и временных водотоков происходит загрязнение озера Гусиное, являющегося водным объектом рыбохозяйственного значения.

Ключевые слова: *отвалы вскрышных пород, выщелачивание, загрязнение, грунтовые воды, очистка.*

Abstract. In the present article deals with peculiarities of resources and chemical composition of ground and surface waters on-site waste production coal mine. In the quarries of the development of coal seams by water reservoirs are formed that contain millions of cubic meters of mineralized water. It was shown that the leaching of weathering products of rocks containing coal seams, ground water in large quantities received nitrogen-containing compounds, sulfate ion, fluoride, iron, manganese, zinc, strontium, lithium. It is established that under the influence of contaminated groundwater and watercourses is the pollution of lake Goose, which is the water body fisheries values.

Key words: *the overburden dumps, leaching, contamination, groundwater, cleanup.*

Введение. Холбольджинский угольный разрез находится в Республике Бурятия, на юго-восточном берегу оз. Гусиное. После работ угледобывающих предприятий на территории Холбольджинского разреза осталась нерекультивированной техногенная поверхность, представляющая опасность для окружающей среды. Нарушенные земли занимают площадь 1596 га, из них под отвалами вскрышных пород занято более 400 га, объем отвалов составляет более 260 млн м^3. Под воздействием отвалов горных пород формируется химический состав временных водотоков, образующихся при выпадении ливневых атмосферных осадков. На территории разреза сформировано несколько водоемов с минерализованными карьерными водами, вмещающих несколько миллионов кубических метров воды, на значительной площади произошло загрязнение грунтовых вод.

Отходы угольного разреза загрязняют Гусиное озеро, являющееся водным объектом рыбохозяйственного значения. По результатам мониторинга с 1950 по 1990 гг в озере наблюдается увеличение содержания сульфат-иона почти в 5 раз. В последние годы отмечался постоянный рост концентрации других загрязняющих веществ таких, как соединения азота, фосфора, органических веществ.

Целью настоящей работы является выявление воздействия отходов производства Холбольджинского угольного разреза на состояние озера. Среди факторов, негативно влияющих на природную среду, рассмотрены процессы выщелачивания отвалов вскрышных пород, воздействие шахтных и карьерных вод.

Выщелачивание вскрышных пород. Территория Холбольджинского разреза представляет холмистую местность, постепенно повышающуюся от озера к горным массивам с карьерными выемками глубиной до 125 м и породными отвалами высотой до 50 м. Угольные пласты связаны с отложениями Холбольджинской свиты (K_1hb), которая локализована в юго-восточном борту Гусиноозерской впадины. Отложения холбольджинской свиты согласно лежат на подстилающих породах селенгинской свиты и венчают разрез гусиноозерской серии, с юго-востока по разлому они граничат с гранитоидами Моностойского хребта. Здесь вскрыто и разведано 20 угольных пластов мощностью от 2 – 3 до 30 – 53 м. Пласты угля трещиноваты, в них развита густая сеть трещин кливажа, перпендикулярных и наклонных к плоскостям наслоения, они обладают высокими фильтрационными свойствами. В кровле и подошве угольных пластов залегают обычно углистые аргиллиты, они слагают внутрипластовые породные прослои мощностью от 1 до 2 м. Как правило, это крепкие породы с отчетливо выраженной сланцеватостью, на воздухе они быстро выветриваются, растрескиваясь на тонкие плитки. Четвертичные отложения распространены на площади участка повсеместно, залегают в виде сплошного покрова мощностью от 1 – 2 до 5 – 8 м, нередко мощность отложений достигает 16 – 30 м. Представлены они суглинками с прослоями песка, гравия или дресвы и щебня, супесями с песком или щебнем, песчано-щебенистыми отложениями. Наибольшим распространением пользуются суглинки с включениями песка, дресвы и щебня.

В результате вскрышных работ, проводимых на разрезе, пустая порода была расположена во внешних отвалах платообразного и хребтового типов. В отвалах встречаются все вышеописанные породы, поэтому их строение и состав неоднородны. Гидрографическая сеть в районе месторождения представлена развитой системой временных суходольных водотоков.

Практически все временные суходольные водотоки имеют выраженные эрозионные промоины по тальвегу, в большинстве своем промоины имеют форму и размеры оврагов. В целом площадь нарушенных земель представляет собой большое число локальных водосборов, сток с которых идет в оз. Гусиное или техногенные водоемы.

По данным Всесоюзного научно-исследовательского института охраны окружающей среды в угольной промышленности (ВНИИосуголь) установлено, что химическое выветривание горных пород привело к переводу многих токсичных компонентов в легко подвижное состояние. Извлечение растворимых компонентов из пород исследовано методом водных вытяжек, при соотношении порода : вода = 1 : 5. Установлено, что вода обогащается рядом токсичных компонентов. Минерализация водных вытяжек достигает нескольких граммов на литр. В некоторых вытяжках зафиксирована кислая среда, обнаруживаются высокие содержания сульфат-иона. Полученные результаты позволяют сделать вывод о значительной потенциальной агрессивности отвалов этих пород. За время хранения отвалов произошло окисление сульфидной минерализации. Продукты окисления пирита, представленные, вероятно, сульфатами, гидросульфатами железа, серной кислотой, находятся частично в сухом виде и в поровых водах. При взаимодействии отвалов с водой быстро протекает реакция гидролиза сульфатных солей железа, понижается pH, железо переходит в растворенное состояние. Поэтому в водных вытяжках фиксируется железо. Среди других токсичных химических соединений выделяется аммоний, содержание которого в несколько десятков раз превышает предельно допустимые значения для вод рыбохозяйственного назначения. Таким образом, отвалы вскрышных пород могут являться источником загрязнения снеговых и дождевых вод, формирующих свои ресурсы на площади расположения Холбольджинского разреза. Инфильтрация атмосферных осадков через толщу отвалов приводит к загрязнению грунтовых вод.

В результате длительного хранения отвалов вскрышных пород Холбольджинского угольного разреза грунтовый поток, разгружающийся в озеро, интенсивно загрязнен рядом токсичных элементов и соединений (таблица). В наборе загрязняющих веществ присутствуют выявленные в эксперименте по выщелачиванию компоненты – железо, сульфат-ион, азотсодержащие соединения. Кроме них, среди загрязнителей присутствуют фтор, марганец, аллюминий, цинк, медь, кобальт, свинец, молибден, стронций, литий.

Шахтные воды. Движение подземных вод в исследуемом районе направлено в сторону оз. Гусиное. Угольные пласты и вмещающие их породы имеют уклон в противоположную сторону – к хребту Моностойский. Движение подземных вод не совпадает с направлением падения пластов, что осложняет условия движения и залегания подземных вод. Подземный поток по пути движения к озеру против падения пластов, встречает препятствия в виде водоупорных или слабопроницаемых аргиллитов, алевролитов, поэтому в естественных условиях его влияние на химический состав вод озера незначительное. Кроме того, по мере движения потока подземных вод к базису эрозии водоносные слои погружаются и гидростатические напоры возрастают. В пределах хребта Моностойский трещинные воды имеют свободную поверхность, в конгломератах горного обрамления обладают напором от 0,5 до 20 м, вблизи озера и под ним напор достигает 120 – 150 м. Вследствие погружения слоев под озеро и заиленности его дна, связь подземных вод с озером затруднена, что подтверждается разницей в уровнях воды в озере и в скважинах, пробуренных в акватории озера.

В процессе добычи угля шахтным способом была нарушена изолированность глубоких водоносных горизонтов. Анализ объемов поступления подземных вод в шахты показывает, что они тесно связаны с условиями питания водоносных горизонтов и комплексов, перекрывающих или содержащих угольные пласты. Максимальные притоки приходятся на период снеготаяния и летних дождей. В осенне-зимнее время они снижаются и достигают минимума в марте-апреле. Среднемноголетний объем сброса шахтных вод в озеро составляет около 1 млн кубометров в год (Борисенко, 1991). По химическому составу это гидрокарбонатно-сульфатные натриевые воды с минерализацией 1,3 – 1,6 г/л. Вместе с шахтными водами в озеро

Химический состав грунтовых вод, установленный в скважинах, пробуренных на побережье оз. Гусиное, мг/л

№ скважин	Дата отбора проб	Уровень воды, м	Породы водоносного горизонта	Na	Ca	Mg	HCO_3	NO_2	NO_3	SO_4	Cl	F	Fe	°Ж	Нефтепр.	Общ. минер.	pH
2	16.04.	8,80	уголь	410.7	280,5	206,7	134,2	2,68	166,8	2008,6	85,1	0,93	7,56	31,0	0,02	3339,1	8,38
3	16.04	3,58	суглинок	198.9	260,5	139,8	445,4	0,43	44,7	1108,8	78,0	1,28	6,22	24,5	0,02	2305,2	8,38
4	16.04	4,70	песок	195,9	130,2	30,4	433,2	0,10	6,0	430,1	35,5	5,48	0,38	9,0	0,02	1279,8	8,39
6	16.04	4,65	песок	77,2	55,1	24,3	286,8	0,54	39,1	74,1	28,4	4,25	0,07	4,7	0,02	603,3	8,43
7	16.04	3,18	суглинок	123,9	60,1	23,1	97,6	0,38	14,4	361,8	26,2	3,46	0,08	4.9	0,02	712,4	7,90
8	23.04	4,60	уголь	182,4	126,2	93,6	500,3	0,67	10,5	571,3	36,2	6,59	0,29	14,0	0,02	1550,1	8,39
9	23.04	4,17	уголь	8,5	10,0	4,8	42,7	0,11	1,62	14,8	7,1	3,3	2,60	0,9	0,02	99,2	7,79
10	23.04	4,35	песок	65,9	36,1	27,9	225,8	0,05	0,17	89,6	16,3	12,3	0,2	4,1	0,02	489,1	8,39
11	23.04	3,80	песок	52,4	32,1	27,9	183,0	0,04	0,84	88,5	17,0	10,4	0,14	3,9	0,02	424,9	8,42
12	23.04	3,52	суглинок	85,6	186,4	44,9	213,6	1,54	88,1	517,8	17,7	6,15	0,62	13,0	0,02	1178,5	8,40
13	23.04	5,10	песок	286,9	96,2	63.2	445,4	0,07	2,78	574,6	47,5	27,5	0,31	10,0	0,02	1564,9	8,43
14	23.04	3,00	песок	81,9	270.5	212.8	427,1	0,23	12,16	941,7	266,6	3,88	10,5	31,0	0,02	2255,0	8,47

поступает много взвешенных веществ, угольной пыли и нефтепродуктов. Шахтные воды содержат сульфат-иона, хлорида, натрия в 10 раз, магния в 4 раза, кальция в 2 раза больше по сравнению с озерной водой.

Карьерные воды. На исследуемой территории Холбольджинского разреза в местах отработки угольных пластов располагается несколько техногенных водоемов разных размеров, которые нами были детально обследованы (рис. 1, 2). Эти водные объекты образованы в результате разгрузки пластовых и трещинно-жильных вод в горные выработки. Горные выработки связаны с отработкой угольных пластов и располагаются на различных абсолютных отметках.

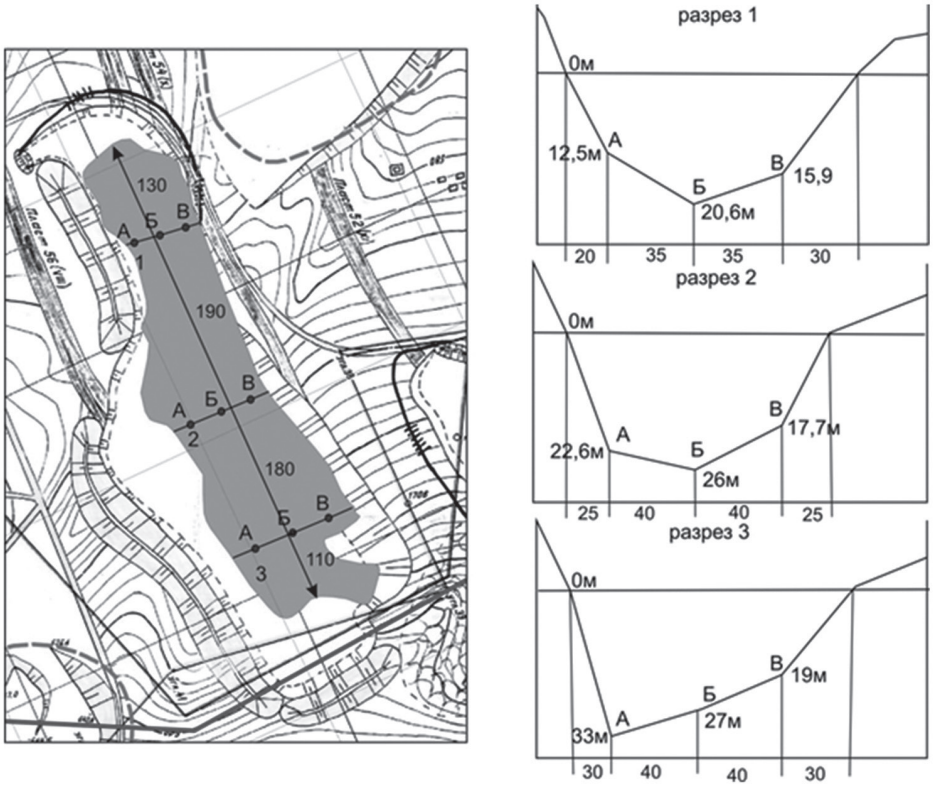


Рис. 1. Водоем, расположенный в карьере угольного пласта № 9, с профилями промера глубин

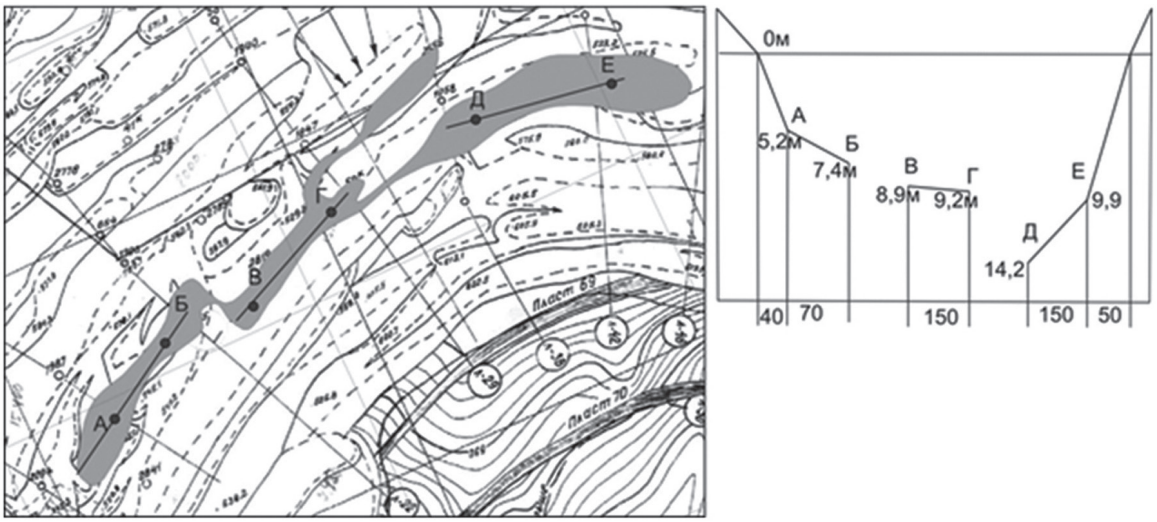


Рис. 2. Продольный профиль промера глубин водоема, связанного с угольным пластом № 3

Водоемы имеют значительные размеры, результаты измерения двух из них представлены на рис. 1 и 2. Водоем, расположенный в карьере угольного пласта № 9 имеет ломанную береговую полосу с крутыми, местами отвесными берегами высотой более 10 м, сложенными песчаником, местами с глинистыми отложениями. Длина водоема с запада на восток составляет 610 м, наибольшая ширина составляет 140 м, наибольшая глубина достигает 33 м. На момент измерения в этом водоеме было заключено 1 040 660 м^3 воды. Поверхность водоема имеет абсолютную отметку 583 м. Поверхность воды Гусиного озера находится на абсолютной отметке 549 м. Существует вероятность перетекания воды из этого водоема в озеро.

Водоем угольного пласта № 3 представляет собой цепочку связанных между собой трех узких прудов, вытянутых в субмеридиональном направлении. Общая длина этих водоемов достигает 680 м при максимальной ширине 80 м. Максимальная глубина достигает 14,2 м.

В питании этого водоема, вероятно, определяющую роль играет разгрузка трещинно-жильных и пластовых вод глубинных водоносных горизонтов. В зимний период их подток в водоем не прекращается, поэтому происходит пучение ледяного покрова в средней части, так как по краям происходит примерзание льда к берегам. Абсолютная отметка поверхности льда 512 м, т.е. водоем находится ниже озера Гусиного.

Еще один водоем расположен в юго-восточной части территории размещения отвалов Холбольджинского разреза. Длина этого водоема 410 м, максимальная ширина 110 м, глубина 12 м. Поверхность воды в водоеме находится на отметке 579 м над уровнем моря.

Нами проведено опробование всех техногенных водоемов в нескольких точках наблюдения с поверхности льда. Для отбора проб воды во льду бурились скважины. Минерализация воды во всех водных объектах превышает 1 г/л, в значительных количествах в воде присутствует сульфат-ион и натрий, которые определяют химический тип воды. Вода во всех водоемах обладает значительной жесткостью. Среди микроэлементов наиболее значительные содержания установлены для стронция, лития, марганца, цинка, аллюминия и фосфора.

Поверхностного стока от техногенных водных объектов в сторону Гусиного озера нет, они заглублены во вмещающие угольные пласты породы и отделены от озера крутым валом вскрышных пород. Пробуренные вблизи водоемов скважины не вскрыли потоков грунтовых вод в сторону Гусиного озера.

Заключение. Все рассмотренные факторы оказывают негативное влияние на экологическое состояние рассмотренной территории.

Исследование прибрежных вод озера Гусиное показало, что в них содержатся повышенные содержания фтора, нитрата, сульфат-иона, магния, железа, которые превышают установленные для озера фоновые значения.

Поверхностный сток в озеро происходит во время выпадения ливневых атмосферных осадков по руслам временных водотоков и оврагам, промоинам. Фациальный состав техногенных образований вскрышных пород благоприятствует сносу в озеро взвешенного материала. С поверхностным стоком в озеро могут поступать в значительных количествах сульфат, аммоний, нитрат, железо. Техногенные водоемы не оказывают негативного влияния через подземный сток на озеро Гусиное, так как отделены от него слабопроницаемыми коренными кристаллическими породами и глинистыми осадочными породами.

Подземный сток в озеро происходит за счет разгрузки напорных вод, связанных с угольными пластами и грунтовых вод, формирующих ресурсы в пределах техногенных образований вскрышных пород разреза. Химический состав напорных вод формируется в результате протекания природных процессов в толще угольных пластов. В результате взаимодействия с выветрелыми угольными пластами воды обогащаются продуктами их разложения, в них обнаружены высокие содержания сульфата, нитрата, нитрита. Грунтовые воды, формирующие химический состав в пределах отвалов Холбольджинского разреза, загрязнены продуктами выщелачивания из рыхлых вскрышных пород. Среди наиболее значимых загрязнителей выделяются фтор, сульфат, аммоний, нитрат, нитрит, марганец, железо.

Для устранения негативного влияния отвалов Холбольджинского угольного разреза на экологическое состояние вод озера Гусиное, необходимо закрепить отвалы вскрышных пород растительностью, обеспечить очистку поверхностного стока путем сооружения отстойников ливневых вод. Техногенные водоемы необходимо сконцентрировать в наиболее низких местах рекультивируемой территории разреза.

Список литературы

1. Экология озера Гусиное / И. М. Борисенко [и др.]. – Улан-Удэ : Изд. БНЦ СО РАН, 1994. – 199 с.

ОЦЕНКА ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Размахнина И. Б.
ФГБОУ ВПО «Забайкальский государственный университет», г. Чита, razmakhnina.irina@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены проблемы открытой разработки угольных месторождений Восточного Забайкалья связанные со сложными гидрогеологическими условиями, наличием многолетнемерзлых пород.
***Ключевые слова**: водоприток, угольное месторождение, подземные воды, многолетнемерзлые породы.*

Abstract. This article reviews the problems of open coal mining in Eastern Transbaikalia associated with complex hydrogeological conditions and the presence of permafrost.
***Key words:** water production, coal deposit, groundwater, permafrost.*

На территории Восточного Забайкалья, обычно рассматриваемой в административных границах Забайкальского края, известно более 100 угольных месторождений и углепроявлений, приуроченных к верхнемезозойским отложениям, выполняющим грабеноподобные впадины, грабен-синклинали и мульды.

Гидрогеологические условия разрабатываемых угольных месторождений являются сложными и определяются приуроченностью к зонам крупных тектонических разломов и депрессий с высокой водообильностью водоносных горизонтов, наличием сезонной и многолетней мерзлоты, сложными условиями взаимосвязи водоносных горизонтов. Освоение и отработка месторождений неизбежно сопровождается нарушением баланса подземных вод и увеличением водопритоков к горным выработкам. При вскрытии четвертичных отложений в бортах буроугольных разрезов зачастую наблюдаются оползни объемом в десятки и сотни кубических метров. Связано это с обводнённостью и весьма высокими фильтрационными свойствами четвертичных образований. Коэффициенты фильтрации рыхлых пород вскрыши иногда достигают 180 м^3/сут и более. Углевмещающие породы и породы надугольной толщи зачастую значительно менее проницаемы, их коэффициенты фильтрации редко превышают 3 – 5 м^3/сут. Являясь относительным водоупором для четвертичных водоносных пород, меловые образования служат подошвой четвертичного водоносного комплекса, и способствуют транспортированию воды четвертичных образований к бортам разреза. При их разгрузке здесь зачастую наблюдаются суффозионные явления с потерей устойчивости борта и его оползанием. Дополнительным фактором потери устойчивости является и слабое сопротивление пород сдвигу при их обводненном состоянии. Происходит деградация мерзлых пород в зоне карьерного водоотлива и связанные с этим неблагоприятные физико-геологические процессы и явления, в том числе и увеличение водопритоков.

Рассмотрим наиболее характерные угольные месторождения со сложными гидрогеологическими условиями.

Уртуйское буроугольное месторождение расположено в Краснокаменском районе Забайкальского края и приурочено к устьевой части пади «Уртуй», по которой протекает временный водоток.

В обводнении месторождения принимают участие водоносные комплексы четвертичных рыхлых и нижнемеловых осадочных отложений.

Водоносный комплекс четвертичных отложений имеет повсеместное распространение и представлен песчано-гравийными и супесчаными гравелистыми отложениями средней мощностью 25 м. Нижняя часть комплекса, представленная суглинками и супесями общей мощностью до 21 м, практически безводна. В центральной части месторождения мощность четвертичных отложений уменьшается, а иногда они полностью отсутствуют.

Грунтовые воды залегают на глубинах до 8 м летом и до 12,9 м – в конце зимнекритического периода. Амплитуда колебаний уровня – 4,0 – 5,0 м. Обводненность пород неравномерная, водопроводимость колеблется от 11,3 до 177,5 м^2/сут., среднее значение составляет 163 м^2/сут. Коэффициент фильтрации пород – 6,6 м/сут. Наиболее обводнены четвертичные отложения в пойме р. Уртуй. Водопроводимость и обводненность пород закономерно увеличивается к устьевой части пади «Уртуй», где залегают высокопроницаемые пролювиально-аллювиальные породы.

Питание четвертичного водоносного горизонта осуществляется атмосферными осадками, а также поверхностными водами. Разгрузка водоносного горизонта осуществляется в угольные и подугольные образования.

Водоносный комплекс нижнемеловых осадочных образований традиционно подразделяется на надугольный, угольный и подугольный водоносные горизонты. Представлен комплекс в основном трещиноватыми песчаниками, алевролитами и углями.

Водоносный горизонт надугольных отложений имеет коэффициент фильтрации 6,6 м/сут и водопроводимость 67 м^2/сут.

Водоносный горизонт угольных отложений имеет коэффициент фильтрации 18 м/сут и водопроводимость 720 м^2/сут. Общая мощность пород от 30 до 50 м. Горизонт напорный, имеет тесную гидравлическую связь с надугольными отложениями.

Продуктивная толща вмещает основной угольный пласт и пласты-спутники. Вмещающими породами являются алевролиты, тесно переслаивающиеся с песчаниками. Доля песчаников увеличивается к бортам впадины, что обуславливает закономерную фильтрационную изменчивость.

Водоносный горизонт подугольных отложений представлен трещиноватыми песчаниками и имеет коэффициент фильтрации 4 м/сут и водопроводимость 30 м^2/сут, от угольного водоносного горизонта отделен почти повсеместно толщей алевролитов. Горизонт напорный, пьезометрический уровень подземных вод устанавливается ниже уровня угольного водоносного горизонта [1].

Анализ гидрогеологических условий Уртуйского месторождения показывает, что они весьма сложные ввиду пестрого литологического состава пород, различия фильтрационных свойств, их изменчивости в разрезе и по простиранию, сложных граничных условий, связанных с наличием разнородных границ. В целом фильтрационные свойства пород Уртуйского месторождения высокие, что определяет высокую обводненность месторождения. При этом наиболее обводненными являются породы угольного водоносного горизонта.

Татауровское буроугольное месторождение расположено в Улетовском районе Забайкальского края и приурочено к долине р. Ингода, являющейся одной из крупнейших рек Забайкалья.

Гидрогеологические условия месторождения отличаются сложностью ввиду приуроченности его к пойменной террасе р. Ингода, наличию напорных вод подугольного водоносного горизонта, мощного чехла аллювиальных отложений с коэффициентом фильтрации до 70 м/сут и многолетнемерзлых пород.

В стратигрофо-генетическом отношении в пределах Татауровского месторождения может быть выделено 3 водоносных комплекса:

– водоносный комплекс современных четвертичных аллювиальных отложений р. Ингоды (aQiv);

– водоносный криогенно-таликовый нижнемеловой комплекс угленосной кутинской свиты (K1kt);

– водоносный нижнемеловой комплекс непродуктивной тигнинской свиты (K1tg).

Водоносный комплекс современных четвертичных аллювиальных отложений горизонтальной поймы р. Ингоды имеет повсеместное распространение на площади месторождения. Представлен галечниками с гравийно-песчаным заполнителем средней мощностью 7 м и максимальной, приуроченной к древнему руслу р. Ингоды, – 40 м.

Воды безнапорные летом и напорные зимой, с напором до 2 м. Кровля комплекса вскрывается на глубинах от 1,0 до 3,0 м. Подошвой комплекса являются меловые отложения продуктивной толщи. Коэффициенты фильтрации комплекса колеблются в пределах 22 – 319 м/сут, причем максимальные значения отмечаются вблизи р. Ингода, минимальные – у борта депрессии. Средние значения коэффициента фильтрации – 70 м/сут. Водопроводимость пласта достигает 2439 м^2/сут. Дебиты скважин колеблются в пределах от 0,15 л/с до 2,1 л/с при понижении от 0,7 до 0,2 м соответственно. Удельные дебиты составляют 0,2 – 17,5 л/с·м.

Преимущественную роль в питании комплекса четвертичных отложений в связи с образовавшейся депрессией зеркала грунтовых вод вокруг разреза имеет переток поверхностных вод р. Ингода и ее притоков, а также инфильтрация атмосферных осадков на всей площади распространения комплекса.

Границами комплекса в пределах отрабатываемой части месторождения являются: в западной части – р. Ингода, в южной и северной – притоки р. Ингода, в восточной – мерзлые породы борта долины.

Водоносный криогенно-таликовый нижнемеловой комплекс угленосной кутинской свиты (K1kt) включает все угольные пласты и вмещающие их породы. Площадь распространения комплекса везде ограничена выходами III угольного пласта под четвертичные отложения. Исключение составляет юго-восточная часть мульды, где площадь водоносного комплекса ограничена областью развития многолетней мерзлоты. Водоносный комплекс представляет собой систему взаимосвязанных пластов угля и песчаника, разделенных линзами алевролитов и аргиллитов. Подошвой комплекса является выдержанный по площади и мощности слой аргиллитов и алевролитов, залегающий в нижней части разреза. Мощность водоносного комплекса достигает 125 м в центре мульды. Отметки уровня воды в скважинах, равных 1,67 – 1,7 м от поверхности земли, то есть такие же, как и у четвертичных пород. Это свидетельствует о гидравлической связи комплексов. Напоры 7,3 – 2,9 м. Дебит скважин в песчаниках 1,37 – 16,9 л/с, в углях 0,45 – 5,1 л/с. Удельные дебиты составляют соответственно 0,18 – 3,6 и 0,027 – 0,86 л/с·м. Коэффициенты фильтрации песчаников составляют 0,45– 5,32 м/сут, углей – 0,51 – 4,55 м/сут. Среднее значение коэффициента фильтрации пород комплекса – 2,44 м/сут.

Питание осуществляется за счет перетока вод из нижележащей толщи тигнинской свиты через «гидрогеологические окна» в водоупорных породах.

Водоносный нижнемеловой комплекс непродуктивной тигнинской свиты (K1tg) залегает под алевролитами III угольного пласта и выходит под четвертичные отложения за пределами месторождения.

Водоносный комплекс представлен песчаниками с линзами алевролитов, аргиллитов и бурого угля. Кровлей комплекса являются выдержанные по площади слои алевролитов и аргиллитов низов продуктивного комплекса. Мощность водоносного комплекса с запада на восток, к центру мульды, увеличивается с 14 до 122 м.

Воды комплекса по периферии мульды безнапорные, а в ее центре напоры достигают 170 м. Питание комплекса осуществляется на западном и восточном крыльях мульды, где

песчаники подугольной толщи выходят непосредственно под четвертичные отложения и примыкают к породам, слагающим хребты Черского и Яблоновый.

Разгрузка подземных вод происходит через гидрогеологические «окна» в водоупорной кровле в водоносный комплекс угленосной толщи. Среднее значение коэффициента фильтрации подугольной толщи равно 2,45 м/сут. Удельные дебиты скважин достигают 1,65 л/с·м [2].

Тарбагатайское буроугольное месторождение расположено в Петровск-Забайкальском районе Забайкальского края и приурочено к долине р. Хилок – одной из крупнейших рек юго-западного Забайкалья.

Гидрогеологические условия Тарбагатайского буроугольного месторождения определяются его геологическим строением, а именно мульдообразным залеганием пластов, приуроченным к прирусловой части долины р. Хилок, а также дренирующим влиянием ранее пройденных при отработке месторождения участков.

В обводнении месторождения участвуют следующие водоносные горизонты и комплексы:

– водоносный горизонт современных и четвертичных аллювиальных отложений р. Хилок;

– водоносный комплекс мезозойских отложений зугмарской (надугольной) толщи;

– водоносный комплекс мезозойских отложений зугмарский (угольной) толщи;

– водоносный комплекс мезозойских отложений зугмарской (подугольной) толщи._

Водоносный горизонт аллювиальных отложений р. Хилок распространен повсеместно в пределах долины реки. Водовмещающими являются песчано-гравийно-галечниковые отложения, разнозернистые гравелистые пески, супеси мощностью от 5 до 23 м и средней около 12 м.

Уровни подземных вод вблизи русла реки залегают на глубине 1,5 – 2 м, на абсолютных отметках 719 – 720 м. Вблизи разреза Тигнинский уровни понижены до 4 – 8 м, соответствуя отметкам кровли нижнемеловых пород (712 – 716 м).

Фильтрационные свойства аллювиальных отложений весьма высокие. Коэффициент фильтрации пород составляет в среднем 130 м/сут, оцененный по сложившимся водопритокам разрез – 180 м/сут. Водопроводимость пород достигает 2160 м^2/сут.

Областями питания водоносного горизонта служат р. Хилок, его старицы и затопленные карьеры.

Аллювиальный горизонт является основным источником обводнения месторождения, а также восполнения запасов водоносных комплексов нижнемеловых отложений.

Надугольный водоносный горизонт отложений зугмарской свиты приурочен к переслаивающимся песчаникам, алевролитам и пропласткам угля центральной части месторождения. Средняя мощность обводненных пород 40 – 48 м.

Коэффициент фильтрации пород надугольного комплекса по данным откачек изменяется от 0,5 до 1,0 м/сут, по фактическим водопритокам в разрез, проведенным автором составляет 1,0 – 1,5 м/сут. Водопроводимость пород комплекса 40 – 72 м^2/сут.

Породы надугольного комплекса непосредственно перекрываются аллювиальными отложениями, залегающими на них с размывом, и имеют тесную с ними гидравлическую связь.

Наличие слабопроницаемых и проницаемых отложений в разрезе обуславливает напорный характер вод комплекса.

Угольный водоносный комплекс отложений зугмарской свиты приурочен к пластам Тигнинскому и Спутнику, а также песчаникам междупластья. Общая мощность толщи 30 – 54 м.

В связи с наличием в кровле и почве угольных пластов слабопроницаемых аргиллитов и алевролитов угольный водоносный комплекс обладает напорным характером фильтрации.

Коэффициент фильтрации, по фактическим водопритокам, около 1,0 м/сут.

Мощность обводненных пород в разрезе угольной толщи составляет 30 м. Водопроводимость пород комплекса 30 – 45 м/сут.

Подугольный водоносный горизонт отложений Зугмарской свиты, приуроченный к песчаникам и алевролитам почвы пласта Спутник, отличается незначительными фильтрационными

свойствами. Коэффициент фильтрации составляет 0,23 м/сут, водопроводимость, оцененная по сложившимся водопритокам – 14 м^2/сут.

Наличие относительно водоупорных пород в кровле водоносного комплекса и приуроченность областей питания к выходам его под аллювиальные отложения обуславливает напорный характер фильтрации.

Напор возрастает при приближении к центральным частям мульды, превышая 150 м.

Значительную роль в обводнении месторождения играют аллювиальные отложения долины р. Хилок, что обусловлено их высокими фильтрационными свойствами, отсутствием многолетнемерзлых пород и значительной водопроводимостью (2160 м^2/сут).

В районе угольного разреза формируется сложный фильтрационный поток с обеспеченным питанием со стороны р. Хилок, находящимся на среднем расстоянии 800 м от разреза. Уровни подземных вод по границе первого рода (с постоянным напором) закономерно понижаются от 722 до 719,5 м в соответствии с уклоном долины реки, составляющим на этом участке 0,00103. С противоположного борта долины фильтрационный поток обеспечивается фильтрацией из притоков р. Хилок, из склоновых отложений, а также многочисленных озер и затопленных карьеров ранее отработанных пластов, отметки воды в которых также закономерно понижаются в соответствии с уклоном долины. Среднее расстояние от разреза до условной границы обеспеченного питания, проходящей по береговой линии озер, составляет 1100 м [2].

Проблемы разработки Тарбагатайского месторождения заключаются, прежде всего, в огромных водопритоках, значительном обводнении пород и их слабой несущей способности из-за этого, смещением и оползанием крутопадающих обводненных пластов при их подрезке и невозможности освоения из-за этого значительных запасов угля на некоторых участках месторождения.

Угольные месторождения Восточного Забайкалья характеризуются повышенной сложностью гидрогеологических условий за счёт наличия в угленосных отложениях, как правило, нескольких изолированных и взаимосвязанных водоносных горизонтов, нередко напорного характера, вследствие приуроченности многих угольных месторождений к отрицательным замкнутым структурам, а также наличия многолетнемерзлых пород.

Список литературы

1. Материалы дополнительных инженерно–геологических работ на западном борту разреза «Уртуйский». Исходные данные для определения оптимальных параметров отработки юго-западного борта. – Краснокаменск, ОАО «ППГХО», 2005. –75 с.

2. Беляков, А. Е. Гидрогеологические условия и методы управления водопритоками на угледобывающих предприятиях Юга Забайкалья / А. Е. Беляков, И. Ю. Кудрявцева // Вторая науч.-техн. конф., посвященная 25-летию Горного института : тез. докл. – Чита, ЧитГТУ, 1999. – Ч. 1. – С. 140–142.

СЕКЦИЯ 3
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД С ГОРНЫМИ ПОРОДАМИ И ПОВЕРХНОСТНЫМИ ВОДАМИ

НОВЫЕ ДАННЫЕ О СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОПАХ ХЛОРА И БРОМА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Алексеева Л. П.[1], Алексеев С. В.[1], Кононов А. М.[1], Ма Тенг[2], Лю Юньдэ[2]
[1]Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, salex@crust.irk.ru;
[2] Китайский университет геологических наук, г. Ухань, mateng@cug.edu.cn

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты изучения стабильных изотопов ^{37}Cl и ^{81}Br в подземных соленых водах и рассолах осадочных и интрузивных пород Сибирской платформы. Проанализировано более 60 проб подземных вод, отобранных из скважин и источников. Выполнен сравнительный анализ изотопного состава хлора и брома в глубокозалегающих подземных водах Сибирской платформы с составом ^{37}Cl и ^{81}Br в подземных водах кристаллических пород Канадского и Фенноскандинавского щитов, а также осадочных толщ Северо-Китайской равнины.

Ключевые слова: *изотопы хлора и брома, подземные соленые воды и рассолы выщелачивания, седиментогенно-метаморфогенные рассолы, Сибирская платформа.*

Abstract. The results of stable isotopes ^{37}Cl and ^{81}Br research in ground saline water and brines of sedimentary and intrusive rocks of the Siberian Platform are presented in this paper. More than 60 ground water samples from wells and boreholes have been analyzed. The isotope signatures (^{37}Cl и ^{81}Br) of deep ground water from sedimentary rocks of the Siberian Platform and from crystalline rocks of the Canadian and Fennoscandian Shields and from sedimentary rocks of the North China Plain have been compared.

Key words: *chlorine and bromine isotopes, ground brines, infiltrogenic and sedimentogenic ground water, Siberian Platform.*

Введение. Генезис и эволюция подземных высокоминерализованных вод осадочного чехла платформ и выступов их фундаментов представляют основной интерес при гидрогеохимических исследованиях. Решению проблем на новом уровне способствуют комплексные изотопные исследования. Стабильные изотопы хлора и брома широко используются как трассеры для объяснения происхождения подземных вод хлоридного состава или для исследования геохимических эволюционных процессов после захоронения маточной рапы в бассейнах седиментации. В течение последних лет активно изучались процессы, приводящие к фракционированию галогенных изотопов. Установлено, что изотопы хлора фракционируют в ходе таких физических процессов, как осаждение солей [1], испарительная концентрация рассолов [2], ионный обмен и диффузия [3, 4], а в разделении изотопов брома большую роль могут играть процессы диффузии [4].

Цель настоящей статьи – охарактеризовать распределение ^{37}Cl и ^{81}Br в подземных водах хлоридного состава Сибирской платформы, расширить банк данных их изотопного состава и оценить возможность использования галогенных изотопов в качестве важнейшего инструмента для познания эволюционных процессов в системе «вода – порода», начавшихся в раннем кембрии.

Материалы и методы исследования. Исследование галогенных изотопов в подземных водах Сибирской платформы началось в 2005 г. при сотрудничестве с канадскими учеными из Университета Ватерлоо [5, 6]. Для изотопного анализа было использовано 47 проб воды хлоридного натриевого и кальциевого состава с минерализацией от 38 до 626 г/дм^3. Анализы выполнены методом Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS). В 2014 г. в Государственной

ключевой лаборатории биогеологии и геологии окружающей среды Китайского Университета Геонаук на масс-спектрометре Thermo Finnigan MAT 253 выполнены определения $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ в 20 пробах подземных хлоридных кальциевых и натриевых рассолов. По величине минерализации (40 – 434 г/дм^3) они относятся к слабым, крепким и весьма крепким. Глубина отбора проб воды составила 76 – 3389 м. Результаты изучения изотопных характеристик подземных вод, отобранных из осадочных и интрузивных пород Ангаро-Ленского, Тунгусского, Якутского и Оленёкского артезианских бассейнов, положены в основу настоящей статьи.

Геолого-гидрогеологические условия. Сибирская платформа, включающая крупные гидрогеологические формации, занимает площадь свыше 4 млн км^2 – от моря Лаптевых на севере до озера Байкал на юге. Геолого-тектонические и гидрогеологические особенности платформы сформированы под влиянием многочисленных эволюционных процессов – траппового и кимберлитового магматизма, накопления галогенных толщ в южной части и карбонатных – на северной оконечности, длительной эрозии с конца верхнекембрийской эпохи. Особые условия теплообмена на земной поверхности в позднем кайнозое привели к формированию уникальной по мощности (более 1400 м) криолитозоны на северо-западе кратона. Осадочный чехол платформы до глубины 2–3 км насыщен подземными водами (от соленых до крепких рассолов) преимущественно хлоридного натриевого или кальциевого (иногда смешанного) состава.

Результаты и обсуждение. На основе комплексного анализа $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ возможно получить более детальную информацию о формировании рассолов в осадочных породах. Ранние исследования подземных вод древних кристаллических пород позволили установить диапазон изменения $\delta^{37}Cl$: –1,0…+2,0‰ [7, 8], причем для пород значения $\delta^{37}Cl$ были >0‰, а для подземных вод смещены в отрицательную область. Первое изучение $\delta^{81}Br$ в подземных водах осадочных пород Норвежского шельфа показало положительные значения изотопов брома: от 0,08 до 1,27‰ [9]).

Авторами настоящей статьи установлены диапазоны вариаций $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ в подземных водах Сибирской платформы, составившие –0,67…+1,54‰ (SMOC) и –0,80…+3,35‰ (SMOB) соответственно. Значения $\delta^{37}Cl$ не выходят за пределы изменения этой величины: –2,5…+2,5‰ (SMOC), характерной для подземных вод различных регионов мира [10].

В слабых, крепких, весьма крепких и предельно насыщенных хлоридных кальциевых рассолах значения стабильных изотопов хлора и брома испытывают относительно небольшие колебания (рис. 1): $\delta^{37}Cl$ изменяется от –0,666 до +0,96‰ (разброс 1,63‰), а $\delta^{81}Br$ – от –0,8 до +0,73‰ (разброс 1,53‰). Минерализация предельно насыщенных рассолов достигает 626 г/дм^3, содержание брома – 8,5 г/дм^3, генетический коэффициент Cl/Br составляет 25-83. Хлоридные кальциевые рассолы относятся к метаморфизованным. Для слабых и крепких рассолов хлоридного натриевого состава характерен больший диапазон значений стабильных изотопов хлора и брома (особенно брома): $\delta^{37}Cl$ – от –0,29 до +1,54‰ (1,83‰), $\delta^{81}Br$ – от –0,07 до +3,35‰ (3,42‰). Минерализация этих вод изменяется от 44 до 318 г/дм^3, содержание Br

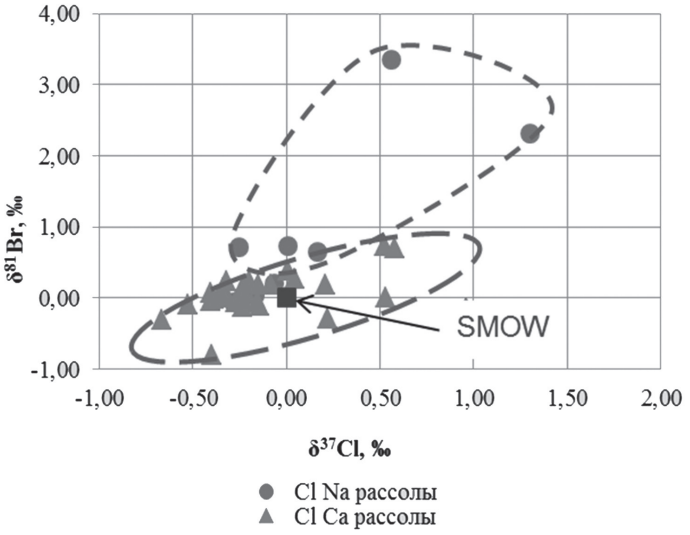


Рис. 1. Зависимость $\delta^{37}Cl$ от $\delta^{81}Br$ в рассолах Сибирской платформы (SMOW – Стандарт средне-океанической воды)

невысокое (в среднем 380 мг/дм^3), Cl/Br коэффициент достигает 8000. Это типичные рассолы выщелачивания.

Небольшие вариации галогенных изотопов в хлоридных кальциевых рассолах могут указывать на единый источник поступления элементов в подземные воды и одинаковое влияние эволюционных геохимических процессов метаморфизации (диффузии, ионной фильтрации и др.) захороненной маточной рапы. Гораздо больший диапазон изменения галогенных изотопов в хлоридных натриевых рассолах свидетельствует об обогащении подземных вод тяжелыми изотопами хлора и брома, что является результатом испарительного концентрирования рассолов и процессов выщелачивания на стадии их формирования.

Для выявления дифференциации геохимических типов рассолов, а также трендов изотопного состава в зависимости от минерализации подземных вод и глубины их залегания, проведен сравнительный анализ с изотопными данными, полученными на Канадском, Фенноскандинавском щитах и Северо-Китайской равнине (рис. 2).

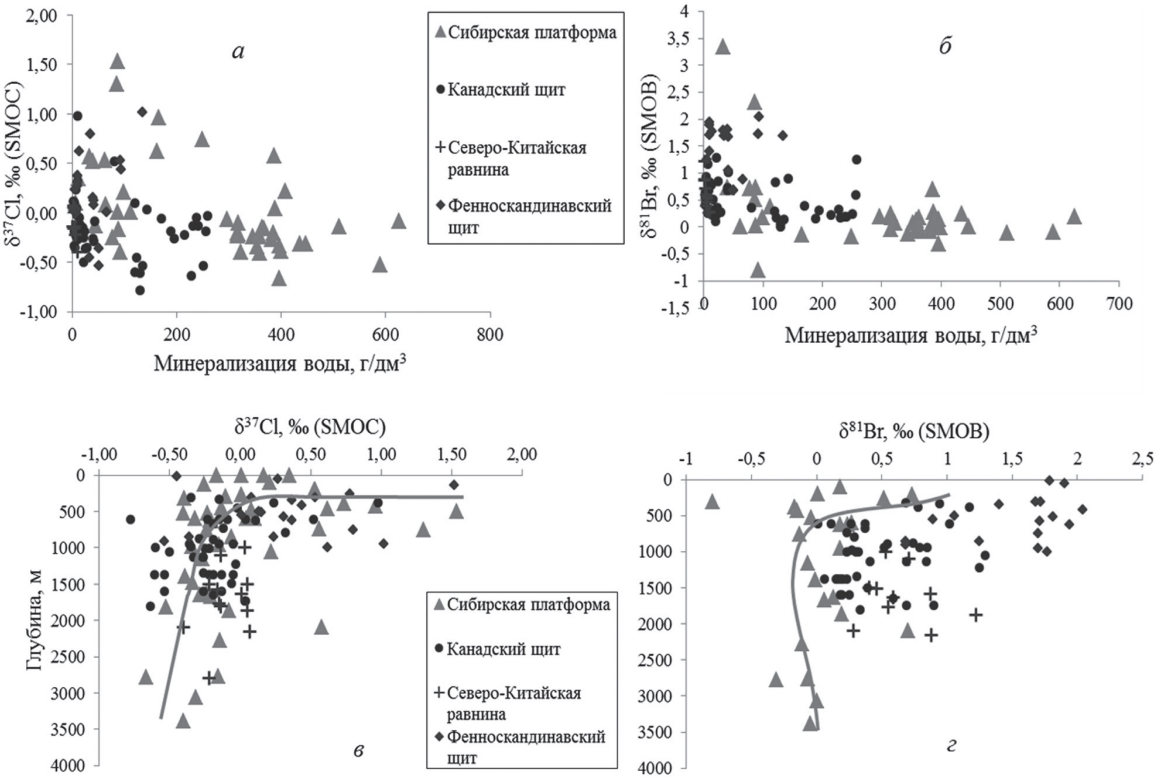


Рис. 2. Зависимость $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ от минерализации (а, б) подземных вод и глубины их залегания (в, г) Сибирской платформы, Канадского, Фенноскандинавского щитов и Северо-Китайской равнины.

Линии на графиках в и г – тренды изменения $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ в подземных водах Сибирской платформы от глубины

В подземных солоноватых, соленых водах и рассолах Канадского щита с различной минерализацией (от 1,9 до 258 г/дм^3) преимущественно Na-Ca (Na-Mg-Ca) состава диапазоны изменения $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ составляют –0,78…+0,98‰ (SMOC) и +0,01…+1,29‰ (SMOB) соответственно. В подземных водах Фенноскандинавского щита (как Na-Ca, так и Ca-Na состава) с минерализацией 4,9 – 134 г/дм^3 значения $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ смещены в положительную область и формируют более широкий диапазон, чем в подземных водах Канадского щита: $\delta^{37}Cl$ изменяется от –0,54 до +1,52‰, а величина $\delta^{81}Br$ – от +0,24 до +2,04‰. Авторы [11] полагают, что установленные значения галогенных изотопов не подтверждают морское происхождение

изученных подземных вод, а значение $\delta^{37}Cl$ указывает на процессы выщелачивания хлоридов из горных пород или флюидных включений в кристаллических породах щитов.

В пределах Северо-Китайской равнины для подземных солоноватых вод (максимальная минерализация 9,3 г/дм^3) хлоридного натриевого состава в осадочных отложениях (кайнозойских песчаниках), отобранных с глубины 1000 – 2800 м, установлен узкий диапазон изменения изотопов хлора (–0,4…+0,07‰) и изотопов брома (+0,28…+1,22‰). Авторами доказано, что изученные подземные воды представляют собой смесь морской воды и древних метеорных вод, подвергшихся испарению, химический состав которой впоследствии был преобразован в результате взаимодействия с вмещающими породами [12].

Значения галогенных изотопов в подземных водах осадочных и интрузивных пород Сибирской платформы на графике зависимости от минерализации воды (рис. 2, а, б) распределяются следующим образом.

Слабые рассолы хлоридного натриевого или кальциево-натриевого состава характеризуются значениями $\delta^{37}Cl$, типичными для подземных вод Канадского и Фенноскандинавского щитов. Вероятно, и формирование состава этих рассолов на Сибирской платформе обусловлено процессами выщелачивания в системе «вода – порода», что не противоречит инфильтрогенной природе рассолов, распространенных, в основном, в седиментационных бассейнах с галогенными формациями.

$\delta^{81}Br$, в отличие от подземных вод щитов и кайнозойских песчаников Северо-Китайской равнины, во многих пробах крепких и весьма крепких рассолов (со средней минерализацией 347 г/дм^3) из преимущественно осадочных отложений Сибирской платформы имеет отрицательное значение.

Это отличительное и важное свойство сибирских рассолов нельзя объяснить только фракционированием изотопов брома. Экспериментально установлено, что в ходе осаждения NaCl из рассола при фракционировании более тяжелые изотопы хлора переходят в твердую фазу, в то время как раствор NaBr, наоборот, обогащается тяжелыми изотопами брома [13]. Облегченный изотопный состав брома в рассолах Сибирской платформы может свидетельствовать не только о существенном фракционировании брома, но и о влиянии фактора, который усилил это фракционирование. Учитывая, что большая часть Сибирской платформы проморожена, таким дополнительным фактором вполне можно признать тепловое состояние геологического разреза, а также криогенез подземных вод и горных пород. Для однозначного ответа необходимы дополнительные исследования влияния многолетнего промерзания на фракционирование галогенных изотопов.

Крепкие рассолы хлоридного кальцевого или натриево-кальциевого состава с минерализацией более 250 г/дм^3 формируют отдельную группу подземных вод. Это седиментогенные рассолы, состав которых преобразован после захоронения древней морской воды вместе с вмещающими осадочными породами в ходе геохимической метаморфизации в условиях закрытой системы. Однако величины $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ в ней также не выходят за пределы диапазонов их изменения в подземных водах щитов. Объяснение такой ситуации можно найти, если обратиться к установленному факту потери легких изотопов (^{35}Cl, ^{79}Br) в открытой системе в результате воздействия комплекса процессов, включающих диффузию, окисление, испарение [11]. Очевидно, что в закрытой системе потери легких изотопов минимальны (если, вообще, есть), а изотопный состав сохраняется неизменным в течение длительного геологического времени.

На графике зависимости от глубины залегания подземных вод (рис. 2, в, г) значения $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ в водах Сибирской платформы располагаются, на первый взгляд, хаотично, однако можно заметить сложный характер изменения δ: до глубины примерно 500 м изотопный состав как хлора, так и брома облегчается, а затем сохраняется практически неизменным до глубины 3500 м.

Заключение. Значения $\delta^{37}Cl$ и $\delta^{81}Br$ в подземных водах Сибирской платформы не выходят за пределы диапазона, установленного в настоящее время для подземных вод разных регионов мира. Диапазон значений $\delta^{37}Cl$ практически совпадает с диапазоном изменения изотопов хлора в подземных водах кристаллических щитов и Северо-Китайской равнины. Главное их отличие заключается в том, что в подземных водах платформы $\delta^{81}Br$ во многих случаях принимает отрицательное значение. Это может свидетельствовать о принципиально различных путях формирования состава подземных вод на Сибирской платформе и в иных геологических структурах мира.

Использование стабильных галогенных изотопов в комплексе с другими гидрогеохимическими параметрами полезны при решении вопросов генезиса подземных минерализованных вод. Предварительные результаты исследований распределения и состава галогенных изотопов в подземных рассолах Сибирской платформы подтверждают инфильтрогенную природу слабых и крепких рассолов хлоридного натриевого состава, а также седиментогенно-метаморфогенное происхождение слабых, крепких, весьма крепких и предельно насыщенных рассолов хлоридного кальциевого.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты ГФЕН-14-05-91155 и 13-05-01075).

Список литературы

1. Eggenkamp, H. G. M. Chlorine stable isotope fractionation in evaporates / H. G. M. Eggenkamp, R. Kreulen, A. F. Koster Van Groos // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1995. – 59 (24). – Pp. 5169–5175.

2. Luo, C. G. Stable isotope fractionation of chlorine during evaporation of brine from a saline lake / C.G. Luo, Y. K. Xiao, H. Z. Ma [et al.] // China Science Bulletin. – 2012. – № 57 (15). – Pp. 1833–1843.

3. Eastoe, C. J. Stable chlorine isotopes in halite and brine from the Gulf Coast Basin: brine genesis / C. J. Eastoe, A. Long, L.S. Land [et al.] // Chemical Geology. – 2001. – № 176. – Pp. 343–360.

4. Eggenkamp, H. G. M. The effect of aqueous diffusion on the fractionation of chlorine and bromine stable isotopes / H. G. M. Eggenkamp, M. L. Coleman // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 2009. – № 73. – Pp. 3539–3548.

5. Алексеев, С. В. Изотопный состав (H, O, Cl, Sr) подземных рассолов Сибирской платформы / С. В. Алексеев, Л. П. Алексеева, В. Н. Борисов [и др.] // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48, № 3. – С. 291–304.

6. Shouakar-Stash, O. Geochemistry and stable isotopic signatures, including chlorine and bromine isotopes of the deep groundwaters, of the Siberian platform, Russia / O. Shouakar-Stash, S. V. Alexeev, S. K. Frape [et al.] // Applied Geochemistry. – 2007. – Vol. 22, Issue 3. – Pp. 589–605.

7. Frape, S. K. The source of stable chlorine isotopic signatures in groundwaters from crystalline shield rocks / S. K. Frape, G. Bryant, P. Durance [et al.] // Proceedings of the 9th International Symposium on Water Rock Interaction. – 1998. – Pp. 223–226.

8. Frape, S. K. Deep Fluids in the Continents: II. Crystalline Rocks / S. K. Frape, A. Blyth, R. Blomqvist [et al.] // Surface and Ground Water, Weathering, and Soils (ed. J. I. Drever), Elsevier – Pergamon, Oxford. – 2004. – V. 5. – Pp. 541–580.

9. Eggenkamp, H. G. M. Rediscovery of classical methods and their application to the measurement of stable bromine isotopes in natural samples / H. G. M. Eggenkamp, M. L. Coleman // Chemical Geology. – 2000. – № 167. – Pp. 393–402.

10. Heofs, J. Stable isotope geochemistry / J. Heofs // 6ed. Springer. – 2009. – 293 p.

11. Stotler, R. L. An isotopic survey of $\delta^{81}Br$ and $\delta^{37}Cl$ of dissolved halides in the Canadian and Fennoscandian Shields / R. L. Stotler, S. K. Frape, O. Shouakar-Stash // Chemical Geology. – 2010. – № 274. – Pp. 38–55.

12. Chen, L. Origin and evolution of formation water in North China Plain based on hydrochemistry and stable isotopes (^{2}H, ^{18}O, ^{37}Cl and ^{81}Br) / L. Chen, T. Ma, Y. Du [et al.] // Journal of Geochemical Exploration. – 2014. – № 145. – Pp. 250–259.

13. Eggenkamp, H. G. M. A comparison of Cl and Br isotope fractionation in diffusion; geochemical consequences / H. G. M. Eggenkamp, M. L. Coleman // LPI Contrib. – 1997. – № 921. – P. 64.

ИЗУЧЕНИЕ ГАЗОВОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ И ГЛУБИННЫХ ВОД ОЗЕРА БАЙКАЛ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Бадминов П. С.[1], Лопатин М. Н.[2], Семенов Р. М.[3], Тубанов Ц. А.[4], Крюкова И. Г.[1], Оргильянов А. И.[1]

[1]ФГБУН Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, prokop_sbad@mail.ru;
[2] ФГУГП Урангео, БФ Сосновгеология, г. Иркутск, flamewolf@mail.ru;
[3] ФГБОУ ВПО Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, semenov@crust.irk.ru;
[4] ФГБУН Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, siren65@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрен метод прогноза землетрясений, основанный на изучении вариации содержания растворенного гелия в глубинной воде Байкала. С целью повышения достоверности результатов предложено включение в обработку данных, получаемых не с одного, а с трех пунктов гидрогеохимических наблюдений в Южном Прибайкалье.

Ключевые слова: *гидрогеохимические исследования, растворенный гелий, очаг землетрясения, энергетический класс землетрясения, условная энергетическая характеристика.*

Abstract. In this paper the method of earthquake prediction based on the study of variation of dissolved helium in the deep waters of Lake Baikal. In order to improve the reliability of the results obtained suggested the inclusion in the processing of the data obtained with either one, but with three points hydrogeochemical observations in the Southern Baikal.

Key words: *Gydrogeochemical studies, dissolved in water helium, the hypocenter of earthquake, the earthquake energy class, the conditional power characteristic.*

Исследования по поиску гидрогеохимических предвестников землетрясений давно ведутся в разных регионах Земли с различными геотектоническими обстановками. К настоящему времени в этом отношении достигнуты определенные успехи. Однако, ввиду сложности прогноза землетрясений, особенно времени их возникновения, в этом вопросе до сих пор нет единого установившегося представления. Дело в том, что часто одни и те же предвестники землетрясений ведут себя по-разному не только в различных геодинамических обстановках, но нередко и в одних и тех же регионах, не говоря уже о различных по генетическим данным предвестниках [1].

Не стало исключением в этом отношении и Прибайкалье – одно из наиболее сейсмоактивных регионов на территории России, современная геодинамика которого определяется преимущественно развитием рифтового процесса. Подобные исследования здесь начались еще в 70-е годы прошлого столетия, причем гидрогеохимические наблюдения проводились как на естественных очагах разгрузки подземных вод, так и в скважинах. Так, например, накануне Уоянского землетрясения 2 ноября 1976 г. были отмечены изменения концентраций гелия в воде Окусиканского источника, расположенного на юго-восточном склоне Северо-Муйского хребта Байкальской рифтовой зоны [2]. В скважине глубиной 750 м в г. Иркутске было зафиксировано понижение, а затем резкое повышение концентраций гелия, за несколько суток перед некоторыми землетрясениями, хотя энергия подземных толчков была невысока, а эпицентральные расстояния до водозабора значительны [3]. Наблюдения за водопроявлением в разведочно-дренажной штольне (РДШ) Северо-Муйского тоннеля позволили оценить влияние сейсмической активности на изменение содержания того или иного параметра состава воды [4, 5]. Сравнительная кратковременность этих мониторинговых исследований, а также отсутствие в это время относительно сильных подземных толчков с эпицентрами близ пунктов наблюдений не позволили прийти к сколько-нибудь ощутимым результатам по поиску краткосрочных предвестников землетрясений. Тем не менее в результате этих и некоторых других работ, проведенных в Прибайкалье, были предположительно намечены первые гидрогеохимические предвестники времени возникновения землетрясений.

С целью поиска предвестников времени возникновения землетрясений нами с 2005 г. начаты исследования содержаний растворенного гелия в глубинной воде оз. Байкала. Работ подобного плана в открытых глубоководных бассейнах, расположенных в сейсмоактивных районах, нигде в мире ранее не проводилось.

Наблюдения за изменением содержаний гелия в глубинных водах южной части Байкала были предопределены тем, что здесь проходит юго-восточная часть Главного Саянского разлома, а также разломы Обручевский и Черского, в которых наблюдаются как слабые, так и довольно сильные землетрясения. Последнее сильное землетрясение произошло здесь в 2008 г. с M = 6,3 и интенсивностью в эпицентре 8 баллов.

Водозабор проб осуществлялся в южной части Байкала, напротив пос. Листвянка, в 1700 м от берега, с глубины 500 м, на расстоянии 100 м от дна озера (рис. 1). Для этих целей по дну Байкала был проложен полиэтиленовый трубопровод, по которому беспрерывно закачивается глубинная вода в водозаборную станцию.

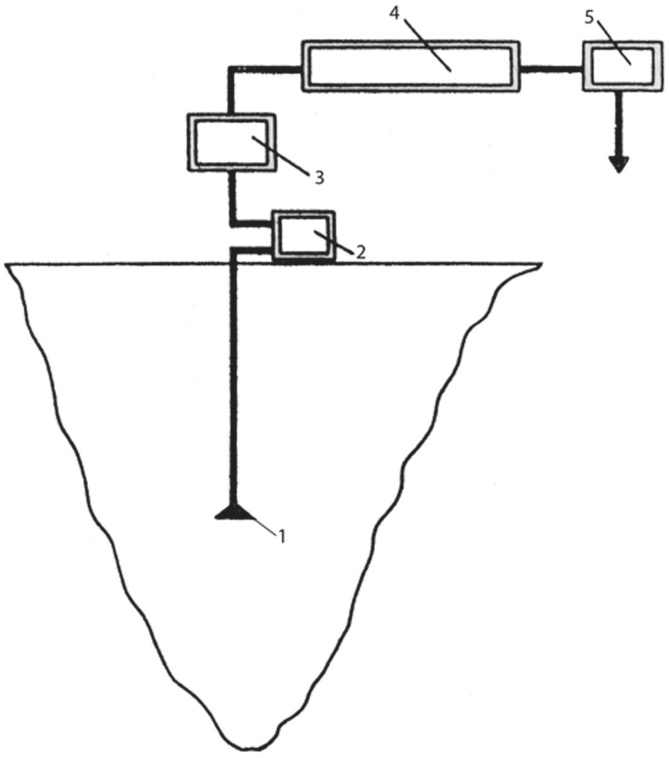


Рис. 1. Схема водозабора:

1 – глубинный водоприемник, расположенный на глубине 500 м; 2 – насос, закачивающий глубинную воду; 3 – блок грубой очистки воды; 4 – блок тонкой очистки и стерилизации воды; 5 – блок розлива

На станции пробы воды разливаются в стеклянные бутылки емкостью 0,5 л с бугельными (плотнозакрывающимися) пробками и транспортируются в лабораторию ИЗК СО РАН, где на приборе ИНГЕМ-1 (индикатор гелия магниторазрядный) определяется концентрация растворенного в глубинной воде Байкала гелия. Отбор проб проводится ежедневно в определенное время. Причем, при необходимости число проб можно увеличивать до необходимого количества.

По полученным данным строятся графики изменений концентраций гелия во времени, рассчитываются среднефоновые значения и их среднеквадратичные отклонения. Ранее было установлено, что под временем возникновения предвестника землетрясения понимается временной интервал от начала устойчивого превышения измеряемой гидрогеохимической величиной порога предвестника до момента землетрясения: порог предвестника – два среднеквадратичных отклонения от среднефонового значения гидрогеохимических данных [6, 7]. При

этом отмечаются несколько разновидностей графиков, отражающих формы кривых гидрогеохимических предвестников (рис. 2) [8; 9].

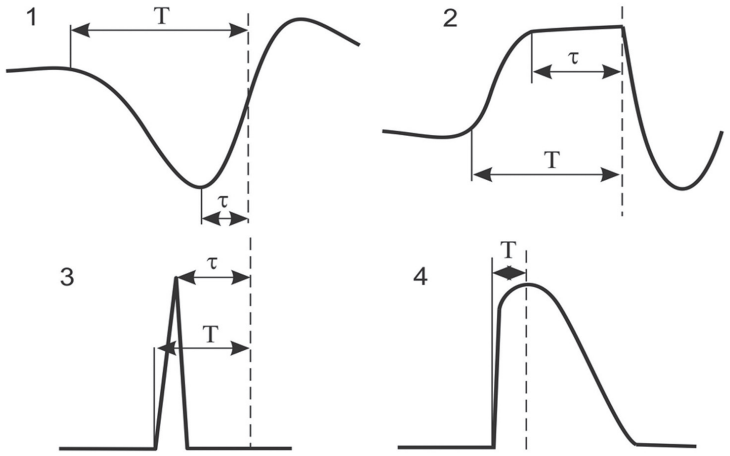


Рис. 2. Основные типы гидрогеохимических предвестниковых эффектов:
I – бухтообразные; II – ступенчатые; III – импульсные; IV – скачкообразные. T – время предвестника; τ – время экстремума. Пунктирной линией обозначен момент землетрясения

Именно на основании этого подхода, правда, ретроспективно, был определен предвестник сильного Култукского землетрясения (К = 15,9; М = 6,3), произошедшего 27 августа в акватории Южного Байкала [10, 11]. За два дня до землетрясения амплитуда понижения содержания гелия превысила два среднеквадратичных отклонения от его фоновых значений, после чего началось увеличение концентрации вплоть до момента Култукского землетрясения. В дальнейшем этот предвестник подтвердился еще на примерах нескольких менее сильных землетрясений в Южном Прибайкалье.

Известно, что развитие очагов землетрясений сопровождается изменениями напряженно-деформированного состояния земной коры, которое характеризуется моделями их подготовки и реализацией [12]. В настоящее время известно несколько их разновидностей: дилатантно-диффузная (ДД), лавинно-неустойчивого трещинообразования (ЛНТ), консолидации и др. Дилатантно-диффузная модель (рис. 3), на наш взгляд, наиболее объективно объясняет изменения гидрогеохимических вариаций в связи с сейсмическим процессом.

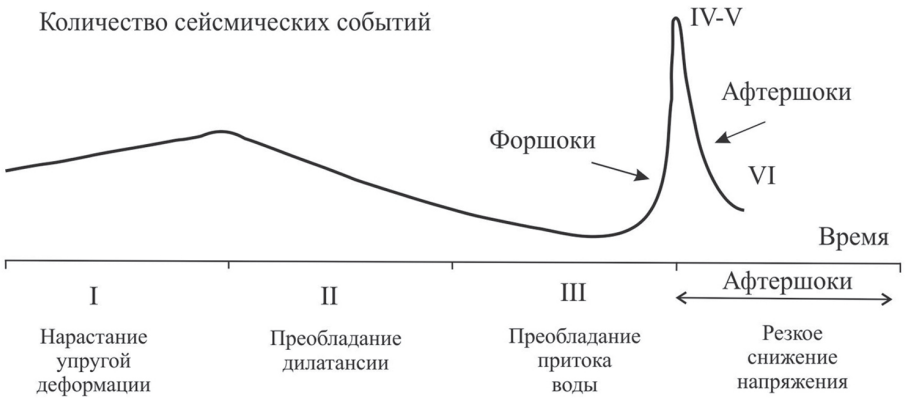


Рис. 3. Схема дилатантно-диффузной модели подготовки очага землетрясения [13]

Результаты выполненных исследований были оформлены в виде заявки на изобретение и в 2014 г. был получен патент «Способ краткосрочного прогноза землетрясений». RU 2 519 050 C2 [14].

Поиски гидрогеохимических предвестников в других сейсмоактивных регионах позволили сделать заключение о том, такие наблюдения желательно вести не в одном, а, по крайней мере, в трех пунктах наблюдений, расположенных вдоль разлома в одном направлении к очагу землетрясения [15]. При этом величины времен предвестников могут возрастать с ростом магнитуды и уменьшаться с ростом эпицентрального расстояния пункта измерения [2]. С целью расширения сети пунктов гидрогеохимических наблюдений были организованы пункты в пос. Зеленый Мыс, расположенном в 28 км южнее Иркутска и в самом городе Иркутске. Глубина скважины в пос. Зеленый Мыс 700 м, температура воды 30 – 40° С; в Иркутске глубина скважины 300 м, температура воды 7° С. Также были организованы пункт забора глубинной байкальской воды в районе пос. Сухой Ручей (на юге Байкала) и в прибрежной скважине в районе пос. Сухая (в центральной части восточного берега Байкала). За полгода регулярных наблюдений получены новые данные, результаты обработки которых подтверждают более раннние данные по вариациям концентраций растворенного гелия накануне подземных толчков.

В качестве примера рассматривается землетрясение 1.09.2014 г. с К = 11,5, эпицентр которого располагался в средней части Байкала. Его эпицентральное расстояние от пунктов Сухой Ручей составило 90 км, от пункта Листвянка – 152 км и пункта Сухая – 203 км. Данные наблюдений за вариациями содержания гелия во всех трех пунктах представлены в таблице. При подготовке землетрясения наблюдались вариации концентрации гелия, которые могли быть связаны с подготовкой и реализацией землетрясения 1.09.2014 г.

Вариации содержаний гелия в глубинной воде Байкала в период землетрясения 1 сентября 2014 г.

Даты	Содержания He в пунктах ($n \cdot 10^{-5}$ мг/л)		
	Сухой Ручей	Листвянка	Сухая
27.08.2014	5,72	6,07	70,6
28.08.2014	5,2	5,72	93,2
29.08.2014	5,2	5,90	72,5
30.08.2014	Проба не отбиралась	5,72	42,6
31.08.2014	Проба не отбиралась	5,64	112,6
01.09.2014	8,35	7,82	114,6
02.09.2014	7,65	5,87	40,0

Предлагаемый методический подход к поискам предвестников землетрясений в Южном Прибайкалье, на наш взгляд, заслуживает внимания, и гидрогеохимические наблюдения в Прибайкалье следует продолжить.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант №14-05-00245 – «а») и Проекта 4.1. СО РАН.

Список литературы

1. Rikitake, I. Classification of earthquake precursors / I. Rikitake // Tectonophysics. – 1979. – V. 54. – P. 293–309.

2. Киссин, И. Г. Подземная гидросфера и сейсмические процессы / И. Г. Киссин, Е. В. Пиннекер, В. Г. Ясько // Основы гидрогеологии. – Новосибирск : Наука, 1982. – С. 57–77.

3. Пиннекер, Е. В. Результаты изучения гидрогеологических предвестников землетрясений в Байкальской рифтовой области / Е. В. Пиннекер, В. Г. Ясько, Б. О. Шкандрий // Гидрогеохимические предвестники землетрясений. – М. : Наука, 1985. – С. 259–265.

4. Шабынин, Л. Л. Гидрогеологические условия Северо-Муйского тоннеля БАМ / Л. Л. Шабынин. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2004. – 94 с.

5. Шабынин, Л. Л. О механизме формирования гидрогеохимических предвестников землетрясений / Л. Л. Шабынин, В. И. Найдич, В. М. Новиков // Гидрогеохимические исследования на прогностических полигонах : тез. докл. Всесоюз. совещ. – Алма-Ата : Наука, 1983. – С. 99–101.

6. Барсуков, В. Л. Вестники беды (о поиске средств геохимического прогноза землетрясений) / В. Л. Барсуков, А. А. Беляев, В. С. Серебренников. – М. : Наука, 1989. – 136 с.

7. Зубков, С. И. Времена возникновения предвестников землетрясений / С. И. Зубков // Изв. АН СССР. Физика Земли. – 1987. – № 5. – С. 87–91.

8. Киссин, И. Г. О соотношениях между предвестниками землетрясений и постсейсмическими эффектами / И. Г. Киссин // ДАН. – 1997. – Т. 354, № 6. – С. 804–807.

9. Рябинин, Г. В. Гидрогеохимический мониторинг сейсмотектонических процессов на Камчатке. Современное состояние, результаты, перспективы развития / Г. В. Рябинин, Ю. Д. Кузьмин // Сейсмологические и геофизические исследования на Камчатке. – Петропавловск-Камчатский : Холдинговая компания «Новая книга», 2012. – С. 211–235.

10. Семенов, Р. М. Гелий в глубинной воде Байкала – предвестник землетрясений / Р. М. Семенов, В. С. Имаев, О. П. Смекалин [и др.] // Доклады АН. – 2010. – Т. 432, № 4. – С. 533–536.

11. Семенов, Р. М. Сильное землетрясение на Байкале 27 августа 2008 г. и его предвестники / Р. М. Семенов, О. П. Смекалин // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, № 4. – С. 521–528.

12. Соболев, Г. А. Основы прогноза землетрясений / Г. А. Соболев. – М. : Наука, 1993. – 313 с.

13. Scholz, C. H. Earthquake prediction: a physical basis / C. H. Scholz, L. R. Sykes, Y. P. Aggarwal // Science. – 1973. – V. 181. – P. 803–810.

14. Пат. RU № 19245, 2014. Способ краткосрочного прогноза землетрясений / Р. М. Семенов, В. С. Имаев, А. Р. Семенов, А. И. Оргильянов, О. П. Смекалин, Н. П. Широбокова ; Бюлл. № 16.

15. Султанходжаев, А. Н. О возможности прогнозирования места возникновения сильных землетрясений по вариациям радона / А. Н. Султанходжаев, С. У. Латипов, Т. З. Закиров [и др.] // Узб. геол. журнал. – 1977. – № 3. – С. 39–43.

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ УРОВНЕМЕРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В СКВАЖИНАХ В ЦЕЛЯХ МОНИТОРИНГА СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Болдина С. В., Копылова Г. Н.
Камчатский филиал Геофизической службы РАН,
г. Петропавловск-Камчатский, sboldina@emsd.ru, gala@emsd.ru

Аннотация. В работе рассматриваются методические вопросы построения феноменологических моделей гидрогеодинамических процессов формирования различных типов вариаций уровня воды, зарегистрированных в скважинах Камчатки на стадиях подготовки и реализации сильных землетрясений.
Ключевые слова: *скважина, землетрясение, водовмещающая порода, моделирование.*

Abstract. The methodical questions in the case of hydrogeodynamic processes simulations of water level variations due to strong earthquakes are considered in the paper by way of example wells on Kamchatka.
Key words: *well, earthquake, water-bearing rock, simulation.*

Введение. В результате проведения многолетних уровнемерных наблюдений на скважинах Камчатки и в других сейсмоактивных регионах мира были зарегистрированы разнообразные вариации уровня воды в связи с сильными землетрясениями [1, 2]. По времени проявления по отношению к моментам землетрясений такие вариации уровня разделяются на гидрогеодинамические предвестники, ко- и постсейсмические эффекты. Типизация гидрогеосейсмических вариаций уровня воды, учитывающая их морфологические особенности и факторы сейсмического воздействия на состояние системы «скважина – водовмещающая порода» приводится в работе [1].

В работах [3, 4] показано, что многообразие и особенности гидрогеосейсмических вариаций уровня воды можно объяснить на основе построения феноменологических моделей гидрогеодинамических процессов их формирования с привлечением комплекса данных о технических характеристиках скважин и локальных геолого-гидрогеологических условий.

С использованием таких моделей может проводиться оценка информативности отдельных скважин для геофизического мониторинга современных геодинамических процессов. В работах [3–7] приводятся примеры построения таких моделей и их использования для решения задач геофизического мониторинга. Основаниями для разработки таких моделей являются: 1 – выявленные типы гидрогеосейсмических вариаций уровня воды в отдельных скважинах [1]; 2 – результаты барометрического и приливного анализа вариаций уровня воды и оценки величин барометрической эффективности и приливной чувствительности уровня воды; 3 – величины фильтрационных и упругих параметров водовмещающих пород; 4 – приложения теории пороупругости для статически изолированных систем «скважина – водовмещающая порода» [8]; 5 – результаты моделирования зарегистрированных гидрогеосейсмических вариаций уровня воды [3, 5, 6] с использованием различных математических моделей, в том числе модели инерционности водообмена между скважиной и водовмещающими породами [9]; модели отклика уровня воды в скважине на прохождение поверхностных сейсмических волн [10]; модели удаленного точечного источника возмущения напора в водоносном горизонте [11] и др.

На рис. 1 на примере скв. ЮЗ-5 представлены основные этапы построения таких моделей и содержание каждого из этапов.

С использованием результатов анализа барометрического и приливного откликов уровней воды в скважинах оцениваются величины барометрической эффективности E_b (рис. 1, таблица) и приливной чувствительности вариаций уровня воды по отношению к теоретической площадной A_s или объемной A_V деформации водовмещающих пород в районе скважин (таблица); принимается (или не принимается) гипотеза о статически изолированных условиях в системе «скважина – водовмещающая порода» с оценкой частотного диапазона проявления [1, 3, 4–7]; оцениваются упругие и фильтрационные параметры водовмещающих пород с использованием данных опытно-фильтрационных работ (см. таблицу) [3–7].

В случае скв. ЮЗ-5 результаты моделирования реакции уровня воды на периодические изменения напора, с учетом определенных упругих и фильтрационных параметров водовмещающих пород и строения скважин, хорошо согласуются с изменением амплитудных передаточных функций от вариаций атмосферного давления к изменениям уровня воды (см. рис. 1). Это показывает, что на периодах, соответствующих диапазону действия приливных и медленных сейсмотектонических деформаций водовмещающих пород, искажение отклика уровня воды в скважинах на изменения порового давления не ожидается. Это позволяет принять для скв. ЮЗ-5 условие *статически изолированной системы «скважина – водовмещающая порода»* [8] для оценки изменений объемной деформации водовмещающих пород D по амплитудам аномальных изменений уровня воды $\Delta h = \Delta p/\rho g$, где Δp – изменение порового давления, ρ – плотность воды, g – ускорение свободного падения, в диапазоне периодов вариаций уровня воды от минут-часов до первых десятков суток.

На примере скв. ЮЗ-5 и 1309 показана принципиальная возможность использования ряда теоретических моделей для моделирования и описания гидрогеодинамических процессов формирования наблюдаемых гидрогеосейсмических вариаций уровня воды [3, 6, 7], в частности:

– модели статически изолированной системы «скважина – водовмещающая порода»:

$$D = -\Delta h/A_v\,, \tag{1}$$

где «+» – соответствует деформации растяжения, «–» – соответствует деформации сжатия;

– модели удаленного точечного источника возмущения напора в водоносном горизонте [11]:

$$x = x_0 - \Delta h \cdot erfc(R/\sqrt{4ct})\,, \tag{2}$$

где x – уровень воды в скважине, x_0 – начальный уровень воды в скважине, R – расстояние от скважины до точечного источника падения порового давления, c – пьезопроводность, t – длительность понижения уровня;

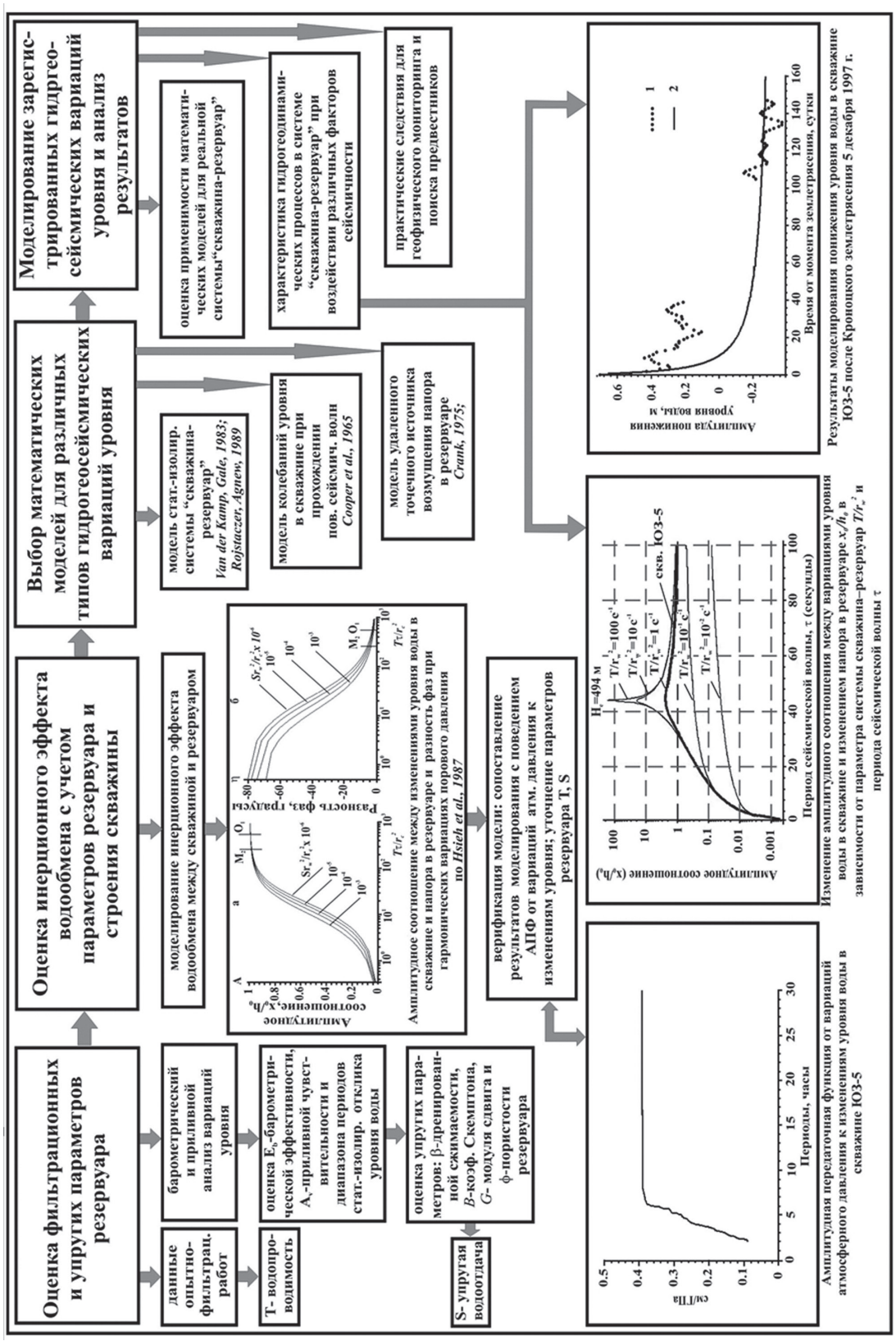


Рис. 1. Основные этапы построения модели гидрогеосейсмических вариаций уровня воды и оценки информативности скважины (на примере скважины ЮЗ-5)

Упругие и фильтрационные параметры водовмещающих пород в районе скважин

Скважина	Барометрическая эффективность E_b, см/гПа	Приливная чувствительность A_S/A_V, м/10^{-7}	Дренированная сжимаемость скелета β, Па$^{-1}\times10^{-11}$	Модуль сдвига G, Па$\times10^{10}$	Коэффициент Скемптона B	Удельная упругая емкость S_S, м$^{-1}\times10^{-7}$	Пористость ϕ	Величина водоотдачи, $S = S_s d$	Коэффициент водопроводимости T, м^2/с
ЮЗ-5	0,39	0,096/0,161	15,2	0,39	0,67	21,4	0,15	$21,4\times10^{-5}$	9×10^{-5}
1303	0,43	0,143/–	7,4	0,81	0,64	9,81	0,06	20×10^{-5}	$0,4\times10^{-5}$
1309	0,45	0,108/–	10,2	0,72	0,61	29,7	0,09	8×10^{-5}	13×10^{-5}
Е-1	0,01/0,10	0,02/0,03	7,59	0,79	0,07–0,17	29,0	0,05	$5,8\times10^{-5}$	$6,3\times10^{-8}$

– модели колебаний уровня воды в скважине при прохождении поверхностных сейсмических волн [10]:

$$A = x_0/h_0 = \left[\left(1-\frac{\pi r_w^2}{T\tau}Kei\alpha_w - \frac{4\pi^2 H_e}{\tau^2 g}\right)^2 + \left(\frac{\pi r_w^2}{T\tau}Ker\alpha_w\right)^2\right]^{-1/2}, \quad (3)$$

где H_e – эффективная высота столба воды в скважине, τ – период сейсмической волны, $\alpha_w = r_w(\omega S/T)^{1/2}$ – безразмерная функция частоты, выраженная через параметры водовмещающих пород и геометрические параметры скважины: T – коэффициент водопроводимости, r_w – радиус скважины в области фильтра.

Результаты. По формуле (1) оценена величина деформации расширения водовмещающих пород в районе скв. ЮЗ-5 на стадии подготовки Кроноцкого землетрясения (КЗ) (5.12.1997 г., M = 7,8) $D = (68 \pm 4)\times10^{-9}$ (см. рис. 1) [1] и величины объемной косейсмической деформации для шести местных землетрясений ($D = 75 – 1,6\times10^{-9}$), а также характер деформации водовмещающих пород по направлению изменения уровня воды [3, 7].

По результатам моделирования постсейсмического понижения уровня воды после КЗ в скв. ЮЗ-5 и понижения уровня в скв. 1309 после Олюторского землетрясения (ОЗ) (20.04.2006 г., M = 7,6) оценены величины пьезопроводности водовмещающих пород (c = 0,42 м^2/с и 1,62 м^2/с) и расстояния до источников падения напора (R = 450 м и 190 м) [3].

Результаты моделирования колебаний уровня воды в скв. ЮЗ-5 и 1309 по (3), вызванных Суматра-Андаманским землетрясением (САЗ) (26.12.2004 г., M = 9, R = 8250 км) и Симуширским землетрясением (СЗ) (15.11.2006 г., M = 8,3, R = 1120 км), показывают, что такие колебания уровня в скв. ЮЗ-5 возникают при прохождении сейсмических волн с периодами τ = 44,6 с (см. рис. 1) и τ = 33 с – в скв. 1309 при величинах $T/r_w^2 \geq 1$ с$^{-1}$ [3, 6].

Характеристика гидрогеодинамических процессов в системе «скважина – водовмещающая порода». Гидрогеодинамический предвестник КЗ и косейсмические скачки уровня при сильных местных землетрясениях в скв. ЮЗ-5 объясняются неискаженной упругой реакцией порового давления на деформацию водовмещающих пород. Определены характер и величины объемной ко- и предсейсмической деформации водовмещающих пород по амплитудам аномального изменения уровня воды и величине его приливной чувствительности [3, 7].

Постсейсмическое понижение уровня воды в скв. ЮЗ-5 после КЗ и в скв. 1309 после ОЗ могло быть вызвано падением напора на некотором удалении от скважин вследствие локального улучшения фильтрационных свойств водовмещающих пород при сейсмических сотрясениях [3].

Колебания уровня воды в обеих скважинах при прохождении поверхностных сейсмических волн возникают, в основном, вследствие резонансного усиления вариаций порового давления в стволе скважины. Дополнительное влияние может оказывать временное улучшение

фильтрационных свойств водовмещающих пород за счет нарушения структуры трещинно-порового пространства и резкого увеличения их проницаемости при прохождении сейсмических волн [3, 6].

Анализ и интерпретация результатов наблюдений по скважине Е-1. В скв. Е-1 (53.26° с.ш., 158.48° в.д., глубина 665 м, фильтр 625 – 645 м, уровень на глубине 28 м ниже поверхности земли) с середины 2006 по декабрь 2009 гг. наблюдалось уникальное явление: повышение уровня воды на 1 м 22 см с аномально высокой скоростью (рис. 2, а). В [6] такое повышение рассматривается как реакция водовмещающих пород на развитие деформации объемного сжатия при подготовке и реализации роя землетрясений в районе влк. Корякский и его извержении (см. рис. 2, б, в). Применение предложенного выше подхода для оценки величины деформации объемного сжатия водовмещающих пород вызвало необходимость его адаптации для условий, когда в изменениях уровня воды не проявляется реакция на земные приливы и поэтому невозможно определить величину его приливной чувствительности. Особенностями скв. Е-1 также являются малая водопроводимость водовмещающих пород (T = 0,005 м^2/сут) и замедленный характер водообмена между стволом скважины и водовмещающими породами, а также повышенная сжимаемость подземной воды из-за присутствия газа в ее составе.

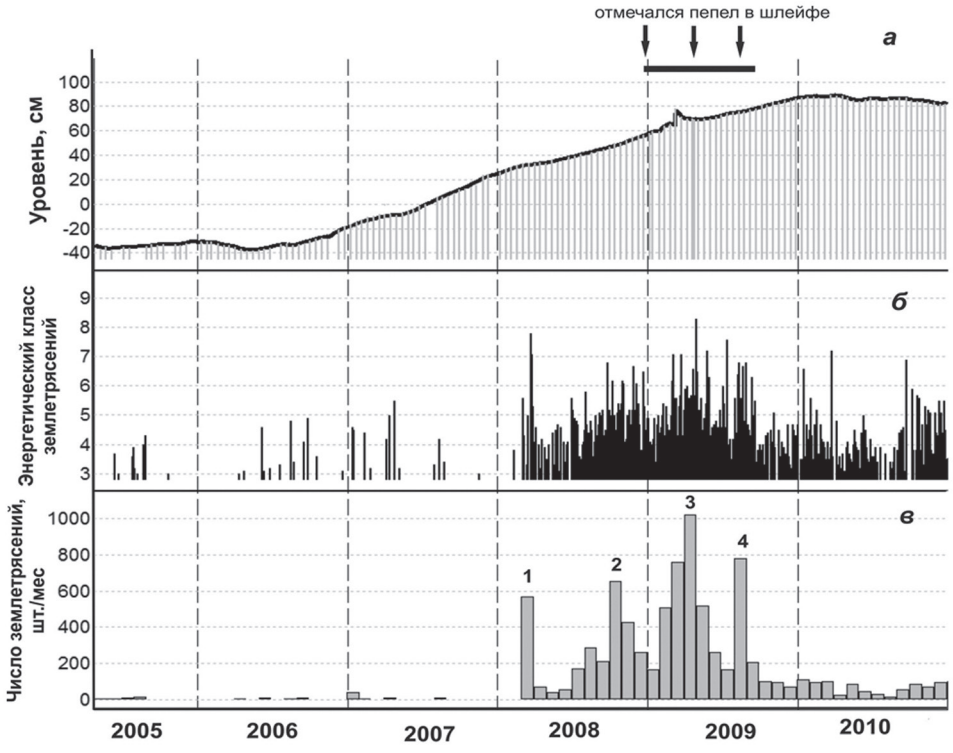


Рис. 2. Изменение уровня воды в скважине Е-1 в 2005 – 2010 гг. в сопоставлении с развитием сейсмичности и парогазовой активности влк. Корякский:

а – изменения уровня воды; б – землетрясения с K_s = 3,1 – 8,3 в районе влк. Корякский; в – суммарное за месяц количество землетрясений (цифрами обозначены максимумы сейсмической активности: 1 – март 2008 г., 2 – октябрь 2008 г., 3 – апрель 2009 г., 4 – август 2009 г.)

Оценка упругих и фильтрационных параметров водовмещающих пород (см. таблицу) проводилась на основе моделирования восстановления уровня после спуска датчика акустической эмиссии в ствол скважины. При этом оцененная величина сжимаемости воды оказалась на порядок больше, по сравнению с обычной водой, что указывает на некоторое содержание свободного газа в порово-трещинном пространстве водовмещающей породы. Величина деформометрической чувствительности уровня воды была получена по данным о синхронном

проявлении гидрогеодинамического предвестника КЗ в скважинах Е-1 и ЮЗ-5. При этом принималось, что величины деформации водовмещающих пород в районах обеих скважин были примерно одинаковыми на стадии подготовки КЗ. Пористость водовмещающих пород принималась по аналогии с водовмещающими породами, вскрытыми скв. 1303.

С использованием оцененных параметров водовмещающих пород и параметров инерционности водообмена в системе «скважина – водовмещающая порода» величина деформации объемного сжатия в районе скв. Е-1 за время аномального повышения уровня воды составила $\Delta\varepsilon = -(4{,}1\times10^{-6} - 1{,}5\times10^{-5})$ [4].

Представленная методология построения феноменологических моделей гидрогеодинамических процессов формирования гидрогеосейсмических вариаций уровня воды в системе «скважина – водовмещающая порода» апробирована на примере камчатских скважин ЮЗ-5, 1309 и Е-1. Она также может использоваться для обработки и интерпретации данных уровнемерных наблюдений в других скважинах, расположенных в сейсмоактивных районах, для повышения их информативности при проведении геофизического мониторинга, оценки изменений напряженно-деформированного состояния среды и прогнозирования сильных землетрясений.

Список литературы

1. Копылова, Г. Н. Изменения уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, вызванные землетрясениями / Г. Н. Копылова // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 6. – С. 52–64.

2. Roeloffs, E. A. Persistent water level changes in a well near Parkfield, California, due to local and distant earthquakes / E. A. Roeloffs // J. Geophys. Res. – 1998. – V. 103. – P. 869–889.

3. Болдина, С. В. Механизмы отклика уровня воды в скважинах на сейсмические воздействия / С. В. Болдина, Г. Н. Копылова // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России : в 2 томах : тр. региональной научно-техн. конф. Т. 1. Петропавловск-Камчатский. 11-17 ноября 2007 г. – Петропавловск-Камчатский : ГС РАН, 2008. – С. 50–54.

4. Копылова, Г. Н. О связи изменений уровня воды в скважине Е-1, восточная Камчатка, с активизацией вулкана Корякский в 2008–2009 гг. и сильными ($M \geq 5$) землетрясениями / Г. Н. Копылова, С. В. Болдина // Вулканология и сейсмология. – 2012. – № 5. – С. 41–54.

5. Копылова, Г. Н. Оценка пороупругих параметров резервуара подземных вод (по данным уровнемерных наблюдений на скважине ЮЗ-5, Камчатка) / Г. Н. Копылова, С. В. Болдина // Вулканология и сейсмология. – 2006. – № 2. – С. 52–64.

6. Копылова, Г. Н. Отклик уровня воды в скважине ЮЗ-5, Камчатка, на Суматра-Андаманское землетрясение 26 декабря 2004 г., M = 9 / Г. Н. Копылова, С. В. Болдина // Вулканология и сейсмология. – 2007. – № 5. – С. 39–48.

7. Копылова, Г. Н. О возможности оценок косейсмической деформации по данным уровнемерных наблюдений в скважине / Г. Н. Копылова, Г. М. Стеблов, С. В. Болдина [и др.] // Физика Земли. – 2010. – №. 1. – С. 51–61.

8. Rojstaczer, S. The influence of formation material properties on the response of water levels in wells to Earth tides and atmospheric loading / S. Rojstaczer, D. S. Agnew // J. Geophys. Res. – 1989. – V. 94. – P. 12403–12411.

9. Hsieh, P. Determination of aquifer transmissivity from earth-tide analysis / P. Hsieh, J. Bredehoeft, J. Farr // Water Resour. Res. – 1987. – V. 23. – P. 1824–1832.

10. Cooper, H. H. The response of well-aquifer system to seismic waves / H. H. Cooper, J. D. Bredehoeft, I. S. Papadopulos [et al.] // J. Geophys. Res. – 1965. – V. 70. – P. 3915–3926.

11. Crank J. The Mathematics of Diffusion / J. Crank. – Oxford Sci., Oxford, U.K., 1975. – 421 p.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА МИНЕРАЛЬНЫХ РАВНОВЕСИЙ СОЛЕНЫХ ОЗЕР ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Борзенко С. В.
Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, svb_64@mail.ru

Аннотация. Выполнен анализ минеральных равновесий в системе «вода – горная порода». Установлено, что все озерные воды с минерализацией более 2.7 г/л и pH 8.17 насыщены кальцитом и доломитом. По большинству озер отмечается равновесие вод с некоторыми минералами: фосфорсодержащими, алюмосиликатами, монтмориллонитами, иллитами, хлоритами. Сероводородные воды многих озер насыщены по некоторым сульфидам. Ненасыщенной гидрохимическая система рассмотренных озер остается по сульфатным, хлоридным и по содовым минералам.
Ключевые слова: *соленые озера, термодинамическая оценка, минеральные равновесия.*

Abstract. Analysis of mineral equilibria in the system “water-rock”. Found that all of the lake water with a salinity of more than 2.7 g/l and pH 8.17 saturated with calcite and dolomite. On most lakes observed equilibrium water with some minerals: phosphorus, silicates, montmorillonite, illite, chlorite. Sulphurous waters of many lakes full of some sulfides. Unsaturated chemical system considered lakes remains sulfate, chloride and sodium minerals.
Key words: *salt lake, thermodynamic assessment of the mineral balance.*

Соленые озера привлекают к себе внимание специалистов различных научных направлений [1, 2]. В значительной степени это обусловлено тем, что они, благодаря особенностям своей физико-химической и биологической структуры, быстрее, чем пресные озера, реагируют на изменения внешних условий, что позволяет рассматривать их как удобные индикаторы внешних естественных и антропогенных изменений. Даже небольшие колебания климата приводят к существенным изменениям состава воды и как следствие к изменениям экологии озер. Для физиологов и биологов представляет интерес природа адаптации гидробионтов к стрессам при изменчивости среды. Знание диапазона и темпов изменения солености и химического состава воды имеет важное практическое значение, в том числе в связи с добычей солей. Для палеолимнологов важна зависимость происхождения и эволюции озер при реконструкции климатических изменений прошлого по донным осадкам. При этом используются различные геохимические показатели, которые зависят от условий осадкообразования, в первую очередь – от характеристик минералообразующей среды, т.е. водной толщи. Приведенным перечнем не исчерпываются научные и прикладные проблемы, связанные с динамикой функционирования соленых озер.

На юге Восточного Забайкалья насчитывается около 300 соленых озер [3]. Они приурочены к сухостепной и лесостепной зонам с широко проявленными процессами континентального засоления по днищам межгорных впадин. Формирование их обусловлено, главным образом, процессами испарительного концентрирования, в ходе которого по мере роста солености должна происходить смена химического состава, обусловленная последовательным выпадением в осадок солей по мере насыщения воды сначала по наименее растворимым карбонатам щелочноземельных катионов, затем по их сульфатам и т.д. В связи с климатическими колебаниями, чередованием различных по продолжительности периодов увлажнения и засушливости гидрохимические характеристики озер подвержены циклическим изменениям, соответственно которым меняется и минералогический состав образующихся донных осадков.

В середине прошлого столетия соленые озера Забайкалья широко изучались [4], преимущественно как объекты возможной добычи солей, в особенности соды, мирабилита, галита. В промышленных масштабах добыча поваренной соли велась на озере Борзинском, мирабилит добывали на озере Шихалин-Нор, соду – на озере Баин-Цаган и Доронинском.

Воды изученных нами озер представлены преимущественно содовым и хлоридным типами с переменным составом. Сульфаты входили в определение химического типа воды в

единичных случаях (оз. Гонга-Нур, оз. Засулан, оз. Кудук и оз. Хараганаш). Слабоминерализованные воды с минерализацией до 1,5 г/л в анионном составе имели собственно гидрокарбонатный ион, в катионном составе практически в равных долях Ca, Mg и Na. В остальных озерах при солености 3 – 50 г/л преобладающим или вторым по значимости был ион хлора. При этом с ростом солености Mg-Na катионный состав сменился исключительно на Na. Карбонаты доминировали в относительно маломинерализованных водах – при сумме растворенных компонентов не выше 12 г/л.

Корневые отложения в виде мирабилита и поваренной соли отмечены только в период засухи в период исследований 2006 – 2009 гг. и только в хлоридных озерах (Борзинское, Цаган-Нор Большое, Бабье и др.), в содовых встречались крайне редко, в основном, запасы солей сосредоточены в воде (Доронинское, Баин-Цаган, Зун-Торей, Саган-Нор, Шалота и др.). В настоящее время садки солей не отмечается, в связи со значительным снижением минерализации ввиду начавшегося с 2012 г. периода увлажнения. К августу 2013 г. наполнились мелкие озера преимущественно атмосферного питания, при подземном или речном питании озера функционировали во все периоды (озера Зун-Торей, Кудук, Алвахан).

Преобразования в химическом составе являются результатом изменения термодинамических равновесий в системе «вода – порода», теоретический расчет которых возможен с использованием программ физико-химического моделирования применительно к многокомпонентным системам; в качестве последних выступают минералы, находящиеся в контакте с водой, и сама вода, имеющая различный ионный состав.

Для оценки возможного минералообразования мы использовали программный комплекс компьютерного моделирования HG34 [1], который позволяет моделировать процессы, протекающие в системе «вода – порода». Рассматривалось равновесное состояние системы, образованной 19 химическими элементами (H, C, O, S, Cl, Na, Ca, Mg, Si, K, Fe, N, Al, F, P, Sr, Pb, Mn, Zn), 100 простыми и комплексными частицами и 50 потенциальными минералами (гидроксиды карбонаты, сульфаты и хлориды металлов, кварц, каолинит, монтмориллониты, иллиты, слюды и т.д.).

Выполненная нами оценка минеральных равновесий показала, что вода всех рассмотренных нами озер пересыщена по таким карбонатным минералам, как: доломит $CaMg(CO_3)_2$; воды с минерализацией выше 2,7 г/л и pH 8,17 пересыщены кальцитом $CaCO_3$ (таблица). Расширенный список металлов позволил добавить к равновесным карбонатам следующие соли: сидерит $(Fe^{2+})CO_3$; стронцианит $SrCO_3$. Равновесна вода с фосфорсодержащими минералами: витлокитом $Ca_9P_6O_{24}$, гидроксилапатитом $Ca_5(PO_4)_3OH$, хлорапатитом $Ca_5(PO4)_3Cl$, фторапатитом $Ca_5(PO_4)_3F$. Та же тенденция отмечается по некоторым первичным алюмосиликатам: вайракиту (цеолит) $CaAl_2Si_4O_{12}(H_2O)_2$, анальциму $NaAlSi_2O_5(OH)_2$, альбиту $NaAlSi_3O_8$, бейделлиту $(Na_{0.33}Al_{2.33}Si_{3.67}O_{10}(OH)_2)$ и по вторичным, в частности по ряду монтмориллонитов: $Ca_{0.15}Al_{1.9}Si_4O_{10}(OH)_2$, $K_{0.3}Al_{1.9}Si_4O_{10}(OH)_2$, $MgAl_2Si_4O_{11}(OH)_2$, $(Fe^{2+})_{0.2924}Mg_{0.29}Al_{1.6984}Si_{3.935}O_{10}(OH)_2$; по иллитам: $K_{0.56}Na_{0.04}Mg_{0.24}Al_{2.68}Si_{3.22}O_{10}(OH)_2$, $Mg_{2.75}Al_{1.5}Si_3O_{10}(OH)_2$; по хлоритам: $Mg_{2.25}Al_{1.5}Si_{1.25}O_5(OH)_4$, $(Fe^{2+})_2Al_2SiO_5(OH)_4$ и $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$. Помимо перечисленных новообразований, сероводородные воды многих озер насыщены по некоторым сульфидам: по галениту PbS, троилиту $FeS{\cdot}2H_2O$ и сфалериту ZnS. Ненасыщенной гидрохимическая система рассмотренных озер остается по сульфатным (гипс, мирабилит и др.) и хлоридным минералам (галит, гидрогалит). Нет насыщения и по содовым минералам (нахколит, трона, сода).

Расчеты показали, что осаждающиеся минералы ограничивают содержания многих металлов, не позволяя им накапливаться в водном растворе. Такое избирательное концентрирование приводит к глубокой дифференциации химических элементов и к формированию новых химических типов вод. Эти типы вод – сформированные соли – продукты единого геохимического процесса – солеобразующего взаимодействия в системе «вода – порода».

Химический состав и минеральные равновесия рапы соленых озер Восточного Забайкалья

Хим. компонент	Озера								
	Борун-Холво-1	Кусоши	Хилгонта	Горбунка	Холво-Торум-1	Хараганаш	Шелута	Алвахан	Байн-Цаган
Физико-химические компоненты рапы (мг/л, кроме pH) и Al, Mn, Fe (мкг/л)									
pH	9,83	9,58	8,17	8,08	8,06	9,83	9,71	9,3	9,34
CO_2	<0,44	<0,44	5,72	11	7,48	<0,44	<0,44	<0,44	<0,44
CO_3^{2-}	144	240	<0,30	<0,30	<0,30	1118	816	216	336
HCO_3^-	610	769	329	158,6	341,6	1074	927	1000	13786
SO_4^{2-}	570	720,4	1400	2100	1419	1680	2162	48,5	183,3
Cl^-	974,8	1330	6736	12053	8508	886,3	1462	596	939,1
F^-	6,44	14,1	5	0,72	1,48	3,38	2,75	5,48	6,59
Ca^{2+}	13,1	10,3	62,9	59,1	48,8	3,1	2,64	26,7	14
Mg^{2+}	33,6	39,4	509,8	468,1	282,7	54,4	146	61,8	43,9
Na^+	1058	1475	4046	7830	5660	1495	2152	682,6	5889
K^+	88,5	43,9	60,1	103,5	43,6	306,3	357,1	63,6	56,1
∑	3499	4643	13076	22724	16206	5503	8027	2701	21255
Si	0,32	0,44	0,37	0,38	0,47	0,3	0,35	1,5	2,12
$P_{общ}$	0,115	0,43	0,09	0,045	0,035	0,075	0,145	0,062	0,38
Al	13,4	13,6	34	38	80	12,4	10,4	85	121
Mn	1,56	0,60	0,68	1,30	3,42	23	1,77	4,87	5,3
Fe	18	15	11,8	7,6	130	12,6	22	82	229
Масса равновесных минеральных фаз (мг/л)									
1	0,0E+00	3,6E+02	0,0E+00	8,7E-07	8,0E-07	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	3,8E-02
2	3,1E-02	6,0E-02	1,2E-02	2,3E-05	1,4E-06	1,2E-02	1,9E-02	3,0E-02	1,1E-01
3	7,2E-01	1,4E+00	2,4E-01	1,4E-04	5,2E-05	2,4E-01	4,7E-01	6,6E-01	4,7E-01
4	3,8E-01	5,6E-01	1,2E-01	8,1E-05	1,7E-05	1,2E-01	1,8E-01	2,5E-01	1,4E-11
5	1,1E+00	2,4E+00	3,7E-01	2,1E-04	8,3E-05	3,7E-01	7,4E-01	1,0E+00	3,2E-01
6	1,9E-01	8,2E-01	5,4E-06	8,5E-02	6,9E-02	5,4E-06	8,8E-01	1,0E-01	6,8E-01
7	4,4E-01	1,5E+00	4,0E+00	1,6E-01	1,3E-01	4,0E+00	1,5E+00	1,9E-01	7,0E-01
8	3,0E-05	2,4E+00	3,3E-06	3,4E-06	2,2E-06	3,3E-06	4,8E+01	2,9E+01	4,5E+00
9	0,0E+00	2,3E-05	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	6,5E-05	0,0E+00	0,0E+00
10	5,9E+01	3,7E+01	6,9E+00	1,0E+02	6,5E+01	6,9E+00	1,2E+02	6,7E+01	1,7E+01

Примечание. Е – степень. Равновесные основные минеральные фазы: 1 – троиллит аморф.; $(Fe^{2+})S$ am,; 2 – каолинит; $Al_2Si_2O_5(OH)_4$; 3 – монтмориллонит; $Al_2Si_4O_{10}(OH)_2$ м; 4 – хлорит(Al); $Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$; 5 – монтмориллонит(Ca); $Ca_{.15}Al_{1.9}Si_4O_{10}(OH)_2$; 6 – хлорапатит; $Ca_5(PO_4)_3Cl$; 7 – фторапатит; $Ca_5(PO_4)_3F$; 8 – кальцит; $CaCO_3$ к; 9 – флюорит; CaF_2; 10 – доломит; $CaMg(CO_3)_2$.

Работа выполнена при поддержке интеграционного проекта № 56.

Список литературы

1. Зыков, В. В. Каротиноиды в донных отложениях озера Шира как палеоиндикатор для реконструкции состояний озера (Россия, Хакасия) / В. В. Зыков, Д. Ю. Рогозин, И. А. Калугин [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2012. – Т. 19, № 4. – С. 585–595.

2. Солотчина, Э. П. Карбонаты в осадочной летописи соленого озера Цаган-Тырм (Западное Прибайкалье): новый тип палеоклиматических сигналов высокого разрешения / Э. П. Солотчина, Е. В. Скляров, Е. Г. Вологина [и др.] // ДАН. – 2008. – Т. 421, № 3. – С. 391–398.

3. Минеральные воды южной части Восточной Сибири. Т. I. Гидрогеология минеральных вод и их народнохозяйственное значение / [под ред. В. Г. Ткачук и Н. И. Толстихина]. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР. – 1961. – 346 с.

4. Дзенс-Литовский, А. И. Соляные озера СССР и их минеральные богатства / А. И. Дзенс-Литовский. – Л. : Недра, 1968. – 119 с.

5. Букаты, М. Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач / М. Б. Букаты // Известия ТПУ. – 2002. – Т. 305, вып. 6. – С. 348–365.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ ПРИМОРЬЯ

Вах Е. А.[1,2], Харитонова Н. А.[1], Вах А. С.[1,2], Тарасенко И. А.[1,2]

[1] Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Adasea@mail.ru, tchenat@mail.ru;

[2]Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, vakh@fegi.ru, tarasenko_irina@mail.ru

Аннотация. Полученные авторами данные показывают, что фоновый уровень содержаний РЗЭ в поверхностных водах юга Дальнего Востока неоднороден и варьирует от 0,1 до 1,3 мкг/л. Наиболее высокие концентрации РЗЭ (0,48 – 1,3 мкг/л) характерны для рек Восточно-Сихотэ-Алинской и Центрально-Сихотэ-Алинской областей, водосборные бассейны которых расположены в пределах Сихотэ-Алинского вулканогенного пояса. Наиболее низкие концентрации РЗЭ отмечены в водах Западно-Сихотэ-Алинской области (0,09 мкг/л). Профиль распределения РЗЭ в пресных водах различных областей региона однотипен и характеризуется дефицитом Ce, а также обогащением РЗЭ средней группы.

***Ключевые слова*:** *редкоземельные элементы, реки, геохимия, Приморье.*

Abstract. The data received by the author show that the background level of REE`s contents in the surface water of the south of the Far East is non-uniform and varies from 0,1 to 1,3 mkg/l. The highest REE`s concentration (0,48–1,3 mcg/l) is typical for rivers of the East-Sihote-Alin and Central-Sihote-Alin area which catchment basins are located within Sihote-Alin volcanogenic zones. The lowest REE`s concentration dispose in waters of the West-Sihote-Alin area (0,09 mcg/l). The profile of REE`s distribution in fresh waters of various areas of region is the same and characterized by lack of Ce and also enrichment REE of middle group.

***Key words*:** *rare earth elements (REE), rivers, geochemistry, Primorye.*

Интерес к распределению редкоземельных элементов (РЗЭ) в окружающей среде и, прежде всего, в природных водах связан с возможным использованием их в качестве трассеров геохимических процессов [1], что требует понимания особенностей поведения и законов фракционирования отдельных элементов.

Изучению РЗЭ в поверхностных водах Дальнего Востока РФ посвящено значительное число работ [2–4 и др.]. Исследования речного переноса РЗЭ, выполненные рядом зарубежных исследователей [4–8], позволили установить преобладающую роль взвешенной формы в переносе РЗЭ и существенные различия в накоплении РЗЭ в реках в зависимости от величины pH, присутствия коллоидных частиц и пр. Обзор данных по содержанию РЗЭ во взвесях приводится в работах [9–12].

Концентрации растворенных РЗЭ в речных стоках, как правило, значительно ниже взвешенных. Растворенные РЗЭ (фракция менее 0,45 мкм) представляют собой истинно растворенные формы и коллоидные соединения. Состав растворенных РЗЭ в значительной степени определяется индивидуальными химическими свойствами РЗЭ [4, 8]. В связи с этим представляется, что изучение распределений РЗЭ в растворенной форме, вероятнее всего, может косвенно отражать основные особенности их поведения в зоне гипергенеза при взаимодействии вода – порода.

Исследование РЗЭ в поверхностных водотоках Приморья проводилось с целью выявления и оценки общего геохимического фона концентраций растворенных форм РЗЭ в пресных водах, а также определения основных закономерностей изменений концентраций и распределения РЗЭ в водных средах отдельных крупных гидрогеологических структур Приморья.

Изучены концентрации и характер распределения РЗЭ в пресных водах поверхностных водотоков. По физико-географическому положению их водосборных бассейнов и особенностям геологического строения на территории Приморья выделены следующие области: Восточно-Сихотэ-Алинская, Центрально-Сихотэ-Алинская; Западно-Сихотэ-Алинская, Южно-Приморская, Приханкайская.

Пробы поверхностных водотоков отбирались в течение пяти лет. На местах отбора водные пробы фильтровались через целлюлозный фильтр с размером пор 0,45 мкм и собирались в пластиковые пробирки. Пробы для анализа содержаний в воде РЗЭ дополнительно консервировались путем добавления в них азотной кислоты.

Определение содержаний РЗЭ в водных средах выполнено с помощью масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 7500c (Agilent Technologies, USA) в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (аналитик Е. В. Еловский).

Обобщенные результаты изучения содержаний РЗЭ в водотоках различных областей Приморья показывают, что региональный уровень концентраций растворенных форм в пресных поверхностных водах варьирует от 0,092 до 1,297 мкг/л (см. таблицу), при интервале колебаний содержаний в водах отдельных рек 0,014 – 1,56 мкг/л.

Средние содержания растворенных форм РЗЭ в пресных водах поверхностных водотоков различных областей Приморья, мкг/л

Редкоземельный элемент или показатель	Среднее для рек мира	I	II	III	IV	V	Среднее для Приморья
La	0,120	0,0883	0,2300	0,0216	0,0598	0,0688	0,0856
Ce	0,262	0,0878	0,2990	0,0175	0,0808	0,0625	0,0985
Pr	0,040	0,0285	0,0750	0,0052	0,0160	0,0167	0,0252
Nd	0,152	0,1274	0,3290	0,0230	0,0719	0,0689	0,1111
Sm	0,036	0,0329	0,0822	0,0052	0,0159	0,0139	0,0265
Eu	0,0098	0,0060	0,0173	0,0025	0,0050	0,0052	0,0065
Gd	0,040	0,0350	0,0875	0,0052	0,0180	0,0135	0,0283
Tb	0,0055	0,0050	0,0119	0,0007	0,0022	0,0018	0,0038
Dy	0,030	0,0279	0,0683	0,0040	0,0118	0,0099	0,0213
Ho	0,0071	0,0056	0,0132	0,0008	0,0025	0,0020	0,0042
Er	0,020	0,0162	0,0380	0,0025	0,0067	0,0057	0,0122
Tm	0,0033	0,0023	0,0054	0,0004	0,0009	0,0009	0,0017
Yb	0,017	0,0147	0,0348	0,0026	0,0063	0,0053	0,0112
Lu	0,0024	0,0024	0,0054	0,0005	0,0009	0,0009	0,0018
ΣREE	0,7451	0,4800	1,2970	0,0916	0,2986	0,2759	0,4378
LREE	0,6198	0,3709	1,0326	0,0750	0,2494	0,2361	0,3534
HREE	0,1253	0,1091	0,2644	0,0166	0,0492	0,0399	0,0844
LREE, %	83,19	77,27	79,61	81,93	83,52	85,56	80,73
HREE, %	16,81	22,73	20,39	18,07	16,48	14,44	19,27
Lan/Ybn	–	0,58	0,64	0,81	0,92	1,25	0,74
Eu/Eu*	–	0,80	0,92	2,22	1,34	1,72	1,07
Ce/Ce*	–	0,38	0,49	0,36	0,57	0,40	0,46
Ho/Ho*	–	1,16	1,15	1,15	1,23	1,16	1,17

Примечание. Области: I – Восточно-Сихотэ-Алинская (реки Таежная, Рудная, Кема, Максимовка, Джигитовка, Минеральная); II – Центрально-Сихотэ-Алинская (реки Арсеньевка, Павловка, 2008 и 2009 гг.); III – Западно-Сихотэ-Алинская (руч. Агава, правый приток р. Малиновка; руч. Михайловский, левый приток р. Малиновка); IV – Южно-Приморская (реки Пинканка, Шкотовка, Лобога, Бол. Рудневка, Артемовка, Волчанка, Суходол, Петровка); V – Приханкайская (реки Репьевка, Абрамовка, Григорьевка, оз. Благодатное; руч. Криничный). Анализы выполнены на ИСП-МС спектрометре Agilent 7500 в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН (аналитик Е. В. Еловский).

Наиболее высокие концентрации РЗЭ характерны для рек Восточно-Сихотэ-Алинской и Центрально-Сихотэ-Алинской областей, водосборные бассейны которых расположены

в пределах Сихотэ-Алинского вулканогенного пояса, наиболее низкие – для рек Западно-Сихотэ-Алинской области. Во всех изученных водотоках концентрации легких РЗЭ значительно выше, чем тяжелых, они составляют 77 – 86% от суммы всех РЗЭ. При этом наиболее обогащены легкими РЗЭ водотоки Приханкайской низменности, а наиболее обеднены воды Восточно-Сихотэ-Алинской области (см. таблицу).

В пределах Восточно-Сихотэ-Алинской области пробы отбирались из наиболее крупных водотоков, основная часть которых не затронута техногенной деятельностью. Выявлено, что содержание растворенных форм РЗЭ в этих водах находится в относительно узких пределах, от 0,21 до 0,60 мкг/л (см. таблицу). При этом наиболее высокие концентрации РЗЭ характерны для р. Таежной, а наиболее низкие – для р. Минеральной.

Профили распределения РЗЭ в водах водотоков Восточно-Сихотэ-Алинской области, нормированные по отношению к североамериканскому сланцу [1], относительно однотипны и характеризуются обогащением РЗЭ в области неодима–тербия, с максимальными значениями европия или гадолиния (рисунок). Показатель соотношений La/Yb_n варьирует в весьма значительных пределах – от 0,56 до 1,20, что отражает весьма неравномерный характер обогащения вод тяжелыми и легкими РЗЭ. Все спектры имеют четко выраженную отрицательную цериевую аномалию (Ce/Ce* = 0,19 – 0,58) и менее четко проявленную отрицательную европиевую аномалию (Eu/Eu* = 0,55 – 0,93). На всех спектрах отмечается нечетко выраженная положительная аномалия гольмия (Ho/Ho* = 1,13 – 1,20).

В водах Южно-Приморской области содержание РЗЭ изменяется в относительно узких пределах, от 0,11 до 0,51 мкг/л (см. таблицу). Наиболее высокие концентрации характерны для р. Пинканки, а наиболее низкие – для р. Петровки. Во всех водах изученных водотоков выявлено преобладание легких РЗЭ над тяжелыми – 80 – 86%, что, в целом, гораздо выше, чем для рек Восточно-Сихотэ-Алинской области.

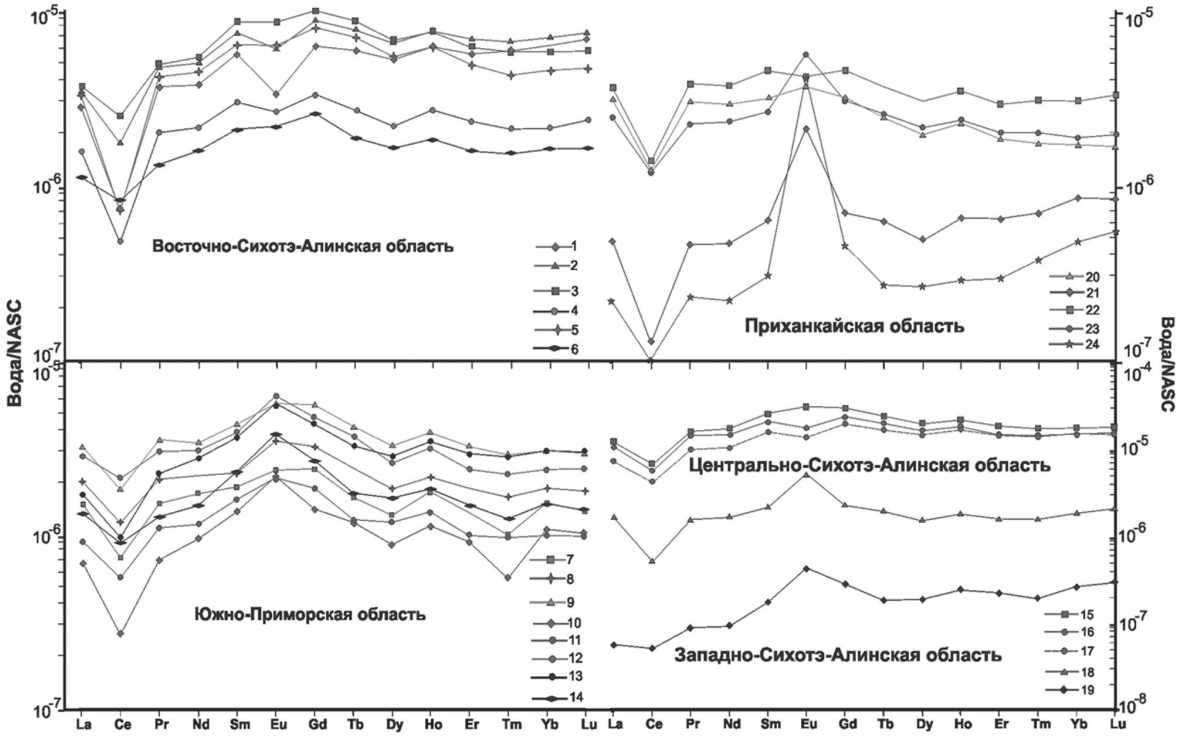
В отличие от рек Восточно-Сихотэ-Алинской области в спектрах распределений РЗЭ вод Южно-Приморской области отмечается положительная европиевая аномалия (Eu/Eu* = 1,10 – 1,58). При этом для рассматриваемых вод выделяются два типа европиевых аномалий: явно проявленные, с показателем 1,45 – 1,58, и относительно слабо выраженные (Eu/Eu* = 1,10 – 1,24). В спектрах последних отмечается превышение нормированных значений гадолиния над европием.

В водах Приханкайской области сумма РЗЭ варьирует в весьма широких пределах, от 0,04 до 0,51 мкг/л (см. таблицу). Наиболее высокие концентрации РЗЭ характерны для р. Григорьевки, а наиболее низкие – для р. Криничной. В водах всех изученных водотоков выявлено преобладание легких РЗЭ над тяжелыми – 80 – 88% от общего состава, что, в целом, сопоставимо с реками Южно-Приморской области.

Профили распределения РЗЭ в водах водотоков Приханкайской области, хоть по конфигурации и близки между собой, но отчетливо могут быть разделены на два типа по характеру фракционирования РЗЭ. Для вод с высокими концентрациями РЗЭ отчетливо проявлен пологий профиль распределения РЗЭ (см. рисунок) и обогащение их легкими РЗЭ (La/Ybn = 1,31 – 1,81). Они могут иметь как положительную, так и отрицательную европиевую аномалию (Eu/Eu* = 0,92 – 2,01). Для вод с низкими концентрациями РЗЭ профиль распределения РЗЭ характеризуется увеличением тяжелых РЗЭ (La/Ybn = 0,45 – 0,57). Для них типично наличие европиевого пика (Eu/Eu* = 3,26 – 11,44). Все спектры вод данной гидрогеологической области имеют четко выраженную отрицательную цериевую аномалию (Ce/Ce* = 0,26 – 0,50) и слабую аномалию гольмия (Ho/Ho* = 1,03 – 1,17).

Распределение РЗЭ в водотоках Центрально-Сихотэ-Алинской и Западно-Сихотэ-Алинской областей изучено слабо. Имеются всего три пробы по водотокам первой и две – по водотокам второй. В водотоках первой области обнаружены значительные концентрации РЗЭ – от 1,0 до 1,6 мкг/л (см. таблицу), с преобладанием доли легких РЗЭ над тяжелыми 77–81%, а в водотоках второй области содержание РЗЭ низкое – от 0,14 до 0,17 мкг/л.

Профили распределения РЗЭ в первой области имеют пологую выпуклую форму, с обогащением РЗЭ в области неодима–тербия, а во второй – характеризуются увеличением тяжелых РЗЭ (La/Ybn = 0,23 – 0,91) и ярко выраженным европиевым пиком (см. рисунок).



Спектры распределения концентраций редкоземельных элементов в водах поверхностных водотоков Приморья, нормализованные по отношению к североамериканскому сланцу (NASC).

Восточно-Сихотэ-Алинская область: 1 – р. Максимовка, 2 – р. Кема, 3 – р. Таежная, 4 – р. Джигитовка, 5 – р. Рудная, 6 – р. Минеральная; Южно-Приморская область: 7 – р. Волчанка, 8 – р. Бол. Рудневка, 9 – р. Пинканка, 10 – р. Петровка, 11 – р. Суходол, 12 – р. Лобога, 13 – р. Шкотовка, 14 – р. Артемовка; Центрально-Сихотэ-Алинская область: 15 – р. Арсеньевка, 16–17 – р. Павловка (2008 и 2009 гг.); Западно-Сихотэ-Алинская область: 18 – р. Авага, правый приток р. Бол. Уссурка, 19 – р. Михайловка, левый приток р. Бол. Уссурка; Приханкайская область: 20 – р. Репьевка, 21 – р. Абрамовка, 22 – р. Григорьевка, 23 – оз. Благодатное, 24 – р. Криничная

Все спектры вод Центрально-Сихотэ-Алинской и Западно-Сихотэ-Алинской областей имеют четко выраженную отрицательную цериевую аномалию (Ce/Ce* = 0,34 – 0,721) и положительную аномалию гольмия (Ho/Ho* = 1,13 – 1,17).

Обобщенные профили распределения РЗЭ в водах водотоков различных областей Приморья имеют полого-выпуклую форму, с резко выраженным обогащением РЗЭ в области средней группы РЗЭ. Все спектры вод Приморья имеют четко выраженную отрицательную цериевую аномалию (Ce/Ce* = 0,26 – 0,50) и слабую аномалию гольмия (Ho/Ho* =1,03 – 1,17).

Полученные в процессе исследований данные позволяют сделать следующие выводы, отражающие основные закономерности распределения РЗЭ в растворенном стоке пресных поверхностных вод.

Содержание РЗЭ в растворенном стоке пресных вод Приморья в значительной мере отличается от состава североамериканского сланца и характеризуется накоплением РЗЭ средней группы. На факты обогащения речных вод легкими и средними РЗЭ указывает ряд авторов [3, 8, 11], хотя эта закономерность не всегда выдерживается. В ряде публикаций отмечается обеднение в растворенном стоке легких РЗЭ [1, 5], которое объясняется их более высокой сорбируемостью твердыми фазами в речных водах при высоких значениях pH.

Аномалии в поведении европия в поверхностных водах наблюдаются для всех областей Приморья и зависят от водовмещающих пород водосборного бассейна.

Наличие ярко выраженной цериевой аномалии в пресных водах Приморья определяется химическими свойствами этого редкоземельного элемента, который в зоне гипергенеза меняет степень окисления с 3+ на 4+, что способствует образованию малорастворимых форм и его быстрому удалению из состава растворов.

Уровень концентраций растворенных РЗЭ в поверхностных водах, вероятней всего, определяется концентрациями РЗЭ в породах водосборного бассейна и особенностями техногенного загрязнения вод при разработке определенных типов месторождений полезных ископаемых.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ № 14-17-00415.

Список литературы

1. Вах, Е. А. Геохимия и распределение редкоземельных элементов в подземных водах и водовмещающих породах месторождения минеральных вод Нижние Лужки / Е. А. Вах, Н. А. Харитонова // Инженерная геология. – 2010. – № 4. – С. 60–67.

2. Вах, Е. А. Геохимия и распределение редкоземельных элементов в подземных водах и водовмещающих породах Фадеевского месторождения минеральных вод / Е. А. Вах, Н. А. Харитонова // Региональная геология и металлогения. – 2010. – № 43. – С. 106–113.

3. Вах, Е. А. Содержание редкоземельных элементов в водах зоны гипергенеза сульфидных руд Березитового месторождения (Верхнее Приамурье) / Е. А. Вах, А. С. Вах, Н. А. Харитонова // Тихоокеан. геология. – 2013. – Т. 32, № 1. – С. 105–115.

4. Goldstein, S. J. Rare earth elements in river waters / S. J. Goldstein, S. B. Jacobsen // Earth Planet. Sci. Lett. – 1988. – Vol. 89. – P. 35–47.

5. Hannigan, R. E. The development of middle rare earth elements enrichments in freshwaters weathering of phosphate minerals / R. E. Hannigan, E. R. Sholkovitch // Chem. Geology. – 2001. – Vol. 175. – P. 495–508.

6. Johannesson, K. Rare earth elements as geochemical tracers of regional groundwater mixing / K. Johannesson, K. Stetchenbach, V. Hodge // Geochim. et. Cosmochim. Acta. – 1997. – Vol. 61. – P. 3605–3618.

7. Moller, P. Rare earth elements and yttrium in mineral and geothermal waters / P. Moller, P. Dulski // Proc. on conf. «Geochemistry of the Earth's Surface». – Balkema, 1999. – P. 527–530.

8. Moller P. The distribution of rare earth elements and yttrium in water-rock interaction: field odservation and experiments / P. Moller // Water-Rock Interaction / Stober I., Bucher K. (Eds.). – Rotterdam : Kluwer Acad. Press., 2002. – P. 97–123.

9. Чудаева, В. А. Качество природных вод Дальнего Востока / В. А. Чудаева, О. В. Чудаев // Вестн. ДВО РАН. – 2001. – № 2. – С. 28–36.

10. Чудаева, В. А. Миграция химических элементов в водах Дальнего Востока / В. А. Чудаева. – Владивосток : Дальнаука, 2002. – 391 с.

11. Чудаева, В. А. Особенности накопления и фракционирования редкоземельных элементов в поверхностных водах Дальнего Востока в условиях природных и антропогенных аномалий / В. А. Чудаева, О. В. Чудаев // Геохимия. – 2011. – № 3. – С. 523–549.

12. Чудаева, В. А. Особенности химического состава воды и взвеси рек Приморья (Дальний Восток России) / В. А. Чудаева, О. В. Чудаев // Тихоокеан. геология. – 2011. – Т. 30, № 2. – С. 102–119.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ РЕЧНОГО СТОКА МАЛЫХ БАССЕЙНОВ НА ОСНОВЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ТРАССЕРОВ

Губарева Т. С., Гарцман Б. И., Болдескул А. Г., Шамов В. В.
Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, tgubareva@bk.ru

Аннотация. В работе приведены результаты количественного определения генетических компонент стока для ряда малых бассейнов в Приморье по данным гидрохимического и гидрологического

мониторинга. Такой расчет возможен с помощью модели смешения и специальной статистической процедуры EMMA-анализа. Приведены результаты анализа химических трассеров и установления количества компонент стока, выполненного с помощью МГК-моделирования химического состава речных вод. Рассмотрены неопределенности анализа и интерпретации диаграмм смешения. Установлено, что количество генетических компонент для бассейна руч. Елового не три, как предполагалось ранее, а четыре.

Ключевые слова: *химические трассеры, модель смешения, генетические составляющие стока, метод главных компонент, гидрохимические данные.*

Abstract. Some results of quantify source contribution to stream flow for several small river basins in Primorye using hydrochemical and hydrological monitoring data. This assessment was made by application a mixing model and special statistical procedure - End-member mixing analysis. Chemical tracers and number of sources contribution (end-members) was estimated by modeling of chemical data using PCA. Uncertainties of mixing diagrams analysis and their interpretation are discussed. It is detect, that the number of water sources for the Elovyi creek is four.

Key words: *chemical tracers, mixing model, source waters, principal component analysis, hydrochemical data.*

Исследование механизмов формирования речных вод, как результата взаимодействия различных генетических составляющих стока в процессе их смешения, а также генезиса их химического состава, является предметом научных работ авторов, выполняемых на малых бассейнах в пределах Верхнеуссурийского лесного стационара БПИ ДВО РАН [1]. Под генетическими составляющими стока или источниками питания подразумеваются различные типы вод, циркулирующие на различных горизонтах толщи водосборного бассейна – воды глубокого подземного горизонта, склоновые (почвенные) воды, дренирующие рекой, а также атмосферные воды, поступающие преимущественно путем поверхностного стекания.

Объекты исследования – малые типичные горные водосборы Центрального Сихотэ-Алиня в бассейне р. Правой Соколовки в верховьях р. Уссури. Экспериментальный водосбор руч. Елового – Устье (площадь 3,45 км^2) включает вложенные водосборы водотока 1 порядка – руч. Еловый – Плотина (0,79 км^2) и водотока 2 порядка – руч. Резервный – Устье (1,03 км^2). Экспериментальный водосбор руч. Медвежий – Устье имеет площадь 7,89 км^2. Общий период исследования охватывает 2011 – 2014 гг.

Натурные наблюдения за гидрохимическим составом природных вод различного типа – атмосферных, вод почвенного горизонта (склоновых), русловых – выполнялись систематически в течение всего теплого сезона – с мая по сентябрь, в периоды активного проведения работ – ежедневно, в период паводка – дважды в сутки. Атмосферные воды собирались в полиэтиленовые конусы, подвешиваемые под открытым небом. Отбор проб почвенно-грунтовых вод осуществлялся тензиолизиметрами (Тл) с керамическими наконечниками DIK-8392. Пробы вод отбирались в полиэтиленовые бутылки, предварительно ополоснув их водой непосредственно в месте отбора. Для всех гидрохимических проб на месте выполнялись измерения температуры и электропроводности воды с помощью термокондуктометра Ciba Corning M90 и мультипараметрического анализатора воды YSI Professional Plus, pH – с помощью pH-метра «Эксперт-001». Одновременно с отбором проб проводилось измерение расхода воды объемным методом и с помощью электромагнитного измерителя скорости потока FlowSens SEBA.

В **лабораторных условиях** в пробах определялись основные макрокомпоненты, кремний (Si) и содержание растворенного органического углерода (Сорг). Содержание гидрокарбонат-иона определялось потенциометрическим титрованием в нефильтрованных пробах по стандартной методике. Остальные компоненты определялись после фильтрации через фильтр Durapore Millipore с размером пор 0,45 мкм. Для анализа методами AAS и ICP-MS пробы после фильтрации подкислялись азотной кислотой. Содержание анионов (Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-) определялось на жидкостном хроматографе Shimadzu LC 10Avp, содержание катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) – на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu AA 6800. Кремний определялся

методом ICP-MS (Agilent 7500 cx Series). Определение содержания Сорг в воде проводилось с помощью TOC-анализатора (Shimadzu TOC-VCPN).

Методы исследования. Для установления генетических компонент речного стока применялась модель смешения [2] и соответствующие ей статистические процедуры моделирования – end-member mixing analysis (EMMA) [2, 3]. Для адаптации и калибровки EMMA-модели привлекались данные гидрохимических съемок речных, атмосферных и почвенных вод. Метод главных компонент (МГК), являющийся ядром EMMA-анализа, объединяет все надежные химические трассеры (5-6 и более) и формирует два сложных трассера – первые две главные компоненты (2D пространство смешения), каждый из которых представляет собой их линейную комбинацию. Разложение матрицы исходных данных $\mathbf{X}(I^xJ)$, где I – число измерений (проб), J – число независимых переменных, т.е. химических показателей, выполняется по формуле:

$$\mathbf{X} = \mathbf{TP}^t + \mathbf{E} = \sum_{u=1}^{U} \mathbf{t_u p_u^t} + \mathbf{E}, \quad (1)$$

где **T** – матрица *счетов,* размерностью ($I \times U$), **P** – матрица *нагрузок*, размерностью ($J \times U$), верхний индекс t – знак транспонирования, **E** – матрица *остатков*, размерностью ($I \times J$), $\mathbf{t}_u$ – векторы – переменные в пространстве главных компонент, U – число главных компонент.

Трехкомпонентная, двухтрассерная модель смешения и имеет вид:

$$\begin{cases} Q_1 + Q_2 + Q_3 = Q_s \\ U1_1 Q_1 + U1_2 Q_2 + U1_3 Q_3 = U1 Q_s \\ U2_1 Q_1 + U2_2 Q_2 + U2_3 Q_3 = U2 Q_s \end{cases}, \quad (2)$$

где Q – расход воды, м^3/с, $U1$ и $U2$ – первая и вторая главные компоненты – результат разложения матрицы исходных трассеров методом МГК; подстрочные индексы s, 1, 2 и 3 обозначают ручей и три компоненты стока, которые привносят свой вклад в формирование речных вод. Решением системы уравнений являются величины расходов составляющих стока на каждое измерение, что позволяет судить об их временной динамике.

При разработке трехкомпонентной модели смешения качество модели устанавливается по величине доли дисперсии исходных данных, объясненной первыми двумя главными компонентами. В качестве рабочего варианта принимается тот, в котором эта доля не менее 90%. Визуализация модели выполняется путем построения диаграммы смешения, представляющей зависимость концентраций сложных трассеров речных вод, спроецированных в U-пространство (пространство главных компонент). Для трехкомпонентной модели пробы речных вод, как правило, заключены в поле треугольника, вершины которого соответствуют концентрациям (средних или медианных значений) трассеров генетических составляющих, спроецированных в U-пространство. Валидация модели смешения осуществляется путем сравнения смоделированных величин концентраций гидрохимических параметров в речном потоке и наблюденных. Расчетные концентрации по каждому гидрохимическому показателю вычисляются путем обратного решения задачи (формула 2), предполагая знания расходов (долей стока) источников и их средних концентраций.

Для установления надежных химических трассеров и оценки количества компонент стока использовалась методика [4], адаптированная для выбранных водных объектов в [5]. В ее основе – моделирование химического состава воды ручьев методом главных компонент по формуле 1. Калибровка МГК-модели выполняется только по данным речных проб, без привлечения информации генетических источников. Оценка качества вариантов МГК моделей различных размерностей 1D-3D (количество используемых при моделировании главных компонент) выполняется на основании анализа матрицы остатков, путем анализа графика остатки ($\mathbf{e}_j$) – измеренные значения ($\mathbf{x}_j$) для каждого химического показателя, а также по величине доли дисперсии исходных данных, объясненной главными компонентами. Отсутствие структур

связи «остатки – измеренные значения», оцениваемых коэффициентом детерминации, свидетельствует об адекватности МГК-модели и ее способности воспроизводить ряды г/х параметров с высокой точностью.

Общая схема анализа следующая: 1. Предварительно оцениваются потенциальные трассеры по результатам МГК-моделирования, для этого используется весь набор параметров (12 г/х показателей). Формируется список потенциальных трассеров. 2. Детально тестируются различные варианты наборов трассеров, с целью подобрать варианты адекватных моделей смешения, и формулируются выводы относительно трассеров, оценивается количество составляющих стока. Это выполняется с помощью МКГ-моделирования. 3. Выполняются процедуры EMMA-моделирования для различных вариантов модели смешения. Варианты определяются набором трассеров и набором генетических источников. Строятся диаграммы смешения, делается их анализ, интерпретируются генетические источники и их эволюция. 4. Выполняется расчет расходов генетических компонент (долей стока – почвенного, глубокого питания, поверхностного-дождевого) на каждое измерение и анализируется их временная динамика. Выполняется валидация модели смешения.

Результаты. Предварительное тестирование МГК-моделей, включающих 12 параметров, показывает, что набор трассеров для всего бассейна руч. Еловый довольно устойчив (таблица). Он включает такие г/х показатели, как минерализация, растворенный органический углерод, гидрокарбонат ион, ион натрия, растворенный кремний. Вариация трассеров в пространстве определяется спецификой гидрохимического состава ручьев [6]. Так, гидрокарбонат-ион выступает в роли надежного трассера для водосбора руч. Резервного, а сульфат-ион – потенциального трассера для верховьев руч. Елового. Во временном разрезе состав трассеров несколько различается, что делает затруднительным использовать один и тот же набор при моделировании любого года.

Химические трассеры, оценки R^2 связей «остатки – измеренные значения» на 2D и 3D уровне пространства смешения, объясненная дисперсия первых двух главных компонент λ (%) наилучших вариантов МГК-моделей

Водосбор/год	2014				2013				2012				2011			
	трассер	ранг		λ	трассер	ранг		λ	трассер	ранг		λ	трассер	ранг		λ
		2D	3D			2D	3D			2D	3D			2D	3D	
Руч. Еловый – Плотина	$C_{орг.}$	0.21	0.05	83.5	Сорг.	0.07	0.02	86.4	M	0.03	0.02	88.8	M	0.04	0.04	91.9
	SO^{2-}	0.13	0.10		Mg^{2+}	0.72	0.07		Сорг.	0.02	0.02		HCO_3^-	0.16	0.01	
	Na^{4+}	0.22	0.05		Na^+	0.10	0.08		SO_4^{2-}	0	0.01		SO_4^{2-}	0.06	0.01	
	Si	0.10	0.04		Si	0.12	0.05		NO^{3-}	0.08	0.08		Ca^{2+}	0.05	0.05	
	–	–	–		–	–	–		Si	0.13	0.09		Mg^{2+}	0.09	0.07	
Руч. Еловый – Устье	HCO_3^-	0.18	0.00	88.0	M	0.05	0.05	84.0	M	0.03	0.02	92.6				
	SO_4^{2-}	0.05	0.05		HCO_3^-	0.12	0.02		HCO_3^-	0.05	0.01					
	NO_3^-	0.13	0.12		SO_4^{2-}	0.09	0.08		SO_4^{2-}	0.17	0					
	Mg^{2+}	0.11	0.03		NO_3^-	0.20	0.05		NO^{3-}	0.07	0.07					
	Si	0.14	0.13		Na+	0.34	0.05		Si	0.05	0.03					
Руч. Резервный - Устье	M	0.07	0.02	91.0	Mg^{2+}	0.16	0.06	85.0								
	Сорг	0.03	0.03		K^+	0.11	0.00									
	HCO_3^-	0.14	0.01		Na^+	0.18	0.05									
	Mg^{2+}	0.06	0.04		Si	0.15	0.15									
	Na^+	0.16	0.03		–	–	–									
	Si	0.07	0.07		–	–	–									
Руч. Медвежий – Устье	M	0.03	0.02	95.3												
	Сорг	0.03	0.03													
	HCO_3^-	0.03	0.03													
	SO_4^{2-}	0.11	0.01													
	NO_3^-	0.06	0.02													
	Ca^{2+}	0.04	0.03													
	Mg^{2+}	0.03	0.02													

В ходе детального анализа установлены наборы трассеров, при которых МГК-модель является наилучшей по совокупности применяемых оценочных критериев. В таблице приведены лучшие варианты моделей. Анализ таблицы показывает, что наиболее надежные трехкомпонентные модели для бассейнов руч. Елового возможно подобрать только в отдельные годы: для руч. Елового – Плотина в 2011 и 2012 гг., для руч. Елового – Устье только в 2012 г., для руч. Резервного – Устье – в 2012 г. В годы, когда модели для Елового на 2D уровне неудовлетворительного качества, на 3D уровне пространства смешения выраженные структуры связи в зависимостях остатки – измеренные значения отсутствуют вовсе, что приводит к выводу о существовании дополнительной четвертой компоненты стока. Наиболее надежная модель у водосбора руч. Медвежьего в 2014 г., включающая 7 г/х параметров и долей дисперсии первых двух главных компонент 95,3%.

Опираясь на результаты обследований бассейна руч. Елового и анализ геологических карт, можно предположить, что проявление дополнительной компоненты стока вызвано особенностями строения водосбора руч. Елового, выраженной неоднородностью сложения почв и растительного покрова, разнородностью геологического строения соседних ручьев руч. Резервного и руч. Елового до слияния. Это усложняет механизм формирования речного стока и требует адаптации четырехкомпонентной модели смешения и методики ее применения.

Примеры диаграмм смешения генетических компонент стока в *U*-пространстве (ось X – сложный трассер, образованный первой главной компонентой, ось Y – второй главной компонентой) приведены на рис. 1. Основные затруднения, возникающие при анализе поля смешения (для трехкомпонентной модели это треугольник) – выбор репрезентативного представителя почвенного источника (почвенный end-member) и точное определение местоположения подземного (базового) питания. Почвенные воды представлены образцами, отобранными с

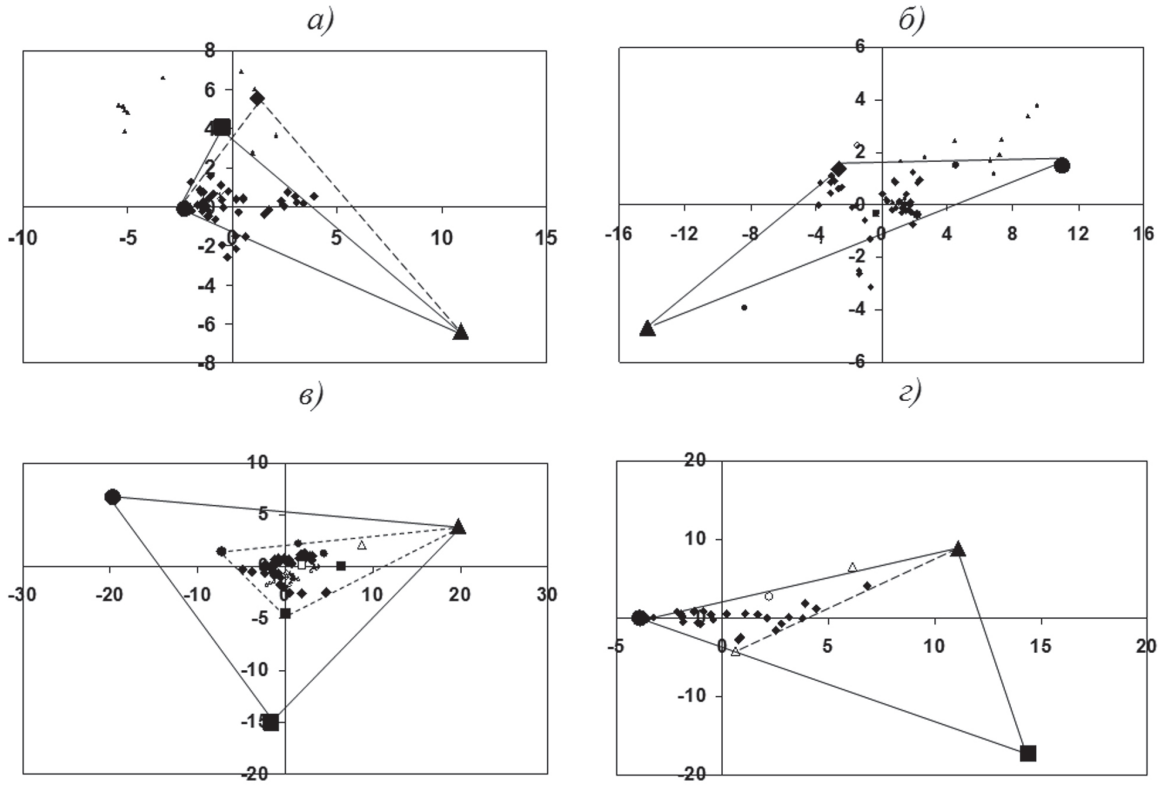


Рис. 1. Диаграммы смешения генетических компонент стока в U-пространстве:
● – подземной, ■ – почвенной, ▲– атмосферной, ромбы – пробы речных вод.
а – Еловый – Плотина, 2012 г., б – Еловый – Устье, 2012 г., в – Резервный – Устье, 2013 г., г – Медвежий – Устье, 2014 г.

разных мест водосборного бассейна, поэтому выбор вершины, соответствующей почвенному источнику, не всегда однозначен и требует уточнения *U*-координат на основании экспертного анализа. Например, на рис. 1, а выполнено построение двух полей смешения, поскольку оба треугольника вполне приемлемо покрывают разброс речных проб воды.

Установление вершины подземного питания практически во многих случаях требует тщательной обоснованности, а в отдельных случаях она выстраивается геометрическим путем (рис. 1, б). Причина этого – отсутствие гидрогеологических скважин, которые бы позволили оценить химический состав подземных вод. В нашем случае представление о подземной составляющей представлено пробами воды, отобранными в период глубокой межени. Установлено [7], что базисный сток руч. Елового питается водной массой, формирующейся в нижней части склоновой толщи рыхлых отложений на контакте с коренными породами.

Может возникнуть ситуация (рис. 1, в, г), при которой вершины – генетические источники – отстоят далеко от точек речных проб. Это означает, что почвенные воды этих наблюдаемых источников не участвуют непосредственно в процессе смешения до контрольного створа, а их разгрузка и смешение с речными водами происходит в нижних частях бассейна. В таких случаях возможен автоматический поиск оптимальных потенциальных генетических источников (рис. 1, в). Конечным результатом оценивания генетических компонент стока являются вычисленные доли стока подземной, почвенной и атмосферной составляющих (примеры на рис. 2), которые позволяют проанализировать их динамику.

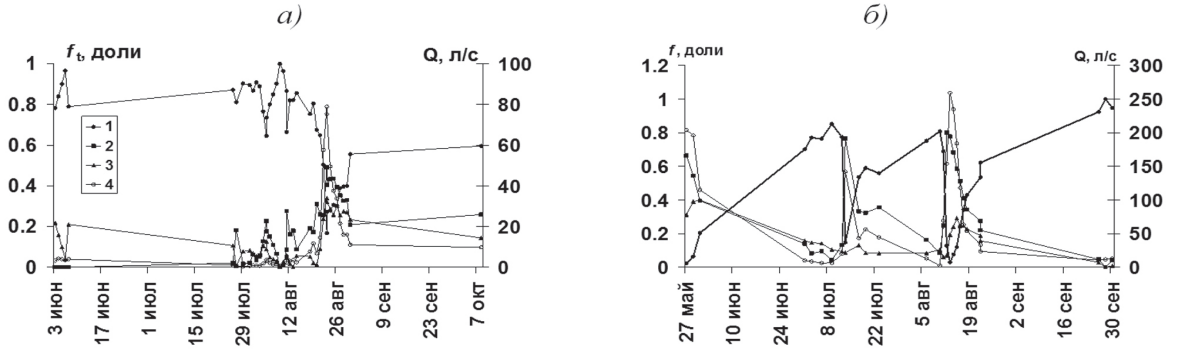


Рис. 2. Динамика генетических составляющих стока:
а – Еловый, 2012 г., б – Медвежий, 2014 г.
1 – доля подземных вод, 2 – почвенных вод, 3 – атмосферных вод, 4 – гидрограф стока

Выводы. Апробирована схема анализа генетических компонент стока малого водосборного бассейна на основе данных гидролого-гидрохимического мониторинга водного объекта и гидрохимической съемки предполагаемых источников, формирующих речные массы в процессе их смешения. По данным наблюдений малых установлено, что количество стабильных компонент стока в отдельные годы для руч. Елового может достигать не три, как предполагалось, а четыре. Проявление четвертой составляющей, предположительно, определяется выраженной неоднородностью сложения почв, растительного покрова, геологического строения. Для руч. Медвежего надежно выделяются три генетические компоненты стока.

Список литературы

1. Шамов, В. В. Экспериментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи / В. В. Шамов, Б. И. Гарцман, Т. С. Губарева [и др.] // Инженерные изыскания. – 2013. – № 1. – С. 60–69.

2. Christophersen, N. Modelling stream water chemistry of soilwater end-members – a step towards second-generation acidification models / N. Christophersen, C. Neal, R. P.Hooper [et al.] // J. Hydrol. – 1990. – V. 116. – p. 307–320.

3. Christophersen, N. Multivariate analysis of stream water chemical data: the use of principal component analysis for the end–member mixing problem / N. Christophersen, R. Hooper // Wat. Res. Res. – 1992. –V. 28, № 1. – p. 99–107.

4. Hooper, R. P. Diagnostic tools for mixing models of stream water chemistry/ R. P. Hooper // Wat. Res. Res. – 2003. – V. 39, № 3. – 1055.

5. Губарева, Т. С. Анализ природных трассеров и генетических составляющих стока в моделях смешения (на примере малых бассейнов в Приморье) / Т. С. Губарева, А. Г. Болдескул, Б. И. Гарцман [и др.] // Водные ресурсы. – 2015. – (В печати).

6. Болдескул, А. Г. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине / А. Г. Болдескул, В. В. Шамов, Б. И. Гарцман [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33, № 2. – С. 90–101.

7. Губарева, Т. С. Разделение гидрографа стока по генетическим составляющим / Т. С. Губарева, Б. И. Гарцман, В. В. Шамов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2015. – (В печати).

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ПРИМЕРЕ НАРЫКСКО-ОСТАШКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ

Домрочева Е. В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Томский филиал СО РАН, г. Томск, Domrocheva@rambler.ru

Аннотация. В настоящей статье приводятся результаты исследования геохимии подземных вод на территории Нарыкско-Осташкинской площади Ерунаковского района Кузбасса. Показано, что отмеченные изменения в минерализации и pH носят естественный характер и подчиняются прямой вертикальной зональности, которая свидетельствует о том, что изученные воды имеют инфильтрационный генезис, а источником их поступления являются атмосферные осадки, проникающие в систему из областей питания.

Ключевые слова: *подземные воды, Кузбасс, Нарыкско-Осташкинская площадь, химический состав, вертикальная зональность.*

Abstrakt. Results of research of geochemistry of underground waters in the territory of Narykskо-Ostashkinskaya Square of the Erunakovsky Area of Kuzbass are given in the present article. It is shown that noted changes in a mineralization and pH have natural character and submit to direct vertical zonality which testifies that the studied waters are infiltration genesis, and a source of their receipt is the atmospheric precipitation getting into system from food areas.

Key words: *groundwater, Kuzbass, Narykskо-Ostashkinskaya area, the chemical composition, vertical zonation.*

Кузнецкий осадочный бассейн представляет собой межгорный прогиб, расположенный на юге Сибири и ограниченный с юго-запада Салаирским кряжем, с северо-запада – Томь-Колыванской складчатой зоной, с востока – Кузнецким Алатау и с юга – Горной Шорией. В данной работе нами наиболее подробно рассматривается Нарыкско-Осташкинская площадь, входящая в Ерунаковский геолого-промышленный район.

Район характеризуется всхолмленным рельефом и относится, в основном, к лесостепной ландшафтной зоне, частично захватывая подтаежную переходную зону (центральная часть) и таежную (восточная часть). С запада на восток и с юга на север пологие склоны водоразделов становятся круче, долины рек и логов сужаются, и рельеф приобретает резко пересеченный характер.

Район исследования имеет своеобразное тектоническое строение, заключающееся в присутствии двух, совершенно различных по облику и строению, тектонических блоков. Юго-

западная зона представляет отдельный тектонический блок, ограниченный региональными разломами (Присалаирская зона). В этой зоне развиты Красулинская (Ильинская), Кыргайская (Соколовская), Караканская и Успенская синклинали, а также Анисимовская, Тагарышская, Евтинская, Виноградовская и Демьяновская антиклинали. Общим для вышеперечисленных структурных построений является параллельное с Салаирским кряжем простирание осей и крупных разломов, приуроченных, как правило, к антиклинальным перегибам или к западным крыльям синклинальных складок. Основные разрывные дислокации этой части района имеют западное падение.

Восточная часть района, к которой относится Нарыкско-Осташкинская площадь, характеризуется наличием различно ориентированных пологих складок синклинального и антиклинального типа. Здесь, как и в Присалаирской зоне, синклинальные структуры обладают более спокойным, в тектоническом отношении, строением, а слабо выраженные антиклинальные складки представлены, в основном, зонами интенсивного смятия с большим количеством нарушений. Исключение составляет только крупная Нарыкская антиклиналь.

В геологическом строении рассматриваемой площади принимают участие угленосные отложения ерунаковской подсерии верхне-пермского возраста, осадки триасового и юрского возрастов, а также отложения четвертичного возраста. Мощность мезозойских отложений составляет 755 м. Эти отложения, распространённые на значительной территории Нарыкско-Осташкинской площади, не содержат угольных пластов. Сверху эти отложения перекрыты сплошным чехлом четвертичных образований, представленных чаще суглинками, реже глинами и галечником. Мощность покрова меняется от 1 до 10 м в пониженных формах рельефа и до 30 – 35 м на водоразделах.

Таким образом, следует отметить, что рассмотренные выше физико-географические условия изучаемого района в большой степени влияют на её гидрогеологические условия (особенно на верхнюю гидродинамическую зону). В зависимости от климатических факторов и главным образом от распределения атмосферных осадков и их летного испарения находится формирование ресурсов и запасов подземных вод, а также их химического состава.

В 2012 г. Томским филиалом ИНГГ СО РАН совместно с ООО «Газпром добыча Кузнецк» было продолжено изучение подземных вод на территории Ерунаковского района. Наши исследования были сосредоточены на территории Нарыкско-Осташкинской площади. Сотрудниками ТФ ИНГГ СО РАН было отобрано 36 проб из скважин (в том числе 9 из них глубиной 450 – 1200 м и 26 глубиной 120 – 150 м).

Обобщение ранее известной информации [1] и нового материала, полученного в 2012 г. по гидрогеологии и гидрогеохимии, показывает, что на территории исследуемой площади прослеживается прямая вертикальная гидрогеохимическая зональность, в соответствии с которой по интенсивности водообмена выделяются две гидродинамические зоны: активного и замедленного водообмена.

Подземные воды зоны активного водообмена Нарыкско-Осташкинской площади по составу гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-натриевые (рис. 1). Содержание иона HCO_3 изменяется от 0,32 до 0,58 г/л, но наиболее часто составляет 0,4 г/л, Ca – от 0,06 до 0,12 г/л, Na – в среднем до 0,03 г/л, а концентрации Cl не превышает 0,024 г/л, в среднем составляет 0,006 г/л. С глубиной минерализация подземных вод увеличивается от 0,46 до 0,77 г/л. Одновременно с ростом минерализации растет и значение pH. Подземные воды,

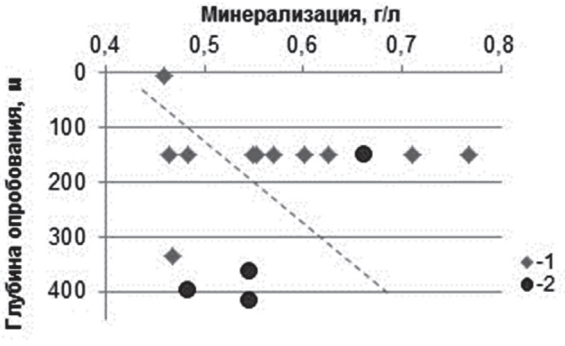


Рис. 1. Изменение минерализации подземных вод с глубиной в зоне активного водообмена.
Типы вод по химическому составу: 1 – HCO_3 Ca, 2 – HCO_3 Ca–Na

главным образом, нейтральные, реже слабощелочные. Для подземных вод рассматриваемой площади наиболее характерны значения pH от 7,0 до 7,6.

Увеличение минерализации подземных вод происходит, в основном, за счет доли натрия в составе вод. Таким образом, с глубины порядка 350 м воды становятся гидрокарбонатными кальциево-натриевого состава. В связи с этим незначительно меняется тип подземных вод с гидрокарбонатного кальциевого на гидрокарбонатный кальциево-натриевый. Воды, в основном, собственно пресные и реже умеренно пресные. Это объясняется тем, что с глубиной активность водообмена даже в пределах одной зоны незначительна, но уменьшается, при этом увеличивается время взаимодействия воды с горными породами, в результате чего происходит накопление в растворе элементов, что влечет за собой изменение их солености и щелочности.

Для зоны замедленного водообмена характерны достаточно сложные гидрогеохимические условия. Развитие этой зоны начинается с уменьшением распространения в разрезе продуктов выветривания, и, как следствие, происходит уменьшение интенсивности водообмена. В основном, она заполнена гидрокарбонатными натриевыми (содовыми) водами. По литературным данным известно, что в Кузбассе содовые воды развиты до глубины ~ 1 км. По нашим данным, они развиты шире, чем представлялось, и мы находим их на глубинах до 2 км, например, на ранее изученной соседней Талдинской площади, Березовоярском участке, в Томь-Усинском районе. На территории Нарыкско-Осташкинской площади они встречены до глубины 1 км, так как данных по химическому опробованию на более низких глубинах пока нет.

Эти воды с минерализацией от 1 до 5 – 7 г/л (реже 0,5 – 0,8, 10 – 19 г/л) являются щелочными с pH от 8,0 (реже 7,5) до 10, уже в верхней части гидродинамической зоны переходящие в гидрокарбонатные натриево-кальциевые, кальциево-натриевые (рис. 2, 3).

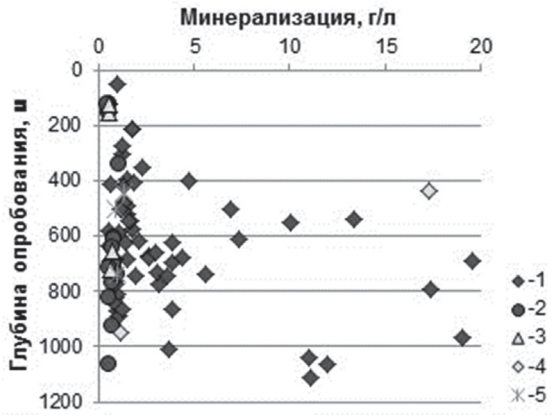


Рис. 2. Изменение минерализации вод зоны замедленного водообмена с глубиной.
Типы вод по химическому составу: 1 – HCO_3 Na, 2 – HCO_3 Na–Ca, 3 – HCO_3 Ca–Na, 4 – HCO_3–Cl–Na, 5 – HCO_3–SO_4 Na

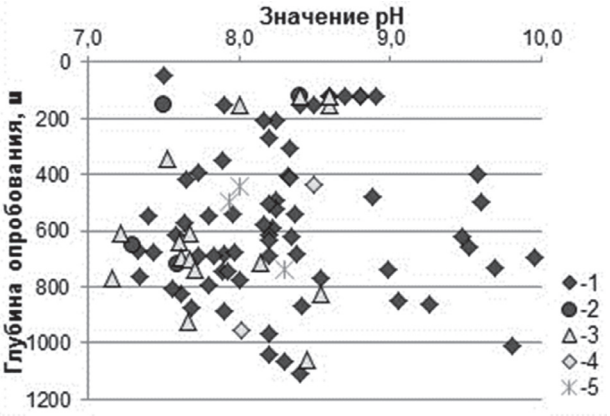


Рис. 3. Изменение значений pH вод зоны замедленного водообмена с глубиной.
Типы вод по химическому составу: 1 – HCO_3 Na, 2 – HCO_3 Ca–Na, 3 – HCO_3 Na–Ca, 4 – Cl–HCO_3 Na, 5 – SO_4–HCO_3 Na

Химический состав вод зоны замедленного водообмена, в первую очередь, определяется стадией взаимодействия воды с горными породами. Именно поэтому в ней увеличивается содержание HCO_3^- от 0,3 до 5,3 г/л, реже – до 12,2 – 13,1 г/л, Na^+ – до 5,6 г/л и Cl^- – до 1,2, реже – до 2,9 г/л, тогда как Ca^{2+} уменьшается до 0,01 г/л. Практически все опробованные воды являются солоноватыми с минерализацией до 10 г/л, иногда слабосолеными (до 19,6 г/л). В составе водорастворенного газа преобладает метан (объемная доля составляет 85 – 95%).

Как уже было отмечено ранее, содовые воды в Кузбассе пользуются практически повсеместным распространены, начиная с глубин первых сотен метров [1–5]. При этом с глубиной содержание соды в них возрастает. Эту же картину мы наблюдаем и на Нарыкско-

Осташкинской площади (см. рис. 1, 2). Как видно из приведенных рисунков, с глубиной общая минерализация воды значительно возрастает. В общем, этот рост обусловлен за счет увеличения содержаний HCO_3 и Na. При этом содержание сульфат-иона в большинстве анализов не превышает 10 мг/л (реже до 70 мг/л), хлора-иона – первые десятки миллиграмма на литр. Несмотря на это, содержание в этих пробах HCO_3^- намного выше, и воды остаются гидрокарбонатными, реже гидрокарбонатно-хлоридными, хлоридно-гидрокарбонатными и гидрокарбонатно-сульфатными.

Высокоминерализованные (слабосоленые) воды обогащены еще и рядом микрокомпонентов, например, Sr, J, Br. Эти и ряд других микрокомпонентов отмечаются для гидрокарбонатных натриевых вод с минерализацией 10 – 19 г/л и хлоридных натриевых вод (до 17 г/л) зоны замедленного водообмена, но в более низких концентрациях, чем характерных для зоны весьма замедленного водообмена. Хотя содержание Br вполне сопоставимо с содержаниями этого микроэлемента, встреченного в Абашевской глубокой скважине, где в подземных водах с минерализацией 32 – 35 г/л его концентрация составляет 9,5 и 43,3 мг/л соответственно [6]. В связи с этим можно предположить, что эти воды относятся к самым «низам» зоны замедленного водообмена.

Таким образом, отмеченные изменения в минерализации и pH подземных вод носят естественный характер и подчиняются прямой вертикальной зональности, которая свидетельствует о том, что изученные воды имеют инфильтрационный генезис, а источником их поступления являются атмосферные осадки, проникающие в систему из областей питания. По мере погружения воды на большую глубину, соленость ее, как мы установили выше, растет, т.е. состав и величина общей минерализации подземных вод обусловлены временем взаимодействия воды с горной породой: чем медленнее она движется, тем длиннее ее путь и соответственно, чем глубже она просачивается, тем выше соленость. Следовательно, величина общей минерализации и состав подземных вод определяются временем взаимодействия в системе «вода – порода» [4]. Доказательства наличия глубинной составляющей в изученных водах в настоящее время не получены, и говорить о подтоке или вскрытии более глубоких вод пока оснований нет. Приведенные выше анализы подтверждают ранее сделанный вывод о том, что в пределах рассматриваемой структуры (Талдинской и Нарыкско-Осташкинской площадей) развиты инфильтрационные подземные воды, области питания которых располагаются на местных и отдаленных геоморфологически повышенных проницаемых участках.

Список литературы

1. Шварцев, С. Л. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана / С. Л. Шварцев, В. Т. Хрюкин, Е. В. Домрочева [и др.] // Геология и геофизика. – 2006. – Вып. 47, № 7. – С. 878–889.

2. Аникин, А. И. Геохимия подземных вод давсонитоносных пород Березовоярского участка (Кузбасс) / А. И. Аникин, В. М. Людвиг, С. Л. Шварцев // Обской вестник. – 2001. – № 1. – С. 65–69.

3. Рогов, Г. М. Гидрогеология и катагенез пород Кузбасса / Г. М. Рогов, В. К. Попов. – Томск : Изд-во Томского университета, 1985. – 191 с.

4. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1998. – 288 с.

5. Шварцев, С. Л. Общая гидрогеология / С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 2012. – 424 с.

6. Гидрогеология СССР. Кемеровская область и Алтайский край / [под ред. М. А. Кузнецова, О. В. Постникова]. – М. : Недра, 1972. – Т. 17. – 398 с.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ РАСТВОРОВ ОКЕАНА

Змиевский М. В.
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, zmievskiimv@gmail.com

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены основные процессы, влияющие на формирование ореолов рассеяния гидротермальных растворов Срединно-Атлантического хребта (САХ). Описаны физико-химические условия, способствующие протеканию данных процессов на каждом участке гидротермальной системы, а также в водной толще океана.
Ключевые слова: *Срединно-Атлантический хребет, гидротермальный раствор, гидротермальный плюм.*

Abstract. In this paper main hydrothermal plumes forming processes in the hydrothermal solution of the Mid-Atlantic ridge are observed. Physicochemical properties contributing to that processes in all hydrothermal system parts are described.
Key words: *Mid-Atlantic ridge, hydrothermal solution, hydrothermal plume.*

Задачей исследования является рассмотрение физико-химических условий, возникающих в зоне разгрузки субмаринной гидротермальной системы и предварительный расчет соотношения различных форм миграции рудных компонентов в гидротермальном растворе и ореоле рассеяния (гидротермальном плюме). При расчете форм миграции рудных компонентов были использованы результаты химического анализа проб, отобранных на гидротермальном поле «Логачев» (14º45’с.ш., САХ) в рейсах НИС «Атлантис» и «Пуркуа па?» [1, 2]. Предварительно автор сообщения проводил расчеты составов конечных гидротермальных растворов по известной методике [3]. Для этого было необходимо обработать имеющиеся данные с помощью анализа сопряженных концентраций, основываясь на имеющихся представлениях об отсутствии серы и магния в составе конечного гидротермального раствора.

Проведенное определение соотношения форм миграции рудных компонентов в гидротермах и плюмах основано на использовании закона действующих масс с учетом принципа частичных или локальных равновесий. Полученные результаты предполагается использовать для термодинамического моделирования процессов, происходящих в зоне разгрузки гидротермальных растворов при формировании рудных скоплений и гидротермальных плюмов, а также при разработке геохимических термометров для оценки температуры в недрах гидротермальной системы.

Отличительной особенностью данного поля, а также ряда других гидротермальных полей САХ, в отличие от Восточно-Тихоокеанского поднятия и других срединно-океанических хребтов, является приуроченность к серпентинизированным ультраосновным породам, выходящим на поверхность в бортах рифтовой долины [6]. Это накладывает отпечаток на состав формирующихся гидротермальных растворов, особенно газовый [7].

При серпентинизации горных пород базит-гипербазитового состава на нисходящей ветви гидротермальной системы образуется устойчивый парагенезис минералов: серпентин, хлорит, брусит, магнетит, гематит, эпидот. В зависимости от таких параметров, как температура и отношение вода/порода к ним могут добавиться иллит, кальцит, ангидрит, гипс [5]. Кислотность гидротермальных растворов, как и их окислительно-восстановительные свойства, также регулируются температурой и отношением вода/порода. С ростом последних гидротермальный раствор становится восстановительным и содержит существенные количества H_2S, H_2 (pH = 2–4). В рудных постройках поля Логачев наиболее распространены медные руды халькопирит-халькозинового состава с переменным содержанием ковеллина и борнита и цинковые руды, представленные, в основном, сфалеритом.

Повышенные концентрации в отобранных пробах H_2 и CH_4, подтверждают представления о серпентинизации горных пород базит-гипербазитового состава в результате гидратации главных породообразующих минералов [2, 7]. Так, реакция гидратации оливина выглядит следующим образом [8]:

$$6\left(Mg_{1,5}Fe_{0,5}\right)SiO_4\left(\text{оливин}\right)+7H_2O=3Mg_3Si_2O_5(OH)_4\left(\text{серпентин}\right)+Fe_3O_4\left(\text{магнетит}\right)+H_2\uparrow.$$

Образование CH_4 может происходить при взаимодействии генерируемого водорода и растворенного в морской воде диоксида углерода:

$$CO_2+4H_2=CH_4\uparrow+H_2O.$$

Гидротермальный плюм всплывает над поверхностью океанического дна обычно на 100 – 400 м, реже до 700 м и выше, что объясняется аномальными гидрофизическими параметрами, прежде всего повышенной температурой, колебаниями плотности. Также он обладает отличными от морской воды значениями физико-химических показателей (Eh, pH, концентрации растворенных и взвешенных элементов) и мутностью [8, 9]. Последующее смешение его с океанической водой приводит к образованию гидроксидов металлов, главным образом Fe и Mn [1, 3, 8, 9].

Анализ отобранных проб гидротермального раствора при его разгрузке и гидротермального плюма показывает обогащенность их по отношению к океанической воде по ряду химических элементов, поступивших в раствор при выщелачивании магматических пород, таких как Fe, Mn, Cu, Zn, Ca, Li, K, Ni и т.д. Также отмечается пониженное содержание Mg и SO_4^{2-}. Cl, Na и Br – консервативные элементы; в гидротермальной системе не происходят процессы, сильно влияющие на их концентрацию [1, 3, 8 – 10].

Смешение гидротермальных растворов с холодными океаническими водами вызывает заметное увеличение температуры последних и, соответственно, снижение плотности смеси. Нагретые воды, поднимаясь вверх, захватывают новые порции океанической воды, расширяя область распространения плюма. Подъем происходит до момента равенства плотностей раствора и окружающих вод. После этого вертикальное перемещение плюма сменяется горизонтальным (латеральным).

Принятая двухсоставная модель плюма может быть нарушена в результате образования области кипения и фазовой сепарации водной и паровой фаз гидротермального раствора в восходящей ветви системы под влиянием высоких температур, из-за чего гидротермальные растворы характеризуются быстро меняющимися температурой и соленостью, а также наличием в зонах разгрузки источников с разной минерализацией. Это обусловливает образование многослойного гидротермального плюма с несколькими горизонтами латерального рассеяния.

Таким образом, на формирование ореолов рассеяния гидротермальных растворов, главным образом, влияют температура и давление, от величины которых зависит степень трансформации океанической воды, вследствие чего гидротермальные растворы приобретают аномальные, по сравнению с морской водой, свойства, такие как низкие значения Eh, pH растворов, а также плотности, высокая мутность и обогащение по ряду химических элементов [11].

Исследуя формы миграции элементов в гидротермальных растворах, следует ожидать в кислых, восстановительных, высокотемпературных условиях нижней части гидротермальной системы преобладание свободной и хлоридной форм переноса. При последующем смешении гидротермальных растворов с морской водой появится сульфатная и гидроксидная форма. При этом соотношения основных форм миграции должны меняться с удалением от источника в восходящем и латеральном плюме.

Данные предположения были подтверждены проведенными автором расчетами форм миграции Cu и Zn [4]. Результаты расчетов показали, что миграция меди и цинка в направлении

гидротермальный раствор – восходящий плюм – латеральный плюм происходит с понижением доли свободной формы и с повышением гидроксидной и сульфатной; хлоридные комплексы имеют свой максимум в восходящем плюме, резко понижаясь в латеральном. Так, в гидротермальном растворе 57,81% цинка мигрирует в форме Zn^{2+} и 42,19% – в форме хлоридных комплексов. В восходящем плюме это соотношение меняется: $[Zn^{2+}]$ = 46,28%; $[ZnCl^{+}]$ = 50,90%; $[ZnCl_2]$ = 2,63%. Появляются $ZnSO_4$ (0,17%) и ZnOH (0,02%). В гидротермальном плюме нейтральной плавучести уменьшается доля свободных ионов Zn^{2+} (36,21%), а также количество хлоридных комплексов (33,71%) при заметном росте сульфатных (29,85%). Такое же направление изменения соотношений форм миграции наблюдается и для меди.

Необходимо отметить, что в рассмотренной модели состав гидротермального раствора принимался идентичным составу расчетного конечного гидротермального раствора. Однако первый контакт гидротермальных растворов с океанической водой может происходить не только при его разгрузке в придонные воды, но и при поступлении морской воды в восходящий канал по боковым трещинам, приводящем к подповерхностному смешению и охлаждению гидротермальных растворов. Охлаждение, а также спад давлений приводит к выпадению твердой фазы, в первую очередь, сульфидов. Следовательно, при проведении термодинамического моделирования следует добавить еще один этап преобразования состава гидротермального раствора – зону подповерхностного смешения. Состав такого раствора может быть идентичным составу пробы с наименьшим содержанием магния и сульфат-иона.

С практической точки зрения результаты проводимых исследований могут быть использованы при проведении гидрогеохимических и гидрофизических поисков гидротермальных источников на океаническом дне. Начинающееся освоение океанских минеральных ресурсов САХ по контракту РФ с МОМД ООН ставит вопрос об обосновании новых гидрогеохимических показателей для поиска гидротермальных источников на дне океана [8].

Гидротермальный плюм является главным индикатором при поиске гидротермальной активности и сопутствующих сульфидных руд на дне Мирового океана. Основными методами обнаружения гидротермальных плюмов являются гидрофизический и гидрохимический методы. Первые результаты проведенных нами исследований говорят о том, что по соотношению основных форм миграции рудных компонентов в плюме можно судить о близости точки опробования к гидротермальному источнику. Это позволит усовершенствовать методику интерпретации данных гидрогеохимических исследований и повысить эффективность поисковых работ в океане.

Список литературы

1. Sudarikov, S. Hydrothermal Plumes along the Mid-Atlantic Ridge: Preliminary Results of CTD Investigations during the DIVERSExpedition (July 2001) / S. Sudarikov, E. Zhirnov // InterRidge News – 2001. – Vol. 10 (2). – Pp. 33–36.

2. Fouquet Y. Serpentine Cruise - ultramafic hosted hydrothermal deposits on the Mid-Atlantic Ridge. First submersible studies on Ashadze 1 and 2, Logatchev 2 and Krasnov vent fields / Y. Fouquet, G. Cherkashov, Charlou J.-L. Sudarikov [et al.] // InterRidge News. – 2008. – Vol. 17. – P. 15–20.

3. Судариков, С. М. Формирование состава гидротермальных растворов в гидрогеологических массивах ультраосновных пород Срединно-Атлантического хребта / С. М. Судариков, М. В. Кривицкая // Записки горного института. – 2011. – Т. 189. – С. 68–71 с.

4. Судариков, С. М. Формы миграции рудных элементов в гидротермальном растворе источников поля Логачев (САХ) / С. М. Судариков, М. В. Змиевский // Геология морей и океанов : материалы XX научной конференции (Школы) по морской геологии. – М. : ГЕОС, 2013. – Т. II. – С. 204–205.

5. Гричук, Д. В. Термодинамические модели субмаринных гидротермальных систем / Д. В. Гричук. – М. : Научный мир, 2000. – 299 с.

6. Богданов, Ю. Л. Минералого-геохимические особенности гидротермальных сульфидных руд и флюида поля Рейнбоу ассоциированного с серпентинитами, Срединно-Атлантический хребет (36° 14’ с.ш.) / Ю. Л. Богданов, Н. С. Бортников, И. В. Викентьев [и др.] // Геология руд. месторождений. – 2002. – Т. 41, № 6. – 510–543 с.

7. Charlou, J. L. High hydrogen and abiotic hydrocarbons from new ultramafic hydrothermal sites between 12°N and 15°N on the Mid Atlantic Ridge / J. L. Charlou, J. P. Donval, C. Konn [et al.] // Results of the Serpentine cruise (March 2007). AGU Fall Meeting. – 2007, EOS 88: 52.

8. Судариков, С. М. Гидротермальные ореолы рассеяния в природных водах Срединно-Атлантического хребта / С. М. Судариков, Д. В. Каминский, Е. В. Наркевский. – СПб. : ФГУП «ВНИИокеангеология им. И. С. Грамберга», 2014. – 161 с.

9. Судариков, С. М. Особенности геохимии придонных вод в зонах разгрузки гидротермальных растворов срединно-океанических хребтов / С. М. Судариков, Д. В. Каминский // Геохимия. – 2010. – № 3. – С. 317–321.

10. Судариков, С. М. Геохимия субмаринных рудообразующих гидротерм Северной Атлантики по данным дистанционных наблюдений и опробования с подводных обитаемых аппаратов / С. М. Судариков, М. В. Кривицкая, Д. В. Каминский // Записки горного института. – 2008. – 176. – С. 26–30.

11. Sudarikov, S. M. Structure of hydrothermal plumes at the Logatchev vent field, 14°45'N, Mid-Atlantic Ridge: evidence from geochemical and geophysical data / S. M. Sudarikov, A. B. Roumiantsev // Journal of Volcanology and Geothermal Research. – 2000. – 101. – 245–252.

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТЕРРИТОРИИ БАКЧАРСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Иванова И. С.[1, 2], Лепокурова О. Е.[1, 2]

[1]Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН Томский филиал, г. Томск, IvanovaIS_1986@mail.ru;

[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Детально исследован микрокомпонентный состав пресных подземных вод на территории Бакчарского железорудного месторождения. Установлено, что данные воды содержат в повышенных концентрациях Si, Fe, Mn, Sr, Ba, B, Rb, La относительно среднего значения по водам зоны гипергенеза.

Ключевые слова: *геохимия подземных вод, Бакчарское железорудное месторождение, микроэлементы.*

Abstract. Trace elements of fresh groundwater in the territory of the Bakcharskoe iron ore deposits are investigated in details. It has been found that this water contain in the increased concentration of Si, Fe, Mn, Sr, Ba, B, Rb, La of rather average value in water of hypergenesis zone.

Key words: *geochemistry of groundwater, the Bakcharskoye iron ore deposit, trace elements.*

На территории Западной Сибири широко развиты пресные железосодержащие воды. Начиная с глубин 10 – 30 м, подземные воды повсеместно обогащены железом [1]. С 2008 г. авторами проводится изучение механизмов формирования железосодержащих вод [2, 3]. В данной статье представлены результаты исследований микроэлементного состава пресных подземных вод на участке от устья р. Икса до устья р. Парабель.

В основу этой работы положены личные данные авторов по химическому составу пресных подземных вод, полученных при проведении полевых исследований за последние пять лет (2009 – 2014 гг.) [2–5], а также материалы, опубликованные другими авторами. Всего на территории Бакчарского железорудного месторождения был изучен химический состав 40 проб пресных подземных вод. Схема расположения точек отбора проб представлена на рис. 1.

Бакчарское месторождение железистых руд располагается в 200 км к северо-западу от г. Томска, в междуречье рек Андарма и Икса. Возраст рудоносных отложений изменяется от турона до эоцена. Они состоят из кварц-хлорит-глауконитовых песчаников, песков и алевролитов с прослоями гравелитов.

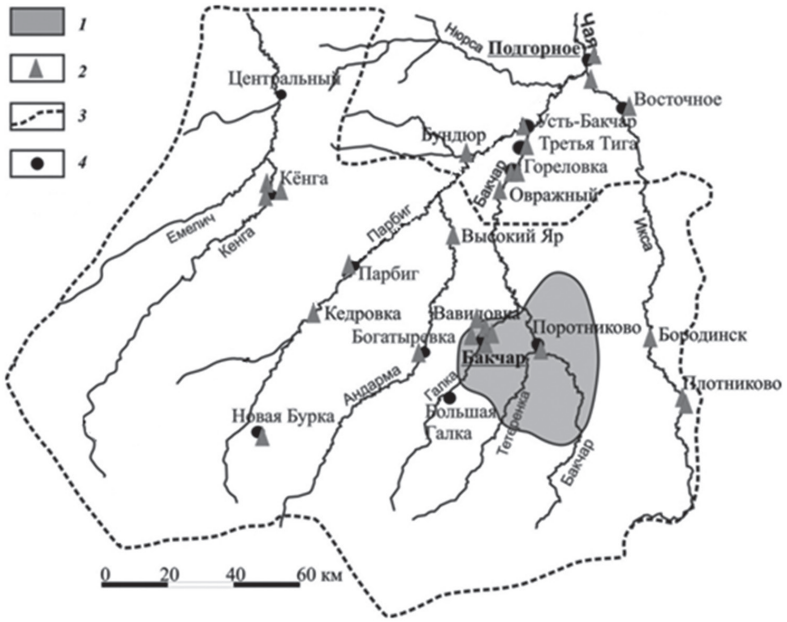


Рис. 1. Схема расположения пунктов отбора проб воды:
1 – Бакчарское железорудное месторождение; 2 – скважины;
3 – граница Бакчарского района; 4 – населенные пункты

Гидрогеологический разрез региона характеризуется двухэтажным строением, объединяющим две гидродинамические зоны: интенсивного и замедленного водообмена. Исследуемые подземные воды относятся к зоне активного водообмена, которая включает в себя два водоносных комплекса: отложения антропогенового и неоген-олигоценового возраста ($Q–P_3$) и турон-нижнеолигоценового возраста ($K_2–P_3$). Максимальная мощность зоны интенсивного водообмена достигает 800 м.

Территория Бакчарского месторождения расположена в сильно обводненных отложениях, представленных двумя верхними водоносными комплексами, состоящими из пяти горизонтов, разделенных выдержанными водоупорными породами.

Подземные воды трех первых от поверхности водоносных горизонтов ($Q_{II\ tb} – P_{3\ lt}$, P_{nm}, $P_{2-3\ jur}$) являются пресными гидрокарбонатными кальциевыми и кальциево-магниевыми. Подземные воды верхнемеловых отложений включают в себя два водоносных горизонта, они приурочены к песчано-глинистым образованиям ганьковской ($K_{2\ gn}$) и ипатовской ($K_{1-2\ ip}$) свит. Воды ганьковской свиты пресные, но уже с более повышенной минерализацией. Наблюдается смена состава вод от гидрокарбонатных кальциевых до гидрокарбонатных натриевых (содовых). Воды ипатовской свиты вскрывает в районе лишь одна скважина в д. Кенга на глубине 370 – 390 м. Это уже минерализованные хлоридные натриевые воды. Макрокомпонентный состав подземных вод был детально описан в предыдущих работах [2–5], поэтому более подробно остановимся на микроэлементном составе пресных подземных вод.

Микроэлементный состав семи проб, отобранных из питьевых скважин на территории Бакчарского железорудного месторождения, изучался в лаборатории георесурсов и окружающей среды г. Тулузы (Франция) с помощью масс-спектрометрического метода с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Elan 6000, Perkin Elmer. Данный прибор определяет 64 микроэлемента, некоторые из них представлены в таблице.

Подземные воды исследуемого района характеризуются повышенным содержанием щелочных металлов. Содержание натрия преобладает над остальными щелочными металлами и изменяется от 9 до 793 мг/л. Увеличение содержания Na с глубиной связано с ростом минерализации, вследствие чего происходит смена гидрокарбонатного кальциевого состава вод на

Микрокомпонентный состав питьевых подземных вод на территории Бакчарского железорудного месторождения, мкг/л

Населенный пункт	Кедровка	Высокий Яр	Бакчар	Парбиг	Вавиловка	Усть-Бакчар	Кёнга	ПДК$_{х-п}$ [9]	Среднее для зоны гипергенеза [5]
Водоносные горизонты отложений	$Q_{II\,tb}$ – $P_{3\,lt}$, $P_{3\,nm}$, $P_{2-3\,jur}$					$K_{2\,gn}$, $K_{1-2\,ip}$			
Глубина скважины, м	20	88	105	120	147	130	380		
Na	9931	10601	10463	11456	18608	*73673*	*793452*		67600
K	1332	1097	2229	1417	1662	2558	*7880*		5150
Mg	13014	*29011*	18223	*26140*	*23046*	*33755*	*23217*		18200
Ca	*46848*	*123083*	*176376*	*115224*	*111317*	*124838*	*50010*		39200
Si	*17703*	*11108*	*14692*	*18945*	*16678*	*19221*	6528		8300
P	*210,0*	*646,2*	*224,4*	*813,3*	*334,8*	*461,2*	58,0		58,0
Al	180,0	130,0	*360,0*	*320,0*	180,0	*330,0*	210,0	500,0	226,0
Mn	**306,8**	**524,5**	**2208,9**	**260,5**	**201,2**	**185,9**	36,2	100,0	54,5
Fe	**11918**	**5866**	**20741**	**6384**	1213	**12145**	421	3000	481
Li	3	5	6	4	4	6	*31*		13
B	24,9	*94,8*	23,7	73,8	*95,9*	*107,7*	**2331,2**	500,0	77,9
Ti	2,0	1,7	2,0	2,8	1,8	2,4	0,7		17,4
V	0,05	0,10	0,08	0,06	0,03	0,09	0,24		1,34
Cr	0,63	0,50	0,64	0,69	0,44	0,88	1,19		3,03
Co	0,25	нпо	нпо	нпо	нпо	*0,56*	нпо		0,39
Ni	1,41	0,25	0,22	0,23	0,12	*7,76*	0,01	100,00	3,58
Cu	0,05	нпо	0,09	0,03	нпо	нпо	нпо	1000,00	5,58
Zn	22,2	1,5	6,5	12,9	2,3	7,3	4,9		41,4
Ga	0,02	0,04	0,16	0,02	0,02	0,02	0,03		0,37
Ge	0,04	0,05	0,02	0,02	нпо	0,16	0,03		–
As	нпо	*5,2*	0,1	5,6	0,1	0,8	*23,9*	50,0	1,5
Rb	*2,35*	1,04	0,39	*3,08*	*2,16*	*4,25*	*4,25*		1,86
Sr	*480*	*606*	*649*	*661*	*756*	*1034*	*1322*	7000	183
Y	0,06	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03		–
Zr	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01		1,20
Mo	0,62	0,07	0,09	0,07	0,06	0,52	1,64	250,00	1,75
Sb	0,01	0,05	нпо	0,06	0,01	0,05	0,03		0,68
Cs	0,02	0,04	нпо	0,06	0,02	0,06	0,04		0,26
Ba	15,5	16,0	*25,8*	17,1	18,3	*27,5*	*19,6*	100,0	18,3
La	0,22	*0,75*	0,01	*0,78*	0,65	*1,39*	0,01		0,67
Pb	0,261	0,064	0,117	0,223	0,023	0,445	0,042	30,00	2,97

Примечание. нпо – концентрация элемента ниже предела обнаружения. Жирным шрифтом отмечены превышения относительно значений ПДК$_{х-п}$, курсивом – превышения относительно среднего для зоны гипергенеза.

гидрокарбонатный натриевый. Содержание натрия в водах верхнемеловых отложений более чем в 10 раз превышает среднее его содержание в водах зоны гипергенеза [6]. Основным источником натрия в водах являются алюмосиликатные породообразующие минералы. Содержание лития в водах увеличивается с глубиной и изменяется от 3 до 6 мкг/л, но для вод верхнемеловых отложений наблюдается резкое увеличение его концентрации до 31 мкг/л, что в 3 раза превышает среднее содержание Li в водах зоны гипергенеза [6]. Основными минералами лития являются сподумен, слюда и пироксен. На изучаемой территории в песчаных и алевролитовых отложениях Александровского Приобья встречаются пироксены, которые главным образом представлены гиперстеном и реже авгитом [7]. Однако литий, когда не образует самостоятельных минералов, способен изоморфно замещать калий в широко распространенных породообразующих минералах. Содержание рубидия в водах изменяется от 0,4 до 4 мкг/л, причём максимальное его содержание также характерно для вод верхнемеловых отложений и в 2 раза превышает среднее содержание Rb в водах зоны гипергенеза. Источником поступления рубидия в подземные воды является калиевый полевой шпат и слюды. К числу наиболее обогащённых рубидием слюд относятся мусковит и биотит, которые редко встречаются на исследуемой территории [7].

Среди щелочноземельных металлов выделяются Ca, Mg, Sr, Ba, их концентрации превышают среднее значение для зоны гипергенеза. Содержание кальция в водах изменяется от 46 до 176 мг/л, причем с глубиной его концентрации уменьшаются, что связано с вторичным минералообразованием и выпадением карбонатов из вод. Главными источниками поступления кальция в подземные воды являются процессы химического выветривания и растворения минералов, прежде всего известняков, кальцийсодержащих алюмосиликатов и других осадочных пород. Стронций обладает хорошей миграционной способностью и легко выщелачивается из горных пород, что подтверждается одними из максимальных среди микроэлементов концентрациями в изучаемых подземных водах (до 1322 мкг/л). Для Sr характерна линейная зависимость от минерализации, то есть с глубиной наблюдается увеличение его концентраций. Содержание стронция в водах обусловлено, в большей мере, временем взаимодействия воды с горными породами. Барий имеет химическую активность намного ниже, чем у стронция, поэтому его содержание в подземных водах намного ниже (15 – 28 мкг/л).

Общая закономерность в распределении тяжелых металлов в подземных водах представлена в такой последовательности: Fe > Mn > Zn > Ni > Cr > Mo > Pb > Co > Cu > Ga. Железо является преобладающим элементом среди тяжелых металлов не только для исследуемой территории, но и для всей Западной Сибири. Высокие содержания железа в водах (от 5 до 21 мг/л), превышающие значения $ПДК_{х\text{-}п}$ в 2 – 10 раз, усложняют их использование в качестве источника хозяйственно-питьевого водоснабжения. Исходя из развиваемой С. Л. Шварцевым концепции, изученные подземные воды непрерывно инконгруэнтно растворяют минералы вмещающих осадочных пород (песков и песчаников), в первую очередь алюмосиликаты эндогенного генезиса, с которыми вода неравновесна [8]. Поэтому основным источником железа в подземных водах, как и других элементов, выступают алюмосиликатные минералы осадочных пород, среди которых доминируют полевые шпаты, роговые обманки, пироксены, биотит, эпидот и другие [4, 8]. Марганец является основным спутником железа и весьма распространен в подземных водах южной и центральной частях Томской области, его содержание достигает 2,5 мг/л, что соответственно превышает значение $ПДК_{х\text{-}п}$ в 2,5 раза. С глубиной концентрация Mn в воде сначала увеличивается, достигая максимума в водах палеогеновых отложений примерно на глубине 100 – 200 м, далее резко уменьшается, что характерно и для Fe. Благодаря сходным химическим свойствам распределение Fe и Mn контролируется такими показателями, как pH и Eh. С ростом pH миграция ограничивается осаждением карбонатов, в окислительной среде – осаждением окислов и гидроокислов. Однако Mn^{2+} является, в целом, более активным водным мигрантом, чем Fe^{2+}, осаждается на барьерах позже, а значит, область распространения его шире. По данным Н. А. Ермашовой [7], в изучаемом разрезе не установлены марганцевые минералы, но, тем не менее, химические анализы свидетельствуют о широком распространении данного элемента. Можно

предположить, что марганец является изоморфной примесью многих, прежде всего железистых, минералов. Однако в более поздних работах отмечается, что марганец, кроме изоморфной его примеси, может присутствовать в рудах и в собственной минеральной форме в виде псиломелана и вернадита [9]. Среди таких элементов, как Zn, Pb, Cu, повышенным содержанием отмечается цинк, концентрации которого изменяются от 1,5 до 12,9 мкг/л, хотя в водах верхних горизонтов его содержание достигает 22,0 мкг/л. Это объясняется тем, что цинк обладает наименьшей способностью сорбироваться гипергенными новообразованиями (гидроокислы железа, марганца, алюминия, а также карбонаты, глины и органические вещества), вследствие чего наблюдаются его повышенные содержания [10]. Содержания Ni, Cr, Mo, Co, Ga в подземных водах не велики и изменяются от 0,02 до 1,4 мкг/л. Стоит отметить некоторое повышение содержания Ni и Mo в водах верхнемеловых отложений – до 7,7 и 1,6 мкг/л соответственно. Основными источниками данных элементов в подземных водах являются их сульфидные минералы.

Среди полуметаллов преобладает кремний и бор, концентрации которых также превышают среднее значение для зоны гипергенеза и увеличиваются с глубиной. Содержание кремния изменяется от 11 до 19 мг/л, однако в меловых водах (д. Кёнга) его содержание уменьшается до 6 мг/л. Главным источником соединений кремния в природных водах являются процессы химического выветривания и растворения кремнийсодержащих минералов, главным образом, алюмосиликатов. Концентрация бора в подземных водах изменяется от 24 до 108 мкг/л, однако его содержание резко возрастает до 2330 мкг/л в пробе, отобранной в д. Кёнга. Также в некоторых пробах отмечено превышение в 3 раза содержаний мышьяка относительно средних его содержаний в водах зоны гипергенеза, но в меловых водах натриевого состава (д. Кёнга) содержание As составляет 24 мкг/л, что в 16 раз превышает среднее содержание для зоны гипергенеза. Такие элементы, как Ge и Sb, представлены в подземных водах сотыми долями мкг.

Переходные металлы Ti, V, Zr, Y также присутствуют в исследуемых водах. Содержание титана изменяется от 0,7 до 2 мкг/л, а концентрации циркония в разы меньше и составляют 0,01 – 0,08 мкг/л. Источником этих элементов в подземных водах являются алюмосиликаты. Ванадий относится к рассеянным элементам и в природе в свободном виде не встречается. Содержание ванадия изменяется от 0,03 до 0,2 мкг/л. В осадочных породах значительное накопление ванадия происходит в оолитовых железных рудах Бакчарского железорудного месторождения, которое, в свою очередь, является источником данного элемента для подземных вод.

Редкоземельные элементы в подземных водах исследуемой территории представлены в незначительных концентрациях – тысячных долей мкг, однако в пробах, отобранных в с. Коломинские Гривы и Усть-Бакчар, встречены повышенные концентрации лантана, которые составляют 0,7 и 1,4 мкг/л соответственно.

Таким образом, в пресных подземных водах на участке от устья р. Икса до устья р. Парабель в повышенных концентрациях встречаются Ca, Fe, Sr, Mn, P, единично – Na, As, B, Li, Ni, La. Пониженными значениями характеризуются Zn, Ti, Ni, Cr, Mo, Pb, Y, V, Cu, Ge, Ga, Zr, Cs, Sb. Такие компоненты, как Nb, Cd, Sn, Ce, Pr, Sm, Nd, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Tl, Bi, – ниже пределов обнаружения. С глубиной в воде увеличивается содержание Na, K, Li, B, V, Cr, As, Sr, Mo, Sb. Концентрации таких элементов, как Ca, Fe, Si, Mn, Zn, наоборот, падают. Распределение микроэлементов в подземных водах тесно связано с составом осадочных пород и областей питания рассматриваемой территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Госзадания «Наука» № 5.1931.2014/К, а также грантов РФФИ №14-05-31095-мол_а, №13-05-98070-р_сибирь_а и №13-05-00062_а.

Список литературы

1. Иванова, И. С. Железосодержащие подземные воды верхней гидродинамической зоны центральной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / И. С. Иванова, О. Е. Лепокурова, О. С. Покровский [и др.] // Водные ресурсы. – 2014. – Т. 41, № 2. – С. 164–179.

2. Иванова, И. С. Железосодержащие воды Томской области / И. С. Иванова, О. Е. Лепокурова, С. Л. Шварцев // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 11. –С. 58–62.

3. Иванова, И. С. Химический состав железосодержащих питьевых подземных вод юго-западной части Томской области / И. С. Иванова, О. Е. Лепокурова // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – № 1. – С. 145–149.

4. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества: санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. – М. : Минздрав России, 2002. – 103 с.

5. Лепокурова, О. Е. Геохимия подземных вод района Бакчарского железорудного месторождения (Томская область) / О. Е. Лепокурова, И. С. Иванова // Вестник ТГУ. – 2011. – № 353. – С. 212–216.

6. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1998. – 366 с.

7. Ермашова, Н. А. Отчет гидрогеохимической партии по работам за 1976–1982 гг. Обобщение материалов по химическому составу питьевых подземных вод в связи с повышением содержания в них железа, марганца и других, специфических для региона компонентов в пределах юго-восточной части Западно-Сибирского артезианского бассейна / Н. А. Ермашова, Б. С. Никонов. – ОФТГГП, 1982. – 490 с.

8. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. Т. 2. Система вода-порода в зоне гипергенеза / С. Л. Шварцев [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.

9. Асочакова, Е. М. К геохимии оолитовых и болотных железистых руд Томской области / Е. М. Асочакова, С. И. Коноваленко // Вестник Томского государственного университета. – 2010. – № 341. – С. 222–225.

10. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. Издание второе, дополненное / С. Р. Крайнов [и др.] – М. : ЦентрЛитНефтеГаз, 2012. – 672 с.

СОСТОЯНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В РЕСПУБЛИКЕ АЛТАЙ В ПЕРИОД АНОМАЛЬНОГО ДОЖДЕВОГО ПАВОДКА В 2014 Г.

Кац В. Е., Ролдугин В. В.

ОАО «Алтай-Гео», Республика Алтай, с. Майма, ул. Заводская, д. 52, altaigeo@mail.gorny.ru

Аннотация. В статье анализируется влияние аномального дождевого паводка, произошедшего в Республике Алтай весной 2014 г., на состояние подземных вод. Паводок оказал существенное влияние на подземные воды. Это отразилось на техническом состоянии водозаборных скважин, на гидродинамическом режиме и качественном составе подземных вод.

Ключевые слова: *дождевой паводок, подземные воды.*

Abstract. In the article there is analysis of the influence of anomalous rain floods on ground water condition in the spring of 2014 in Republic Altai. For the whole time of monitoring in Altai from 1969 till 2014, it wasn't observed rain floods of such scope and nature. The flood had a significant impact on the groundwater condition. This influenced on the technical state of water supply wells, on their hydrodynamic regime and the qualitative composition of groundwater.

Key words: *rain floods, groundwater*.

В результате проливных дождей в течение третьей декады мая 2014 г. в Республике Алтай выпало 200 – 477% от многолетней декадной нормы осадков. Это спровоцировало аномальный дождевой паводок, который по масштабам последствия и уровню реагирования отнесен к чрезвычайным ситуациям федерального характера.

На большей части территории Республики Алтай до выпадения дождей наблюдалось достаточное высокое увлажнение почв, влагоемкость которых на севере составляла 109 – 212% от нормы. Это способствовало усилению поверхностного стока за счет «смыва» дождями снежных и ледниковых влагозапасов в высокогорной части республики.

Дождевой паводок зафиксирован практически во всех административных районах республики. Он вызвал обширное наводнение на малых и средних реках, которое сопровождалось процессами затопления поверхностными водами и подтопления грунтовыми водами.

На отдельных гидрологических постах уровни воды в реках оказались наивысшими за весь период наблюдений и составляли 3,2 – 7,4 м [1]. Участки затопления территорий, как правило, сопряжены с зонами подтопления.

Подтопление в общепринятом понимании – это повышение уровня грунтовых вод за счет гидравлического подпора грунтовых вод в области их подземной разгрузки. На подтопление территорий влияют такие факторы, как глубина залегания грунтовых вод, продолжительность и интенсивность проявления процесса, гидрогеологические, инженерно-геологические и геокриологические, геоботанические и почвенные особенности территории.

В границах зон подтопления определяются: территории сильного подтопления при глубине залегания грунтовых вод менее 0,3 м, территории умеренного подтопления при глубине залегания грунтовых вод от 0,3 – 0,7 м до 1,2 – 2,0 м от поверхности и территории слабого затопления – при глубине грунтовых вод от 2 до 3 м.

В Республике Алтай грунтовые воды залегают на глубине 0,3 – 1,2 м, таким образом, ее территория в период дождевого паводка относилась к территориям сильного и умеренного подтопления.

Грунтовые воды в республике обладают совершенной гидравлической связью с поверхностными водными объектами. Области питания для грунтовых и поверхностных вод идентичны, это границы водосборных бассейнов, которые являются также и границами областей формирования грунтовых вод. Учитывая тот факт, что Республика Алтай находится в горно-складчатой области, четвертичные водоносные комплексы по долинам рек, повсеместно используемые населением для ХПС, по характеру защищенности – не защищенные либо условно защищенные.

Совершенная гидравлическая связь грунтовых и поверхностных вод определяет не только их сопряженный динамический режим, но и внешние проявления процессов, выражающиеся в одновременном затоплении и подтоплении территорий.

Установлено, что процессы подтопления протекали с некоторым запаздыванием по отношению к затоплению. Оно несколько запаздывало от затопления, что связано с фильтрационными свойствами подземных вод. Спустя некоторое время – от нескольких часов до полусуток после затопления прибрежной территории водами р. Катунь – грунтовые воды постепенно выступали на поверхность земли в низинных формах рельефа, устанавливался факт самоизлива подземных вод из индивидуальных скважин.

Дождевой паводок оказал существенное влияние на состояние водных объектов (водозаборных сооружений) и режим подземных вод. ОАО «Алтай-Гео» в рамках ГМПВ в период паводка и после него проводилось обследование затапливаемых территорий практически по всей республике. Наиболее пострадавшим оказался Майминский район. Особенность затопления этого района заключалась в том, что, помимо р. Катуни, затопившей значительную часть с. Майма, дополнительную нагрузку принесла р. Майма, в средней части которой прорвало плотину. Это привело к затоплению г. Горно-Алтайска и с. Кызыл-Озёк.

В Майминском районе максимальные разрушения установлены на строящемся Катунском водозаборе (крупное месторождение подземных вод с запасами 107 тыс. м^3/сут). Обследование показало, что в результате наводнения и сопровождающего его активного гравитационно-эрозионного воздействия р. Катуни этот водозабор был полностью затоплен (рис. 1). Дамба обвалования разрушена на отрезке около 100 м, разрушены также ограждения, смыта часть территории ЗСО строгого режима и завалена каменными и древесными наносами.

Полностью была затоплена территория Майминского поселкового водозабора, снабжающего питьевой водой с. Майма, самого крупного сельского населенного пункта Республики Алтай. По долине р. Катуни, в Майминском и Чемальском районах, затоплению подвергались многочисленные водозаборные скважины в населенных пунктах, на туристических объектах.

Плачевное состояние представляли родники, выходы и каптажи которых были заилены и замусорены.

Рис. 1. Полное затопление территории строящегося Катунского водозабора

На низких аллювиальных террасах р. Катуни затопление было весьма существенным и достигало высоты 3 – 5 м. Этот факт подтверждается наличием илистого материала на ограждении (штакетное) ЗСО строгого режима. Следы затопления территорий водозаборных сооружений в прибрежных зонах рек республики установлены по заиливанию площадей ЗСО строгого режима в Онгудайском, Чойском, Усть-Канском районах. Таким образом, на большинстве водозаборных объектов в долинах рек Катунь, Бия, Чарыш и их притоках состояние территории водозаборных сооружений было весьма неудовлетворительным: наблюдалось заиливание, замусоривание, разрушение ЗСО строгого режима и проникновение в водозаборные скважины илового материала.

В гидрогеологическом плане территория республики находится в пределах Саяно-Тувинского и Горно-Алтайского гидрогеологических массивов (ГМ). Дождевой паводок оказал определенное влияние на гидродинамический режим и качественный состав подземных вод. Наблюдения за режимом подземных вод в республике в рамках Государственного мониторинга подземных вод, проведённый нами в период паводка, показал следующее (рис. 2). В Саяно-Тувинском ГМ в период дождевого паводка уровень вод четвертичных водоносных комплексов и палеозойских водоносных зон поднялся на 0,5 – 1,0 м. В Телецкой озерной котловине статический уровень подземных вод в западной части озера поднимался до 3 м (т/б «Самыш»), расход родника Чири в восточной части возрос в 2 раза.

В центральной части Горно-Алтайском ГМ, где протекает р. Катунь с её многочисленными притоками, уровень четвертичного водоносного комплекса поднялся в момент паводка на 1,5 – 5,0 м, дебиты родников возросли до 5 раз. В долинах рек Чарыш, Ануй и Песчаная уровень палеозойской водоносной зоны поднялся на 0,2 – 0,8 м. В Уймонском и Чуйском артезианских бассейнах уровень вод четвертичного и неогенового водоносных комплексов в момент паводка повысился на 0,4 – 1,0 м.

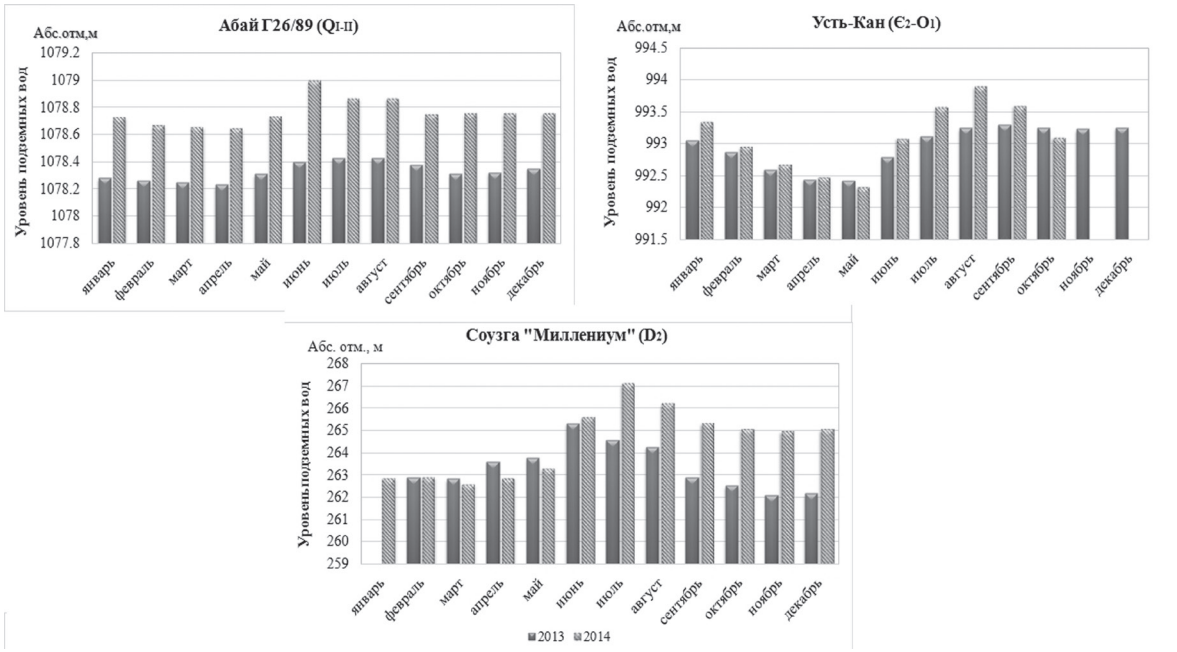


Рис. 2. Динамика уровня подземных вод в водоносных комплексах четвертичных отложений и палеозойских пород в Горно-Алтайском гидрогеологическом массиве в 2014 г.

Весьма интересным представляется среднегодовой режим подземных вод на эксплуатируемых водозаборных сооружениях в г. Горно-Алтайске в 2014 г. Так, на Улалинском водозаборе (Улалинское месторождение подземных вод), эксплуатирующем с 1979 г. венд-нижнекембрийскую водоносную зону, где динамический уровень в последние годы опустился ниже допустимого (49 м при допустимом 36 м), в 2014 г. среднегодовой динамический уровень поднялся до 23,8 м, т.е. практически в 2 раза. Такого рода динамика устанавливается также в среднегодовом режиме подземных вод на одиночных водозаборах и участках в г. Горно-Алтайске, эксплуатирующих кембрийские и венд-нижнекембрийские водоносные зоны. В текущем году установлен факт повсеместного повышения уровня вод, в сравнении с прошедшим 2013 г., на 0,6 – 7,0 м.

В период паводка возникла напряженная ситуация с качеством питьевых вод. Как правило, четвертичные водоносные комплексы и палеозойские водоносные зоны в долинах рек оказались загрязненными органическими загрязнителями и азотистыми соединениями.

На обследованных водозаборах, подвергшихся затоплению и подтоплению, качество питьевых вод зависело от времени насыщения водоносных комплексов затопляемыми водами. Так, в трубчатом колодце в с. Майма по ул. Советской в пробе, отобранной 9.06.2014 г., практически через неделю после начала затопления, качественный состав вод сохранился удовлетворительным, т.е. значения показателей химического состава выше ПДК не установлены. В то же время на скважине т/б «Калинка», находящейся в 50 м от р. Катунь, территория которой практически полностью была размыта, установлены высокие концентрации нитратов – до 91 мг/дм^3 (фон 5,1 мг/дм^3), высокая щелочность 6,6 мг/дм^3 (фон 2,6 мг/дм^3), количество сульфатов составило 78 мг/дм^3 (фон 9 мг/дм^3).

На отдельных водозаборах в районах республики не отмечены химические показатели, превышающие ПДК, но устанавливались значимые уменьшения концентраций сульфатов, хлоридов, магния, кальция и увеличение нитратов. В 2 – 10 раз (относительно фоновых на водозаборе) уменьшились содержания вышеназванных элементов в 2014 г. в период паводка на роднике «Железистом» в с. Чемал, на роднике «Теплый ключ» в с. Куташ, на скважинах в селах Соузга, Усть-Муны, Еланда, Тюнгур, б/о «Турсиб» и других. Высокие значения цветности и мутности (выше ПДК) зафиксированы на роднике «Теплый Ключ», на скважине школы в с. Уймень.

По данным ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Республике Алтай», на ряде водозаборов, расположенных по долинам рек, практически повсеместно изменялся состав воды: в г. Горно-Алтайске и с. Майма возросла цветность до 38,53 мг/л, мутность – до 7,57 мг/дм^3, нитраты – до 4 ПДК (52,95 – 134,52 мг/дм^3); в с. Усть-Муны на трех водозаборах устанавливалась высокая цветность (до 6,16), нитраты – до ПДК, в с. Соузга цветность (до 18,63 мг/дм^3), мутность (до 6,1 мг/дм^3). В с. Элекмонар на 10 водозаборах, находящихся в долине р. Катуни, цветность достигла 149 мг/дм^3, мутность – 147 мг/дм^3, окисляемость – до 30,8 мг/дм^3, нитраты – до 563 мг/дм^3, жесткость – до 14,95 мг/дм^3 , аммоний – до 8,39 мг/дм^3.

Повышенные концентрации загрязнителей подземных вод обнаруживались вплоть до конца июня 2014 г., на ряде водозаборных скважин – до октября. Так, на скважине, каптирующей верхнечетвертичный водоносный комплекс в долине р. Катуни в с. Элекмонар, в пробах питьевой воды, отобранных в июне и октябре 2014 г., устанавливается весьма высокие концентрации определенных показателей как во время паводка, так и после его (табл. 1).

Таблица 1. Качественный состав питьевых вод четвертичных отложений на водозаборной скважине в с. Элекмонар

Показатели	Единицы измерения	Проба воды (10.06.2014 г.)	Проба воды (03.10.2014 г.)
Мутность	мг/дм^3	50,8	37,25
Цветность	То же	149	88,9
Окисляемость	– « –	30,8	21,0
Жёсткость	– « –	14,95	14,5
Нитраты	– « –	475	500
Хлориды	– « –	45,5	60,0
Сульфаты	– « –	248	235
Сухой остаток		829	964

Как отмечалось выше, на Улалинском месторождении подземных вод в прошедшем году в 2 раза повысился уровень подземных вод. В предыдущее десятилетие динамический уровень на месторождении находился на отметке 48 м, при допустимом 36 м, что, по-видимому, способствовало формированию депрессионной воронки у водозабора. В период аномального дождевого паводка в широкой котловинообразной долине р. Улалушка, где расположен водозабор, с низким уклоном русла, произошло «заполнение» депрессионной воронки. Это подтверждается химическим составом питьевой воды (табл. 2). Если в последние годы на месторождении устанавливался факт подтягивания некондиционных вод, имеющих повышенные жесткость, концентрации натрия (с калием), сульфатов, то в 2014 г. картина изменилась.

Таблица 2. Среднегодовые концентрации сульфатов, натрия (с калием), величин жесткости в подземных водах Улалинского месторождения ПВ (мг/дм^3)

Годы	Сульфаты	Натрий (с калием)	Жесткость
2005	26,65	13,11	6,6
2006	31,16	19,89	7,03
2007	29,1	20,6	6,8
2008	35,6	21,46	6,73
2009	38,8	23,92	6,74
2010	46,66	24,72	7,4
2011	48,92		7,2
2012	55,85	24,36	7,35
2013	74,7	н.д.	7,65
2014	21,44/55,9*	н.д./9,57	7,15/7,5

*Первая цифра – отбор пробы в октябре, вторая – в ноябре.

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии по Республике Алтай»» настоятельно рекомендовало населению республики в период аномальной паводковой ситуации и более месяца после его окончания кипятить водопроводную воду.

Анализ гидродинамического режима подземных вод в целом в республике по наблюдательным пунктам за 2014 г. в сравнении с многолетними значениями показывает, что уровень подземных вод был наибольшим за весь период наблюдений.

Список литературы

1. Люцигер, А. О. Аномальный паводок 2014 года на Алтае / А. О. Люцигер // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : Тр. II Всерос. научн. конф. – Барнаул, 2014. – Т. 1. – С. 118–129.

ИЗМЕНЕНИЕ НАСЫЩЕННОСТИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ВТОРИЧНЫМИ МИНЕРАЛАМИ ПОД ВЛИЯНИЕМ СЕЙСМИЧНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ КАМЧАТКИ)

Копылова Г. Н.[1], Гусева Н. В.[2], Копылова Ю. Г.[2], Ефстифеева А. С.[2]

[1] Камчатский филиал Геофизической службы РАН, г. Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru;

[2] ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск, inpc_voda@mail.ru

Аннотация. С использованием гидрогеохимических данных опробования 11 самоизливающихся скважин и данных режимных наблюдений 1989 – 1992 гг. из базы данных КФ ГС РАН показано, что насыщенность подземных вод вторичными минералами увеличивалась на стадиях подготовки и реализации Камчатского землетрясения 2 марта 1992 г., M = 6,8.

***Ключевые слова**: подземные воды, скважина, химический состав воды, землетрясение, система «вода – порода».*

Abstract. Using the 11 flowing wells sampling data and monitoring observations of 1989-1992 from the KF GS RAS database, it is shown that the ground water saturation with respect to secondary minerals increases at stages of preparation and realization of the Kamchatka earthquake on March 2, 1992, M=6.8.

***Key words:** ground water, well, chemical composition of water, earthquake, water - rock system.*

Введение. Камчатский филиал Геофизической службы РАН (КФ ГС РАН) с 1977 г. проводит наблюдения за химическим составом подземных вод самоизливающихся скважин и источников в окрестностях г. Петропавловска-Камчатского (территория Петропавловского геодинамического полигона). Основной целью работ является поиск гидрогеохимических предвестников землетрясений и разработка методов их прогнозирования [1]. В изменениях концентраций отдельных компонентов состава подземных вод были зафиксированы разнообразные аномалии в связи с сильными местными землетрясениями, в том числе гидрогеохимические предвестники за недели – месяцы до их возникновения [1–2]. Вместе с тем, вопрос о генезисе и механизмах формирования таких гидрогеохимических аномалий недостаточно изучен в геохимическом аспекте. Необходимость его всестороннего рассмотрения обусловлена тем, что адекватное понимание процесса формирования гидрогеохимических предвестников и других эффектов сейсмичности в изменениях состава подземных вод будет способствовать оптимальной организации специализированных наблюдений на самоизливающихся скважинах и источниках, а также позволит оценить роль сейсмичности в эволюции химического состава подземной гидросферы сейсмоактивных регионов.

Согласно [3–5], процессы развития системы «вода – порода» являются определяющими в формировании химического состава подземных вод в различных ландшафтно-геохимических и геологических условиях. Поэтому одним из подходов, позволяющих объяснять механизмы формирования гидрогеохимических аномалий под воздействием сейсмичности, является исследование особенностей взаимодействия подземных вод с горными породами в различных геохимических обстановках. Впервые реализация такого подхода была продемонстрирована в работе авторов [6], в которой геохимический процесс формирования аномалии состава подземной воды скв. Морозная 1 на стадиях подготовки и реализации Камчатского землетрясения 2 марта 1992 г. M = 6,9 (далее **З**) рассматривался с использованием методов равновесной термодинамики и анализа элементарных химических реакций, проходящих в системе «вода – порода» [7]. Принималось, что начальными продуктами таких реакций являются породообразующие минералы и вода, конечными продуктами – вторичные минералы, а также ионы и нейтральные молекулы, которые перешли в жидкую фазу. По результатам химического анализа состава воды оценивалась степень насыщенности подземной воды относительно вторичных минералов с использованием индекса неравновесности или показателя A по [8]: $A = \lg(Kp/Q)$, где Kp – константа реакции; Q – квотант реакций или отношение фактического произведения активностей продуктов реакции к фактическому произведению активности исходных веществ. В соответствии с [8] по мере насыщения вод величина A уменьшается и стремится к 0. При пересыщении вод значения A становятся отрицательными. Значение A = 0 характеризует равновесное состояние.

Способность компонентов водного раствора вступать в химическое взаимодействие характеризуется активностью ионов ($a_{иона}$). Активность ионов вычислялась по формуле: $a_i = [ион] = \gamma_i \cdot m_i$, где γ_i – коэффициент активности; m_i – молярность иона, г-моль/л. Коэффициент активности γ_i рассчитывался по формуле Дебая-Хюккеля для низкоминерализованных растворов: $-\lg \gamma_i = (Az_i^2\sqrt{I})/(1+Ba_i\sqrt{I})$, где A и B – характеристические константы растворителя, зависящие от температуры и диэлектрической проницаемости воды; a_i – среднее расстояние сближения ионов противоположного знака, зависящее от эффективного диаметра данного иона в растворе и определяемого экспериментально; z_i – заряд иона; I – ионная сила раствора: $I = 0{,}5 \cdot \sum(m_i \cdot z_i^2)$ [1].

В 2014 г. было выполнено обследование режимных водопроявлений КФ ГС РАН с отбором проб воды и химического анализа в них широкого набора макро- и микрокомпонентов. Химические анализы были выполнены в ПНИЛ гидрогеохимии НОЦ «Вода» Томского политехнического университета. В работе также использовались данные режимных гидрогеохимических наблюдений в 1989 – 1992 гг. с периодичностью 1 раз в 3 – 6 суток из базы данных КФ ГС РАН. С использованием этих данных были рассчитаны вариации индексов неравновесности подземных вод по отношению к вторичным алюмосиликатным минералам, кальциту и ангидриту.

В работе рассматриваются особенности химического состава воды 11 режимных водопроявлений КФ ГС РАН, в том числе скв. ГК-1 и четыре термоминеральных источника станции Пиначево, скважин Морозная 1, Хлебозавод и четырех скважин (ГК-5, ГК-15, ГК-17 и ГК-44) станции Верхняя Паратунка. На примере отдельных водопроявлений выполнена реконструкция изменения насыщенности подземных вод вторичными минералами в течение 1989 – 1992 гг., включающего **З**.

Характеристика водопроявлений и данные гидрогеохимического опробования. Водопроявления станции Пиначево расположены в зоне разгрузки азотно-метановых термальных вод с температурами до 60° С, распространенных в вулканогенных, вулканогенно-осадочных и осадочных отложениях позднепалеоген-неогенового и позднемелового возраста, слагающих недра Авачинской вулкано-тектонической депрессии. Скв. ГК-1 вскрывает на глубинах 400 – 1260 м хлоридные кальциево-натриевые воды с минерализацией 11,1 г/л. Химический состав воды источников определяется различной степенью разбавления восходящего потока

термоминеральных вод грунтовыми пресными холодными водами, распространенными в четвертичных отложениях и изменяется от гидрокарбонатного кальциево-магниевого до гидрокарбонатно-хлоридного натриевого. Минерализация воды источников –0,1 – 1 г/л. Перед **З** в скв. ГК-1 в течение 9 месяцев наблюдалось уменьшение концентраций в воде макрокомпонентов Cl^-, Na^+ и Ca^{2+} (гидрогеохимический предвестник), сменившееся после З на их увеличение (постсейсмический эффект). В изменениях химического состава воды источников наиболее ярко фиксировались постсейсмические аномалии увеличения концентраций Cl^-, HCO_3^-, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+} и др. [1, 2].

Скважина Морозная 1 вскрывает в диапазоне глубин 310 – 556 м напорные сульфатные натриево-кальциевые воды с минерализацией 0,14 г/л и температурой 15° С. В этой скважине перед **З** проявлялся гидрогеохимический предвестник в течение месяца в увеличении концентраций ионов SO_4^{2-}, Na^+ и Ca^{2+} при уменьшении концентрации HCO_3^- в изливающейся подземной воде [1, 2].

Скважина Хлебозавод вскрывает на глубинах 1710 – 2424 м азотно-метановые хлоридные натриевые воды с минерализацией 12,6 г/л, распространенные в битуминизированных осадочных отложениях позднемелового возраста, слагающих локальную депрессию на территории Петропавловского горста.

Скважины станции Верхняя Паратунка выводят на поверхность термальные воды, формирующиеся в пределах структурных депрессий рек Паратунка и Карымшина на глубинах 125 – 1200 м. Воды по составу хлоридно-сульфатные натриевые с М = 0,4 – 1,5 г/л.

Рассматриваемые подземные воды являются напорными, характеризуются трещинным и трещинно-жильным типами циркуляции и естественным режимом формирования.

Изучение насыщенности подземных вод к породообразующим минералам проводилось путем построения диаграмм равновесия подземных вод с алюмосиликатными минералами, кальцитом и ангидритом при температуре 25° С [6, 7]. Пример такой диаграммы, построенной для Пиначевского источника 1, представлен на рис. 1. В результате анализа диаграмм установлено, что взаимодействие рассматриваемых подземных вод с водовмещающими породами носит равновесно-неравновесный характер [4]. Расположение расчетных точек показывает, что подземная вода находится в состоянии насыщения монтмориллонитом, КПШ и иллитом. В тоже время вода не насыщена анальцимом, альбитом, Mg-хлоритом, анортитом, мусковитом, находится в близравновесном состоянии с кальцитом и не насыщена ангидритом и магнезитом.

Расположение расчетных точек для вод из других водопроявлений района станции Пиначево на аналогичных диаграммах показывает, что вода скв. ГК-1 насыщена Са-монтмориллонитом и альбитом, а подземные воды источников насыщены КПШ, монтмориллонитами и иллитом. Подземные воды скв. ГК-1 и источников 2/1 и 2/2 равновесны или близравновесны к кальциту; подземная вода источника 3 находится на стадии равновесия к каолиниту. Кроме этого все воды не насыщены такими минералами, как анальцим, альбит, Mg-хлорит, анортит и мусковит, а также не насыщены ангидритом.

Вода скв. Морозная 1 находится в состоянии насыщения монтмориллонитами, иллитом и карбонатом кальция; не насыщена по отношению к анальциму, альбиту, Mg-хлориту, анортиту и мусковиту, а также далека от насыщения ангидритом. Согласно классификации С. Л. Шварцева, по равновесию природных вод с вторичными минералами, подземные воды этой скважины относятся к кремнистому карбонатно-кальциевому геохимическому типу, равновесному с Са-монтмориллонитом и кальцитом [5]. Таким образом, рассматриваемые подземные воды находятся на начальных стадиях развития системы «вода – порода» вследствие относительно малого времени их взаимодействия с горной породой.

Вариации индексов неравновесности подземных вод к вторичным минералам в связи с сильными землетрясениями. На рис. 2 на примере Пиначевского источника 1 демонстрируется проявление постсейсмических вариаций параметра А в течение месяца после

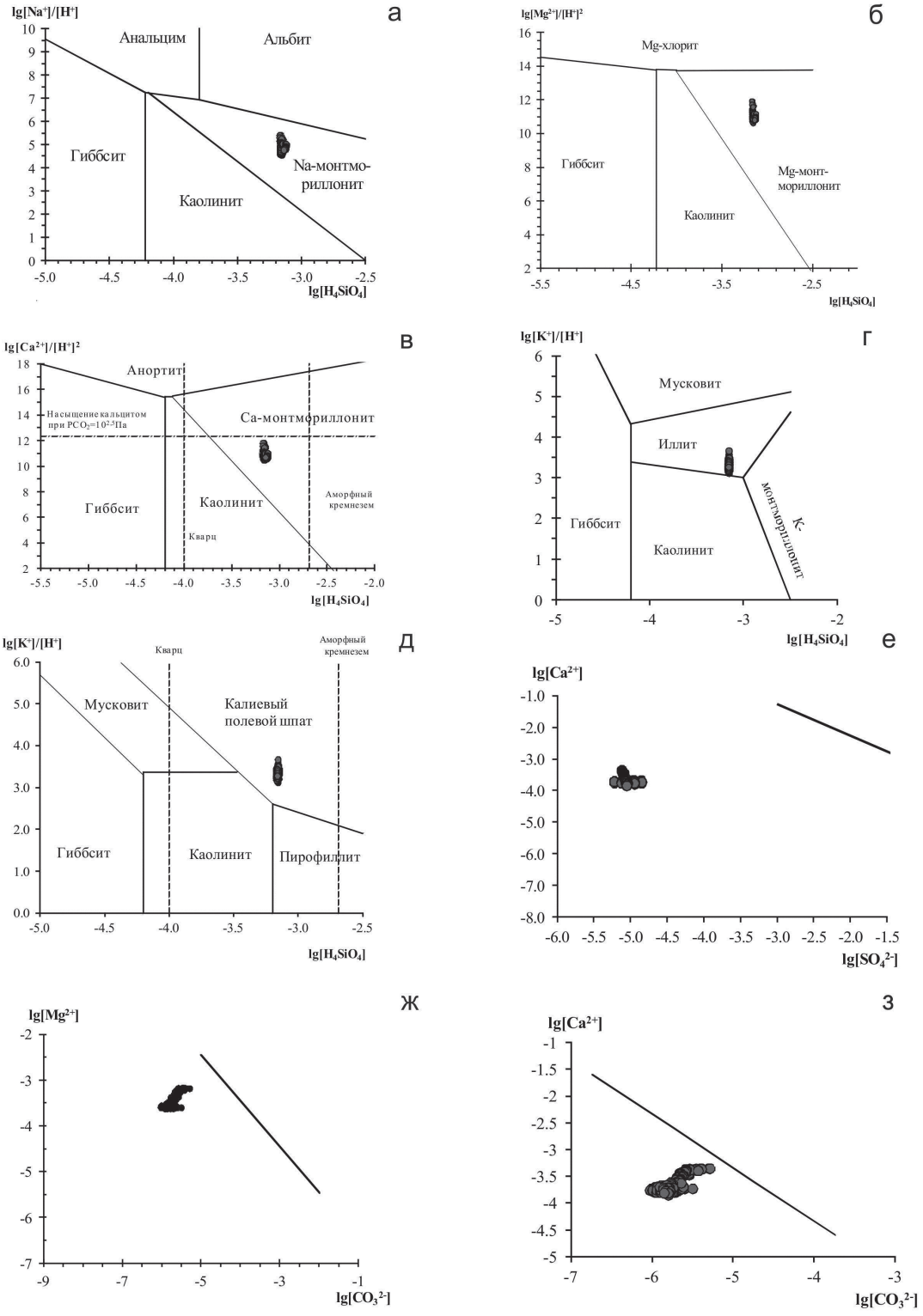


Рис. 1. Диаграммы равновесия подземной воды Пиначевского источника 1 с алюмосиликатными минералами:

а – гиббсит – каолинит – Na-монтмориллонит – альбит – анальцим; б – гиббсит – каолинит – Mg-монтмориллонит – Mg-хлорит; в – гиббсит – каолинит – Са-монтмориллонит – анортит; г – гиббсит – каолинит – К-монтмориллонит – иллит – мусковит; д – иббсит – каолинит – пирофиллит – КПШ – мусковит; е – с ангидритом; ж – с магнезитом; з – с кальцитом при температуре 2° С

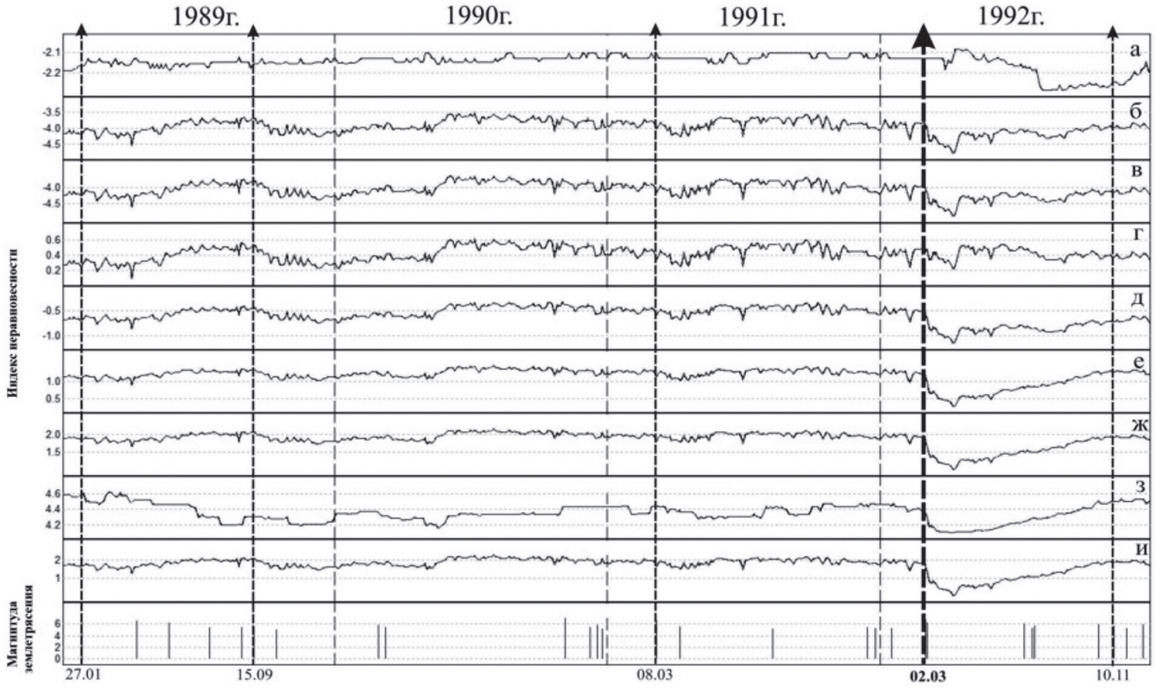


Рис. 2. Изменение индексов неравновесности подземной воды Пиначевского источника 1 к каолиниту (а), Са-монтмориллониту (б), Mg-монтмориллониту (в), К-монтмориллониту (г), Na-монтмориллониту (д), кальциту (е), магнезиту (ж), ангидриту (з) и доломиту (и) в 1989 – 1992 гг. в сопоставлении с произошедшими землетрясениями с М ≥ 4,5.

Вертикальными линиями показаны наиболее сильные зеемлетрясения, жирная линия – землетрясение 2 марта 1992 г., М = 6,8

З. Видно, что для всех рассматриваемых случаев наблюдается уменьшение величин А и, как следствие, увеличение насыщенности подземных вод вторичными минералами либо стремление к состоянию равновесия на постсейсмической стадии, связанной с воздействием на водоносную систему 5-6-балльных сотрясений (по шкале MSK-64) при прохождении сейсмических волн. Затем примерно в течение месяца наблюдалось возвращение параметров А к фоновым величинам. Аналогичные постсейсмические изменения параметров А также прослеживаются в связи с двумя сейсмическими событиями с М ≥ 5, которые показаны на рис. 2 вертикальными пунктирными линиями.

По результатам обработки материалов наблюдений 1989 – 1992 гг., имеющихся в базе данных КФ РАН, гидрогеохимические предвестники в изменениях насыщенности подземных вод района станции Пиначево вторичными минералами не проявлялись. Мы полагаем, что для их обнаружения необходимо совершенствование системы гидрогеохимических наблюдений и производства химического анализа воды из режимных водопроявлений.

Пример проявления гидрогеохимического предвестника примерно за месяц перед З в форме увеличения насыщенности воды из скв. Морозная 1 ангидритом приводится в [6].

Заключение. Термодинамические расчеты показывают, что подземные воды режимных водопроявлений КФ ГС РАН находятся на начальных стадиях взаимодействия в системе «вода – порода». По геохимической классификации С. Л. Шварцева они относятся к кремнистому карбонатно-кальциевому геохимическому типу [5].

Результаты обработки данных наблюдений КФ ГС РАН на скв. Морозная 1 и водопроявлений станции Пиначево в 1989 – 1992 гг. показывают изменение взаимодействия в системе «вода – порода» на стадиях подготовки и реализации сильных землетрясений, особенно ярко появившиеся в связи с Камчатским землетрясением 2 марта 1992 г. Перед этим землетрясением обнаружен новый вид гидрогеохимического предвестника, проявившегося в увеличении

насыщенности подземной воды из скв. Морозная 1 ангидритом. В связи с этим землетрясением и другими землетрясениями 1989 – 1992 гг. с $M \geq 5$ также проявлялись постсейсмические эффекты в увеличении насыщенности подземных вод района станции Пиначево монтмориллонитом, а также локально в скв. ГК-1 и источниках каолинитом, магнезитом, доломитом и кальцитом.

Список литературы

1. Копылова, Г. Н. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений / Г. Н. Копылова, В. М. Сугробов, Ю. М. Хаткевич // Вулканология и сейсмология. – 1994. – № 2. – С. 53–70.

2. Копылова, Г. Н. Аномальные изменения химического состава подземных вод в связи с Камчатским землетрясением 2 марта 1992 г. (Mw = 6.9) / Г. Н. Копылова, С. В. Болдина // Геофизические исследования. – 2012. – Т. 13, № 1. – С. 39–49.

3. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1998. – 366 с.

4. Шварцев, С. Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода – горная порода и ее внутренняя геологическая эволюция / С. Л. Шварцев // Литосфера. – 2008. – № 6. – С. 3–24.

5. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода – порода. Т. 2. Система вода – порода в условиях зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.

6. Копылова, Г. Н. О генезисе и механизмах формирования гидрогеохимических аномалий в изменениях состава подземных вод под влиянием сейсмичности / Г. Н. Копылова, Ю. Г. Копылова, Н. В. Гусева // Вулканизм и связанные с ним процессы : мат-лы региональной научной конференции, посвящённой Дню вулканолога, 27–28 марта 2014 г. – Петропавловск-Камчатский : ИВиС ДВО РАН, 2014. – С. 181–186.

7. Гаррелз, Р. М. Растворы, минералы, равновесия / Р. М. Гаррелз [и др.]. – М. : Мир, 1968. – 368 с.

8. Зверев, В. П. Роль подземных вод в миграции химических элементов / В. П. Зверев. – М. : Недра, 1982. – 182 с.

РЕКОНСТРУКЦИЯ СОСТАВА ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД В ГЕОДИНАМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ (НА ПРИМЕРЕ БАЙКАЛЬСКОГО РИФТА И ГРАБЕНА ЭГЕР)

Кузьмина Е. А.
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Selenginsk2007@mail.ru

Аннотация. В работе представлены результаты имитационного компьютерного термодинамического моделирования процессов формирования состава термальных вод двух геодинамически активных регионов. Для Алгинского термального выхода в Байкальской рифтовой системе по результатам моделирования установлено, что все элементы, за исключением U, Li, Rb, B, Mo, Sr, S, могут накапливаться в водах из гранитов. Указанные микроэлементы, возможно, имеют эндогенную природу. Термальные воды скважины Вржидло в Карловых Варах, в районе грабена Эгер, по результатам модельных реконструкций характеризуются повышенным содержанием ряда макроэлементов.

Ключевые слова: *термальный источник, физико-химическое моделирование, флюид, граниты.*

Abstract. For the Alginski thermal spring in the Baikal rift system, based on the results of physico-chemical modeling, it was found that all the elements, with the exception of - U, Li, Rb, B, Mo, Sr, S, may accumulate in the waters of granites. These microelements may have an endogenous nature. For the Vridlo well in Karlovy Vary, near Eger Graben, the result of physico-chemical modeling is characterized by a higher content of a number of macroelements.

Key words: *thermal spring, physico-chemical modelling, fluid, granites.*

Существуют две точки зрения о происхождении химических элементов в термальных водах: первая – происхождение элементов – это результат изменения атмогенных вод при взаимодействии с горной породой в условиях высоких температур и давлений, вторая – химические элементы появляются в термальных водах благодаря существованию разломных зон, которые служат проводящими каналами для передачи в воду эндогенного вещества из мантии [1].

Основная задача исследований заключалась в определении генезиса состава термальных вод Алгинского выхода и Карлововарских терм, которые располагаются в схожих геолого-структурных условиях и геодинамических обстановках.

Алгинский термальный источник расположен на восточном борту Баргузинской впадины Байкальской рифтовой системы, у подножия Икатского хребта. Температура воды источника – 20° С, минерализация воды – 593 мг/л, химический состав воды – сульфатный натриевый с pH 8,07. В районе Алгинского источника преобладающим типом пород фундамента являются граниты Ангаро-Витимского батолита. Вместе с тем там обнаружены небольшие выходы молодых вулканических пород с возрастом около 8 млн лет [2], характеризующихся андезитовым составом, отличающимся от состава вулканитов Байкальской рифтовой системы.

Исследуемые термальные воды района Карловых Вар отобраны из скважины Вржидло, расположенной в Западной Богемии, в западной части Чешского массива, который формирует самую восточную часть области герцинской складчатости в Европе и охватывает Чехию и восточную часть Моравии [3]. В генезисе термальных вод региона решающее значение сыграл Эгерский рифт, возникший при возобновлении тектогенеза в древней мобильной зоне в третичный период. Температура воды составляет 30° С, химический состав воды – гидрокарбонатно-сульфатный натриевый с pH 6,9, минерализация 6158 мг/л и содержание CO_2 – 560 – 580 мг/л.

При проведении модельных экспериментов был использован программный комплекс «Селектор» [2]. На первом этапе была проведена проверка корректности термодинамических моделей, базирующаяся на реальных составах вод исследуемых терм. Химический состав модельных растворов задавался по независимым компонентам и рассчитывался соответственно при температурах 20 и 30° С в равновесии с атмосферой. В модели Алгинского термального выхода был также рассчитан вариант без атмосферы.

На втором этапе физико-химического моделирования было исследовано предположение о том, могут ли граниты быть источником всех химических элементов или для формирования состава анализируемых вод необходимо участие ювенильного источника. Для Алгинского термального источника, наряду с гранитами, был использован и состав андезитовых пород. Проверка включала в себя изменение степени взаимодействия в системе «вода – порода», выраженного коэффициентом, определяющим количество породы, взаимодействующего с 1 кг воды.

Полученные равновесные составы гидротермальных растворов отличаются от реальных химических составов подземных вод по содержанию U, Li, Rb, B, V, Mo, Sr , S – Алгинский термальный источник (рис. 1) и по содержанию Ca, K, Fe, Mg – термы скважины Вржидло в Карловых Варах (рис. 2).

Высокие содержания отмеченных микроэлементов указывают на возможность существования мантийного источника их поступления. Вероятность происхождения таких микроэлементов из мантии согласуется с выводами о мантийном источнике гелия в гидротермах Байкальской рифтовой системы [1]. Что касается Li, другой возможной причиной его отклонения может быть то обстоятельство, что в термодинамических расчётах используются классические формулы для слоистых минералов, в которых элементы-примеси, такие как Li, не входят. Они представляют собой твердые растворы (т.е. в гранитах Li присутствует в слюдах). Однако для этих минералов термодинамические параметры отсутствуют. Поскольку гидроокислы, окислы, карбонаты лития в этих условиях не образуются, Li существует в модельной системе только в растворенном виде.

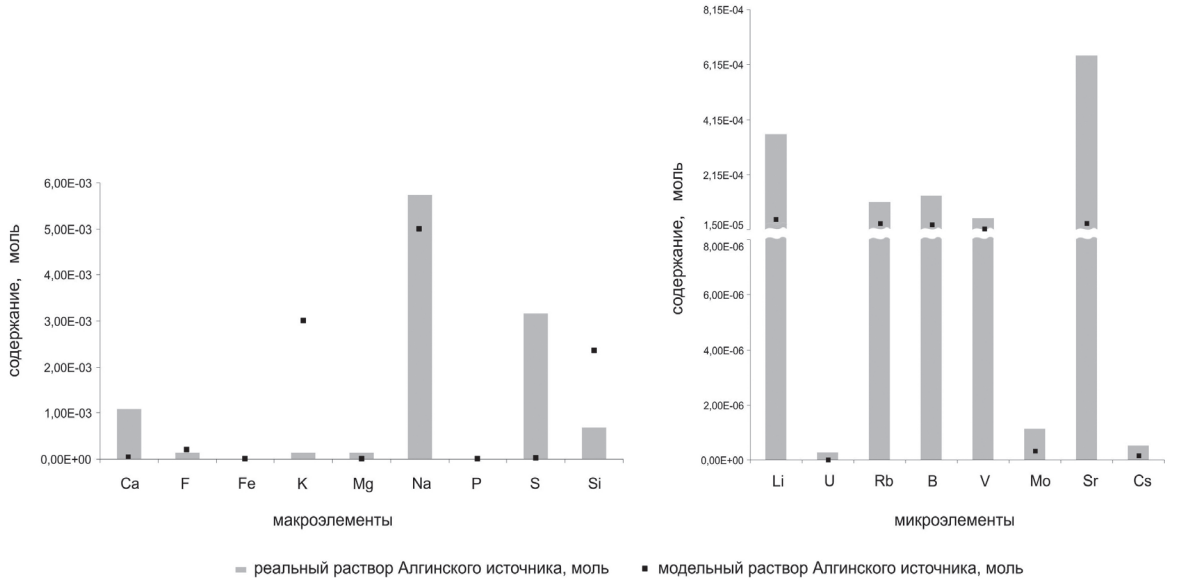


Рис. 1. Результаты физико-химического моделирования процесса охлаждения гидротермального раствора с 93 до 20° С

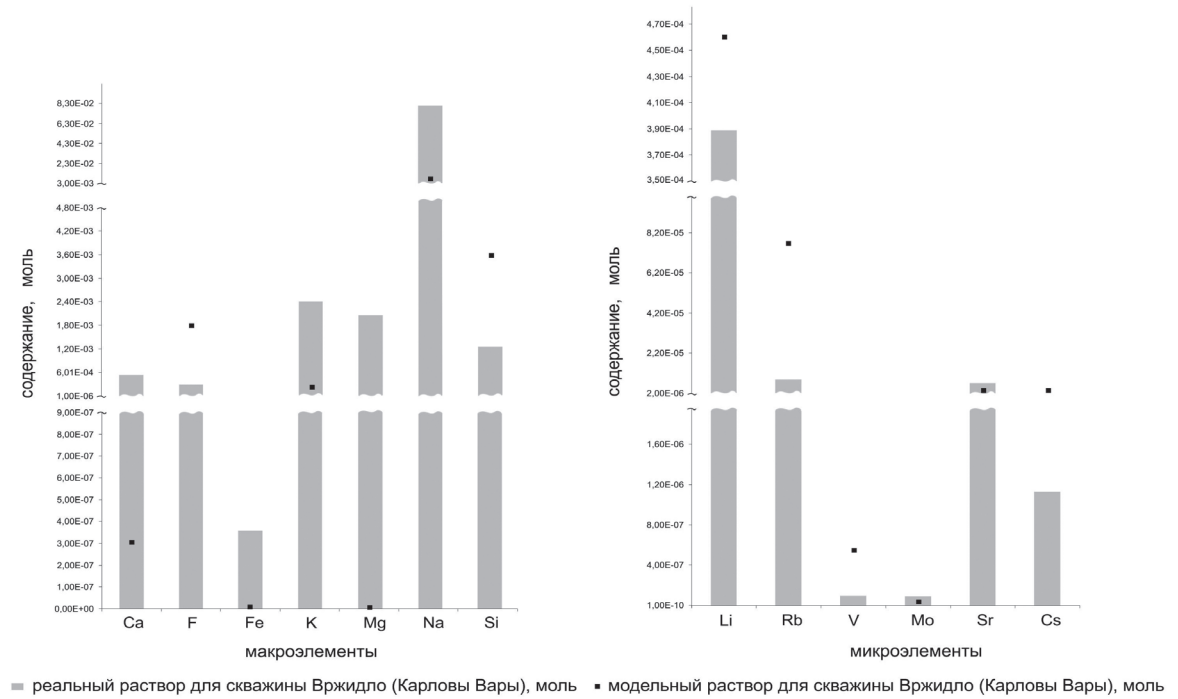


Рис. 2. Результаты физико-химического моделирования процесса охлаждения гидротермального раствора с 193 до 30° С

Задачи дальнейших исследований заключаются в продолжении имитационного моделирования процессов формирования состава изучаемых гидротерм с использованием программного комплекса «Селектор» [4] по объединенным сценариям: модели охлаждения (подъема) эндогенного флюида, где рассчитывается ряд равновесных состояний системы заданного состава при понижающихся температурах и давлениях согласно геобаротерме [5] и модели взаимодействия глубинного флюида с вмещающими породами (модель сквозной проточной мегасистемы) [6].

Список литературы

1. Поляк, Б. Г. Изотопы гелия в подземных флюидах Байкальского рифта и его обрамления (к геодинамике континентального рифтогенеза) / Б. Г. Поляк // Российский журнал наук о Земле. – 2000. – Т. 2, № 2. – С. 109–133.

2. Рассказов, С. В. Миоценовая смена магматических источников на западном замыкании Южно-Байкальской впадины Байкальской рифтовой зоны: от неудавшегося пассивного рифтогенеза к активному / С. В. Рассказов // Континентальный рифтогенез, сопутствующие процессы : материалы Второго Всероссийского симпозиума с международным участием и молодежной научной школы. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2013. – Т. 2. – С. 43–46.

3. Vrba, J. Thermal mineral water springs in Karlovy Vary / J. Vrba // Environmental Geology. – 1996. – V. 27. – P. 120–125.

4. Карпов, И. К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии / И. К. Карпов. – Новосибирск : Наука, 1981. – 248 с.

5. Зубков, В. С. Термодинамическая модель системы С–Н в условиях высоких температур и давлений / В. С. Зубков, А. Н. Степанов, И. К. Карпов [и др.] // Геохимия. – 1998. – Т. 36, № 1. – С. 95–101.

6. Чудненко, К. В. Динамика мегасистем в геохимии: формирование базовых моделей процессов и алгоритмы имитации / К. В. Чудненко, И. К. Карпов, С. И. Мазухина [и др.] // Геология и геофизика. – 1999. – Т. 40, № 1. – С. 45–61.

СВЯЗЬ РЕЧНОГО СТОКА И НАДМЕРЗЛОТНЫХ ВОД В РАЗЛИЧНЫХ ЛАНДШАФТАХ КОЛЫМСКОЙ ВОДНО-БАЛАНСОВОЙ СТАНЦИИ: РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Лебедева Л. С.[1], Семенова О. М.[2,3]

[1]Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, lyudmilaslebedeva@gmail.com;

[2,3]НПО «Гидротехпроект», г. Санкт-Петербург; Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, omakarieva@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены основные механизмы взаимодействия процессов формирования речного стока и надмерзлотных вод, характерные для условий Колымской водно-балансовой станции (КВБС). Проведено моделирование стока ручьев КВБС с учетом динамики сезонноталого слоя на основе гидрологической модели «Гидрограф». Сделан вывод о необходимости учета разнообразия мерзлотно-гидрогеологических условий, в целях адекватного гидрологического моделирования и важности применения результатов полевых наблюдений для создания и верификации гидрологических моделей.

Ключевые слова: *речной сток, надмерзлотные воды, гидрологическая модель «Гидрограф», Колымская водно-балансовая станция, талик, ландшафты.*

Abstract. Main interaction mechanisms between flow formation and suprapermafrostgroundwater specific to the conditions of the Kolyma water-balance stations (KWBS) are discussed. The simulation of runoff at the streams of the KWBS taking into consideration the dynamics of active layer is conducted using hydrological model Hydrograph. The conclusions about the need to consider the diversity of permafrost-hydrogeological conditions for adequate hydrological modeling and the importance of applying the results of field observations for the development and verification of hydrological models are drawn.

Key words: *runoff, suprapermafrost groundwater, hydrological model Hydrograph, Kolyma water-balance station, talik, landscapes.*

Введение. Взаимодействие мерзлоты и локальных гидрогеологических условий в существенной степени определяет гидрологические процессы и формирование речного стока на водосборах северных территорий. Хотя некоторые гидрологические модели учитывают наличие

мерзлоты [1–7], механизмы взаимодействия речного стока и мерзлотных вод представлены в моделях очень упрощенно, а назначение параметров происходит без учета отличительных особенностей сезонной динамики глубин протаивания и промерзания в различных ландшафтах.

Цель данной работы – дать качественную характеристику процессам формирования и взаимодействия надмерзлотного и поверхностного стока по результатам полевых исследований на территории руч. Контактового (Колымская водно-балансовая станция, КВБС), а также провести адаптацию к условиям КВБС детерминированной гидрологической модели «Гидрограф» с учетом мерзлоты, различий ландшафтов и закономерностей подземного питания на исследуемой территории.

Колымская водно-балансовая станция. Колымская водно-балансовая станция охватывает водосбор руч. Контактового площадью 22 км^2, который располагается в бассейне р. Кулу, правого притока р. Колымы в верхней части ее бассейна (Магаданская область). Абсолютные высоты станции варьируются от 830 до 1690 м, а уклон склонов достигает 40°.

Среднегодовая температура на основной метеорологической площадке Нижняя за 1948 – 1995 гг. составляет –11,4° С [8]. Количество осадков на территории станции варьирует от 290 до 460 мм (1959 – 1990 гг.) в зависимости от высоты и ориентации склонов. 62% осадков приходится на теплый период года.

По данным бурения 1959 – 1962 гг., мощность многолетнемерзлых пород (ММП) изменяется от 117,6 м до 210 м, увеличиваясь к верховьям руч. Контактового и под возвышенностями достигая, вероятно, 300 – 400 м [9]. Глубины протаивания, в зависимости от положения на склоне и ландшафта, меняются от 0,3 до 2,5 м.

На территории станции распространены надмерзлотные и подмерзлотные подземные воды. Надмерзлотные воды приурочены к четвертичным отложениям СТС и прирусловых таликов [9]. Подмерзлотные воды распространены в толщах песчано-глинистых сланцев пермского возраста.

Станция является уникальным исследовательским водосбором по объему и продолжительности (1948 – 1990 гг.) накопленных гидрометеорологических данных. Водосбор руч. Контактового репрезентативен для условий горных ландшафтов и повсеместного распространения многолетней мерзлоты Северо-Востока России [10].

Надмерзлотные воды КВБС. В формировании поверхностного стока малых водосборов КВБС участвуют поверхностные и надмерзлотные воды. Надмерзлотые воды водосбора руч. Контактового представлены водами СТС и прирусловых таликов.

Воды СТС распространены повсеместно от водоразделов до долин водотоков. Они приурочены к аллювиальным, делювиальным и элювиальным отложениям. Режим надмерзлотных вод СТС и их участие в питании ручьев водосбора зависит от динамики глубины протаивания и водно-физических свойств деятельного слоя.

На северных склонах и в долинах ручьев, где распространены заболоченные леса и лиственничные редколесья с густым напочвенным покровом и маломощным слоем торфа в профиле, сразу после снеготаяния талая вода стекает по поверхности. Вследствие пониженных фильтрационных свойств почвы здесь формируются влажные условия и неглубокий деятельный – слой до 0,6 м [11]. Средние части южных склонов характеризуются переходом от подповерхностного типа стекания осадков к поверхностному, который наблюдается на переувлажненных прирусловых участках и склонах северной экспозиции. В верхней по склону части этой зоны дернина лежит на хорошо промытом щебне, слой которого постепенно сокращается к нижней границе этой зоны, и в нем увеличивается содержание мелких частиц, что сокращает его пропускную способность и способствует формированию влажных условий [11]. Характерные глубины протаивания составляют 0,7 – 13 м. На водоразделах в пределах распространения каменных осыпей, талые и дождевые воды свободно проникают в грунт до кровли ММП и быстро стекают по ней. Глубина промерзания на мерзлотомерах фиксируется вплоть до 1,6 – 2,0 м.

В пойменной части руч. Контактового развиты сезонные и устойчивые подрусловые талики. Глубина талых пород под руслом достигает 9 м, а на поймах – 4-5 м [12].

В начале теплого сезона года надмерзлотный талик имеет двухслойное строение. В июне-июле оттаявшие отложения вдоль нижнего течения ручья в плане представляют собой локализованную полосу, тяготеющую к руслу и имеющую ширину около 30 – 40 м и глубину до 3–4 м. На глубинах 6 – 8 м таликовая зона расширяется до 120 м. Между ними до конца лета сохраняется промерзший горизонт. В августе-сентябре «верхний» и «нижний» талики сливаются [13].

Моделирование процессов формирования стока ручьев КВБС с учетом динамики СТС. В работе использовалась распределенная детерминированная гидрологическая модель «Гидрограф» [14–16]. Алгоритмы модели описывают все основные процессы гидрологического цикла на водосборе – от выпадения осадков до стока воды в замыкающем створе, а также процессы протаивания и промерзания почвы. Важно, что основные параметры модели задаются на основе независимой информации о почвах, растительности и других условиях на водосборе и не калибруются при расчетах. Входными данными модели являются суточные значения температуры, осадков и влажности воздуха. Выход модели – непрерывный суточный гидрограф стока в замыкающем створе и переменные состояния почвы и снега. Моделирование проводилось для периода 1950 – 1990 гг. для нескольких малых водосборов КВБС и всего руч. Контактового с использованием данных, опубликованных в работе [17].

На основе рассмотренного разнообразия мерзлотно-гидрогеологических условий КВБС и анализа многолетних данных наблюдений на мерзлотомерах станции, в целях гидрологического моделирования, водосбор руч. Контактового был разделен на пять основных условно однородных типов подстилающей поверхности, существенно различающихся по характеристикам деятельного слоя, надмерзлотного стока и их связи со стоком ручьев [18]: 1) каменная осыпь, 2) горная тундра и заросли кедрового стланика, 3) мохово-лишайниковое редколесье, 4) лиственничный лес, 5) зона прирусловых таликов. Каждый выделенный тип подстилающей поверхности характеризуется своим набором значений параметров почв и растительности.

Каменная осыпь. Профиль грунта имеет однородное строение и сложен обломками глинистого сланца разной крупности. Грунт характеризуется низкой водоудерживающей способностью, высоким коэффициентом фильтрации и способностью легко проводить тепло. Такие свойства обусловливают процесс быстрого и глубокого протаивания, а также беспрепятственной фильтрации талой и дождевой воды до мерзлого водоупора. Специфической чертой формирования стока в каменной осыпи является образование внутригрунтового льда при снеготаянии и последующее его таяние в теплый период года [19]. Таким образом, наблюдается специфический процесс криогенного перераспределения стока между сезонами года [20].

Заросли кедрового стланика южных склонов. Профиль грунта идентичен таковому в каменной осыпи за исключением того, что верхний слой почвы представляет собой мохово-лишайниковый покров. Обладая значительной величиной пористости и водоудерживающей способности, высоким коэффициентом фильтрации, он обеспечивает сильный теплоизоляционный эффект, что приводит к меньшей по сравнению с каменной осыпью характерной глубине протаивания. При снеготаянии и выпадении дождей формируется быстрый надмерзлотный сток.

В почвенном профиле **лиственничного редколесья северных склонов** под верхним мохово-лишайниковым слоем в интервале глубин 10 – 20 см находится оторфованный горизонт, характеризующийся повышенной пористостью и водоудерживающей способностью, низкими теплопроводными свойствами. Под торфом располагается обломочный материал глинистых сланцев. Во время снеготаяния при мерзлом состоянии грунта образуется как поверхностный, так и надмерзлотный (по трещинам и другим предпочтительным каналам фильтрации) сток.

В **лиственничном лесу** под мохово-лишайниковым покровом в интервале глубин 10 – 40 см залегает слой торфа, для которого характерны низкий коэффициент фильтрации, низкие теплопроводные свойства, высокая пористость и водоудерживающая способность. Ниже слоя

торфа залегает глина с обломками глинистых сланцев. Максимальная глубина протаивания составляет 0,6 м. Во время снеготаяния и интенсивных дождей формируется поверхностный сток. В остальное время уровень грунтовых вод подходит близко к поверхности.

В **прируслового талике** отсутствует мерзлота в первых метрах от поверхности и происходит сезонное промерзание грунта в зимний период. В течение большей части года в прируслового талике происходит подземный сток, тогда как почвенные профили других типов подстилающей поверхности полностью промерзают в холодный период.

По результатам гидрологического моделирования до начала оттаивания почвы в лиственничном лесу преобладает поверхностный сток. В течение летнего сезона поверхностный сток формируется только при выпадении интенсивных дождей. Большая часть воды, попадающей на поверхность грунта, просачивается и формирует почвенный надмерзлотный сток. Почва оттаивает всего на 0,6 м в течение четырех теплых месяцев (июнь – сентябрь), и большую часть времени СТС насыщен водой. Рассчитанные глубины протаивания и расходы воды удовлетворительно согласуются с наблюденными величинами.

В каменной осыпи талая вода свободно проникает в грунт и частично намерзает на камнях, образуя внутригрунтовый лед. По результатам Т. В. Банцекиной [19, 21] от 40 до 60 мм льда формируется каждую весну в СТС каменной осыпи, по результатам моделирования за период 1969 – 1990 гг. – от 21 до 48 мм. Лед стаивает в течение всего теплого сезона, из-за чего в сухие периоды наблюдается зависимость стока воды от температуры воздуха. Таким образом происходит криогенное перераспределение стока между сезонами года. Так, в водном балансе руч. Морозова за гидрологический 1982 – 1983 год за холодный период до полного схода снега выпало 281 мм осадков, а сток наблюдался 190 мм. За последующий теплый период выпало 133 мм осадков, а сток составил 200 мм [22].

Выводы. Динамика деятельного слоя, водно-физические свойства почвы и расчлененный рельеф обусловливают высокую изменчивость условий формирования надмерзлотных вод в бассейне руч. Контактового. Разнообразие мерзлотно-гидрогеологических условий, определяющих процессы формирования стока ручьев, может быть схематизировано в целях детерминированного гидрологического моделирования. Использование материалов полевых исследований – описаний преобладающих гидрологических процессов и определяющих их свойств подстилающей поверхности для назначения параметров и адаптации модели позволяет повысить адекватность результатов расчетов наблюдаемым природным ситуациям и оценить с помощью модели те характеристики, которые не поддаются измерениям. Проверенные на различных наблюденных данных (глубины протаивания, расходы воды, характеристики снежного покрова, влажность и температура грунтов) алгоритмы и наборы параметров моделей могут быть использованы для оценки будущих изменений процессов формирования стока и эволюции приповерхностной мерзлоты с большей степенью уверенности, чем откалиброванные с использованием одного типа информации. Наборы параметров могут быть перенесены на другие водосборы в схожих природных условиях, включая неизученные бассейны.

Список литературы

1. Bowling, L. Current capabilities in soil thermal representations within a large scale hydrology model for regions of continuous permafrost / L. Bowling, K. Cherkauer, J. Adam // Ninth International Conference on Permafrost Proceedings. – Fairbanks, 2008. – P. 177–182.

2. Zhang, Z. Development and Application of a Spatially Distributed Arctic Hydrologic and Thermal Process Model (ARHYTHM) / Z. Zhang, D. Kane, L. Hinzman // Journal. of Hydrological Processes. – 2000. – 14 (6). – P. 1017–1044.

3. Dall'Amico, M. A robust and energy-conserving model of freezing variably-saturated soil / M. Dall'Amico, S. Endrizzi, S. Gruber [et all] // The Cryosphere. – 2011. – 5. – P. 469–484 doi:10.5194/tc-5-469-2011.

4. Pomeroy, J. The cold regions hydrological model: a platform for basing process representation and model structure on physical evidence / J. Pomeroy, D. Gray, T. Brown [et al.] // Hydrological Processes. – 2007. – 21. – P. 2650–2667.

5. Кучмент, Л. С. Модель формирования стока на водосборах зоны многолетней мерзлоты (на примере верхней Колымы) / Л. С. Кучмент, А. Н. Гельфан, А. И. Демидов // Водные ресурсы. – 2000. – Т. 27, № 4. – С. 435–444.

6. Гусев, Е. М. Моделирование стока на малых водосборах в зоне многолетней мерзлоты на основе модели SWAP // Водные ресурсы. – 2006. – Т. 33, № 2. – С.133–145.

7. Виноградов, Ю. Б. Гидрологическое моделирование: метод расчета динамики тепловой энергии в почвенном профиле / Ю. Б. Виноградов, О. М. Семенова, Т. А. Виноградова // Криосфера Земли. – 2015. – Часть 1. – Вып. 1. – (В печати).

8. Сущанский, С. И. История создания, методы, объекты и некоторые результаты исследований Колымской водно-балансовой станции / С. И. Сущанский // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской водно-балансовой станции). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 18–35.

9. Отчет о результатах гидрогеологических исследований в бассейне руч. Контактового (работы Кулинского поста по программе Международного гидрологического десятилетия за 1967 – 1969 гг.). – Магадан, 1970.

10. Насыбулин, П. С. Репрезентативность характеристик стока Колымской водно-балансовой станции для территории верхней Колымы / П. С. Насыбулин // Природные ресурсы Северо-Востока СССР. – Владивосток, АН ДВИС ИБПС, 1976. – С. 32–41.

11. Бояринцев, Е. Л. Азональные факторы формирования дождевого стока на территории Колымской ВБС / Е. Л. Бояринцев // Тр. ДВНИГМИ. – 1988. – Вып. 135. – С. 67–93.

12. Глотов, В. Е. Подземные воды бассейна руч. Контактовый как фактор формирования общего водного стока / В. Е. Глотов // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской водно-балансовой станции). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 102–141.

13. Глотов, В. Е. Геолого-геоморфологические и геокриологические факторы формирования поверхностного стока руч. Контактовый / В. Е. Глотов, Л. П. Глотова // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской водно-балансовой станции). – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 81–102.

14. Виноградов, Ю. Б. Математическое моделирование процессов формирование стока. Опыт критического анализа / Ю. Б. Виноградов. – Л. : Гидрометеоиздат, 1988. – 312 с.

15. Виноградов, Ю. Б. Математическое моделирование в гидрологии / Ю. Б. Виноградов, Т. А. Виноградова. – М. : Академия, 2010. – 366 с.

16. Semenova, O. Simulation of subsurface heat and water dynamics, and runoff generation in mountainous permafrost conditions, in the Upper Kolyma River basin, Russia / O. Semenova, L. Lebedeva, Yu. Vinogradov // Hydrogeology Journal, – 2013. – 21 (1). – P. 107–119.

17. Материалы наблюдений КВБС 1948 – 1990 гг. – Магадан : Колымское УГКС, 1959 – 1991. – Вып. 1–34.

18. Lebedeva, L. Simulation of Active Layer Dynamics, Upper Kolyma, Russia, using the Hydrograph Hydrological Model / L. Lebedeva, O. Semenova, T. Vinogradova // Permafrost and Periglacial Processes. – 2014. – 25 (4). – P. 270–280.

19. Банцекина, Т. В. Динамика льдистости крупнообломочных склоновых отложений в период весеннего снеготаяния / Т. В. Банцекина // Колыма. – 2001. – № 2. – С. 28–31.

20. Алексеев, В. Р. Механизм криогенного регулирования стока в формировании водного баланса малых горных рек зоны многолетнемерзлых пород / В. Р. Алексеев, Е. Л. Бояринцев, Е. Д. Гопченко [и др.] // Украинский гидрометеорологический журнал. – 2011. – № 8. – С. 182–194.

21. Банцекина, Т. В. Особенности гидротермического режима слоя сезонного протаивания крупнообломочных склоновых отложений в весенне-летний период (на примере Верхнеколымского нагорья) : автореф. дис. … канд. геогр. наук / Т. В. Банцекина. – Якутск, 2003. – 23 с.

22. Бояринцев, Е. Л. Формирование водного баланса весеннего половодья малых горных водосборов Верхней Колымы (по материалам Колымской водно-балансовой станции) / Е. Л. Бояринцев, Н. Г. Сербов, Н. И. Попова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2006. – № 4. – С. 12–19.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ УНИКАЛЬНЫХ ЩЕЛОЧНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В СКВАЖИНЕ ЧУЛЫМСКОЙ («ОМЕГА», ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Лепокурова О. Е.[1, 2], Наливайко Н. Г.[2], Иванова И. С.[1, 2]

[1] Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Томск, LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru;

[2] Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

Аннотация. В статье впервые приведены данные по микробиологическому составу минеральной воды «Омега» в скважине Чулымской. Показано, что микрофлора вод приспособлена к бедным условиям питания – минимальным присутствием органических и химических веществ – и имеет специфический микробиологический пейзаж благодаря сильно щелочной среде.

Ключевые слова: *щелочные подземные воды, «Омега», Чулымский бассейн, микрофлора.*

Abstract. In article at first time presents data by the microbiological composition of mineral water «Omega» in the well Chulymskaya. It shown, that the microflora of waters is adapted for poor conditions of nutrition: minimal presence of organic and chemical substances and has a specific microbiological view through a strongly alkaline environment.

Key words: *alkaline groundwater, «Omega», basin of Chulym, microflora.*

В рамках проекта РФФИ выполняется большая комплексная работа по геохимии уникальных щелочных вод Чулымского бассейна (юго-восточная окраина Западно-Сибирского артезианского бассейна). Уникальность их заключается в том, что они являются весьма пресными (соленость 0,25 – 0,6 г/л), при этом сильнощелочными (pH 9,1 – 10,3). Воды распространены в осадочных породах и не связаны с магматическими. Для выявления этой проблемы проводится изучение конкретных условий формирования пресных щелочных вод [1–3]. В данной статье представлены результаты одного из этапов этих исследований – изучение особенностей микробиологического состава данных вод.

Микроорганизмы являются непременным компонентом природных вод. Они неразрывно связаны с косной материей земной коры, с минералами и горными породами. Присутствие микроорганизмов в подземных водах установлено впервые в 1926 г. одновременно русскими и американскими исследователями (Гинзбург-Карагичева, 1926). С тех пор изучением микрофлоры подземных вод занимались многие ученые, такие как Э. А Рейнфельд (1933), Г. А. Могилевский (1953, 1976), Т. Л. Гинзбург-Карагичева (1936, 1947), О. Ю. Волкова (1946), Л. Д. Штурм (1950), Л. К. Осипцкая (1954, 1958), З. А. Колесник (1955), С. И. Кузнецов (1955, 1966), Т. Л. Симакова (1966), Л. Е. Крамаренко (1956, 1962, 1968, 1972, 1973, 1979, 1983), Е. Н. Дутова (1956, 1961), З. И. Кузнецова (1957, 1959, 1963), М. С. Гуревич (1958), И. К. Норенкова (1959, 1966), М. Е. Альтовский (1958, 1962), В. А. Кузнецова (1960, 1964), З. П. Телегина (1961), В. Л. Мехтиева (1962), М. В. Иванов (1964), Г. А. Заварзин (1964), Т. Н. Жилина (1964), Е. Н. Розанова (1964, 1971, 1980), А. А. Оборин (1979), Н. А. Трифонова (1995) и многие другие. Непосредственно микрофлорой минеральных вод Томской области занималась Т. М. Тронова (1974).

Количественное содержание и характер распределения микроорганизмов в подземных водах определяется физико-химическими условиями окружающей их водной среды. Разнообразие вод по химическому, газовому составу, температуре и другим показателям создает в системе «вода – порода – газ – органическое вещество» условия, как стимулирующие, так и лимитирующие бактериальную жизнь [4]. В связи с этим интерес представляет изучение особенностей микробиологического состава вод, формирующихся в достаточно уникальной геохимической среде.

В регионе сильнощелочные воды встречены в двух скважинах: 1) Чулымской, на глубине 1266 – 1277 м (отложения нижнего мела) и 2) Касской, в интервалах глубин 640 – 710 (K_2) и 1030 – 1040 м (K_1). Площадное развитие этих вод определить трудно, так как не хватает данных. В геолого-структурном отношении территория исследований находится в зоне

Чулымского прогиба Западно-Сибирской плиты. В гидрогеологическом отношении участок приурочен к Чулымскому артезианскому бассейну. В зоне развития высокощелочных вод отсутствует региональный мел-палеогеновый водоупор (рис. 1), поэтому граница зоны активного водообмена опускается на глубину до 2 км. Питание вод происходит с Алтае-Саянского горного обрамления. Продуктивный водоносный горизонт приурочен к илекской свите, представленной осадочными обломочными породами (песчаниками и алевролитами) нижнемелового возраста (K_1il) континентального генезиса. Отложения состоят из песков, песчаников и алевролитов, в основном, кварцево-полевошпатовых, реже конгломератов.

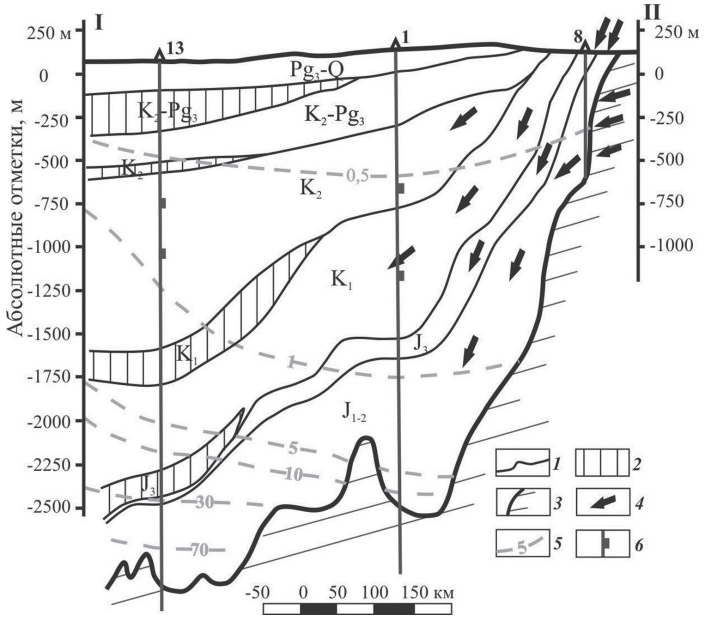


Рис. 1. Схематический гидрогеохимический профиль через скважины Колпашевская (13) – Чулымская (1) – Ачинская (8):

1 – стратиграфические границы; 2 – глинистые практически неводоносные породы; 3 – породы доюрского фундамента; 4 – направление движения инфильтрационных вод; 5 – изолинии минерализации, г/л; 6 –интервалы обнаружения сильнощелочных вод с pH >9

Чулымская опорная скважина находится в 1,5 км от с. Тегульдет и в 200 км от г. Томска. Пробурена в 1956 г. до глубины 3001 м в связи с поисками нефти и газа. С 1993 г. из нее добывается питьевая лечебно-столовая вода «Омега». Касская опорная скважина административно находится на территории Красноярского края. Скважина законсервирована и нет возможности для ее опробования, имеются лишь литературные данные по составу вод.

Детально изучен химический, газовый и изотопный состав щелочных вод, которые эксплуатируются (скважина Чулымская) [1–3]. Как показывают полученные данные, состав вод является достаточно стабильным в течение всего периода наблюдений (более 15 лет): воды постоянно являются исключительно маломинерализованными, сильно щелочными, HCO_3—Na (содовыми), отличаются низким содержанием ионов SO_4, Cl, Ca, Mg, K, Fe, B, Cорг (до 1,5 мг/л), но повышенными содержаниями SiO_2. По составу эти воды близки азотным термам Забайкалья.

В газовом составе преобладает азот (76 – 77%), затем кислород (18 – 19%), в небольших количествах присутствует метан (0,5%). До 1994 г. в воде отмечалось присутствие сероводорода, но в дальнейшем он не обнаруживался.

Судя по изотопным данным H и O воды и C^{13} иона HCO_3^-, исследуемые щелочные воды по генезису являются метеорными. Изотопный состав углерода растворенного иона HCO_3^- $\delta^{13}C(HCO_3^-)$ имеет резко облегченное значение (–30,3‰), что объясняется биогенным генезисом CO_2, формирующимся за счет окисления органического вещества, рассеянного в горных породах.

В преобразовании органического вещества, а значит, в формировании состава вод, активно помогает микрофлора. В процессе жизнедеятельности микроорганизмов изменяется баланс углерода, азота, серы и других элементов. При этом образуются CO_2, CH_4, NO_3, NO_2, N_2, NH_3, H_2, H_2S, SO_4. Особенно значительная роль в преобразовании химического состава подземных вод принадлежит гетеротрофным микроорганизмам, осуществляющим деструкцию органических веществ. Так, по данным С. Л. Шварцева, Е. В. Пиннекера, А. И. Перельмана и других (1982), причиной широкого распространения в верхних горизонтах земной коры подземных вод гидрокарбонатного кальциевого состава является разложение органического вещества микроорганизмами в условиях влажного климата и инертных пород.

Время существования микроорганизмов ограничивается 30 – 400 сут. Их численность и видовое разнообразие определяется, прежде всего, присутствием в воде органических веществ, а также составом, минерализацией и температурой подземных вод. В пресных водах находятся живые организмы – дясятки-сотни тысяч бактерий в 1 мл. Это, главным образом, гнилостные бактерии и сапрофиты. Кроме того, функционируют водородоокисляющие, денитрифицирующие, разлагающие клетчатку, железоокисляющие, метанобразующие и другие бактерии. Для глубокозалегающих артезианских вод, благодаря защищенности водоносных толщ, обычно характерно почти полное отсутствие микроорганизмов [5]. Что касается кислотно-щелочных условий, то оптимум pH большинства бактерий составляет около 7. При высоких pH (как в нашем случае) растворимость многих катионов (Fe^{3+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Mn^{+}), необходимых клетке, резко понижается, они выпадают в осадок и становятся недоступными для организма.

При исследовании микрофлоры уникальных щелочных подземных вод скважины Чулымской использовались классические методики, принятые в микробиологии (Родига, 1964; Кузнецов и др., 1974; Методы общей бактериологии, под ред. Герхарда, 1983). Микробиологический анализ производили после отбора проб, как правило, без стадии хранения или в течение суток, при этом пробы хранились в сумке-холодильнике. Для выявления микроорганизмов использовали жидкие и твердые элективные питательные среды.

Исследования показали, что микрофлора вод представлена достаточно однообразно, всего шестью физиологическими группами микроорганизмов, осуществляющих деструкцию органических и минеральных веществ: олиготрофами, железоокисляющими, сапрофитами, нефтеокисляющими, денитрифицирующими и сульфатвосстанавливающими бактериями (таблица). Для сравнения в таблице также приведены данные по подземным водам меловых отложений региона (районы нефтяных месторождений и Бакчарского железорудного). В данных водах микрофлора довольно разнообразна – более 15 – 20 физиологических групп (не все они представлены в таблице). Однако по количеству бактерий воды достаточно сопоставимы, даже в случае с высокоминерализованными (около 20 г/л) водами апт-сеноманских отложений. Это объясняется тем, что при таких резко щелочных условиях (pH = 10) мало организмов способно существовать. Но если какой-то организм приспособился к среде, то это обеспечило ему преимущество к росту, поскольку резко ограничена конкуренция со стороны других организмов.

Наиболее распространенными в подземных водах по способу питания являются гетеротрофные микроорганизмы (рис. 2), т.е. использующие для синтеза своего организма готовые органические вещества. Автотрофные, использующие углерод неорганических соединений, присутствуют единично – железобактерии и денитрифицирующие.

Из гетеротрофных доминирующую численность имеют олиготрофные бактерии (в десятки раз по сравнению с сапрофитами), которые усваивают сложные органические соединения и свидетельствуют об олиготрофности микробиоценозов данных вод. Это же подтверждает и высокий индекс олиготрофности, равный 2,7, который характеризует способность микробного сообщества ассимилировать из рассеянного состояния элементы питания. Чем выше его значение, тем к более бедным условиям питания приспособлены микроорганизмы. Это и понятно, учитывая низкую минерализацию и низкий показатель $C_{орг}$.

Микробиологический состав подземных вод региона, кол-во в 1 мл воды

Физиологические группы бактерий	Геохи-мический цикл	**Щелочная вода скв. Чулымской**	Пресные воды K_1 отложений региона [6]	Минерализованные воды K_2 нефтяных отложений региона [7]
Олиготрофы	C	**125 500**	8600–472000 138 500	990–685000 178700
Гетеротрофные железоокисляющие, кл/мл	C, Fe	**23 000**	0–3800 940	0–1200 139
Психрофильные сапрофиты (при t от 0 до 20º C)	C	**45 500**	127-533 350	120–450000 156 330
Мезофильные сапрофиты (при t от 20 до 40º C)	C	**540**	0–539 26	–
Нефтеокисляющие, кл/мл	C	**240**	432–580 500	80–260000 54500
Денитрифицирующие, кл/мл	N	**100**	25–40 34	0–10000 770
Сульфатвосстанавливающие, кл/мл	S	**10**	10–100 53	0–10000 398
Индекс олиготрофности	C	**2,7**	1,1–9,1 3,2	~0,003
Кол-во проб	–	**1**	6	26

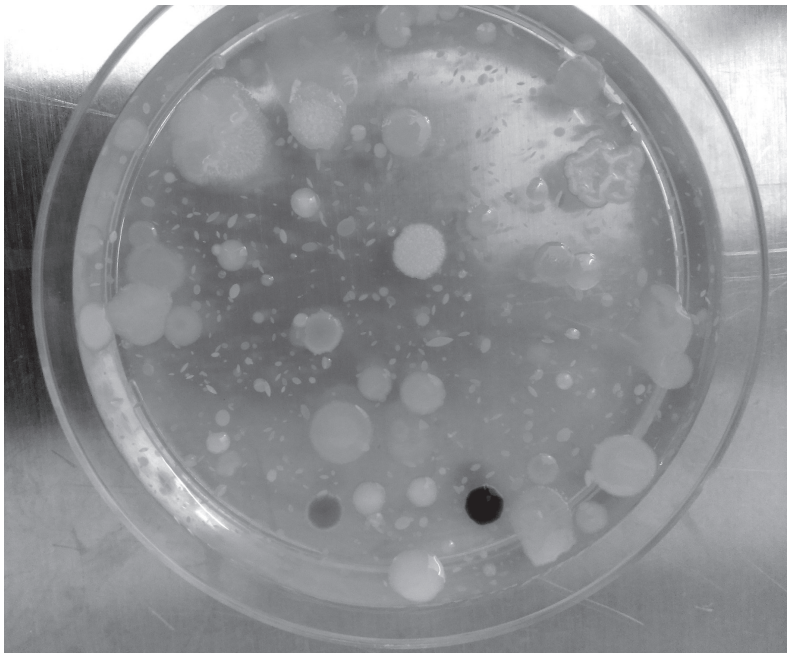


Рис. 2. Гетеротрофные микроорганизмы на мясо-пептонном агаре из щелочной воды скважины Чулымской

По отношению к температуре среды выделяют следующие группы микроорганизмов: психрофилы (рост в диапазоне от 0 до 20º C), мезофилы (при t от 20 до 40º C), термофилы (выше 50º C). В данном случае распространение получили психрофилы, их в десятки раз больше, чем мезофилов, несмотря на то, что температура в пласте более 21º C. Видимо, психрофилы более приспособлены к щелочным условиям.

Среди органотрофных микроорганизмов в пробе присутствуют железоокисляющие и нефтеокисляющие бактерии. Содержание последних в водах незначительно и составляет 240 кл/мл. Нефтетолерантных бактерий, разлагающих бензол, толуол, пентан, гексан, гептан,

октан и фенол, вообще, не обнаружено. Несмотря на то, что в регионе железобактерии широко распространены, поскольку широко распространены железосодержащие воды, в данном случае высокие значения этого показателя (23 000 кл/мл!) связаны с плохим состоянием (коррозией) трубы эксплуатационной колонны скважины, что создает благоприятные условия для развития этих бактерий. Содержание Fe в самой минеральной воде очень низкое – менее пределов обнаружения.

Сульфатвосстанавливающие бактерии обнаружены в малом количестве (10 кл/мл). Данные бактерии являются гетеротрофными и могут развиваться даже в присутствии сравнительно небольшого количества органических веществ. Сульфатвосстанавливающие бактерии в результате своей жизнедеятельности восстанавливают соединения минеральной серы до сероводорода. До 1994 г., по данным НИИ Курортологии, в составе газа фиксировался сероводород. Данный процесс называется десульфофикацией и связан с появлением подвижных форм водорода, возникающего при окислении органического вещества [5].

Данные воды характеризуются низкой интенсивностью развития нитрификаторов. Установлено, что в подземных водах данной скважины не обнаружены нитрифицирующие бактерии, а численность денитрифицирующих бактерий минимальна и составляет 100 кл/мл. Это объясняется тем, что в водах практически отсутствуют органические вещества как гумусового ряда, так и легко разлагаемая органика. Денитрифицирующие бактерии участвуют в процессе восстановления нитратов до нитритов, аммиака и молекулярного азота. При анаэробных условиях среды, то есть при отсутствии O_2, гидрогеохимическое значение данных бактерий в круговороте азота заключается в накоплении в водах NH_4.

Таким образом, уникальные сильно щелочные пресные воды Чулымского бассейна подготовили среду для развития специфического микробиологического пейзажа. Основные его черты: низкое видовое разнообразие, связанное с бедностью питания (низкие минерализация и содержание органических веществ), но при этом высокое количество клеток внутри вида, рост которых обусловлен отсутствием конкуренции со стороны других организмов в таких экстремальных щелочных условиях.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-31095-мол_а.

Список литературы

1. Лепокурова, О. Е. Геохимия уникальных пресных щелочных вод Чулымского бассейна / О. Е. Лепокурова // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 365. – С. 181–186.

2. Шварцев, С. Л. Уникальные щелочные воды в Чулымском бассейне (Западная Сибирь) / С. Л. Шварцев, О. Е. Лепокурова // Доклады академии наук. – 2014. — Т. 459, № 3. – С. 357–362.

3. Лепокурова, О. Е. Микрокомпонентный состав сильно щелочных вод в скважине Чулымской («Омега», Томская область) / О. Е. Лепокурова // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 385. – С. 181–185.

4. Наливайко, Н. Г. Микрофлора подземных вод города Томска как критерий их экологического состояния : дис. … канд. геол.-минерал. наук / Н. Г. Наливайко. – Томск, 2000. – 190 с.

5. Крамаренко, Л. Е. Геохимическое и поисковое значение микроорганизмов подземных вод / Л. Е. Крамаренко. – Л. : Недра, 1983. – 184 с.

6. Иванова, И. С. Микробиологический состав подземных вод на территории Бакчарского железорудного месторождения / И. С. Иванова, О. Е. Лепокурова // Науки о земле. Современное состояние : материалы II Всероссийской молодежной научно-практической школы-конференции. – Новосибирск : РИЦ НГУ, 2014. – С. 169–171.

7. Наливайко, Н. Г. Микрофлора апт-сеноманских вод нефтяных месторождений Томской области / Н. Г. Наливайко, Е. Ю. Пасечник // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 2. – С. 29–34.

КАРТИРОВАНИЕ ЗОН И ОЧАГОВ ГЛУБИННОЙ РАЗГРУЗКИ ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЛЕНО-ТУНГУССКОЙ НГП

Литвинова И. В.[1], Шаманова А. А.[2]
[1] ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск, litvinova@sniiggims.ru;
[2] ФГУП «СНИИГГиМС», г. Новосибирск, shamanova@sniiggims.ru

Аннотация. Картируемые очаги и зоны аномально высоких пластовых давлений осадочного разреза отражают современные тектонические процессы и связаны с активными разломами. Их изучение продолжается методами нефтегазопоисковой гидрогеохимии, помогающими выявить и закартировать гидрогеохимические аномалии в современном ландшафте, которые закономерно группируются в виде линейных зон/очагов разгрузки глубинных флюидов и в виде участков вторичного гидротермального преобразования /проработки/ пород.
Ключевые слова: *активные разломы, минерализованные воды, палеоразгрузка.*

Abstract. Mapping centres and zones with high abnormal formation pressure of sedimentary cross-section show neotectonic activities and connected with dynamic fractures. Their study continues with methods of hydrogeochemical exploration for oil and gas. The methods permit to find and to map hydrogeochemical abnormalities of the landscape which group as linear zones/centres of the discharge of deep fluids and as areas secondary hydrothermal transformation of rocks.
Key words: *dynamic fractures, mineralized waters, paleorelief.*

Тематическими работами на месторождениях-эталонах и структурах с доказанной нефтеносностью разреза установлено, что продуктивные площади и объекты нередко проявляются, как комплексные гидрогеологические аномалии: термо- и пьезомаксимумы, гидрогеохимические ореолы рассеяния вокруг залежей, геохимические аномалии в ландшафте. Все эти аномалии взаимосвязаны причинно и зачастую пространственно. Поэтому выявление и анализ их распределения в гидродинамическом поле позволяет выявить геотектонический каркас флюидопроводящих зон /разломов/ и стабильных тектонических блоков, которые контролируют поступление флюидов, формирование и сохранность скоплений углеводородов в осадочном чехле [1–5].

Для выделения новых зон нефтегазонакопления используют комплекс геологических методов. Гидрогеологическая задача – выявить и закартировать гидрогеохимические аномалии в современном ландшафте. Эта задача решалась на основе систематизации и анализа обширного накопленного гидрогеохимического материала, подкрепленного целевым опробованием в ходе заверочных/поисковых гидрогеохимических маршрутов по зонам тектонического ограничения Присаяно-Енисейской синеклизы и ее внутренних контрастных структур.

В качестве прототипа карты разгрузки использована карта распространения зон и очагов современной и древней разгрузки флюидов В. И. Вожова [6], значительно дополненная фактическим материалом. Для построения карты разгрузки обобщены фондовые и литературные источники [7] и др. При сборе материала большое внимание уделялось гидрогеологическим исследованиям при поисках полезных ископаемых, описанию гидрогеологических условий территорий и описанию восходящих источников подземных вод, минеральных и грязевых озер, проявлений нефти и газа (битумопроявлений) в приповерхностной части разреза. Важным моментом в сборе информации о местах разгрузки флюидов был поиск данных по территориям последующего затопления в Иркутской области и Красноярском крае водохранилищами Ангарского каскада: Иркутским, Братским, Усть-Илимским, Богучанским.

Для подтверждения внешнего проявления миграции глубинных флюидов использовали следующие показатели: прямые нефтегазопроявления в имеющихся скважинах, прямые поисковые гидрогеохимические показатели – углеводородные ореолы в ландшафте.

Выделяются глубинные (скрытые) и поверхностные (ландшафтные) проявления восходящей разгрузки:

– *внутрипластовые гидрогеохимические аномалии* в осадочном чехле – скрытые очаги восходящей разгрузки флюидов, очаги обнаруживают только буровыми и геофизическими

работами на фоне сложившейся вертикальной гидрогеохимической зональности разреза. Например, хлоридные кальциевые рассолы с повышенной минерализацией в верхней части разреза свидетельствуют о восходящей миграции флюидов. Такие аномалии отмечены на площадях Южно-Усть-Кутской, Коркинской, Шелонинской, Зиминской и др. Выделяемые электроразведкой низкоомные высокопроводящие зоны пород заполнены рассолами и рассматриваются как древние очаги и зоны разгрузки [6].

– *вторичные нефтебитумопроявления* непосредственно в приповерхностной зоне – одно из свидетельств вертикальной миграции. Следствием вертикального перемещения рассолов являются включения битумов в порах, кавернах, трещинах. Интересны нахождения жидкой нефти и битумов в трубках взрыва [8] (рисунок).

– *поверхностные гидрогеохимические аномалии* проявляются источниками минерализованных вод в различной степени разбавления. Особенно интенсивный подток наблюдается в с. Верхнемарково, с. Жигалово на р. Лене, с. Усолье-Сибирское на реке Ангаре, в устье р. Чадобец, а также на реках: Киренга, Кута, Ичера, Непа, Илим, Бирюса, Усолка и др. [9]. Рассолы многих очагов разгрузки обладают высоким содержанием радона. Радоновые рассолы приурочены к тектоническим нарушениям. Аномальное содержание радона в соленых родниковых водах - прямой показатель глубинной разгрузки рассолов [10] (рисунок).

– *соленые и грязевые озера* со специфическими свойствами состава, которые используют для лечебных целей здравницы Иркутской области и Красноярского края. Отмечена приуроченность данных озер к системе тектонических нарушений (см. рисунок).

Картирование зон и очагов подкреплено результатами собственных наблюдений.

– *Северный борт Присаяно-Енисейской синеклизы* в Ангарской зоне складок. В зоне Ангарских складок выполнено гидрогеохимическое опробование р. Ангары на участке пересечения Берямбинского, Агалеевского, Имбинского, Абаканского месторождений для выявления мест глубинной разгрузки и оценки гидродинамической закрытости нефтегазоносных резервуаров этих месторождений, залегающих в условиях аномально высоких пластовых давлений. По данным опробования составлена Карта зон и очагов глубинной разгрузки зоны Ангарских складок по рекам Ангара и Иркинеева [11]. На реке Иркинеевой разгрузка связана со сдвигово-надвиговыми дислокациями на тектоническом контакте Иркинеевского выступа и Байкитской антеклизы (см. рисунок).

– *Восточный борт Присаяно-Енисейской синеклизы* в районе Окино-Вихоревского и Заярского глубинных разломов. Гидрогеологический маршрут с опробованием вдоль зоны Окино-Вихоревского регионального глубинного разлома прошел по рекам Ока, Ангара (Братское и Усть-Илимское водохранилища), Кова и их притокам. По данным придонного гидрогеохимического опробования в Окинском заливе Братского водохранилища установлены аномальные содержания водорастворенных ароматических УВ: в зоне Окино-Вихоревского и Заярского глубинных разломов сумма бензола и толуола достигает значения 0,65 мг/л. На этом же отрезке установлены аномальные содержания металлов (Ti, Cr, Mn, Co, Zn, Mo, Ba, Pb, лантаноиды). На Кова-Вихоревском участке наиболее контрастные аномалии фиксируются непосредственно в р. Вихоревке, которая протекает на этом отрезке течения по глубинному разлому. Состав вод здесь резко отличается от «обычных» пресных гидрокарбонатных кальциевых и магниево-кальциевых вод и становится хлоридным натриевым. Высокая доля хлора в воде сохраняется и в долине р. Ангары, которая на этом участке также трассирует разломную зону (см. рисунок).

– *Зона Заярского и Ангаро-Вилюйского глубинных разломов* – основным объектом полевого изучения был Литвинцевский вал на всем его протяжении от Заярска до Рудногорска (ЮЗ-СВ 150 км). Структура Литвинцевского вала контролируется Заярским глубинным разломом. Она осложнена ортогональными к главной оси сдвигами, с которыми связаны палеовулканические структуры – трубки взрыва, им сопутствуют проявления гидротермальной минерализации, современная разгрузка минеральных вод. Второй отрезок маршрута гидрогеохимического опробования связан с Илимо-Киренской разломной сдвиговой зоной, которая контролирует ЮВ-СЗ

Карта проявлений восходящей разгрузки глубинных флюидов в южной части Лено-Тунгусской НГП.

Разрывные нарушения: 1 – зоны проводящих глубинных разломов, 2 – дизъюктивный каркас. Проявления и показатели современной восходящей разгрузки: 3 – гидрогеохимические показатели: а – воды смешанного состава повышенной минерализации, б – радоновые воды; 4 – лечебные минеральные озера и грязи; 5 – гидрогеохимические аномалии по содержанию толуола, бензола и водорастворенных газов в воде. Показатели древней разгрузки: 6 – трубки взрыва, вулкано-структуры, 7 – поля концентраций секущих даек; битумопроявления: 8 – в верхней части разреза и на поверхности, 9 – в разрезе глубоких скважин, 10 – нефтепроявления в трубках взрыва. Границы структур: 11 – границы нефтегазоносных областей, 12 – границы структур первого и второго порядка: 1 – Камоский свод, 2 – Ангарская зона складок, 3 – Богучано-Манзинский выступ, 4 – Мурско-Чунская впадина, 5 – Долгомосовская впадина, 6 – Катская впадина, 7 – Ковыктинский выступ, 8 – Непский свод, 9 – Братский выступ; 13 – месторождения углеводородов, 14 – опорные геофизические маршруты,15 – контуры зон палеоразгрузки, 16 – контуры зон современной разгрузки на поверхности; зоны межпластовой разгрузки; 17 – субвертикальные проводящие зоны, выделенные по геофизическим данным, данным бурения и испытания скважин и данным поверхностного газогидрогеохимического опробования

течение нижнего Илима. Третий – Усть-Илимский участок опробования – находится в пределах обширного туфового и базальтового поля, обозначившего южную границу Тунгусской синеклизы. Это зона Ангаро-Вилюйского глубинного разлома, с которым связана интенсивная палеовулканическая и гидротермальная активность. Все зоны подтверждены современными гидрогеохимическими аномалиями (содержанием водорастворенных ароматических УВ, резким изменением химического состава вод в очагах разгрузки, содержание водорастворенных газов смешанного генезиса) (см. рисунок). Зафиксирована придонная разгрузка соленых вод в русловой части Илимского водохранилища на глубинах более 20 м.

Рассмотренный материал приводит к выводу о том, что восходящая разгрузка имеет широкое распространение. Перемещение рассолов происходит по «отдельным секторам, поэтому в одних и тех же литологических массивах, наряду с водообильными блоками, могут существовать и блоки безводные» [12]. Картирование позволило выделить дизъюнктивный проводящий каркас в земной коре и «стабильные блоки» – поля отсутствия или развития слабых гидрогеохимических аномалий в ландшафте, оконтуренные очагами/зонами активной разгрузки с контрастными аномалиями поисковых геохимических показателей. Эти блоки прогнозируются как перспективные зоны нефтегазонакопления.

Список литературы

1. Дюнин, В. И. Гидрогеодинамика глубоких горизонтов нефтегазоносных бассейнов / В. И. Дюнин. – М. : Научный мир, 2000. – 472 с.

2. Колодий, В. В. Подземные конденсационные и солюционные воды нефтяных и газовых месторождений / В. В. Колодий. – Киев : Наукова думка, 1975. – 121 с.

3. Ильченко, В. П. Гидрогеохимические показатели раздельного прогноза залежей газа, газоконденсата и нефти в Предкавказье / В. П. Ильченко. – М., 1984. – 40 с. (Геол. методы поисков и разведки м-ний нефти и газа. Обзор/ВИЭМС).

4. Сурнин, А. И. Гидрогеохимическая инверсия в разрезе Линденской впадины / А. И. Сурнин // Геология нефти и газа. – 1986. – № 2. – С. 48–52.

5. Нефтегазоносность докембрийских толщ Восточной Сибири на примере Куюмбинско-Юрубчено-Тохомского ареала нефтегазонакопления / В. В. Харахинов, С. И. Шленкин ; НТК «Славнефть», ОАО, Славнефть – Научно-производственный центр, ООО. – М. : Научный мир, 2011. – 420 с.

6. Вожов, В. И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции / В. И. Вожов ; Рос. академия наук (М.), Сибирский научно-исслед. институт геологии геофизики и минерального сырья (Новосибирск). – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2006. – 209 с.

7. Минеральные воды южной части Восточной Сибири / Восточно-Сибирский геологический ин-т СО АН СССР (Иркутск). Т. 2. Минеральные источники, скважины, вскрывающие минеральные воды, и минеральные озера (каталоги) / [ред. : Н. А. Власов, В. Г. Ткачук, Н. И. Толстихин ; сост. А. И. Крутикова [и др.]]. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1961.

8. Бескровный, Н. С. Геологические условия нефтепроявлений в вулканических трубках Сибирской платформы // Геологический сборник : сб. ст. № 5 / Всесоюз. нефтяной научно-исслед. геолого-разведочный ин-т (Л.). – Л. : Гостоптехиздат. Ленингр. отд-ние, 1960. – 599 с. – (Тр. Всесоюз. нефтяного научно-исслед. геолого-разведочного ин-та (ВНИГРИ) ; вып. 163).

9. Пиннекер, Е. В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна (закономерности размещения, состав, динамика, формирование и использование) / Е. В. Пиннекер ; [ред. В. Г. Ткачук] ; Институт земной коры СО АН СССР (Иркутск). – М. : Наука, 1966. – 332 с.

10. Дзюба, А. А. Разгрузка рассолов Сибирской платформы / А. А. Дзюба ; [ред. Е. В. Пиннекер] ; Ин-т земной коры СО АН СССР. – Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1984. – 157 с.

11. Картирование зон глубинной разгрузки гидрогеохимическими методами в Ангарской зоне складок / А. А. Кряжев, Д. С. Малков, А. И. Сурнин // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от Обручева В. А., Усова М. А., Урванцева Н. Н. до наших дней. – Томск, 2013.

12. Силин-Бекчурин, А. И. Движение глубоких подземных вод / А. И. Силин-Бекчурин // Геохимические методы поисков нефтяных и газовых месторождений : тр. совещания по геохимическим методам (Москва, апр. 1958 г.) / Институт геологии и разработки горючих ископаемых (М.), Академия наук СССР ; ред. В. А. Соколов. – М. : Изд-во АН СССР, 1959.

ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПРАКТИЧЕСКИ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫХ АРХЕЙСКИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОДАХ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙСКОГО КРЯЖА

Озерский А. Ю., Караулов В. А.
ОАО «Красноярская горно-геологическая компания», г. Красноярск

Аннотация. Рассматриваются гидрогеологические условия в массиве архейских водонепроницаемых пород. Архейские гнейсы практически водонепроницаемы, их средний коэффициент фильтрации равен 0,0007 м/сут. Подземные воды характеризуются низкой минерализацией, гидрокарбонатным кальциевым составом, щелочной реакцией и восстановительной обстановкой.
Ключевые слова: *архей, гнейс, водонепроницаемые породы, коэффициент фильтрации.*

Abstract. Hydrogeological features of archean metamorphic impermeable rocks are shown. Archaean gneisses are almost impermeable, their average hydraulic conductivity is 0.0007 m/day. Ground water is characterized by low TDS, hydrocarbonate calcium ionic composition, alkaline and reductive conditions.
Key words: *Archean, gneiss, impermeable rock , hydraulic conductivity.*

Введение. В 2008 – 2012 гг. ОАО «Красноярская горно-геологическая компания» (ОАО «Красноярскгеология») принимало участие в комплексном геологическом изучении перспективного участка подземного строительства в южной (Ангаро-Канской) части Енисейского кряжа. Объектом исследований были монолитные практически водонепроницаемые архейские породы. Существенной частью комплексного изучения были гидрогеологические исследования, в которые входили поинтервальные откачки из глубоких (до 700 м) разведочных скважин и другие традиционные исследования, виды и объемы которых изложены в опубликованных нами ранее работах [1, 2–6, 7, 8]. Гидрогеологические исследования позволили получить обширные оригинальные сведения по формированию подземных вод в кристаллических породах, в том числе в глубинной части гидрогеологического массива. В указанных публикациях мы рассматривали отдельные аспекты этих исследований, а предлагаемая статья представляет обобщение полученных результатов.

Геолого-структурные особенности. Енисейский кряж формирует юго-западное складчатое обрамление Сибирского кратона. В соответствии с современными представлениями южный фрагмент Енисейского кряжа (Ангаро-Канский террейн), расположенный южнее Ангары, представляет собой микроконтинент, аккреция которого к Сибирского кратону произошла в байкальскую эпоху. Наиболее древние нижнеархейские породы террейна были метаморфизованы в условиях гранулитовой фации 1,8 – 1,9 млрд лет назад, а возраст осадочного протолита этих пород считается более древним – 2,5 – 2,7 млрд лет [9, 10].

Изученный массив пород находится в крайней юго-западной части Ангаро-Канского террейна, в осевой водораздельной зоне Атамановского хребта, соединяющего горные структуры Восточного Саяна и Енисейского кряжа (рис. 1). Массив образован интенсивно складчатыми нижнеархейскими гнейсами, пронизанными дайками долеритов и габбро-диабазов. Гнейсы формируют около $^{4}/_{5}$ геологического разреза. Преобладающими минералами гнейсов являются кварц, плагиоклаз, калиевый полевой шпат, биотит, мусковит силлиманит и кордиерит.

Дайки долеритов в современном виде представлены глубоко метаморфизованными породами, зачастую превращенными в ортоамфиболиты, в связи с чем ниже мы их называем *метадолеритами*. Минеральный состав даек сформирован плагиоклазом № 47, актинолитом или роговой обманкой, диопсидом и кварцем [3].

Гнейсы вместе с секущими их дайками слагают фрагмент северо-восточного крыла крупной куполообразной гнейсовой структуры, которая разбита разрывными нарушениями на крупные тектонические блоки.

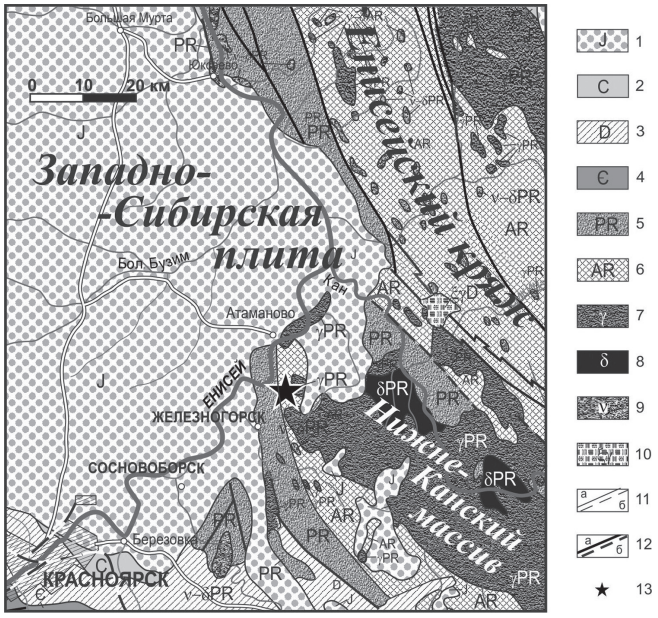


Рис. 1. Схематическая обзорная геологическая карта.
Осадочные отложения: 1 – юрские; 2 – каменноугольные; 3 – девонские. Метаморфические породы: 4 – кембрийские; 5 – протерозойские; 6 – архейские. Интрузивные породы: 7 – граниты, гранодиориты; 8– диориты; 9 – габбро, долериты; 10 – щелочные граниты, сиениты. Прочие обозначения: 11 – границы разновозрастных геологических образований, достоверные (а) и предполагаемые (б); 12 – разрывные нарушения, достоверные (а) и предполагаемые (б); 13 – изученный участок

Высокий уровень метаморфизма обусловливает большие прочность и крепость коренных кристаллических пород, уровень ослабления которых определяется только наличием трещиноватости. В зависимости от степени трещиноватости средний предел прочности образцов при одноосном сжатии у гнейсов варьирует от 78,6 до 104 МПа, а метадолеритов – в пределах 117 – 182 МПа. Трещиноватость в массиве развита слабо, причем большинство трещин сцементированы продуктами метасоматоза и жильными образованиями. Мощность зоны открытой трещиноватости пород в изученной части массива не превышает 100 м, а ниже по разрезу трещиноватость пород незначительна.

С поверхности участок перекрыт сплошным чехлом четвертичных элювиально-делювиальных отложений: суглинков, супесей и песков с включением дресвы и щебня подстилающих пород. Покровные отложения, мощность которых достигает 41 м, в основном, слабопроницаемы, не играют существенной роли в обводнении массива и ниже не рассматриваются.

Геофильтрационная среда. Специфической особенностью изученного массива является преобладание в нем формально (по ГОСТ 25100-2011) водонепроницаемых пород. Тем не менее по условиям обводненности, распространения и движения подземных вод на площади работ в массиве отчетливо выделяются следующие гидрогеологические подразделения: 1) локально слабоводоносная зона экзогенной трещиноватости раннеархейских пород; 2) водонепроницаемая зона раннеархейских пород. Первая зона распространена до глубины 80 – 100 м и характеризуется наличием в общей водонепроницаемой толще слабоводоносных линз и зон, приуроченных, как правило, к эрозионным врезам. На локальных участках присутствия слабоводоносных пород первая зона практически не отличается от водоносных зон трещиноватости, распространенных в других гидрогеологических массивах и, в основном, соответствует классическим представлениям.

Геофильтрационная среда второй зоны достаточно разнообразна, однако проницаемость отдельных ее интервалов преимущественно обусловлена одним из видов коллекторов, по мере их значимости в общей водопропускной способности. По результатам испытаний можно выделить следующие типы коллекторов:

- нанопоровый, с коэффициентами фильтрации ($К_ф$) порядка $n \cdot 10^{-5} – n \cdot 10^{-6}$ м/сут, характерный для монолитных нетрещиноватых пород, проницаемость которых, по-видимому, обусловлена межзерновыми интерстициями;
- нанотрещинный, с $К_ф$ порядка $n \cdot 10^{-4}$ м/сут, связанный с экзогенными трещинами и трещиноватостью, обусловленной напряженным состоянием массива;

- микротрещинно-жильный, с $К_ф$ порядка $n \cdot 10^{-3}$ м/сут и более, обусловленный развитием трещин выветривания, распространенным по отдельным контактам долеритов и гнейсов и редкими тектоническими разрывами.

Нанопоровый коллектор выявлен лабораторными испытаниями керна, но он не проявляется при фильтрационных испытаниях из-за крайне низкой проницаемости (таблица).

Средние открытая пористость и проницаемость в образцах архейских пород [5, 8]

Породы, кол-во анализов	Открытая пористость, %	Газопроницаемость, мД / коэффициент фильтрации, м/сут	
		Параллельно полосчатости	Перпенд. полосчатости
Гнейсы, N = 24	0,35	$0,020 / 1,2 \cdot 10^{-5}$	$0,014 / 8,3 \cdot 10^{-6}$
Метадолериты, N = 8	0,25	$0,009 / 5,4 \cdot 10^{-6}$	$0,009 / 5,4 \cdot 10^{-6}$

При такой проницаемости монолитные породы способны пропускать через себя воду только под действием достаточно больших перепадов давлений, превышающих 10 ат. Это находит подтверждение в результатах фильтрационных испытаний отдельных монолитных интервалов, в которых другие коллекторы отсутствовали. После снижения уровня в них на 100 и более метров восстановление уровня составляло первые метры, после чего уровень стабилизировался и более не повышался.

Нанотрещинный тип коллекторов является преобладающим во всем изученном массиве. Опытно-фильтрационные работы показали, что в пределах всего участка от его поверхности до изученной глубины (700 м) преобладающими являются водонепроницаемые породы со средним коэффициентом фильтрации около 0,0007 м/сут. При этом изученный участок недр не может рассматриваться как классический трещиноватый гидрогеологический массив, имеющий гидравлически единую систему трещиноватости, в которой статические уровни подземных вод в смежных интервалах опробования должны быть близки либо подчиняться общей закономерности. Напротив, в изученном массиве широко распространены разнонаправленные изменения уровней, достигающие десятки метров.

Микротрещинно-жильный тип коллекторов имеет ограниченное распространение. При наличии такого коллектора в испытуемом интервале водопроводимость отдельных интервалов обычно превышает 0,3 $м^2$/сут.

Питание подземных вод происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, на что указывает их химический состав. О проникновении метеорных вод можно судить по глубине распространения выветрелых пород, которые были встречены в большинстве скважин на значительных глубинах. По-видимому, первоначально фильтрация происходила по унаследованным направлениям (трещинам отдельности). По мере заполнения трещин продуктами выветривания скорость инфильтрации снижалась, а ее направление могло изменяться по мере образования новых трещин.

В настоящее время миграция подземных вод не имеет строгого направления, что подтверждается разнонаправленными вертикальными напорными градиентами для смежных интервалов. Проникновение подземных вод с поверхности до глубоких интервалов происходит по сложным путям, обусловленным несколькими различными системами трещиноватости [6]. Наличие интервалов, имеющих более низкие отметки уровней, по сравнению с вышезалегающими интервалами однозначно указывает на преобладание горизонтального перемещения над вертикальным. Более проницаемые интервалы, как правило, имеют более низкие отметки. На рис. 2 показаны результаты поинтервальных испытаний характерных скважин.

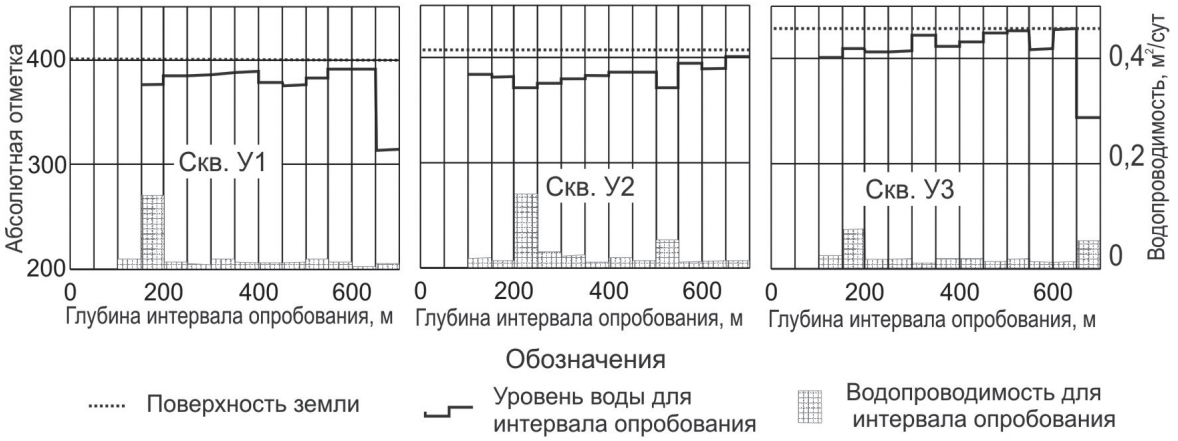


Рис. 2. Результаты поинтервальных испытаний характерных скважин

Из рис. 2 видно, что отсутствие явных закономерностей между уровнем воды и проницаемостью испытуемых интервалов указывает на сложную, многофакторную миграцию подземных вод, которая не может быть описана единой формальной моделью, содержащей стандартный набор фильтрационных и миграционных параметров.

Разгрузка подземных вод происходит, вероятно, в региональную дрену – р. Енисей в субвертикальном, восходящем направлении.

Формирование химического состава подземных вод происходит в результате углекислотного гидролитического выщелачивания силикатных минералов, главным образом калиевых и натриевых полевых шпатов. В результате в массиве формируются пресные гидрокарбонатные кальциевые и натриево-кальциевые воды. Гидрогеохимическая поясность массива слабо выражена и определяется, прежде всего, степенью разложения силикатных пород агентами выветривания, которая, в свою очередь, зависит от глубины залегания пород.

По результатам анализов водных вытяжек породы в зоне экзогенной трещиноватости характеризуются наиболее высокой растворимостью – в среднем 637 мг/кг сухой породы. С глубиной растворимость закономерно убывает примерно на 35 мг/кг на 100 м глубины. Ниже глобального базиса дренирования растворимость пород в среднем равна 462 мг/кг.

В химическом составе водных вытяжек из пород преобладает гидрокарбонат-ион, а катионный состав отражает степень выветривания пород. В зоне экзогенной трещиноватости в вытяжках доминирует калий, что показывает высокий уровень разложения устойчивых к выветриванию калиевых полевых шпатов. Глубже доминирующим катионом является натрий, поступающий в водную среду из менее устойчивых плагиоклазов.

Закономерности формирования химического состава подземных вод, выявленные при изучении водных вытяжек из пород, находят свое отражение в гидрогеохимических условиях массива. Минерализация подземных вод изменяется от 140 до 641 мг/л, составляя в среднем 367 мг/л. От поверхности до глобального базиса дренирования минерализация нарастает с глубиной приблизительно на 8,3 мг/л на 100 м. Для глубин 400 – 450 м (абсолютной отметки около 0 м) средняя минерализация равна примерно 400 мг/л. Глубже отметки 0 м происходит снижение средней минерализации до 340 мг/л, что обусловлено существенным снижением растворимости пород. К зоне экзогенной трещиноватости приурочены гидрокарбонатные магниево-кальциевые воды, ниже сменяющиеся на натриево-кальциевые.

Средний водородный показатель pH по полевым определениям составляет 8,0, а среднее значение Eh равно –44,8 мВ. По газовому составу подземные воды относятся к углекисло-азотным (N_2 = 77,6; CO_2 = 16; O_2 = 5,9 об.%). Углекислый газ, вероятно, имеет реликтовое метаморфическое происхождение, что подтверждается ростом концентраций свободной углекислоты с глубиной [4].

В подземных водах питьевые ПДК превышаются за счет Fe, Mn, Al, Cr. Рыбохозяйственные нормативы превышаются в большинстве проб за счет Fe, Cu, Mo, Cr, Zn, NH_4^+, велики также концентрации фосфатов, появляющихся в ¼ проб [3, 7].

Заключение.

1. Архейские кристаллические метаморфические породы южной части Енисейского кряжа, формально считающиеся водонепроницаемыми, содержат небольшое количество гравитационных подземных вод, распространенных, по меньшей мере, до абсолютной глубины –350 м.

2. Проницаемость архейских кристаллических пород обусловлена совместным действием нанопорового, нанотрещинного и микротрещинно-жильного коллекторов. Полностью водонепроницаемый геофильтрационный фон ($К_ф$ = 0,0007 м/сут) обусловлен преимущественно нанотрещинным коллектором.

3. Формирование химического состава подземных вод происходит в результате углекислотного гидролитического выщелачивания силикатных минералов, главным образом калиевых и натриевых полевых шпатов. В результате формируются щелочные пресные гидрокарбонатные кальциевые и натриево-кальциевые воды с преимущественно восстановительной обстановкой.

Список литературы

1. Караулов, В. А. Опыт изучения фильтрационных свойств водонепроницаемых пород Енисейского кряжа / В. А. Караулов, А. Ю. Озерский // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. – Иркутск : Изд-во ООО «Географ», 2012. – С. 530–533.

2. Озерский, А. Ю. Условия фильтрации подземных вод в массиве архейских водонепроницаемых кристаллических пород в южной части Енисейского кряжа / А. Ю. Озерский, В. А. Караулов, И. В. Шрамко [и др.] // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам востока России. Иркутск : Изд-во ООО «Географ», 2012. – С. 360–364.

3. Озерский, А. Ю. Геохимические особенности нижнеархейских пород на участке вероятного подземного строительства в южной части Енисейского кряжа / А. Ю. Озерский // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 7. – С. 39–44.

4. Озерский, А. Ю. Формирование химического состава подземных вод в массиве водонепроницаемых архейских пород в южной части Енисейского кряжа / А. Ю. Озерский // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами : материалы Всероссийской конф. с участием иностранных ученых. – Томск : Изд-во НТЛ, 2012. – С. 158–161.

5. Озерский, А. Ю. Гидрогеологические исследования при изысканиях для подземного строительства в пределах массива кристаллических пород в южной части Енисейского кряжа / А. Ю. Озерский, В. А. Караулов // Инженерные изыскания. – 2012. – № 11. – С. 52–59.

6. Озерский, А. Ю. Особенности фильтрации подземных вод в массиве кристаллических пород в южной части Енисейского кряжа / А. Ю. Озерский // Комплексные проблемы гидрогеологии : тез. докл. науч. конф. Санкт-Петербург, Россия, 23–25 октября 2013 г. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский гос. ун-т, 2013. – С. 110–113.

7. Ozerskiy, A. Trace Elements in the Environment at the Site of probable underground Building in the Nizhnekansky Rock Massif (Siberian Craton) / A. Ozerskiy, D. Ozerskiy // Mineralogical Magazine, July 2013. – 2013. – V. 77. – N 5. – P. 1907.

8. Ozerskiy, A. Hydrogeological conditions of the archean crystalline rock massif in the southern part of the Yenisseyskiy Ridge (Siberian Craton) / A. Ozerskiy, V. Karaulov // 10th International Hydrogeological Congress. Conference Proceedings. – Thessaloniki, 2014. – V. 1. – P. 597–603.

9. Ножкин, А. Д. Докембрий юго-западной окраины Сибирского кратона / А. Д. Ножкин // Известия Томского политехнического университета, 2009. – Т. 314, № 1. – С. 5–16.

10. Ясенев, А. М. Раннепалеозойский гранитоидный магматизм Южно-Енисейского кряжа (на примере Нижнеканского и Посолъвенского массивов) : автореф. канд. дисс. / А. М. Ясенев. – Иркутск : ИЗК СО РАН, 2006. – 16 с.

О ВЗАИМОСВЯЗИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД ВОДОТОКОВ И ВОДОЁМОВ С ПОДЗЕМНЫМИ ВОДАМИ РАЙОНА АНАДЫРЯ

Рузанов В. Т.
ФГБНУ Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), г. Анадырь, gidrogeoruz@mail.ru

Аннотация. Обсуждаются характер и особенности взаимосвязи поверхностных и подземных вод криолитозоны района г. Анадыря. Приводятся примеры взаимосвязи речных, озёрных и лиманных вод с подрусловыми, подозёрными и подмерзлотными подземными водами в естественных и техногенных (на участках действующих водозаборов) условиях.
***Ключевые* слова:** *поверхностные воды, подземные воды, взаимосвязь.*

Abstrakt. The nature and *s*pecific features of the interaction of surface and underground waters Cryolithozone district of Anadyr are discussed. Are examples of the interaction of river, lake and estuary waters with under riverbeds, sublakes and subpermafrost waters in natural and man-made (on the site of working water intakes) conditions.
Key words: *surface waters, underground waters, interaction.*

Выяснение характера и степени проявления взаимосвязи поверхностных (ПовВ) и подземных вод (ПВ) в районе г. Анадыря являлось одной из важнейших задач гидрогеологических работ для водоснабжения и при разведке Анадырского буроугольного месторождения (АБУМ) [1, 2–5]. Данный район (как и вся территория Чукотки) относится к области сплошного распространения толщи многолетнемерзлых пород (ТМП). Мощность её вблизи Анадырского лимана и в долинах рек составляет 60 –110 м, на предгорной равнине, в удалении от водотоков и водоёмов, – 130 –200 м, на вершинах и склонах гор превышает 250 м. Все водотоки района в октябре-ноябре перемерзают полностью, сток появляется в мае.

Сквозные талики установлены под акваторией лимана, озерами ледникового происхождения, а также в горной части района, в верховьях небольших речек и ручьёв. Несквозные талики характерны для средних и нижних течений малых рек (Казачка, Первая Речка, Угольная и др.); выявлены они и под всеми в районе термокарстовыми озёрами (Мысовое, Нижнее, Предгорное и др.), а также водохранилищами [4–6].

В настоящей статье рассматриваются различные виды взаимосвязи (взаимодействия) ПовВ и ПВ: гидравлическая связь, негидравлическая (гидрогеомеханическая), гидрогеотермическая, гидрохимическая. Ниже кратко приводятся история изучения и некоторые примеры отдельных видов взаимосвязи.

Впервые в исследуемом районе влияние приливно-отливных колебаний уровня Анадырского лимана на подмерзлотные воды отмечено по скв. 1–44, пробуренной в 1943 – 1944 гг. Анадырской мерзлотной станцией (АНИМС) для водоснабжения поселков на берегу бухты Мелкой, в 80 м от уреза, на отметке около 3 м (фондовые материалы Н. М. Рушковского, 1949 г.). Этой скважиной на глубине 107 м были вскрыты напорные горько-соленые воды. Уровень подмерзлотных вод колебался в зависимости от приливно-отливных колебаний уровня лимана, с отставанием на 1,5 – 2,0 ч [3]. По данным Э. Д. Ершова (Отчёт, 1966 г., фонды СВКНИИ), по химическому составу ПВ были близки к водам лимана.

В 1945 – 1980 гг. партиями Гипроарктики, Союзморпроекта, Дальстройпроекта, Севвостгеологии, Дальстройпроекта и других организаций в бассейне рек Угольная и Первая Речка для водоснабжения посёлков пробурено несколько десятков скважин глубиной от 10 – 15 до 300 м (В. Знаменский, И. А. Некрасов, М. Н. Мельников, П. Г. Суриков, С. М. Медведь и др.). Уровни ПВ в зимний, бессточный, период резко падали, нередко на 5 – 15 м, но в мае-июне, с появлением поверхностного стока, быстро восстанавливались до «летних» значений, близких

к уровню воды в реке. Таким образом, в летний период наблюдалась активная, по Н. Г. Оберману [7], гидравлическая связь ПовВ и ПВ.

В 1971 – 1991 гг. Чукотской ГРП треста «Дальвостуглеразведка» в ходе поисково-разведочных работ для водоснабжения пос. Угольные Копи и Анадырь-1 (Гудым) получены данные о характере питания ПВ за счёт инфильтрации речных (р. Угольная, руч. Журавлиный) и озёрных (оз. Ходеевское) вод, доказано ежегодное восполнение запасов ПВ в летнее-осенний период. При исследовании взаимосвязи Анадырского лимана и подмерзлотных вод на шахтном поле АБУМ установлен негидравлический характер взаимодействия ПовВ и ПВ (С. М. Медведь, В. Т. Рузанов и др.) [4, 5].

В 1975 – 1993 гг. Анадырская экспедиция СВПГО проводила гидрогеологические работы для водоснабжения г. Анадыря (Э. П. Морозов, А. А. Бурханов и др.). Установлена активная гидравлическая взаимосвязь ПовВ и ПВ в верховьях р. Казачки. Следует отметить, что активное весеннее восполнение ПВ наблюдалось по участку скв. 132, где речная сеть отсутствует, имеются лишь временные микро-ручейки, часто без вреза, так называемые «травяные».

Отепляющее влияние бухты Мелкой Анадырского лимана на термическое состояние осадков под акваторией и в прибрежной полосе установлено Анадырской мерзлотной станцией в 1937 – 1938 гг. (П. Ф. Швецов, А. И. Ефимов, П. А. Соловьев). В скважинах, пробуренных со льда в 40 и 300 м от берега бухты, с глубины 2-3 м и ниже, наблюдалось увеличение температуры, достигавшее на забое (18 м) –1, 4 – –2,3° С [3, 8].

Основные объекты изучения взаимосвязи в районе приведены на рис. 1.

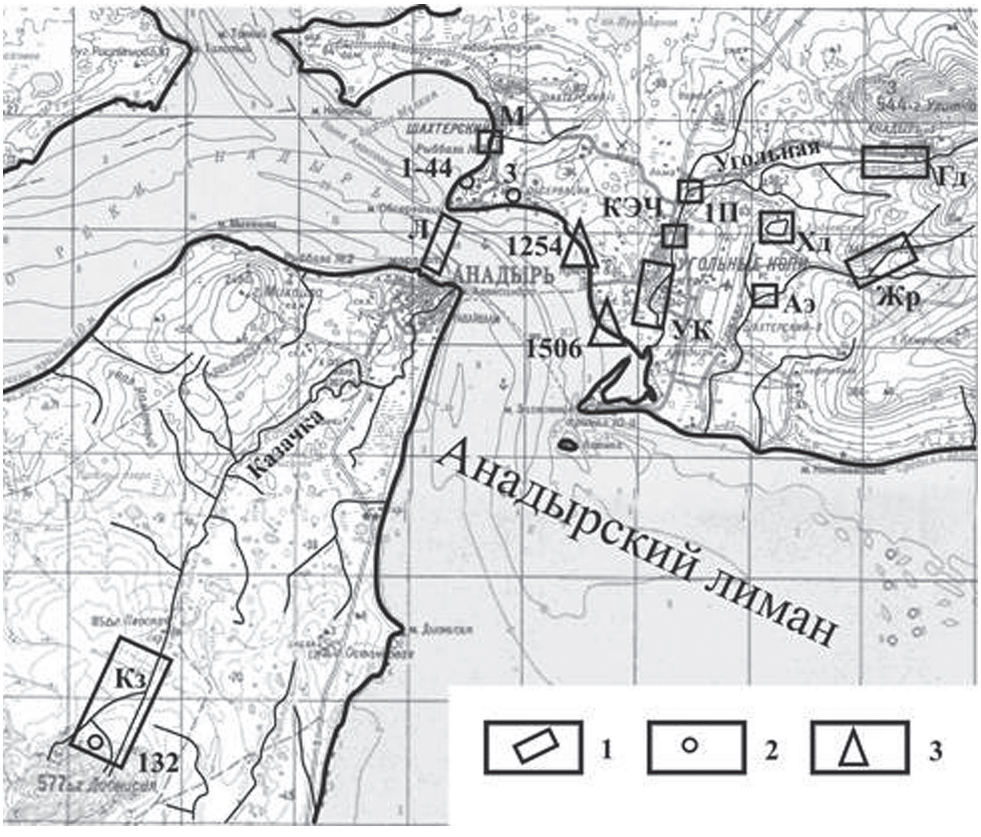


Рис. 1. Схема расположения объектов изучения взаимосвязи поверхностных и подземных вод в районе г. Анадыря:

1 – участки (Кз – Казачинский, Л – лиман, М – бухта Мелкая, УК – водозаборы в пос. Угольные Копи, КЭЧ – водозабор КЭЧ, 1П – дрена «1-й подъем», Г – водозабор в пос. Гудым, Жр – Журавлиный, Хд – оз. Ходеевское, Аэ – водозабор в п. Аэропорт); 2 – одиночные режимные скважины; 3 – гидрогеологические кусты

На прибрежном участке шахтного поля для установления характера взаимосвязи ПВ и вод Анадырского лимана (фактически – эстуария, так как здесь наблюдаются приливно-отливные явления, минерализация воды в годовом режиме резко переменна, от долей грамма на литр в весенний паводок и в периоды дождей до 25 г/л в конце зимнего периода) в 1984 – 1987 гг. проведены две кустовые откачки (кусты 1254 и 1506). Две наблюдательные скважины, пробуренные со льда лимана и оборудованные на нижнюю часть аллювия, реагировали одинаково на приливно-отливные изменения уровня в лимане. Амплитуды колебаний уровня в этих скважинах и в лимане практически не отличались. Идентичны и химические составы подземных вод аллювиального водоносного горизонта (ВГ) и подледной воды лимана, пробы из которых взяты синхронно. Все это указывает на тесную гидравлическую взаимосвязь субаквального аллювиального ВГ с Анадырским лиманом [4]. Не достижение во время достаточно продолжительных кустовых откачек (15 и 20 сут) стабилизации уровней во всех глубоких скважинах, оборудованных на продуктивный водоносный комплекс (ВК), свидетельствует об отсутствии значимой взаимосвязи вод лимана и подмерзлотных вод. В то же время отчетливо наблюдался эффект кажущейся гидравлической (реально – псевдогидравлической) реакции уровней подмерзлотных вод на изменения уровня лимана. Таким образом, на этом участке установлено гидрогеомеханическое воздействие ПовВ лимана и ПВ, описанное ранее по другим объектам И. М. Ковалевским (1973), В. А. Мироненко и В. М. Шестаковым (1978).

Геотермическое воздействие ПовВ на температурный режим ПВ и толщи горных пород изучалось на шахтном поле, в долинах рек и ручьёв и на акваториях озёр – на участках бурения скважин для водоснабжения. Геотермическими режимными наблюдениями установлено повышение температуры под водотоками, озёрами, лиманом и в узкой, порядка 100 м, полосой вдоль берега. Вследствие отепляющего воздействия (кондуктивного и конвективного теплопереноса) сформировались несквозные и сквозные талики.

Новыми данными по взаимосвязи ПовВ и ПВ района Анадыря можно считать обнаружение температурных аномалий дна Анадырского лимана (участок Л – лиман на рис. 1). Гидротермия выполнена по створу, длиной около 3,5 км, от г. Анадыря до противоположного берега лимана (мыс Обсервации). Приурочены аномалии к жёлобу на дне лимана – затопленному палеоруслу р. Анадырь, отчётливо прослеживаемому на гидрографических и топографических картах. При фоновой температуре поверхности дна, на глубинах 12 – 17 м, изменявшейся от –0,9 до –1,4° С, температура в жёлобе, на глубине 36 – 40 м, достигала в июне 2003 г., перед ледоходом, 0,25° С. Такая высокая температура, вероятно, обусловлена разгрузкой по разломам более тёплых подземных вод глубоких горизонтов. Таким образом, на данном участке зафиксировано температурное воздействие ПВ на воды лимана. Исследования выполнены по гранту ДВО РАН 03-3-А-07-129 «Гидрогеология шельфов морей Чукотки: гидрогеодинамические, гидрогеохимические и гидрогеотермические аспекты» (В. Т. Рузанов, 2003).

Одним из наиболее детально изученных ледниковых озер Чукотки является Ходеевское, расположенное на предгорной равнине, сложенной ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями [7]. До строительства плотины максимальная глубина озера не превышала 3,0 м. После создания водохранилища существенно возросли площадь (с 0,465 до 0,651 км^2) и глубина водоёма (с 3,0 до 4,2 м). Талик под озером сквозной, основной водоносный горизонт (ВГ) связан с ледниковыми и водно-ледниковыми валунно-гравийно-галечниковыми отложениями с песчаным заполнителем, с линзами и прослоями песков ($gfgQ_{II}$). Минимальные мощности ВГ 8 – 13 м, максимальные – 21 – 24 м, средняя – 15,6 м (по 14 скважинам, пробуренным со льда). От вод озера основной ВГ отделён илисто-суглинистым слоем мощностью до 5,4 м; местами этот изолирующий слой отсутствует, что определяет благоприятные условия для летнего восполнения запасов ПВ подозёрного талика (рис. 2).

Подземные воды подозёрного талика эксплуатировались галерейным водозабором (крупнейшим на Северо-Востоке России) более 30 лет для водоснабжения пос. Угольные Копи и Шахтерский; средний суточный водоотбор в зимний период составлял 1,8 – 2,3 тыс. м^3/сут,

максимальный достигал 3-4 тыс. м^3/сут. В летний период (июнь – сентябрь), когда резко возрастал водоотбор из скважин, пробуренных на четвертичный аллювиальный ВГ в русле р. Угольной с более качественной водой, водоотбор из Ходеевской галереи целенаправленно снижали до 0,7 – 1,5 тыс. м^3/сут (рис. 3).

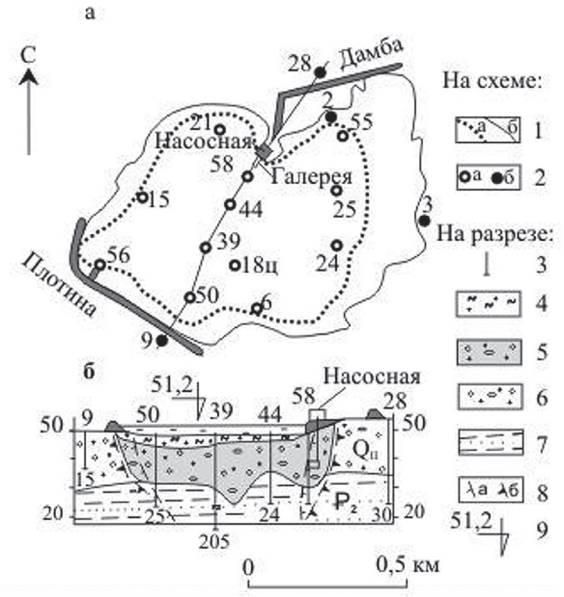


Рис. 2. Гидрогеологическая схема (а) и разрез (б) по озеру Ходеевскому:

1 – контуры озера до затопления (а) и водохранилища (б); 2 – скважина на схеме: а – в талике, б – в ТМП; 3 – скважина на разрезе, внизу глубина, м; 4 – ил, суглинок; 5-6 – валунно-галечниковые отложения, в том числе в талике (5), в ТМП (6); 7 – алевролиты, песчаники; 8 – граница ТМП (на разрезе): а – до затопления, б – после; 9 – максимальная отметка уровня водохранилища

Рис. 3. Графики режима поверхностных и подземных вод по Ходеевскому участку в естественных условиях, при опытных откачках и эксплуатации водозабора (галереи).

Треугольниками отмечено положение уровня поверхностных вод. Q_1, Q_2, Q_3 – расходы опытно-эксплуатационных откачек (ОЭО), тыс. м^3/сут

В летне-осенний период наблюдалось активное проявление взаимосвязи ПовВ озера с ПВ основного ВГ. В зимний период (октябрь – май) наблюдались два вида проявления взаимосвязи: а) активное проявление, когда уровни ПВ понижались незначительно, от летних отметок 50,5 – 51,2 м до отметок 48 – 50 м к середине-концу мая; б) резкая сработка запасов, причём независимо от величины водоотбора. Последнее объясняется образованием или «закрытием», вследствие проморозки, непостоянно функционирующего талика под телом плотины, на участке, где до строительства гидротехнических сооружений из озера Ходеевского вытекал ручей. На рис. 3 это участок у плотины между скважинами 56 и 9. По химическому составу ПВ подозёрного талика преимущественно гидрокарбонатные магниево-кальциевые или смешанные по катионам с минерализацией 0,1 – 0,45 г/л. Воды озера по составу аналогичны, но минерализация их в 1,5 – 2 раза меньше. При эксплуатации качество ПВ не изменилось, хотя предполагалось его улучшение.

Взаимосвязь ПовВ озера Воротного с ПВ подозёрного сквозного талика изучалась автором зимой 1994 г. и летом 2013 г. [6]. Озеро находится на левом, северном, берегу Анадырского лимана, в 5 км к СВ от г. Анадыря. На схеме (рис. 3) показано местоположение скв. 3, пробуренной в центре озера Воротного. Глубина озера до 3,77 м. В разрезе под днищем озера залегает слой суглинков мощностью от 11 до 14 м, что препятствует активной гидравлической взаимосвязи ПовВ и ПВ, в отличие от рассмотренных выше условий на участке оз. Ходеевского. Косвенно затруднённость (практически отсутствие) гидравлической взаимосвязи подтверждается резким различием в минерализации вод озера и подозёрного талика – соответственно 1,44 – 1,69 и 0,48 г/л (летом 0,08 г/л). Другим доказательством весьма затруднённой связи являлось отсутствие стабилизации уровней при откачках, выполненных в январе-феврале 1994 г. из двух скважин, быстрое падение дебитов и удельных дебитов – в несколько раз.

Выводы. В районе г. Анадыря установлены следующие виды взаимосвязи (взаимодействия) поверхностных и подземных вод: гидравлическая, гидрогеомеханическая, гидрогеотермическая, гидрохимическая. Интенсивность проявления взаимосвязи по сезонам года во многих случаях резко изменчива – от активной до затруднённой и практически отсутствующей.

Список литературы

1. Афанасенко, В. Е. Некоторые особенности водоносных долинных таликов западных отрогов хребта Золотого / В. Е. Афанасенко // Мерзлотные исследования. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1970. – Вып. X. – С. 153–163.

2. Некрасов, И. А. Талики речных долин и закономерности их распространения на примере бассейна р. Анадырь / И. А. Некрасов. – М. : Наука, 1967. – 138 с.

3. Пономарев, В. М. Четвертичные отложения и вечная мерзлота Чукотки / В. М. Пономарев. – М. : Изд-во АН СССР, 1953. – 264 с.

4. Рузанов, В. Т. Гидрогеомеханические эффекты при исследовании подмерзлотных вод побережья Анадырского лимана / В. Т. Рузанов ; [сост. А. В. Корзун, С. П. Поздняков] // Гидрогеология сегодня и завтра: наука, образование, практика : материалы междунар. научной конф. к 60-летию со дня основания кафедры гидрогеологии МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва, 22–24 мая 2013 г. – М. : МАКС Пресс, 2013. – С. 141–146.

5. Рузанов, В. Т. Оценка надежности водозаборных геотехнических систем в районе г. Анадырь / В. Т. Рузанов, С. М. Медведь // Комплексные исследования Чукотки (проблемы геологии и биогеографии). – Магадан : ЧФ СВКНИИ СВНЦ ДВО РАН, 1999. – С. 159–165.

6. Рузанов, В. Т. Характер озер Анадырской низменности и их освоение / В. Т. Рузанов // Инженерные изыскания. – 2014. – № 7. – С. 68–72.

7. Взаимосвязь поверхностных и подземных вод мерзлой зоны / [под ред. В. М. Пигузовой и В. В. Шепелева]. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1980. – 146 с.

8. Швецов П. Ф. Подземные воды и ископаемые льды района пос. Анадырь и бухты Угольной // М. ; Л. : Недра Арктики, 1947. – № 2. – С. 204–213.

МОДЕЛИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ «РАССОЛ – КАРБОНАТНАЯ ПОРОДА» В СВЯЗИ С ВОПРОСОМ ФОРМИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАССОЛОВ

Сидкина Е. С.
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН, г. Москва, SidkinaES@yandex.ru

Аннотация. В данной статье приводятся результаты моделирования взаимодействия рассола галитовой и эпсомитовой стадий сгущения с карбонатной породой при температурах 0, 100, 200, 300° С, выполненного с помощью программного комплекса HCh. Изученный процесс является составной частью механизма формирования химического состава крепких хлоридных кальциевых рассолов и приводит к снижению содержания магния и сульфат-иона благодаря образованию доломита и ангидрита.
Ключевые слова: *рассол, карбонатная порода, моделирование.*

Abstract. The interaction between carbonate rock and seawater brines of halite and epsomite evaporation grades at 0-300 °C is simulated using HCh code. This is a part of whole process causing decrease of Mg^{2+} and SO_4^{2+} due to dolomite and anhydrite formation.
Key words: *brine, carbonates, simulation.*

Формирование современного состава подземных вод является одним из фундаментальных вопросов геохимии. Эта проблема неразрывно связана с изучением взаимоотношении в системе «вода – порода». Впервые идею о существовании неравновесной системы «вода – порода – газ – органическое вещество» высказал В. И. Вернадский. Развитие его идей нашло отражение в работах российских и зарубежных ученых – Н. И. Толстихина, А. М. Овчинникова, А. И. Перельмана, Е. В. Пиннекера, П. А. Удодова, С. Р. Крайнова, В. А. Кирюхина, С. Л. Шварцева, Б. Н. Рыженко, М. Б. Букаты, В. М. Швеца, Р. М. Гаррелса (1968, 1984), Ч. Л. Крайста (1968), И. Тарди (1981), Дж. Дривера (1985), Х. К. Хельгесона (1984) и др.

В настоящее время для исследования процессов, происходящих в системе «вода – порода», широко используются методы численного физико-химического моделирования. В данной работе приведены результаты моделирования взаимодействия рассолов с карбонатной породой с использованием программного комплекса HCh [1]. Методика моделирования основана на том, что при каждом шаге расчета отношение т/ж увеличивается, что условно соответствует времени взаимодействия компонентов системы друг с другом и соответственно степени метаморфизации рассолов. При настройке модели в систему были включены основные компоненты водного раствора (Cl^-, SO_4^{2-}, HCO_3^-, Ca^{2+}, Na^+, Mg^{2+}, K^+, SiO_2, Br^-, Sr^{2+}, Li^+, Fe^{2+}, AlO^+), их комплексные соединения, минералы (альбит, ангидрит, анкерит, аннит, анортит, антигорит, бемит, кальцит, целестин, хлорит, клинохлор, клиногумит, дафнит, диаспор, доломит, эпидот, гиббсит, глаукофан, гипс, галит, галуазит, гематит, гетит, каолинит, лавсонит, ломонтит, магнезит, магнетит, маргарит, микроклин, монтмориллониты, мусковит, парагонит, паргасит, флогопит, пирит, кварц, сапониты, сидерит, сподумен, стронцианит, тальк, тремолит, вайракит, цоизит) и двухкомпонентные твердые растворы (кальцит–стронцианит, галит–NaBr, мусковит–Li-слюда, кальцит–доломит).

За химический состав рассола был принят состав морской воды галитовой (SW2) и эпсомитовой (SW3) стадий сгущения (табл. 1) [2].

Таблица 1. Химический состав морской воды различных стадий сгущения (г/кг)

Стадия сгущения (начало садки)	$CaCO_3$	$CaSO_4$	$MgSO_4$	$MgCl_2$	NaCl	KCl	NaBr	Сумма солей
Галита	0,52	0,46	21,0	33,4	214,1	5,2	0,59	275,27
Эпсомита	2,24	следы	89,2	158,2	50,5	22,9	2,72	325,76

За исходный состав породы принят средний состав карбонатной породы платформ (табл. 2), взятый из [3] с дополнениями автора.

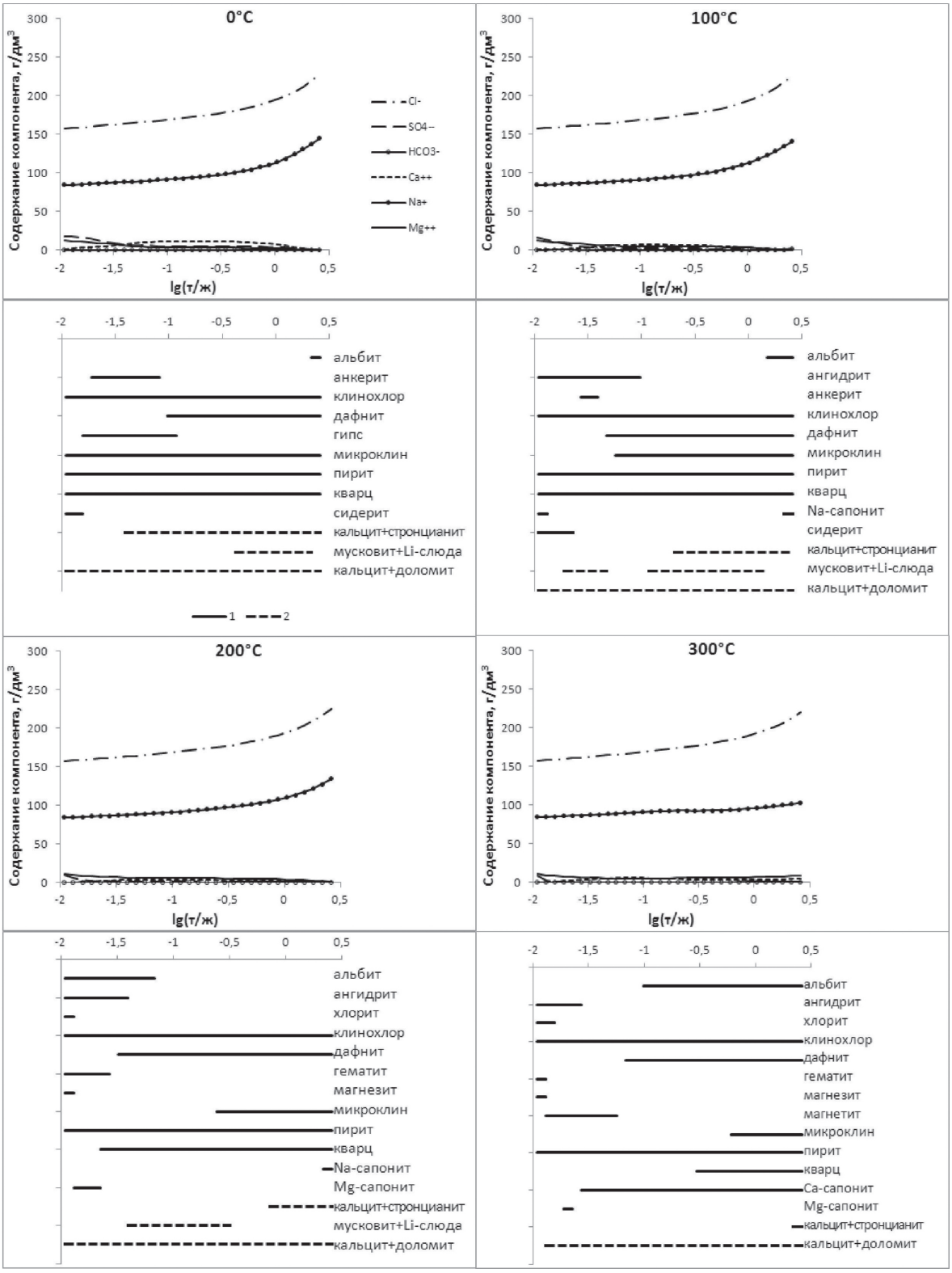


Рис. 1. Изменение химического состава рассолов галитовой стадии сгущения при взаимодействии с карбонатной породой при температурах 0, 100, 200 и 300° С и давлении до180 бар:
1 – минералы; 2 – твердые растворы

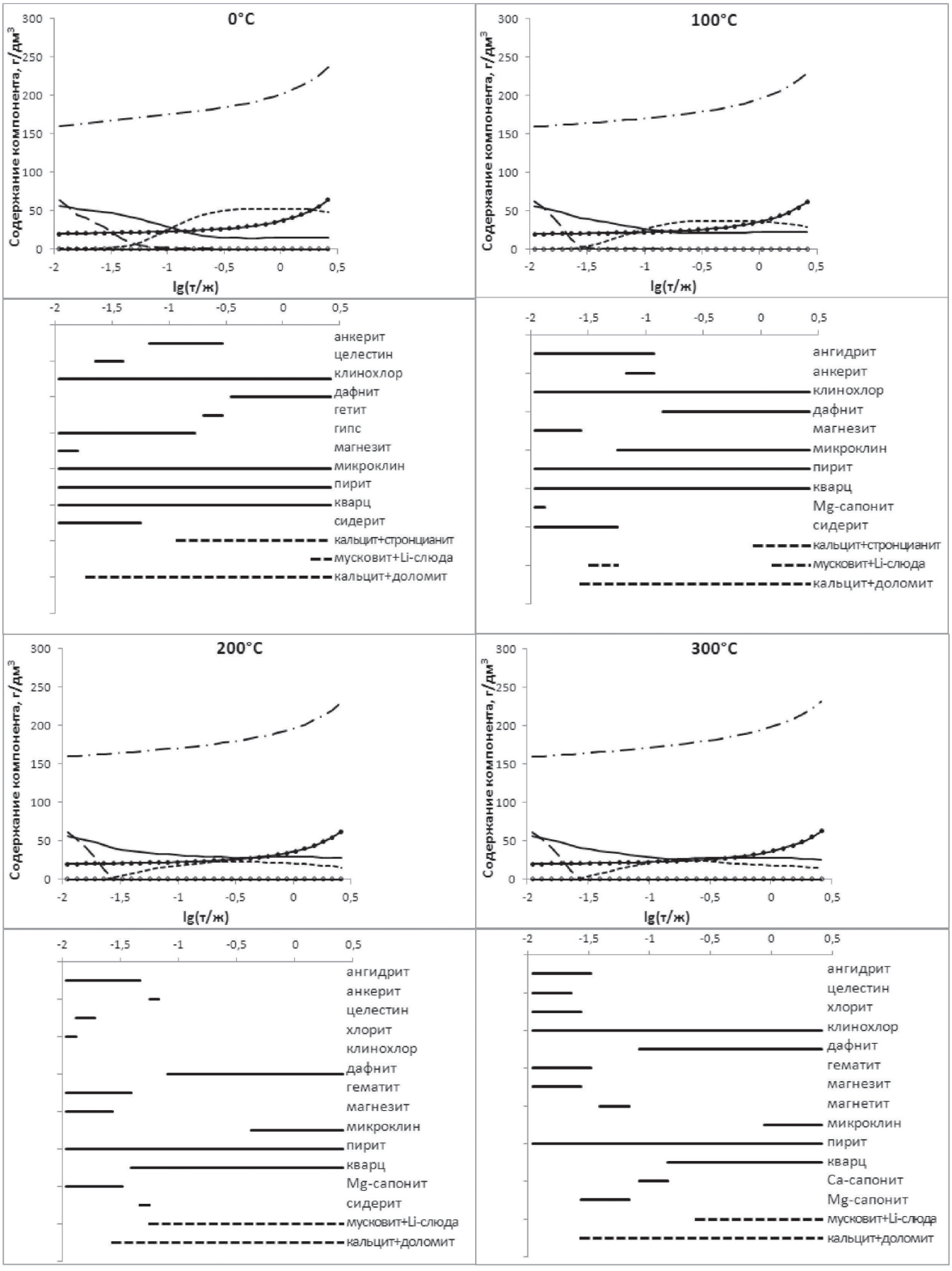


Рис. 2. Изменение химического состава рассолов эпсомитовой стадии сгущения при взаимодействии с карбонатной породой при температурах 0, 100, 200 и 300° С и давлении до 180 бар.

Условные обозначения см. рис. 1

Таблица 2. Химический состав карбонатной породы, принятый при моделировании (мас. %)

Компонент	Содержание	Компонент	Содержание
SiO_2	7,02	K_2O	0,35
Al_2O_3	1,42	Li_2O	0,01783
Fe_2O_3	0,64	CO_2	38,45
FeO	0,42	SO_3	0,95
MgO	8,05	NaCl	0,124
CaO	40,98	FeS_2	0,6
SrO	0,04025	C	6,0
Na_2O	0,16		

На рисунках 1 и 2 показано измение химического соства рассолов при взаимодействии с карбонатной породой. В верхней части графиков показано непосредственно изменение содержания компонентов водного раствора в зависимости от изменения т/ж. В нижней части графика показаны равновесные минеральные ассоциации, образующиеся при взаимодействии воды с породой.

Изменения химического состава рассолов при взаимодействии морской воды галитовой стадии сгущения с карбонатной породой практически идентичны в любых из исследованных температурных условиях. Содержание магния и сульфат-иона в растворе снижается практически до их полного отсутствия уже на первых шагах моделирования. На этом этапе образуются ангидрит, доломит, клинохлор; при низкой температуре – гипс. Содержания хлора и натрия растут за счет уменьшения объема воды, которая расходуется на образование алюмосиликатов (клинохлор, дафнит, сапонит) и достигают 200 и 140 г/кг соответственно. Содержание кальция во всех исследованных температурных условиях увеличивается до 12 г/кг. Накопление кальция в растворе сдерживается образованием, в основном, твердых растворов кальцита–доломита и кальцита–стронцианита; подчиненную роль играет образование ангидрита, гипса, глинистых минералов.

Изменение химического состава рассолов при взаимодействии компонентов системы «карбонатная порода – морская вода SW3» носит несколько более сложный характер. Морская вода эпсомитовой стадии сгущения содержит гораздо более высокие концентрации магния и сульфат-иона, чем вода галитовой стадии. Снижение их содержания происходит намного медленнее. При этом из раствора выпадают ангидрит (гипс при низкой температуре), магнезит, клинохлор, твердый раствор $(Ca,Mg)(CO_3)_2$, в небольшом интервале целестин, при высокой температуре – Mg-сапонит и хлорит ($Mg_6Si_4O_{18}H_8$). Содержание кальция при взаимодействии растет до 50 г/кг.

В природных условиях подземные рассолы Ангаро-Ленского, Тунгусского, Оленекского и Хатангского бассейнов содержат большее содержание кальция, чем в рассолах, полученных при моделировании.

Таким образом, проведенное моделирование показывает: 1) снижение содержания магния и сульфат-иона происходит преимущественно за счет образования доломита и ангидрита; 2) невозможность образования крепких хлоридных кальциевых рассолов при взаимодействии воды галитовой и эпсомитовой стадий сгущения с карбонатной породой.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-05- 01075 и 14-05-00266).

Список литературы

1. Валяшко М. Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей / М. Г. Валяшко. – М. : Изд-во МГУ, 1962. – 397 с.

2. Крайнов, С. Р. Геохимия подземных вод (Теоретические, прикладные и экологические аспекты) / С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, В. М. Швец. – М. : Наука, 2004. – 677 с.

3. Шваров, Ю. В. HCh: новые возможности термодинамического моделирования геохимических систем, предоставляемые Windows / Ю. В. Шваров // Геохимия. – 2008. – № 8. – С. 898–903.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ НАНЬЧАНСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА, КИТАЙ

Солдатова Е. А., Гусева Н. В.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, 2a61@mail.ru

Аннотация. В статье проанализированы особенности химического состава грунтовых вод центральной части Наньчанского артезианского бассейна. Грунтовые воды района исследований являются пресными гидрокарбонатными кальциевыми или кальциево-магниевыми. В некоторых точках опробования наблюдаются повышенные концентрации Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, что свидетельствует о влиянии антропогенных факторов на грунтовые воды района. В связи с этим обращают на себя внимание также пониженные значения Eh. Также с помощью масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой были оценены уровни концентраций микрокомпонентов в грунтовых водах.

Ключевые слова: *химический состав, грунтовые воды, микрокомпоненты, Наньчанский артезианский бассейн, озеро Поянху.*

Abstract. In the article peculiar features of the chemical composition of theNanchang artesian basin shallow groundwater were analyzed. Investigated shallow groundwater is fresh HCO_3–Ca or HCO_3–Ca–Mg. The high concentrations of Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+ are observed in several sampling points. This indicates influence of anthropogenic factors to the shallow groundwater. In connection with this fact, low Eh values also attract attention. Furthermore, using ICP-MS levels of trace element concentrations were estimated in the shallow groundwater.

Key words: *chemical composition, shallow groundwater, trace elements, Nanchang artesian basin, Poyang Lake.*

Район исследований, представляющий собой центральную часть Наньчанского артезианского бассейна, а с точки зрения гидрологии относящийся к бассейнам рек Ганьцзян и Сюшуй (провинция Цзянси), является одним из важнейших сельскохозяйственных регионов Китая в связи с распространением здесь обширных аллювиальных равнин. Особенности сельскохозяйственной деятельности и выращиваемых культур обусловили широкое применение в регионе таких методов, как орошение и заводнение. Кроме того здесь развито животноводство и рыбное хозяйство, созданы искусственные водоемы. Следует также отметить, что на большей части исследуемой территории отсутствует централизованная система водоснабжения и водоотведения, при этом плотность населения в этом районе весьма значительна.

Совокупность природных и антропогенных факторов обусловили формирование здесь таких особенностей химического состава грунтовых вод, которые отличают их от типичных грунтовых вод данной местности. В связи с этим целью исследования являлось изучение особенностей поведения макро- и микрокомпонентов в грунтовых водах центральной части Наньчанского артезианского бассейна.

Описание района исследований. Район исследований находится на юго-востоке Китая и представляет собой часть водосборного бассейна оз. Поянху, расположенного на севере провинции Цзянси. С точки зрения гидрогеологического районирования территория относится к центральной части Наньчанского артезианского бассейна.

Климат района влажный субтропический, среднегодовая температура составляет около 17,5° С. Регион характеризуется обильными осадками, выпадающими, в основном, в виде дождей. Среднегодовое количество осадков варьируется в пределах 1400 – 2000 мм [6]. Особенностью территории является неравномерное распределение осадков в течение года, связанное с влиянием Восточно-азиатского муссона. Влажный сезон продолжается с марта–апреля по июнь, с июля по сентябрь количество осадков снижается, в этот же период испарение достигает своего максимума, и с сентября до февраля устанавливается сухой сезон.

Территория района исследований представляет собой аллювиальные равнины, расположенные в пониженных участках рельефа и сформированные донными осадками, которые приносят реки, впадающие в озеро. Эти породы весьма водообильны.

Методика опробования и аналитических работ. Полевые работы проводились в октябре 2013 г. Точки опробования располагаются к западу от оз. Поянху в нижнем течении рек Ганьцзян и Сюшуй (рисунок). Объектом исследований были грунтовые воды, опробованные в колодцах и скважинах.

В каждой точке пробоотбора были отобраны 1,0 – 0,6 л воды в пластиковые бутылки для определения концентрации основных компонентов химического состава, соединений азота и CO_2 и 50 мл в стерильные колбы для определения концентрации микрокомпонентов. Удельная электрическая проводимость, температура, Eh и pH измерялись i*n situ*.

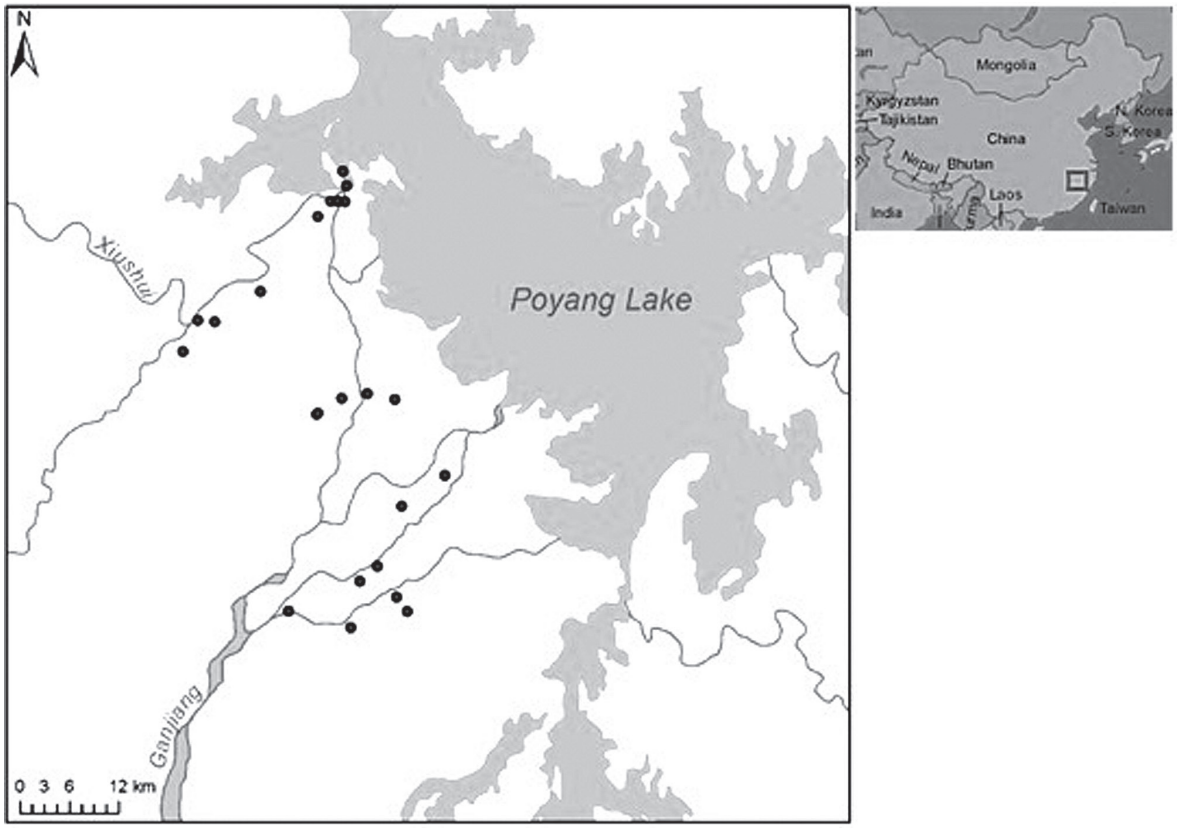


Схема расположения точек опробования

Концентрации SO_4^{2-}, Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+ были определены методом ионной хроматографии на ионных хроматографах ICS 1000, ICS 2000, концентрации CO_2 и HCO_3^- определялись методом титрования раствором (0,1 моль) HCl, концентрации NH_4^+, NO_2^-, NO_3^- – фотометрическим методом на фотоколориметре КФК-2 в Проблемной научно-исследовательской лаборатории гидрогеохимии НОЦ «Вода» ТПУ (г. Томск). Концентрации микрокомпонентов были определены методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (PerkinElmer NexION 300D).

3. Особенности химического состава грунтовых вод района исследований. Грунтовые воды района исследований пресные, преимущественно с минерализацией до 500 мг/л. Среднее значение минерализации составляет 196,9 мг/л (таблица). Показатель pH среды изменяется от 5,90 до 7,05, т.е. среда изменяется от кислой до нейтральной. Среднее значение pH 6,36.

Химический состав природных вод водосборной площади оз. Поянху, мг/л, Eh–мВ

Показатели	Мин.	Макс.	Среднее	Среднее [7]*	Показатели	Мин.	Макс.	Среднее	Среднее [6]*
pH	5,90	7,05	6,36	6,21	Ga	<0,00001	0,00049	0,00005	–
Eh	-91	176	26	–	As	0,00012	0,07912	0,01519	0,00068
CO_2	17,6	141,0	46,4	–	Se	<0,0005	0,0021	0,0009	–
HCO_3^-	18,3	170,8	86,2	–	Rb	0,00061	0,03568	0,00746	–
SO_4^{2-}	0,67	111,4	20,9	–	Sr	0,0258	0,2814	0,1123	0,0288
Cl^-	1,38	58,9	20,4	6,25	Y	0,000009	0,001250	0,000184	–
Ca^{2+}	2,18	47,5	20,6	10,79	Mo	<0,0005	0,0077	0,0012	0,00007
Mg^{2+}	1,18	9,70	5,72	3,10	Cd	<0,000005	0,000860	0,000024	0,000031
Na^+	8,30	43,4	16,5	11,26	Sn	<0,00001	0,00019	0,00004	–
K^+	0,74	76,0	8,14	1,04	Cs	<0,000005	0,000400	0,000077	–
NH_4^+	<0,05	6,40	1,32	–	Ba	0,0192	0,2840	0,0964	–
NO_2^-	<0,02	0,3	–	–	La	<0,000005	0,001740	0,000142	–
NO_3^-	0,15	93,9	17,2	–	Ce	<0,000005	0,004090	0,000146	–
Сумма	49,5	523,7	196,9	–	Pr	<0,000005	0,000413	0,000031	–
Li	0,00021	0,01392	0,00109	0,01483	Nd	<0,000005	0,001633	0,000121	–
Be	<0,00003	0,00041	0,00007	0,00017	Sm	<0,000005	0,000336	0,000025	–
B	0,0016	0,0322	0,0044	–	Eu	<0,000005	0,000069	0,000015	–
Al	<0,001	0,767	0,007	–	Gd	<0,000005	0,000356	0,000029	–
Si	4,01	20,47	11,22	7,68	Tb	<0,000005	0,000056	0,000005	–
Sc	0,0001	0,0005	0,0003	–	Dy	<0,000005	0,000256	0,000020	–
Ti	<0,001	0,048	0,003	0,001	Ho	<0,000005	0,000045	0,000005	–
V	<0,0001	0,0258	0,0003	0,0001	Er	<0,000005	0,000125	0,000012	–
Mn	<0,001	4,97	1,12	0,015	Yb	<0,000005	0,000110	0,000010	–
Fe	0,03	64,4	10,6	0,18	W	<0,000005	0,000275	0,000045	–
Co	0,00001	0,00865	0,00045	0,00018	Re	<0,000005	0,000027	0,000007	–
Ni	<0,0001	0,0072	0,0017	0,0005	Tl	<0,000005	0,000100	0,000024	–
Cu	<0,0005	0,0051	0,0004	0,0003	Pb	<0,00005	0,02202	0,00011	0,00027
Zn	<0,002	0,107	0,006	0,004	U	<0,000005	0,000276	0,000034	–

Примечание: «–» – нет данных; * – средние концентрации химических элементов в подземных водах равнинной части бассейна оз. Поянху согласно Чж. Цзэну [6].

Поскольку район исследований относится к провинции субтропического влажного климата, характеризующейся активным водообменом, и отложения солей в верхней части земной коры отсутствуют, состав грунтовых вод преимущественно гидрокарбонатный кальциевый и магниево-кальциевый. Однако во многих точках опробования наблюдаются высокие концентрации Cl^- и NO_3^-, и реже Na^+, K^+ и SO_4^{2-}, что является результатом антропогенной нагрузки, проявляющейся не только в данной районе, но на территории бассейна оз. Поянху в целом [2–4].

Показатель Eh природных вод изменяется от –91 до 176 мВ при среднем значении 26 мВ. Обычно значение Eh неглубокозалегающих грунтовых вод гораздо выше. Согласно данным С. Р. Крайнова [5], понижение Eh среды в сельскохозяйственных регионах, коим является район исследований, может происходить в результате неумеренного внесения органических удобрений. Однако на исследуемой территории понижение Eh и формирование восстановительных условий может являться результатом комплексного влияния антропогенных и природных факторов, а именно внесения органических удобрений и гидравлической взаимосвязи грунтовых и поверхностных вод на пониженных участках рельефа. Исходя из средних

значений концентраций микрокомпонентов (см. таблицу), подземные воды района исследований обогащены кремнием, железом, марганцем, мышьяком, рубидием, стронцием и редкоземельными элементами. Следует отметить, что высокие концентрации железа и марганца коррелируются с высокими содержаниями мышьяка и наблюдаются лишь в точках опробования, характеризующихся восстановительными или близкими к ним условиями. Сравнивая полученные концентрации химических элементов с приведенными Чж. Цзеном в его статье [6] в 1997 г., нужно отметить увеличение концентраций макрокомпонентов – Cl^-, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, особенно значительно увеличились концентрации Cl^-, Ca^{2+} и K^+, что может свидетельствовать о нарастающей антропогенной нагрузке и замедлении степени водообмена, связанной с особенностями хозяйственной деятельности в регионе. Последний факт подтверждается, хотя и незначительно, возросшей концентрацией Si. Концентрации микрокомпонентов, в целом, сопоставимы с данными Чж. Цзена, однако концентрации Li и Be, по данным Цзена, на порядок больше, в то время как концентрации Ni, Mo, Sr и As на порядок меньше, чем полученные авторами.

Поскольку грунтовые воды в районе исследований широко используются местным населением в питьевых целях, целесообразно было сравнить концентрации компонентов грунтовых вод с нормативами, установленными Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ). Согласно Руководству ВОЗ [7] исследуемые воды в некоторых точках опробования не соответствуют требованиям, предъявляемым к качеству питьевых вод, по следующим показателям – NO_3^-, Al, As, Pb. Наиболее часто наблюдаются превышения концентраций по NO_3^- и As. Значение показателя pH также не соответствует нормативу ВОЗ, однако он рассматривается только как ухудшающий органолептические свойства воды. Следует отметить и высокие концентрации Mn, Fe, NH_4^+ в точках опробования, характеризующихся низкими значениями Eh. Хотя для этих показателей не установлены нормативы, концентрации Mn и Fe достигают очень высоких значений, в результате чего рекомендуемые нормы этих элементов при употреблении такой воды человеком, очевидно, будут превышены. Высокие концентрации NH_4^+ указывают на микробиологическое загрязнение или загрязнение сточными водами и животноводческими отходами, а также при трансформации в нитриты могут ухудшить органолептические свойства воды.

Заключение. Грунтовые воды центральной части Наньчанского артезианского бассейна являются пресными, преимущественно гидрокарбонатными кальциевыми и магниево-кальциевыми. Условия среды изменяются от кислых до нейтральных. Часто наблюдаются повышенные концентрации NO_3^-, Cl^-, SO_4^{2-}, Na^+, K^+, что свидетельствует об антропогенной нагрузке на экосистему района. Он характеризуется пониженными для грунтовых вод значениями Eh (от –91 до 176 мВ), что, по мнению авторов, является результатом совокупного влияния природных и антропогенных факторов.

Подземные воды района исследований обогащены кремнием, железом, марганцем, мышьяком, рубидием, стронцием и редкоземельными элементами.

Концентрации NO_3^-, Al, As, Pb в некоторых точках опробования превышают нормативы ВОЗ, установленные для питьевых вод.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-31267) и Государственного задания «Наука» № 5.1931.2014/К.

Список литературы

1. Wang, Q. Impacts of land cover changes on climate trends in Jiangxi province China / Q. Wang, D. Riemann, S. Vogt, R. Glaser // International Journal of Biometeorology. – 2014. – Vol. 58, № 5. – P. 645–660.

2. Солдатова, Е. А. Химический состав грунтовых вод водосборной площади оз. Поянху (Китай) / Е. А. Солдатова, Г. Ван, С. Л. Шварцев [и др.] // Вестник Томского государственного университета. – 2014. – № 389. – С. 235–245.

3. Soldatova, E. A. Characteristic features of groundwater pollution in the Poyang Lake catchment [Electronic resource] / E. A. Soldatova, N. V. Guseva and G. Wang // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. – 2014. – Vol. 21, № 1. – [012023]. – Title screen. Режим доступа : http://iopscience.iop.org/1755-1315/21/1/012023 (25.01.2015).

4. Sun, Z. Impact of human activity on the groundwater chemical composition of the south part of the Poyang Lake Basin / Z. Sun, E. A. Soldatova, N. V. Guseva, S. L. Shvartsev // IERI Procedia. – 2014. – Vol. 8. – P. 113–118.

5. Крайнов, С. Р. Окислительно-восстановительные условия трансформации соединений азота в подземных водах (в связи с решением геохимико-экологических проблем) / С. Р. Крайнов, Г. А. Соломин, В. П. Закутин // Геохимия. – 1991. – № 6. – С. 822–831.

6. Zeng, Zh. The background features and formation of chemical elements of groundwater in the region of the middle and lower reaches of the Yangtze River / Zh. Zeng // Acta geologica sinica. – 1997. – Vol. 71, № 1. – P. 80–89.

7. Guidelines for drinking-water quality. – 4th ed. – Geneva : World Health Organization, 2011. – 541 p.

ВЕРТИКАЛЬНАЯ ФИЛЬТРАЦИОННАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ УГЛЕНОСНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЗБАССА

Тагильцев С. Н.[1], Стеценко О. П.,[2] Лукьянов А. Е.[3]
[1]ФБГОУ Уральский горный университет, г. Екатеринбург, tagiltsev@k66.ru;
[2,3]ОАО НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела «ВНИМИ», г. Санкт-Петербург, luk_alex@inbox.ru

Аннотация. На территории Анжерского района Кузбасса изучены фильтрационные свойства трещинного водоносного комплекса. Выявлена вертикальная анизотропия фильтрационных свойств терригенных отложений. Установлено, что распределение проницаемых зон в разрезе имеет закономерный характер, не связанный с литологическим составом и генезисом горных пород. Отмечены общие закономерности в формировании фильтрационной структуры массива терригенных отложений Анжерского района и фильтрационной структуры скальных массивов Уральского региона.

Ключевые слова: *вертикальная фильтрационная анизотропия, гидродинамические параметры, напряжённо-деформированное состояние.*

Abstract. On the territory of Angers region of Kuzbass investigated filtration properties of fractured-rock aquifer. Identified vertical anisotropy of filtration properties of terrigenous sediments. It was found that the distribution of permeable zones in the context of a regular pattern, not related to lithological composition and genesis of sediment. Marked common pattern in the formation of the filter array structure terrigenous sediments Angers area and hydrodynamic pattern of rock massifs of the Urals region.

Key words: *vertical anisotropy of permeability, hydrodynamic parameters, strain stressed state.*

ОАО «Шахтоуправление Анжерское» осуществляет отработку запасов каменного угля на объединенных горных отводах нескольких шахт, расположенных на южной окраине г. Анжеро-Судженск Кемеровской обл. (Анжерский район Кузбасса). В настоящее время большинство шахт находятся на стадии сухой консервации. Предприятие производит отработку запасов угля на локальном участке «Козлинский Южный». Гидрогеологические исследования на территории шахтоуправления проводились специалистами ОАО «ВНИМИ» в феврале–марте 2012 г. На первом этапе был обследован действующий водоотливной комплекс, измерены фактические водопритоки на различных участках шахтного поля, выполнен сбор и анализ материалов гидрогеологической изученности территории месторождения.

Угленосные отложения каменноугольного возраста на исследуемой территории представлены, в основном, переслаиванием песчаников, алевролитов и аргиллитов с пластами

углей. Горный массив обладает высокой тектонической нарушенностью. Гидрогеологические условия характеризуются наличием двух водоносных комплексов: грунтовых вод четвертичных отложений и трещинных вод коренных пород. Терригенные породы угленосной толщи в пределах изучаемого участка имеют низкую пористость. Крупнозернистые песчаники встречаются в разрезе крайне редко, имеют ограниченное площадное распространение и малую мощность. Фильтрационные свойства скальных пород связаны преимущественно с наличием открытых проницаемых трещин. Подземные воды угленосной толщи формируют единый трещинный водоносный комплекс, не зависящий от напластования, что определяет существенное отличие гидрогеологических условий Анжерского района от гидрогеологических условий ряда других угленосных районов (например, Донбасса).

Гидрогеологическое изучение перспективного участка «Козлинский Южный» выполнялись силами Анжерской ГРП треста «Кузбассуглеразведка» в конце 80-х – начале 90-х годов прошлого века. Была выполнена серия кустовых откачек, а также проведены поинтервальные откачки в интервалах глубин от 0 до 100 – 140 м и от 100 – 140 до 270 – 370 м. При анализе данных опытных откачек специалистами ОАО «ВНИМИ» было установлено, что в ходе работ по детальной разведке гидрогеологические параметры трещинного водоносного комплекса были существенно завышены. Так, значения коэффициента водопроводимости на этапе разведки принимались от 30 до 300 $м^2$/сут. При повторной обработке данных опытных работ было показано, что значения коэффициента водопроводимости завышены в 5 – 10 раз. Определено, что коэффициент водопроводимости для верхней части трещинного водоносного комплекса угленосных отложений составляет 5 – 8 $м^2$/сут. Ниже глубины 150 м водопроводимость скальных пород снижается до 2 $м^2$/сут и менее.

Территория месторождения характеризуется высокой степенью тектонической нарушенности. В пределах локальных зон тектонических разломов фильтрационные свойства скальных пород угленосной толщи существенно возрастают. Коэффициент водопроводимости в приповерхностной части массива до глубины 100 – 150 м может составлять 30 – 40 $м^2$/сут и выше. Ниже глубины 100 – 150 м значение параметра водопроводимости составляет около 20 $м^2$/сут.

Изменение фильтрационных свойств пород угленосной толщи в плане и разрезе сильно влияет на условия отработки запасов угля. Фильтрационная анизотропия массива терригенных отложений является существенным осложняющим фактором. По данным геолого-маркшейдерской службы, при ведении горных работ в 1996 – 2010 гг. средняя величина водопритоков в лавы составляла 15 – 30 $м^3$/ч. На отдельных участках в ходе отработки запасов отмечались повышенные притоки – до 80 – 130 $м^3$/ч, которые сохранялись на протяжении длительного периода времени и существенно осложняли работу шахты. Повышенные водопритоки обусловлены наличием локальных проницаемых тектонических зон, вскрытых очистными выработками. Перспективные работы запланированы ниже по падению пласта от погашенных выработок на глубине 200 – 400 м. При увеличении глубины отработки ключевое значение приобретает вопрос вертикальной анизотропии фильтрационных свойств угленосной толщи с глубиной.

В ходе детальной разведки для изучения особенностей распространения обводненных зон в разрезе угленосных отложений была проведена обработка данных замеров поглощения промывочной жидкости в стволах разведочных скважин [1]. Всего на участке «Козлинский Южный» было пробурено 272 разведочные скважины. В процессе обработки для каждого десятиметрового интервала разреза было определено общее количество скважин, вскрывших этот интервал (N) и количество скважин, в которых отмечалось водопоглощение по данному интервалу (n). Полученный график n/N отражает частоту встречаемости скважин с поглощением и изменение этого показателя с глубиной (рис. 1).

На основании полученных графиков специалистами Анжерской ГРП водоносная часть разреза коренных пород была разбита на три подзоны. В первой подзоне (0 – 80 м) отмечено резкое увеличение количества проницаемых зон по мере увеличения глубины. Во второй

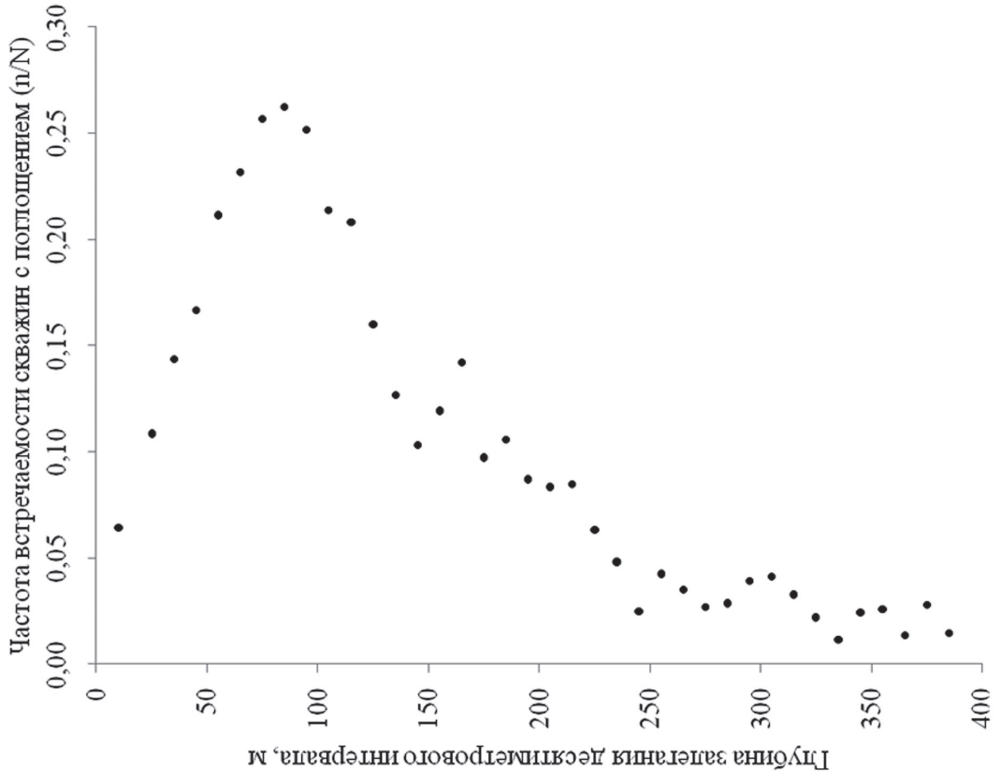


Рис. 2. Распределение зон водопоглощения в разрезе угленосной толщи участка «Восточная прирезка»

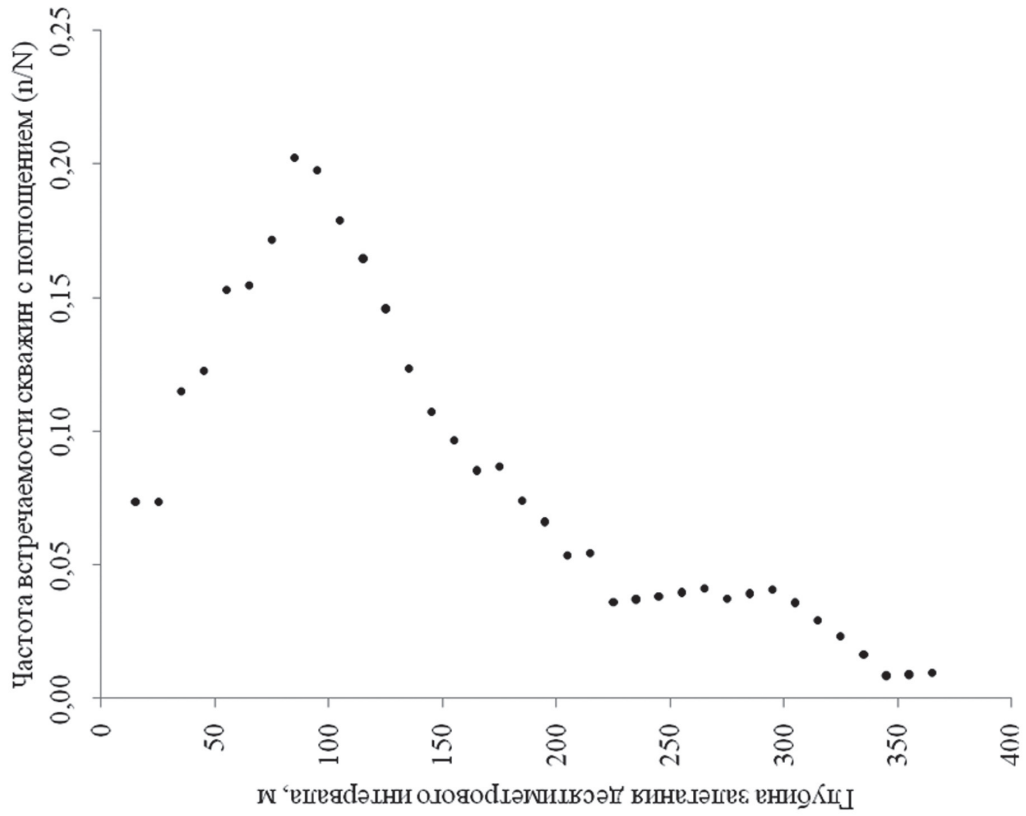


Рис. 1. Распределение зон водопоглощения в разрезе угленосной толщи участка «Козлинский Южный»

подзоне (от 80 до 200 м) наблюдается постепенное снижение количества водопоглощающих зон в разрезе. Породы в третьей подзоне (ниже глубины 200 м) являются слабо обводненными, однако здесь отмечается небольшое увеличение фильтрационных свойств [1].

Схожие данные были получены ранее по результатам гидрогеологических работ на соседнем участке шахтоуправления «Физкультурник» [2]. Результаты изучения распределения зон водопоглощения разведочных скважин на этом участке показывают аналогичную закономерность в распределении водопоглощающих зон в породах угленосной толщи (рис. 2).

Авторы отчетов по геологической разведке участков «Восточная прирезка» и «Козлинский Южный» объясняли увеличение количества проницаемых интервалов до глубины 80 м наличием выветрелых коренных пород. При этом неясно, почему фильтрационные свойства пород в данном интервале увеличиваются по мере удаления от земной поверхности. Закономерное распределение участков водопоглощения во второй и третьей подзоне специалисты Анжерской ГРП попытались увязать с неоднородностью литологического состава и наличием тектонических нарушений [1, 2].

При анализе графиков распределения зон водопоглощения в разрезе угленосной толщи на участках «Козлинский Южный» и «Восточная прирезка», расположенных в Анжерском районе Кузбасса, следует особо отметить их высокое сходство с графиками изменения проницаемости скальных пород, полученным по результатам гидрогеологических работ в других регионах.

Аналогичная структура вертикальной фильтрационной зональности угольного месторождения, расположенного на Чукотке, представлена в статье В. Т. Рузанова [3]. Изменение проницаемости с глубиной изучалось на основании данных поинтервальных откачек и расходометрии. По данным расходометрии, выделенные водоносные зоны распределены по 10-метровым интервалам глубин. Автор «модернизировал» традиционную методику обработки данных, опираясь на относительные значения водопроводимости. Этот подход дал возможность установить характер изменения фильтрационных свойств в разрезе, несмотря на значительные изменения водопроводимости пород в плане. Форма зависимости фильтрационных свойств от глубины и значения характерных глубин соответствуют графикам, показанным на рис. 1 и 2.

Структура и причины возникновения вертикальной фильтрационной зональности скальных массивов изучались по материалам гидрогеологических исследований на месторождениях полезных ископаемых, расположенных в Уральском регионе [4–6]. В породных массивах, сложенных вулканогенными, вулканогенно-осадочными и карбонатными породами, выявлено закономерное изменение количества проницаемых трещин по глубине. Вертикальная фильтрационная структура скальных массивов, установленная на Урале, полностью соответствует форме представленных выше зависимостей (см. рис. 1, 2). Глубина развития активных трещин составляет в среднем 400 м, причём в карбонатных массивах – 300 м, а в кислых вулканогенных разностях пород превышает 500 м.

Теоретические основы формирования вертикальной фильтрационной анизотропии трещиноватых пород обоснованы в рамках научного направления «гидрогеомеханика скальных массивов» [7]. Открытые проницаемые трещины рассматриваются как результат деформации скальных массивов под воздействием современных тектонических сил. Закономерное изменение количества проницаемых трещин в разрезе объясняется на основе аналитических зависимостей, описывающих изменение напряженного состояния массивов горных пород с глубиной. Приповерхностная зона проницаемых трещин, мощностью 300 – 500 м, рассматривается как зона хрупкой деформации земной коры.

Фильтрационная анизотропия скальных массивов, залегающих в условиях напряжённого состояния, определяется, в первую очередь, развитием и поддержанием сетей открытых и взаимосвязанных трещин. Соответственно, возникновение трещин зависит от уровня напряжений и геомеханических свойств горных пород. Фильтрационные свойства скальных массивов формируются, главным образом, современными тектоническими трещинами.

Помимо закономерной фильтрационной структуры, напряжённое состояние породного массива нередко формирует в скальных массивах слоистые гидродинамические системы. Детальные исследования показывают, что по глубине наблюдается чередование проницаемых и относительно водоупорных слоёв. Эти стратифицированные образования, помимо фильтрационных свойств, выделяются по разнице напоров и химическому составу подземных вод [5, 6].

Неравномерное распределение проницаемых трещин в разрезе существенно усложняет решение задач по прогнозу водопритоков в горные выработки при отработке как рудных, так и угольных месторождений. Сложная гидрогеодинамическая структура трещинных комплексов требует проведения значительного количества фильтрационных опробований (откачек, наливов, нагнетаний), выполнения поинтервального опробования скважин с длиной интервалов примерно по 50 м и организации наблюдений за изменениями напоров подземных вод с применением многоуровневых пьезометров. Наблюдения за изменением напоров подземных вод в трещинных водоносных комплексах должны носить регулярный характер и проводиться как на стадии разведки месторождений, так и в процессе их отработки и последующей консервации или ликвидации.

Отсутствие данных о современном положении уровней подземных вод в трещинном водоносном комплексе Анжерского района Кузбасса является основным осложняющим фактором при оценке прогнозных притоков подземных вод. Следует отметить, что наличие данных поинтервальных откачек позволило оценить фильтрационные свойства трещиноватых пород терригенной толщи и дать надежную оценку развития гидрогеологической ситуации на участке перспективной отработки. Существенное снижение проницаемости скальных пород на глубине 300 – 400 м свидетельствует о благоприятных гидрогеологических условиях. Прогнозные водопритоки в лавы в процессе отработки запасов на перспективном участке оцениваются в объеме 10 – 20 м^3/час.

При вскрытии локальных проницаемых зон тектонических нарушений водопритоки в лаву могут существенно возрастать и достигать 80 – 100 м^3/час. Ввиду высокой тектонической нарушенности массива терригенных пород вероятность вскрытия проницаемых зон на глубинах 200 – 400 м сохраняется. Обводненный тектонический разлом может обладать незначительной амплитудой смещения и не обнаруживаться в подготовительных горных выработках в явном виде. Для уверенного прогноза повышенных притоков подземных вод в отдельные горные выработки необходимо проводить специальные работы по выявлению проницаемых зон тектонических нарушений с высокой степенью детализации.

Целенаправленное изучение гидрогеодинамической структуры скальных массивов, анализ плановой и вертикальной фильтрационной анизотропии трещинных водоносных комплексов позволяет достигать необходимую точность оценки притоков подземных вод в горные выработки и обеспечить безопасное ведение горных работ при отработке угольных месторождений.

Список литературы

1. Геологический отчет по детальной разведке юго-восточной части участка Козлинского Южного в Анжерском районе Кузбасса (обобщение материалов разведочных и эксплуатационных работ по состоянию на 01.01.94 г. в 4-х книгах). – Книга 1. Геологический отчет. – Кемерово : Анжерская ГРП – 1994.

2. Геологический отчет по детальной разведке Восточной прирезки к полю шахтоуправления «Физкультурник» в Анжерском районе Кузбасса (обобщение материалов разведочных и эксплуатационных работ по состоянию на 01.01.1988 г. в 4-х книгах). – Книга 1. Текст отчета. – Кемерово : Анжерская ГРП. – 1988.

3. Рузанов, В. Т. Прогноз водопритоков подмерзлотных вод в шахту «Угольная» (Чукотка) / В. Т. Рузанов // Вестник РУДН. Серия «Инженерные исследования», 2014. – 11 с.

4. Тагильцев, С. Н. Геомеханические основы гидрогеологической стратификации скальных массивов Урала / С. Н. Тагильцев // Изв. вузов. Горный журнал. – 1995. – № 5 – С. 75–79.

5. Тагильцев, С. Н. Гидрогеологические признаки тектонической стратификации скального массива / С. Н. Тагильцев, А. Е. Лукьянов // Инженерная геология. – 2009. – № 1. – С. 60–64.

6. Тагильцев, С. Н. Гидрогеологическая стратификация скального массива Петропавловского рудного поля / С. Н. Тагильцев, А. Е. Лукьянов // Подземные воды востока России : материалы XIX Совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Тюмень : Тюменский дом печати, 2009. – С. 57–60.

7. Тагильцев, С. Н. Основы гидрогеомеханики скальных массивов : учебное пособие. – Екатеринбург : Изд-во УГГГА, 2003. – 85 с.

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ТРАССЕРЫ В ОЦЕНКЕ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ МАЛЫХ РЕК ТУНДРОВО-ТАЁЖНОЙ ЗОНЫ

Тананаев Н. И.
Игарская геокриологическая лаборатория ИМЗ СО РАН, г. Игарка,
nikita.tananaev@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены основные черты гидрогеохимического режима трех малых водотоков тундрово-таежной зоны в районе г. Игарки Красноярского края. Установлено, что в середине летней межени (июль) воды исследованных рек дифференцированы по соотношению основных анионов и катионов, которое может служить индикатором доли быстрого грунтового стока. Показано, что важную роль в формировании гидрогеохимических особенностей водотоков играют органические (органо-минеральные) коллоидные комплексы и ассоциированные с ними элементы. Оценена возможность применения редкоземельных элементов в качестве гидрогеохимических трассеров.

Ключевые слова: *гидрохимический режим, трассерная гидрология, органо-минеральные коллоиды, редкоземельные металлы, пути фильтрации.*

Abstract This paper reviews the most basic features of the hydrogeochemical regime of three small watersheds in the vicinity of the Igarka town, Krasnoyarsk Krai. During the summer low-flow, contrasting chemical composition (anions to cations ratio) marks the variable input of quick groundwater runoff throughout the study area. Organic and organo-mineral colloidal complexes and associated elements can also be used as tracers to hypothesize on the relative input of various soil profile domains to the total river runoff. Rare earth element concentrations and ratios (soluble to insoluble) are shown to be perspective in such relation.

Key words: *hydrochemical regime, tracer hydrology, organo-mineral colloids, rare earth elements, filtration paths.*

Введение. Оценка участия различных источников питания в формировании речного стока является актуальным вопросом, для которого пока не найдено достоверного решения. Графические построения (методы расчленения гидрографов Б. И. Куделина, О. В. Попова, Н. Н. Веригина и аналогичные) относительно примитивны и не позволяют оценивать вклад различных типов стока (поверхностный, быстрый или медленный грунтовый) в суммарный гидрограф. Развитие гидрологических процессов на водосборах в пространстве и времени с помощью этих методов охарактеризовать невозможно.

В тундрово-таёжной зоне, являющейся ландшафтом-экотоном, высокая контрастность и мозаичность природных условий усложняют процессы водообмена. Обилие болот и торфяников, термокарстовых озёр, островное распространение многолетнемёрзлых пород (ММП) и обилие таликовых зон ещё более затрудняют выделение различных источников питания для водотоков этой области. Перспективы в оценке динамики водообмена в тундрово-таёжных ландшафтах связаны с использованием гидрохимических трассеров, поскольку основные гидрологические процессы находятся в связи с трансформацией химического состава вод, перемещающихся по поверхности водосбора, в почве и

гидрологической сети [1]. Задачей работы является оценка возможности использования редкоземельных элементов (РЗЭ) в поверхностных водах тундрово-таёжной зоны в качестве гидрологических трассеров.

Район исследований. Рассматриваемые в работе материалы были получены в районе г. Игарки Красноярского края, в 120 км к северу от полярного круга. Пробоотбор проводился на трёх малых водотоках, правобережных притоках Енисея: р. Гравийка (площадь водосбора F = 323 км^2), руч. Лисий лог (F = 24,5 км^2) и руч. Малая Гравийка (F = 1,2 км^2). Водосборы различаются по гипсометрическому положению; большая часть бассейна р. Гравийки расположена в пределах второй и третьей енисейских террас (40 – 90 м н.у.м.), бассейн руч. Лисий лог находится на второй террасе (40 – 60 м), а руч. Малая Гравийка – на самой молодой первой террасе (25 – 40 м). Возраст и геологическая история террасовых поверхностей определяют характеристики подстилающей поверхности. Третья терраса занята преимущественно голоценовыми крупнобугристыми торфяниками мощностью до 7 м, поверхность которых нарушена термокарстовыми озерами. Вторая терраса покрыта смешанными лесами на суглинистых грунтах, с преобладанием *Pinus siberica* и *Larix siberica*. Первая терраса – пёстрое геоморфологическое образование, на котором распространены как молодые торфяники, так и смешанные леса на песках и лёгких суглинках.

Методы исследований. Мониторинг базовых гидрохимических показателей (pH, электропроводность и минерализация, содержание растворенного кислорода) ведется сотрудниками Игарской геокриологической лаборатории ИМЗ СО РАН с июля 2013 г. Эти показатели определяются *in situ*, мультисенсором WTW 350i (Германия) со сменными электродами.

Пробоотбор для определения элементного состава вод проводился в июле 2013 г., в период глубокой летней межени. Пробы воды объёмом 0,25 л фильтровались на месте отбора через ацетат-целлюлозный шприцевой фильтр с диаметром пор 0,22 мкм для полного удаления взвешенного вещества, далее хранились в холодильнике до производства анализа. Элементный состав определялся методом квадрупольной масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на анализаторе Elan 6000 (Perkin-Elmer) в лаборатории естественных наук и окружающей среды Обсерватории Южных Пиренеев (GET-OMP), Тулуза, Франция.

Результаты. В течение летней межени 2013 г. воды рассматриваемых водотоков имели нейтральную, слабощелочную или щелочную реакцию (pH от 7,1 до 9,19), небольшую минерализацию (не свыше 200 мг/л). В хорошо прогретых водах р. Гравийки и руч. Лисьего лога ($t_{воды}$ до 22º С) содержание растворенного кислорода менялось в июле 2013 г. от 9 до 12 мг/л, в холодной воде руч. Малой Гравийки ($t_{воды}$ < 10º С) не превышало 4 мг/л.

Гидрохимический режим исследованных водотоков, следуя за ландшафтной дифференциацией, зависит от их размера и геоморфологической позиции, положения в структуре долины р. Енисея. Воды трех исследованных рек хорошо дифференцируются по соотношениям Na-нормированных основных анионов и катионов (рис. 1). Отличие речных вод малых водотоков от вод р. Енисея состоит в относительно низком содержании хлоридов, источником которых в енисейских водах являются рассолы бассейна р. Нижней Тунгуски, крупного правобережного притока [2].

Точки, соответствующие трем малых водосборам, занимают на рис. 1 области в соответствии с особенностями их рельефа и условиями сопряжения водотоков с элементарными склонами. Воды руч. Малой Гравийки по особенностям соотношения Ca^{2+} и Cl^- наиболее близки по химическому составу к вытяжкам почвенной влаги из органического горизонта, полученным в близких природных условиях (водосбор р. Кулингдакан в бассейне Нижней Тунгуски) [2]. Относительно высокое содержание кальция иллюстрирует вклад надмерзлотной верховодки в питание водотоков. По мере фильтрации в почвенной колонке кальций связывается с отрицательно заряженными коллоидами [3], и при разгрузке в русловую сеть более глубоких горизонтов почвенной влаги речные воды могут оказаться им относительно обеднены,

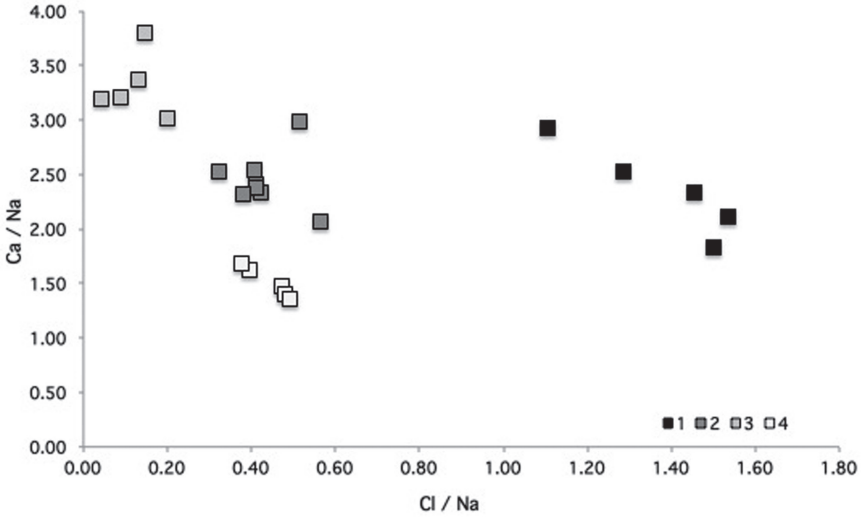


Рис. 1. Дифференциация речных вод по соотношению Na-нормированных концентраций Ca^{2+} и Cl^-.
1 – р. Енисей; 2 – р. Гравийка; 3 – руч. Малая Гравийка; 4 – руч. Лисий лог

особенно если присутствие коллоидов в речных водах невелико. С убыванием площади, занятой многолетнемерзлыми породами (ММП), и с увеличением мощности деятельного слоя вклад надмерзлотной верховодки (быстрого грунтового стока) убывает. Кроме того, оказывает влияние и геоморфологическая обстановка, в которой развиваются водосборы. На более крупных водосборах, расположенных в пределах более высоких (второй и третьей) террас р. Енисея, увеличивается доля элементарных склонов, открывающихся в термокарстовые понижения и озера, а не в гидрографическую сеть. В таких условиях доля быстрого грунтового стока в питании рек уменьшается.

Результаты определения содержания РЗЭ в поверхностных водах исследованных водотоков приведены в таблице.

Обсуждение. Особенностью поверхностных водотоков Енисейского Севера является повышенное содержание железа [5]. В исследованных водотоках содержание ^{57}Fe связано с размером водотока и водно-физическими свойствами почв; оно уменьшается с ростом площади водосбора и утяжелением механического состава почв. В водах руч. Малой Гравийки содержание ^{57}Fe (до 0,91 мг/л, т.е. свыше 3 ПДК) выше в разы (р. Гравийка – 0,075 мг/л, руч. Лисий лог – 0,271 мг/л). Среднее содержание ^{27}Al (0,147 мг/л) в руч. Малая Гравийка также на порядок превышает содержание этих элементов в прочих реках (р. Гравийка – 0,007 мг/л, руч. Лисий лог – 0,014 мг/л). Высокие концентрации алюминия и железа в речных водах определяются, вероятно, совокупностью процессов выщелачивания водорастворимых соединений Al и Fe из почвенного профиля хорошо промытых опесчаненных суглинков правобережья руч. Малая Гравийка и альфегумусового процесса. На ограниченное поступление болотно-озёрных вод в реки указывает, в первую очередь, слабощелочная реакция (pH > 7,5).

Перемещение алюминия и железа в почвенном профиле и поверхностных водах происходит в форме органических и органо-минеральных коллоидных комплексов [6]. Их присутствие в речных водах подтверждается наличием прямой связи между концентрацией железа и содержанием растворенного органического углерода (рис. 2). Обилие коллоидной фазы в водах руч. Малой Гравийки устанавливается также низкими значениями соотношения Sb/Th (среднее – 12,6), которое фиксирует отношение между элементами, мигрирующими в формах истинных растворов (сурьма) и коллоидов (торий) [2, 7]. В прочих образцах величина этого соотношения в несколько раз больше и к концу июля достигает 200 (р. Гравийка) и 580 (р. Енисей), таким образом, растворенная фаза в этих водотоках доминирует.

Содержание редкоземельных элементов в водотоках района г. Игарки в июле 2013 г. (мкг/л)

Водоток	Дата	La 139	Ce 140	Pr 141	Nd 143	Sm 147	Eu 151	Gd 157	Dy 162	Ho 165	Er 166	Yb 172	Lu 175
Енисей	12.7.13	0.102	0.131	0.030	0.134	0.034	0.009	0.033	0.038	0.008	0.024	0.023	0.004
	13.7.13	0.063	0.078	0.016	0.070	0.019	0.006	0.023	0.021	0.005	0.014	0.013	0.002
	17.7.13	0.057	0.055	0.014	0.069	0.016	0.005	0.019	0.022	0.005	0.016	0.014	0.002
	22.7.13	0.044	0.044	0.012	0.053	0.013	0.005	0.017	0.018	0.004	0.013	0.012	0.002
	29.7.13	0.032	0.031	0.008	0.036	0.008	0.004	0.012	0.014	0.003	0.009	0.008	0.002
	Средн.	0.060	0.068	0.016	0.072	0.018	0.006	0.021	0.022	0.005	0.015	0.014	0.003
	Норм.	1.9	0.9	2.0	2.2	3.2	4.7	4.0	3.7	5.1	4.4	4.6	5.4
Гравийка	11.7.13	0.032	0.040	0.007	0.040	0.009	0.001	0.011	0.011	0.001	0.005	0.006	н.о.
	15.7.13	0.020	0.027	0.004	0.025	0.004	н.о.	0.006	0.007	н.о.	0.004	0.005	н.о.
	16.7.13	0.021	0.032	0.003	0.026	0.004	н.о.	0.006	0.004	н.о.	0.003	0.004	н.о.
	20.7.13	0.056	0.051	0.014	0.071	0.016	0.003	0.021	0.024	0.004	0.015	0.015	н.о.
	23.7.13	0.017	0.025	0.002	0.016	0.003	н.о.	0.004	0.005	н.о.	0.002	0.003	н.о.
	26.7.13	0.029	0.026	0.004	0.025	0.004	н.о.	0.006	0.006	н.о.	0.003	0.004	н.о.
	28.7.13	0.023	0.027	0.005	0.026	0.006	0.001	0.009	0.010	н.о.	0.006	0.007	н.о.
	31.7.13	0.013	0.014	0.002	0.015	0.001	н.о.	0.004	0.003	н.о.	0.002	0.002	н.о.
	Средн.	0.027	0.030	0.005	0.031	0.006	н.о.	0.008	0.009	н.о.	0.005	0.006	н.о.
	Норм.	0.8	0.4	0.7	0.9	1.0	н.о.	1.6	1.5	н.о.	1.5	1.8	н.о.
Малая Гравийка	12.7.13	0.311	0.556	0.087	0.390	0.093	0.022	0.104	0.100	0.019	0.068	0.061	0.009
	21.7.13	0.461	0.708	0.134	0.559	0.138	0.034	0.149	0.143	0.029	0.090	0.088	0.012
	27.7.13	0.519	0.706	0.144	0.623	0.146	0.035	0.172	0.164	0.033	0.102	0.096	0.014
	29.7.13	0.504	0.702	0.145	0.609	0.145	0.035	0.169	0.168	0.032	0.100	0.095	0.015
	Средн.	0.449	0.668	0.127	0.545	0.130	0.031	0.149	0.144	0.028	0.090	0.085	0.012
	Норм.	14.0	9.2	16.1	16.5	22.9	25.4	28.6	24.0	27.0	26.4	27.4	26.0
Лисий лог	10.7.13	0.136	0.166	0.031	0.143	0.031	0.008	0.036	0.036	0.006	0.022	0.020	0.002
	15.7.13	0.120	0.091	0.015	0.076	0.018	0.004	0.027	0.023	0.004	0.016	0.014	0.001
	23.7.13	0.160	0.214	0.038	0.172	0.037	0.009	0.043	0.042	0.007	0.024	0.023	0.002
	28.7.13	0.189	0.268	0.045	0.190	0.041	0.012	0.049	0.046	0.008	0.030	0.028	0.002
	31.7.13	0.171	0.256	0.042	0.179	0.040	0.010	0.044	0.040	0.007	0.026	0.022	0.002
	Средн.	0.155	0.199	0.034	0.152	0.033	0.008	0.040	0.037	0.006	0.024	0.021	0.002
	Норм.	4.8	2.7	4.4	4.6	5.9	6.8	7.7	6.2	6.1	7.0	6.9	3.7
NASC* [4]		32	73	7.9	33	5.7	1.24	5.2	6.0	1.04	3.4	3.1	0.48

*Содержание РЗЭ в референтных суглинках NASC дано в миллиграммах на килограмм.

В бореальных условиях РЗЭ мигрируют в поверхностных водах по преимуществу с коллоидной фазой, что хорошо известно из литературы [8–9]. В случае района г. Игарки это подтверждается прямой линейной связью между содержанием железа и органического углерода, с одной стороны, и содержанием как лёгких, так и тяжёлых РЗЭ, с другой (коэффициент корреляции $r > 0{,}9$). Содержание ^{140}Ce также считается показателем присутствия коллоидов, обогащенных РЗЭ [8]; отрицательная аномалия церия в руч. Малой Гравийке ($Ce_{ан} = –0{,}37$) не так велика по модулю, как в других водотоках (до –0,65).

Содержание коллоидных комплексов может быть использовано в качестве трассеров в изучении гидрологических процессов и оценке вклада отдельных источников питания и типов стока в суммарный сток [2, 4–6]. Используются также соотношения между содержанием в воде элементов, перемещающихся в виде истинных растворов и коллоидов – Sb/Th, U/Th [2, 7], а также показатели фракционирования РЗЭ, перемещающихся с коллоидной фазой. Так, относительное обогащение вод легкими РЗЭ является признаком фильтрации воды, в основном, через органический горизонт (надмерзлотная верховодка), тогда как увеличение доли

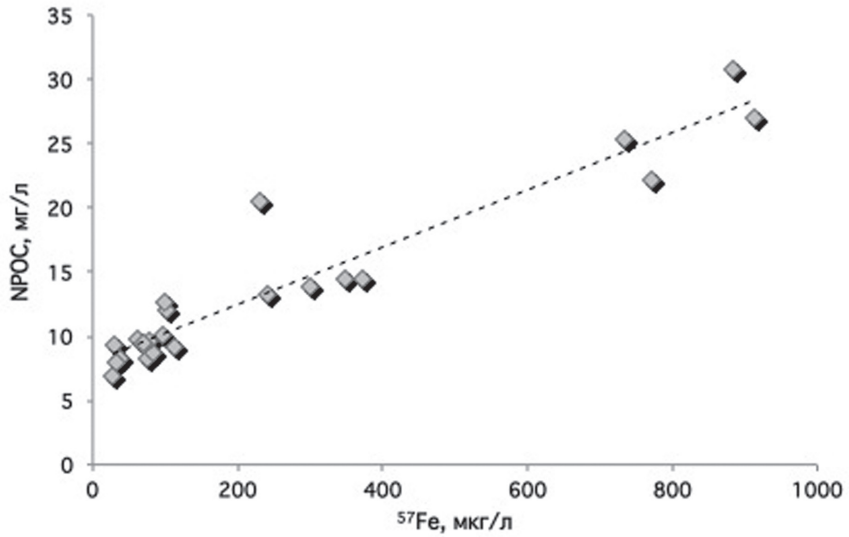


Рис. 2. Связь содержания органического углерода (NPOC) с содержанием железа в речных водах района г. Игарки (малые реки и р. Енисей)

тяжёлых РЗЭ указывает на перемещение воды в более глубоких зонах почвенного профиля [2, 6, 7].

В летний период гидрологические процессы протекают по-разному на водосборах различных размеров и с отличающимся почвенным субстратом. Основной источник питания более крупной р. Гравийки в это время – небольшие ручьи, дренирующие низинные болота в долине среднего и нижнего течения этой реки. Об этом свидетельствует щелочная реакция вод, низкие значения соотношений Nd/Yb и Sb/Th, а также замедленная реакция гидрографа на ливневые события. Большая их часть практически не отражается в уровенном режиме реки, т.е. гидрологический сигнал сглаживается буфером, важный элемент которого – заболоченные участки долины реки.

На малых водотоках водный режим открытого русла формируется иначе. Поверхностный сток руч. Малой Гравийки начинается с разгрузки по таликовым каналам грунтовых вод красно-бурого цвета, предположительно имеющих значительные концентрации Al, Fe и ассоциированных с коллоидной фазой элементов. После схода снега основную роль в питании водотоков играет надмерзлотная верховодка, однако продолжается и разгрузка по таликовым каналам, приуроченным, вероятно, к повсеместно вскрывающемуся ручьями горизонту валунных суглинков. Об одновременном участии двух источников питания говорит промежуточное значение соотношения Nd/Yb (около 6,3) и низкое – соотношения Sb/Th, а также аналогичного ему U/Th (меньше 1). На водосборах с более тяжелым механическим составом почв (руч. Лисий лог) потенциал выщелачивания и альфегумусного процесса ограничен, поэтому вклад минеральной части почвенного профиля менее заметен. Развитие деятельного слоя направляет часть фильтрующихся вод в минеральный горизонт, однако в течение первой половины лета большая часть стока формируется в органическом слое и является быстрым подповерхностным (соотношение Nd/Yb > 7,1). Постепенное увеличение содержания Na, Cl и B может указывать на периодическое сопряжение этого водосбора с более глубокими водоносными горизонтами по мере протаивания деятельного слоя и падения водности ручья.

Выводы. Водный режим малых рек района г. Игарки в летний период определяется режимом низинных болот, гидрологически сопряженных с их долинами; области крупнобугристых торфяников в это время «отъединены» от остальной части водосбора. Малые водотоки в течение всего летнего периода, предположительно, имеют два источника питания – быстрый подповерхностный, приуроченный к органической части почвенного профиля, и медленный грунтовый,

разгружающийся в русловую сеть по таликовым каналам. В наибольшей степени это заметно на молодых поверхностях, со времени формирования которых прошли первые тысячи лет.

Благодарности. Работы выполнены при частичной финансовой поддержке Национального научного фонда США (проект NSF ARC-1204070). Автор благодарит за предоставленные материалы А. С. Прокушкина (Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН) и О. С. Покровского (GET-OMP-CNRS, Тулуза, Франция).

Список литературы

1. Tetzlaff, D. Tracer-based assessment of flow paths, storage and runoff generation in northern catchments: a review / D. Tetzlaff, J. Buttle, S. K. Carey, K. McGuire, H. Laudon, C. Soulsby // Hydrol. Process. – 2014. doi: 10.1002/hyp.10412.

2. Bagard, M.-L. Seasonal variability of element fluxes in two Central Siberian rivers draining high latitude permafrost dominated areas / M.-L. Bagard, F. Chabaux, O.S. Pokrovsky // Geochim. Cosmochim. – 2011. – Acta 75. – P. 3335–3357.

3. Самарина, В. С. Гидрогеохимия : учебное пособие / В. С. Самарина. – Л. : Изд-во Лен. ун-та, 1977. – 360 с.

4. Gromet, L. P. The «North American shale composite»: Its compilation, major and trace elements / L. P. Gromet, R. F. Dymek, L. A. Haskin [et al.] // Geochim. Cosmochim. – 1984. – Acta 48. – P. 2469–2482.

5. Савичев, О. Г. Эколого-геохимическое состояние поверхностных водных объектов в Таз-Енисейском междуречье / О. Г. Савичев, Л. Г. Колесниченко, Е. В. Сайфулина // География и природные ресурсы. – 2011. – № 4. – С. 45–49.

6. Dahlqvist, R. Temporal variations of colloidal carrier phases and associated trace elements in a boreal river/ R. Dahlqvist, K. Andersson, J . Ingri [et al.] // Geochim. Cosmochim. – 2007. – Acta 71, 5339-5354.

7. Prokushkin, A. S. Source- and substrate-specific export of dissolved organic matter from permafrost-dominated forested watershed in Central Siberia / A. S. Prokushkin, G. Gleixner, W. McDowell // Global Biogeochem. – 2007. – Cycles21, doi: 10.1029/2007GB002938.

8. Ingri, J. Temporal variations in the fractionation of the rare earth elements in a boreal river; the role of colloidal particles / J. Ingri, A. Widerlund, M. Land [et al.] // Chem. Geol. – 2000. – 166. – P. 23–45.

9. Pokrovsky, O. S. Iron colloids/organic matter associated transport of major and trace elements in small boreal rivers and their estuaries (NW Russia) / O. S. Pokrovsky, J. Schott // Chem. Geol. – 2002. – 190. – P. 141–179.

10. Pokrovsky, O. S. Trace element fractionation and transport in boreal rivers and soil porewaters of permafrost-dominated basaltic terrain in Central Siberia / O. S. Pokrovsky, J. Schott, B. Dupré // Geochim. Cosmochim. – 2006. – Acta 70. – P. 3239–3260.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАСЫЩЕННОСТИ КВАРЦЕМ И АМОРФНЫМ КРЕМНЕЗЕМОМ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД БАРГУЗИНСКОЙ ДОЛИНЫ

Ульзетуева И. Д.[1], Хахинов В. В.[1], Ванжилов А. Ю.[2], Будаева В. С.[2]
[1]Байкальский институт природопользования СО РАН, г. Улан-Удэ, idulz@mail.ru;
[2] Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ, viktoriya.budaeva.94@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты гидрохимического исследования вод минеральных источников Баргузинской долины, характеризующиеся наличием высоких концентраций кремния. Приведены расчеты насыщенности кварцем и аморфным кремнеземом в минеральных водах.

Ключевые слова: *минеральные источники, кремний.*

Abstract. Presents the results of hydrochemical studies of mineral water sources in Barguzinskaya Valley, characterized by the presence of high concentrations of silicon. Calculations of saturation of quartz and amorphous silica in the mineral waters.

Key words: *mineral water, silicon.*

Баргузинская котловина расположена в северо-восточной части Прибайкалья, между Баргузинским, Икатским и Голондинским хребтами. Здесь встречаются разные по химическому составу и температуре минеральные источники, пресные и соленые озера. Формирование химического состава вод Баргузинской долины связано с ее геоструктурными, гидрохимическими и геотермальными условиями. Высокая сейсмичность обусловлена разломами, активизированными на современном этапе геологического развития. Об активности зон глубинных рельефообразующих бортовых разломов свидетельствует обилие термальных и минеральных источников, находящихся на пересечениях этих зон горными речными долинами [1, 2].

Кремнистые воды имеют разнообразный химический состав, но объединяет их наличие в составе условно эссенциального микроэлемента – кремния. В минеральных водах содержание растворенного кремнезема в виде метакремниевой (редко ортокремниевой) кислоты может достигать половины общей минерализации, что не может не сказаться на их физико-химических свойствах. Несмотря на широкое распространение кремния в природных водах и существенную роль его в протекании многих физико-химических процессов, количественному определению этого компонента до сих пор уделяется мало внимания. По требованиям Государственного стандарта на питьевые минеральные воды его количество должно быть не менее 50 мг/дм^3 [3]. В связи с этим рассмотрение факторов, с которыми связано поступление и накопление кремния в растворе, является важным.

Подробные сведения о содержании кремнезема в природных водах необходимы не только для оценки масштабов миграции этого компонента, но и для решения вопроса, касающегося интенсивности выветривания пород, проблемы их происхождения.

В данной работе рассмотрено поведение кремния в термальных водах минеральных источников Баргузинской долины. Исследованные нами минеральные источники по своим физическим свойствам, химическому и газовому составу относятся к азотным термальным кремнистым водам Байкальской гидроминеральной области. Характерной особенностью минеральных источников является наличие в их составе высоких концентраций фтор-иона и кремния. Накоплению этих компонентов в термальных водах способствует щелочная среда и повышенная температура.

Термальные источники Алла расположены у подножия Баргузинского хребта, в долине р. Алла, при выходе ее из горного массива. Высота над уровнем моря 706 м. Максимальная температура составляет 57 – 72º С, дебит до 80 м^3/сут. Термальная вода поднимается по тектоническим трещинам в древних кристаллических породах на поверхность, охлаждается, смешиваясь в песчано-галечных отложениях с грунтовыми водами. По органолептическим показателям вода пресная, прозрачная, без цвета, с сероводородным запахом, без осадка. Преобладающими анионами, определяющими состав воды, являются гидрокарбонат-ион с концентрацией 122,5 мг/дм^3 и сульфат-ион с концентрацией 39,6 мг/дм^3. Из катионов преобладают ионы натрия (суммарно с калием) в количестве 108,6 мг/дм^3. Минерализация составляет 430 мг/дм^3, pH 9,3. В воде источника выявлена метакремниевая кислота в количестве 115,1 мг/дм^3. Содержание сероводорода составляет 8,2 мг/дм^3.

В соответствии с критериями оценки минеральных вод вода источника является природной минеральной термальной кремнистой лечебной водой для наружного применения и может быть отнесена к 4 группе бальнеологических вод (подгруппа 4.2, Уш-Бельдирский тип). Воды данного типа в виде ванн используются при болезнях системы кровообращения (ревматические пороки сердца, гипертония, ишемия и т.д.), костно-мышечной системы (артропатия, остепатия и др.), нервной системы (воспалительные болезни нервной системы, функциональные болезни нервной системы и т.д.), эндокринной системы (ожирение), мочеполовой системы, кожные болезни (дермит, экзема и др.).

Умхейские термальные источники находятся на севере Баргузинской впадины, в долине р. Баргузин. Очаг разгрузки минеральных вод приурочен к пересечению разнонаправленных разломов, перекрытых четвертичными отложениями. Высота над уровнем моря 603 м.

Максимальная температура достигает 50º С. По органолептическим показателям вода пресная, прозрачная, без цвета, с сероводородным запахом, без осадка. Преобладающими анионами, определяющими состав воды, являются гидрокарбонат-ион с концентрацией до 120,5 мг/дм^3 и сульфат-ион с концентрацией до 76,5 мг/дм^3, хлорид-ион до 12,8 мг/дм^3. Из катионов преобладают ионы натрия (суммарно с калием) в количестве до 102,9 мг/дм^3. Минерализация составляет 400 – 420 мг/дм^3, pH 9,4 – 9,6. В воде источника выявлена метакремниевая кислота в количестве 90 – 103,4 мг/дм^3, сероводород 9,1 – 12,8 мг/дм^3. В соответствии с критериями оценки минеральных вод, вода источника является природной минеральной термальной кремнистой слабосероводородной лечебной водой для наружного применения и может быть отнесена к 4 группе бальнеологических вод (подгруппа 4.2, Уш-Бельдирский тип).

Кучигерские термальные источники выходят на поверхность у северо-западного борта Баргузинской впадины. Источники имеют выходы, образующие две линии. Очаг разгрузки минеральных вод приурочен к пересечению разнонаправленных разломов, перекрытых четвертичными отложениями. Геологическое строение месторождения термальных вод представлено термальным высокоминерализованным средне- и высокозольным водоросле-глинистым и глинистым сапропелем. Термальные воды характеризуются повышенной минерализацией, наличием свободного сероводорода и температурой 37 – 40º С. Общий дебит источников составляет 10 – 11 л/с. По органолептическим показателям вода пресная, прозрачная, без цвета, с сероводородным запахом, без осадка. Преобладающими анионами, определяющими состав воды, являются гидрокарбонат-ион с концентрацией 94,5 – 105,0 мг/дм^3 и сульфат-ион с концентрацией 77,0 – 97,5 мг/дм^3, хлорид-ион – 9,8 – 16,1 мг/дм^3. Из катионов преобладают ионы натрия (суммарно с калием) в количестве 101,7 – 111,7 мг/дм^3. Минерализация составляет 420 – 470 мг/дм^3, pH 9,05 – 9,55. Из биологически активных компонентов, достигающих бальнеологически значимой нормы, в воде источника выявлена метакремниевая кислота в количестве 99 – 117,1 мг/дм^3 и сероводород – 21,2 – 29,0 мг/дм^3. В соответствии с критериями оценки минеральных вод вода источника является природной минеральной термальной кремнистой слабосероводородной лечебной водой для наружного применения и может быть отнесена к 4 группе бальнеологических вод (подгруппа 4.2, Уш-Бельдирский тип).

Источник Гарга находится в долине р. Гарги, при выходе ее из гор Икатского хребта. Дебит источника около 5 л/с, температура на изливе составляет 64 – 65º С. По органолептическим показателям вода пресная, прозрачная, без цвета, без запаха, без осадка. Преобладающими анионами, определяющими состав воды, являются гидрокарбонат-ион в концентрации 189,5 – 210,5 мг/дм^3 и сульфат-ион в концентрации 218,4 – 260,5 мг/дм^3, хлорид-ион – 47,0 – 49,5 мг/дм^3. Из катионов преобладают ионы натрия (суммарно с калием) в количестве 264,6 – 277,5 мг/дм^3. Минерализация воды составляет 860 – 930 мг/дм^3, pH 7,30 – 7,55. Из биологически активных компонентов, достигающих бальнеологически значимой нормы, в воде источника выявлена метакремниевая кислота в количестве 88,7 – 107,4 мг/дм^3. В соответствии с критериями оценки минеральных вод, вода источника является природной минеральной термальной кремнистой лечебной водой для наружного применения и может быть условно отнесена к 4 группе бальнеологических вод (подгруппа 4.1, Кульдурский тип). Воды данного типа в виде ванн используются при болезнях системы кровообращения (ревматические пороки сердца, гипертония и т.д.), костно-мышечной системы (артропатия, остепатия и др.), нервной системы (функциональные болезни нервной системы и т.д.), эндокринной системы (ожирение), мочеполовой системы, кожные болезни (дермит, экзема, рубцы и др.).

С целью определения насыщенности минеральных вод кварцем и аморфным кремнеземом была рассчитана растворимость этих соединений при различных температурах. Полученные результаты показали, что все термальные воды являются пересыщенными по отношению к кварцу. Однако отложений этого соединения в местах разгрузки гидротерм не наблюдается. Многие исследователи объясняют это чрезвычайно малой скоростью реакции кристаллизации кварца из раствора [4, 5].

Полимеризация и отложение кремнезема никогда не происходит до тех пор, пока его концентрация в растворе ниже растворимости аморфного кремнезема. Подвижность аморфного кремнезема возрастает с повышением температуры, а растворимость зависит от pH. Результаты расчетов указывают на отсутствие насыщения термальных вод аморфным кремнеземом при температурах их разгрузки, т.е. весь кремний в этих водах находится в истинно растворенном состоянии.

Следует отметить, что при охлаждении, когда растворимость кремнезема резко падает, многие из вод оказываются насыщенными этим соединением, т.е. возникает возможность появления полимерных форм и перехода растворенного кремнезема в твердую фазу.

Фактором, тормозящим переход растворенного кремнезема в твердую фазу, может являться наличие высоких концентраций фтор-иона в термальных водах, способного оказывать на растворенный кремнезем деполимеризующее влияние, тем самым стабилизируя на длительное время пересыщенный аморфным кремнеземом раствор.

Ненасыщенность углекислых вод аморфным кремнеземом позволяет говорить о нахождении кремния в данных водах в истинно растворенном состоянии.

Формирование макрокомпонентного состава вод данного типа, ненасыщенных аморфным кремнеземом, связано с поступлением из пород и минералов, за счет процессов выщелачивания как ионов кальция и магния, так и кремнезема.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №12-05-00871-а и интеграционного гранта СО РАН № 5.

Список литературы

1. Геохимическая деятельность микроорганизмов гидротерм Байкальской рифтовой зоны / Б. Б. Намсараев, Д. Д. Бархутова, Э. В. Данилова [и др.] – Новосибирск : Академическое изд-во «Гео», 2011. – 302 с.

2. Борисенко, И. М. Минеральные воды Бурятской АССР / И. М. Борисенко, Л. В. Замана. – Улан-Удэ : Бур. кн. изд-во, 1978. – 162 с.

3. ГОСТ 23268.0-91 - ГОСТ 23268.18-91. Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Правила приемки и методы анализа. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 68 с.

4. Жигунова, Н. М. Роль некоторых физико-химических процессов в формировании химического состава минеральных вод Монгольской Народной Республики : автореф. дис. ... канд. хим. наук : 11.00.10 / Нина Михайловна Жигунова. – Иркутск, 1979. – 21 с.

5. Кварц. Кремнезем : сб. ст. / [отв. ред. Н. П. Юшкин]. – Сыктывкар : Геопринт, 2004. – 350 с.

ОСОБЕННОСТИ ПОДЗЕМНОГО ПИТАНИЯ РЕК НА РАЗНЫХ СКЛОНАХ ГЛАВНОГО ВОДОРАЗДЕЛА ЗЕМЛИ (НА ПРИМЕРЕ РЕК СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ)

Ушаков М. В.

ФГБУН Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), г. Магадан, mvilorich@naord.ru

Аннотация. Проанализированы кривые истощения зимнего стока рек Кулу, Малого Анюя, Гижига и Анадыря, водосборы которых располагаются по обе стороны Главного водораздела Земли. Выявлены различия в характере истощения зимнего стока, которые обусловлены главным образом климатическими условиями.

Ключевые слова: *подземные воды, кривые истощения стока, зимняя межень.*

Abstract. The report analyzed the depletion curves winter flow rivers Kulu, Malyi Anyuy, Gizhiga, Anadyr and the watersheds of which are located on both sides of the Main watershed of the Earth. The differences in the nature of the depletion of the winter runoff, which are mainly due to climatic conditions.

Key words: *groundwater, depletion curves runoff, winter low flow.*

Введение. Как известно, территорию Северо-Востока России пересекает Главный водораздел Земли (ГВЗ), разграничивающий бассейны тихоокеанского склона (бассейны рек, впадающих в Тихий и Индийский океаны) и атлантического (бассейны рек, впадающих в Атлантический и Северный Ледовитый океаны) (рис. 1). Повсеместное распространение многолетнемерзлых пород, длительная (семь месяцев и более) зимняя межень, при которой единственным источником питания рек становятся подземные воды зоны активного водообмена, вызывают истощение стока во всех водотоках региона в десятки и сотни раз или до его полного прекращения. Северо-Восток России, водообеспеченный по показателям среднегодового стока, в реальности ежегодно превращается в вододефицитный. Для выработки мер предупреждения этого негативного гидроэкологического факта необходимо изучить закономерности данного процесса в локальных речных районах этой территории. Имеющиеся рекомендации расчетов минимального зимнего стока [1] не учитывают особенностей процесса изменения показателей истощения стока во времени и специфики питания рек подземными водами.

Рис. 1. Схема расположения района исследования на Северо-Востоке России.
Гидрологические посты: 1 – р. Кулу – пос. Кулу; 2 – р. Гижига – в 20 км от устья; 3 – р. Малый Анюй – с. Островное; 4 – р. Анадырь – гм. ст. Новый Еропол

Цель предлагаемого доклада – выявить различия в характере истощения стока в зимнюю межень с речных водосборов по обе стороны ГВЗ – рек Кулу, Малый Анюй (атлантический склон) и рек Гижига, Анадырь (тихоокеанский склон) (см. рис. 1).

Для анализа использовались данные наблюдений за стоком Колымского и Чукотского управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [2].

Результаты исследования. Анализ среднемноголетних кривых истощения зимнего стока показывает, что в начале межени удельный сток р. Кулу у пос. Кулу (атлантический склон) почти в два раза меньше, чем р. Гижиги – в 20 км от устья (тихоокеанский склон) (рис. 2, а), к концу зимы это соотношение увеличивается до 7,2. По этим же кривым, но построенным в относительных координатах и полулогарифмическом масштабе (рис. 2, б), можно видеть, что в начале зимы истощение стока рек Кулу и Гижиги происходит с одинаковой интенсивностью. Но с середины зимы сток р. Гижиги постепенно стабилизируется и в апреле даже начинает увеличиваться, тогда как модули расходов воды р. Кулу продолжают снижаться до нуля.

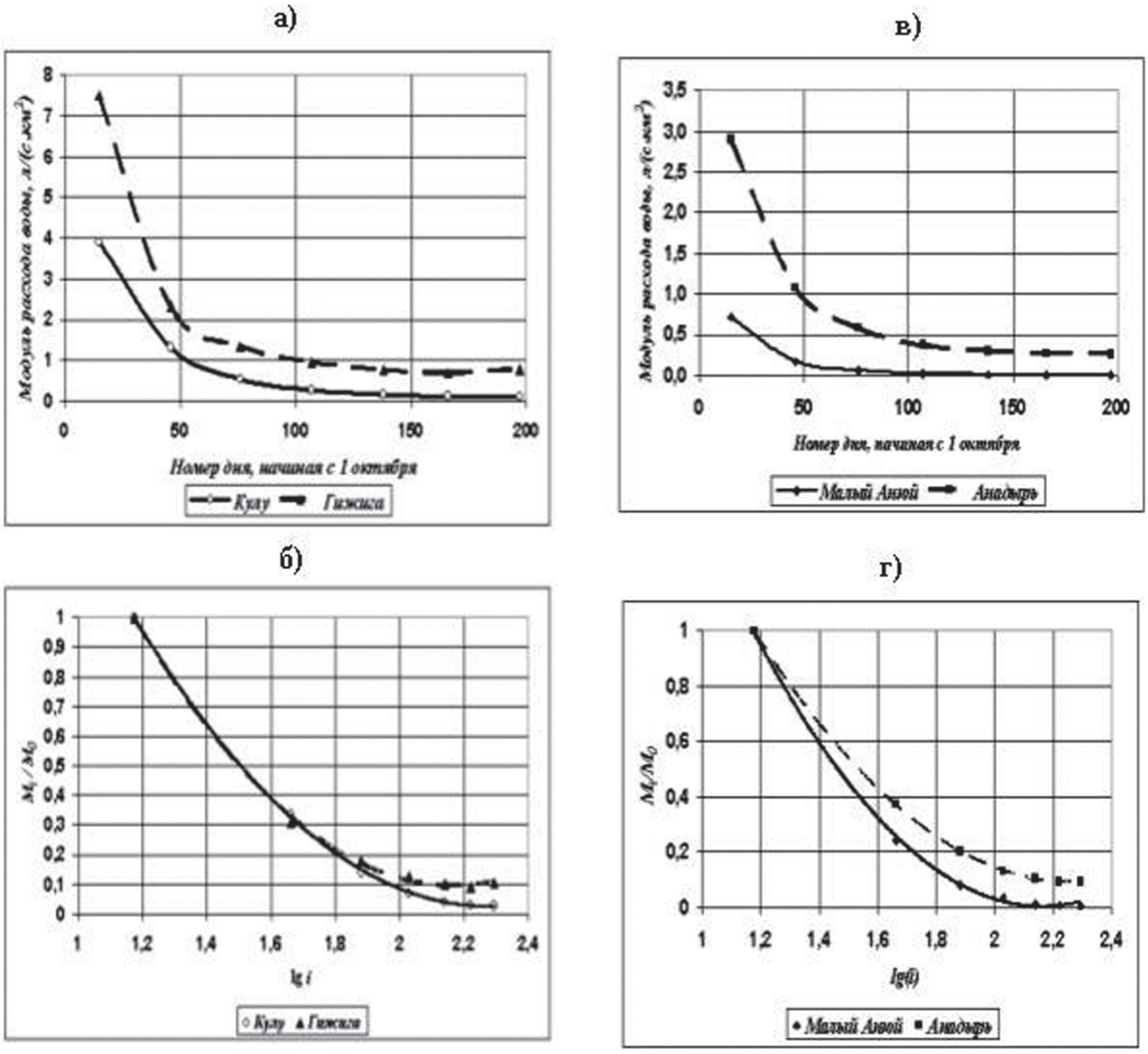


Рис. 2. Среднемноголетние кривые истощения зимнего стока:
р. Кулу у пос. Кулу (площадь водосбора 10 300 км²); р. Гижиги – в 20 км от устья (площадь водосбора 11 700 км²); р. Малого Анюя у с. Островного (площадь водосбора 30 000 км²) и р. Анадыря у пос. Нового Еропола (площадь водосбора 47 300 км²). а и в – модуль расхода воды; б и г – построены в относительных координатах M_i/M_0 (M_i – модуль расхода воды в день i; M_0 – модуль расхода воды на 15 октября)

Примерно такие же различия в характере истощения стока отмечаются и на реках Чукотки (рис. 2, в, г): р. Малый Анюй у с. Островного (атлантический склон), р. Анадырь у гм. ст. Нового Еропола (тихоокеанский склон).

Кривые, изображенные на рис. 2, хорошо аппроксимируются следующими уравнениями:

$M_i / M_0 = 0,8151(\lg i)^2 - 3,70\lg i + 4,22$ для р. Кулу;

$M_i / M_0 = 0,9239(\lg i)^2 - 4,00\lg i + 4,43$ для р. Гижиги;

$M_i / M_0 = 0,7673(\lg i)^2 - 3,48\lg i + 4,03$ для р. Малого Анюя;

$M_i / M_0 = 1,0277(\lg i)^2 - 4,44\lg i + 4,80$ для р. Анадыря,

где M_i – модуль расхода воды в день i; M_0 – модуль расхода воды на 15 октября.

Обсуждение результатов. Различия в процессе уменьшения стока в зимнюю межень в реках с круглогодичным стоком на разных склонах ГВЗ проявляются в том, что значения коэффициентов в уравнениях его истощения на тихоокеанском склоне превышают аналогичные коэффициенты в уравнениях для рек на атлантическом склоне. Следует при этом учитывать, что мы сопоставляем пары рек с примерно равными водосборными площадями, геокриологическими и геологическими условиями. Эти пары: реки Кулу – Гижига, реки Малый Анюй – Анадырь. Поэтому можно с уверенностью сказать, что различия в закономерностях истощения стока на разных океанических склонах связаны с проявлениями климатических отличий.

На тихоокеанском склоне примерно в равных географических обстановках выпадает больше атмосферных осадков, чем на атлантическом (таблица). Кроме того, там и термические условия зимой мягче. Такой климат способствует тому, что глубина промерзания на площадях таликов в бассейнах рек Охотского и Берингова морей меньше, а на участках с многолетнемерзлыми породами и сезонноталый слой толще, чем в бассейне р. Колымы. Есть и другие климатические отличия, определяющие режим поступления подземных вод зоны свободного водообмена в реки. Изложенные обстоятельства дали основания для выделения речных районов по участию подземных вод в питании рек Циркумарктической и Циркумтихоокеанической областей [3].

Климатические условия [4, 5]

Характеристика	Метеостанция			
	атлантический склон		тихоокеанский склон	
	Кулу (62° с.ш., 148° в.д.)	Островное (68° с.ш., 164 в.д.)	Гижига (62° с.ш., 160° в.д.)	Мухоморное (66° с.ш., 170° в.д.)
Средняя годовая температура воздуха, ° С	–11,5	–11,8	–5,2	–8,8
Средняя температура воздуха за октябрь – апрель, ° С	–25,9	–25,4	–14,4	–20,4
Сумма осадков за октябрь – апрель, мм	104	97	152	143

Заключение. Выполненное исследование показывает, что количественные особенности истощения зимнего меженного стока имеют как общий для всего региона характер, так и локальные, обусловленные климатическими условиями по разные стороны ГВЗ. Изучение этих особенностей необходимо для обоснования прогнозов режимов зимней межени, разработки способов искусственного увеличения ресурсов пресных природных вод в холодный период года в конкретных водотоках, решения геоэкологических проблем.

Автор выражает признательность доктору В. Е. Глотову за ценные советы при проведении настоящего исследования.

Список литературы

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. – Л. : Гидрометеоиздат, 1969. – 282 с.

2. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. – Л. : Гидрометеоиздат, 1985. – Т. I, вып. 17. – 429 с.

3. Глотов, В. Е. Районирование Северо-Востока России по степени участия подземных вод в формировании общего речного стока // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике. / В. Е. Глотов ; [отв. ред. : В. Е. Глотов, Н. В. Ухов]. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 182–201.

4. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. – Л. : Гидрометеоиздат, 1990. – Ч. 1 – 6, вып. 33. – 566 с.

5. Сайт ВНИИГМИ-МЦД. URL : http://meteo.ru/data/.

ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СИХОТЭ-АЛИНЯ

Харитонова Н. А. [1,2], Челноков Г. А.[1], Чудаев О. В.[1], Брагин И. В.[1], Вах Е. А.[1]
[1]Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, tchenat@mail.ru;
[2]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Аннотация. В работе представлены результаты исследования поведения и фракционирования редкоземельных элементов в подземных водах Сихотэ-Алиня. Установлено, что содержание РЗЭ, их геохимия и фракционирование разнообразны в различных типах подземных вод и определяются комплексом факторов. Подземные воды имеют на 5 – 7 порядков более низкие концентрации РЗЭ, чем водовмещающие породы. Уровень концентрации РЗЭ в углекислых минеральных водах значительно выше, чем в пресных, термальных и соленых. Основной формой нахождения РЗЭ во всех исследованных типах вод, за исключением рассолов, является карбонатная форма.
Ключевые слова: *подземные воды, РЗЭ, формы миграции.*

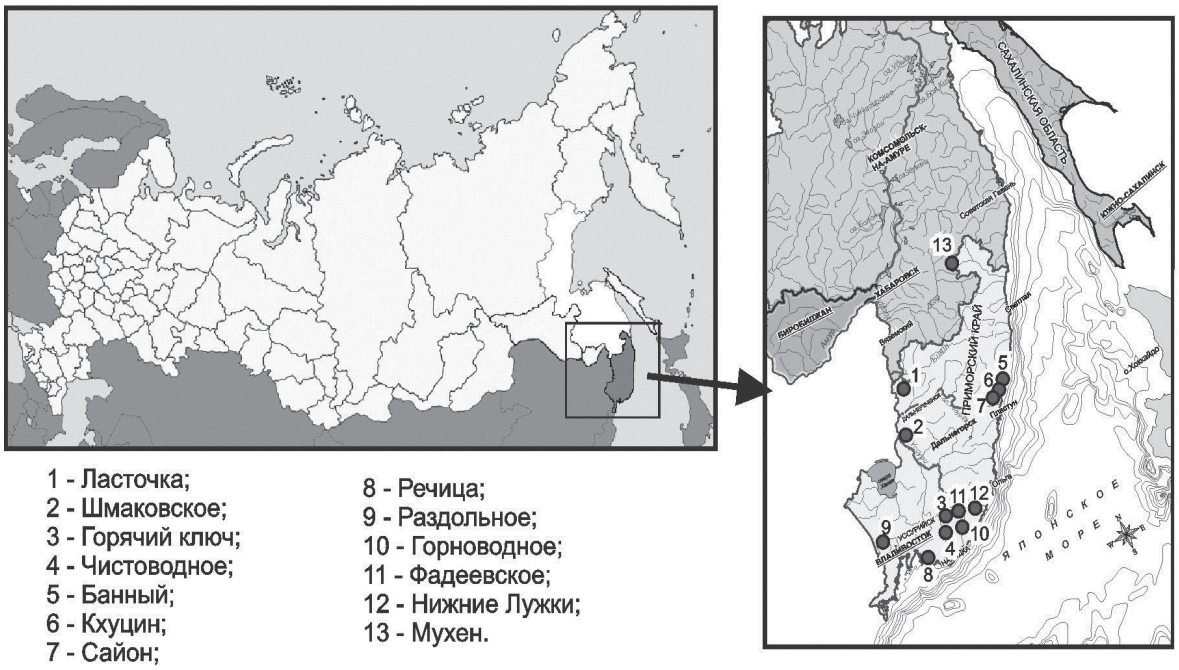
Abstract. This study indicates the investigation results of REE's behavior and fractionation in groundwaters from Sikhote-Alin region. It has been established that contents of REE, its geochemistry and fractionation are differed in various types of groundwater and depend on the complex factors. Grounwaters have lower concentration than bedrocks (up to 5 – 7 degrees). The level of content of REE in high pCO2 groundwater is considerably above than in fresh, thermal and brine one. In all types of groundwater, excluding brine, carbonate form of REE is the major dissolved form migration.
Key words: *groundwater, REE, migration form.*

В последние два десятилетия появились многочисленные работы, в которых были исследованы свойства редкоземельных элементов (РЗЭ) в водных растворах [1–4]. Одной из главных причин столь пристального внимания ученых является возможность использования РЗЭ при реконструкции процессов взаимодействия «вода – порода» и при оценке пропорций смешения подземных вод различных геохимических типов. К сожалению, оказалось, что возможность использования РЗЭ ограничена, поскольку происходит достаточно значительное фракционирование РЗЭ при многих геохимических процессах [5, 6].

Первые данные по содержанию и формам миграции РЗЭ в отдельных типах подземных водах Сихотэ-Алиня были получены еще в 1995 г. [7], впоследствии они были пополнены [8–10]. Авторы вышеперечисленных работ получили большое количество аналитических данных по содержанию РЗЭ в водной фазе для ряда месторождений углекислых минеральных вод Сихотэ-Алиня, термальных вод, а также атмосферных осадков.

Объект и методы исследования. В основу работы положены результаты детальных гидрохимических исследований четырех типов подземных вод Сихотэ-Алиня. Всего было изучено более 13 проявлений подземных вод (рис. 1), период опробования составлял 5 лет. При проведении полевых исследований и отборе проб нестабильные параметры измерялись непосредственно на месте отбора воды. Пробы для анализа катионов и сульфатов отфильтровывались через целлюлозный фильтр (0,45 мкм) на месте отбора для удаления взвеси и были подкислены азотной кислотой. Пробы для анализа анионов также фильтровались и собирались в полиэтиленовые пузырьки (без подкисления). Для определения химических элементов и компонентов в водах использовались различные аналитические методы. Основные катионы и анионы определялись методом жидкостной ионной хроматографии (HPLC-10AVp, SHIMADZU), а микро- и рассеянные элементы анализировались с использованием плазменно-оптической эмиссионной спектрометрии (ICP-AES, Plasmaquant-110) и индуктивной плазменной масс-спектроскопии (ICP-MS, Agilent 7500c) в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Точность определения РЗЭ составляла не менее 5% RSD.

Для расчета неорганических форм миграции РЗЭ был использован подход, детально описанный в работе Джоханессона с соавторами [11]. Свободные неорганические концентрации



1 - Ласточка;
2 - Шмаковское;
3 - Горячий ключ;
4 - Чистоводное;
5 - Банный;
6 - Кхуцин;
7 - Сайон;
8 - Речица;
9 - Раздольное;
10 - Горноводное;
11 - Фадеевское;
12 - Нижние Лужки;
13 - Мухен.

Рис. 1. Район исследования и местоположение изученных подземных вод

лигандов, при моделировании форм миграции были вычислены из основного состава раствора воды с использованием PHREEQE [12]. Для проверки правильности полученных результатов применяли программный комплекс Селектор-Windows [13]с базой термодинамических данных SUPCRT 2007, содержащей термодинамические параметры для всех РЗЭ.

Результаты исследования. Проведенная геохимическая типизация подземных вод Сихотэ-Алиня показала, что среди подземных вод можно выделить 4 основные группы: пресные низкоминерализованные подземные воды; воды с повышенной соленостью; холодные углекислые воды и азотные термальные воды. Изученные подземные воды по способу залегания относятся к трещинным водам, что является характерным для подземных вод вулканогенов, каковым является Сихотэ-Алинь. Несмотря на общий источник водного питания (метеорый), существуют значительные различия в составе и условиях формирования изученных групп вод, обусловленные скоростью взаимодействия «вода – порода», составом вмещающих пород и влиянием глубинных газов. В статье мы представляем данные о содержании, растворенных формах переноса и фракционировании только РЗЭ, поскольку детальные исследования химического и изотопного состава всех четырех типов подземных вод представлены в работах, опубликованных ранее [14–16].

Содержание и распределение РЗЭ и Y в пресных подземных водах было рассмотрено на примере 4 проявлений вод, расположенных в южной части Приморского края. Результаты показывают, что содержание РЗЭ во всех пресных подземных водах низкое и составляет 0,3 – 1 мкг/л, что сопоставимо с содержанием РЗЭ в поверхностных водах региона [17]. Однако, в отличие от поверхностных вод, пресные подземные воды характеризуются преобладанием тяжелых РЗЭ над легкими, доля тяжелых РЗЭ в общем количестве составляет 52 – 62%. Отношение La*/Yb* находится в диапазоне 0,01 – 0,1, что также указывает на преобладание тяжелых РЗЭ над легкими. Характерной отличительной чертой пресных вод является наличие отрицательной цериевой (Ce/Ce* варьирует от –0,01 до –0,1) и положительной европиевой (значение Eu/Eu* находится в диапазоне 0,03 – 0,7) аномалий. Профили распределения РЗЭ в пресных водах, нормированные по отношению к североамериканскому сланцу (NASC), относительно однотипны и характеризуются ярко выраженной положительной аномалией европия и отрицательной церия (рис. 2).

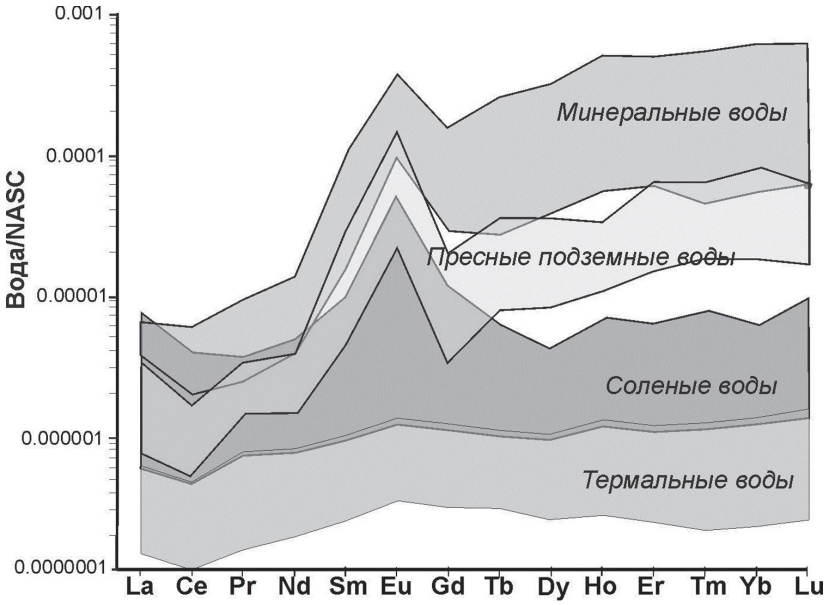


Рис. 2. Спектры распределения концентраций редкоземельных элементов в подземных водах Сихотэ-Алиня

Результаты исследований РЗЭ в углекислых водах региона показывают, что концентрации РЗЭ в данных водах колеблются в весьма широких пределах, от 0,36 до 25 мкг/л. Наиболее низкие содержания РЗЭ характерны для минеральных вод месторождений Горноводное и Фадеевское, а наиболее высокие – для месторождения Нижние Лужки. В целом, уровень концентрации РЗЭ в минеральных водах значительно выше для месторождений, локализованных в вулканогенных толщах, чем в осадочных комплексах. Эти данные, в определенной мере, отражают существенную роль водовмещающих пород зоны гипергенеза на уровень концентрации в воде РЗЭ, хотя несомненно, что их накопление в водных средах определяется и другими факторами, в том числе скоростью водообмена в системе «вода – порода». По соотношению тяжелых и легких РЗЭ все исследованные углекислые воды можно разделить на две группы: воды с преобладанием тяжелых РЗЭ и воды с преобладанием легких. К первой группе относятся три месторождения: Ласточка, Фадеевское и Горноводное. Доля тяжелых РЗЭ различается от месторождения к месторождению и лежит в диапазоне 32 – 82%. Наиболее обогащены тяжелыми РЗЭ минеральные воды месторождения Горноводное и Ласточка. Ко второй группе относятся воды месторождений Нижние Лужки, Гонжинское и Мухен. Доля легких РЗЭ в них также варьирует в зависимости от месторождения и составляет 59 – 74%. Самое высокое значение легких РЗЭ (67 – 69%) было зафиксировано в водах месторождения Нижние Лужки.

Профили распределений РЗЭ для минеральных вод имеют относительно сглаженный пологий вид, с подъемом кривой в область тяжелых, и характеризуют ярко выраженное фракционирование легких и тяжелых РЗЭ (см. рис. 2). При этом для минеральных вод каждого месторождения отмечаются определенные специфические особенности распределения РЗЭ, указывающие на их определенные особенности накопления в водной среде при формировании минеральных вод.

Сравнение содержания РЗЭ в фильтрованных и нефильтрованных образцах вод показало обогащение нефильтрованных образцов РЗЭ. Это позволяет говорить о том, что достаточное количество РЗЭ переносится в составе взвеси на частицах размером более 0,45 микрон. Установлено, что при фильтрации из раствора вместе со взвешенными частицами удаляется большое количество лантана, празеодима, европия, тербия, гольмия, туллия и лютеция. Легкие РЗЭ элементы преимущественно переносятся в водном растворе либо в виде коллоидов,

либо адсорбируются на суспензионный материал. Положительная корреляция гидрокарбонат-иона с РЗЭ свидетельствует о том, что в миграции РЗЭ углекислых вод большую роль играют комплексы с CO_3.

В термальных водах установлена очень низкая концентрация РЗЭ, что вызвано pH раствора: термальные воды являются щелочными (pH 8,5 – 9,1). В целом, уровень концентрации РЗЭ лежит в диапазоне значений 0,02 – 0,3 мкг/л, что на порядок ниже, чем их содержание в пресных подземных водах, и в сотни, чем в углекислых. Так же как и в углекислых водах, в термальных наблюдается обогащение легкими РЗЭ в сравнении с тяжелыми. Отношение La*/Yb* составляет 5 – 10, доля легких РЗЭ колеблется в диапазоне 70 – 85% от общего содержания. Наблюдается незначительная отрицательная цериевая аномалия (Ce/Ce* составляет –0,02 – –0,3). Для источников Горячий ключ и Кхуцин наблюдается также отрицательная европиевая аномалия, с Eu/Eu* – –0,1 – –0,5. Наличие отрицательной европиевой аномалии в этих источниках, вероятно, связано с активным выщелачиванием алюмосиликатов в процессе взаимодействия с термальными водами [14].

Концентрации РЗЭ в соленых водах почти на порядок выше, чем в термальных и лежат в диапазоне значений 0,1 – 0,92 мкг/л. Соленые подземные воды обогащены легкими РЗЭ в сравнении с тяжелыми, доля легких составляет 50 – 79%. Отношение La*/Yb* находится в диапазоне 2 – 21. Для всех вод характерно наличие ярко выраженной отрицательной цериевой аномалии, со значением Ce/Ce* –0,15 – –0,58 и положительной европиевой аномалии, значение Eu/Eu* варьирует от 0,08 до 0,91. Профиль распределения РЗЭ в соленых водах имеет тенденцию к обогащению тяжелыми РЗЭ (см. рис. 2).

Результаты расчетов растворенных форм миграции свидетельствуют, что основной формой миграции РЗЭ во всех типах вод является комплекс с карбонат-ионом $REE[CO_3]^+$, однако его количество (%) варьирует от источника к источнику. В пресных подземных водах содержание $REE[CO_3]^+$ составляет 92 – 95%, и происходит обогащение при движении в сторону более тяжелых РЗЭ: $LaCO_3^+$ – 92%, $Nd[CO_3]^+$ – 96%, $Yb[CO_3]^+$ – 99%. Второй, по распространенности, формой миграции является бескомплексная форма REE^{3+} – 0,5 – 8%. Третьей формой – сульфатная форма $REE[SO_4]^+$ в случае легких и средних РЗЭ и в виде комплекса с фтором – для тяжелых РЗЭ. В углекислых минеральных водах REE[CO3]+ является доминирующей формой миграции. Расчет, выполненный для четырех месторождений – Фадеевское, Горноводное, Ласточка и Нижние Лужки, показал, что содержание $REE[CO_3]^+$ находится в диапазоне 55 – 82% и варьирует от месторождения к месторождению. Наиболее высокие содержания $REE[CO_3]^+$ определены для месторождения Нижние Лужки. Второй по распространенности формой является форма металла REE^{3+}, составляющая первые десятки процентов. Количество бескомплексной формы уменьшается в сторону утяжеления РЗЭ. Третий комплекс – $REE[SO_4]^+$ в случае лантана и гадолиния и $REEF^{2+}$ – в случае иттербия. Остальные комплексы находятся в подчиненном количестве, и их суммарное значение не превышает 1%. В термальных водах отмечается резкое преобладание $REE[CO_3]^+$, его содержание лежит в диапазоне значений 99,1 – 99,5%, все остальные комплексы находятся в подчиненном значении. Столь высокое преобладание карбонатной формы в термальных водах вызвано pH раствора 8,8 – 9,1.

В соленых водах основной формой миграции лантана является La^{3+}, содержание которого составляет 50%, а гадолиния и иттербия – карбонатная форма. Также наблюдается обогащение $REE[CO_3]^+$ при утяжелении РЗЭ, если у гадолиния форма $Gd[CO_3]^+$ составляет 88,9%, то у иттербия – уже 96%. Второй по распространенности – форма гидрокарбоната в случае лантана и металла в случае гадолиния и иттербия. В данном типе вод достаточно большое значение имеют комплексы РЗЭ с фтором и хлором.

Источником РЗЭ в природных водах являются водовмещающие породы, вследствие этого профиль их распределения в воде должен быть подобен профилю распределения в породах, где химический состав воды формируется. Однако часто этого не происходит вследствие процессов фракционирования РЗЭ. Профили распределения пресных подземных

вод и водовмещающих пород достаточно схожи. В углекислых водах наблюдается противоположная картина – в большинстве случаев профили пород и вод не совпадают. В отличие от пород и пресных вод в углекислых минеральных водах наблюдается резкое превышение тяжелых РЗЭ над легкими, что связано с интенсивным образованием комплексов тяжелых РЗЭ с карбонат-ионом. Кроме того, в углекислых водах происходит интенсивное удаление легких РЗЭ из вод и переосаждение в виде коллоидов с Fe и Mn. То есть в процессе формирования углекислых минеральных вод идет фракционная миграция РЗЭ из вмещающих пород, которая определяется увеличением миграционных способностей РЗЭ от легких к тяжелым. Это свидетельствует о том, что в процессе взаимодействия «вода – порода» легкие РЗЭ в значительной мере остаются в составе породы и входят в состав новообразованных карбонатных минеральных форм, тогда как тяжелые поступают в растворенной форме в водные растворы.

Выводы. Проведенное изучение содержаний и геохимии РЗЭ в подземных водах Сихотэ-Алиня показало, что подземные воды имеют на 5 – 7 порядков более низкие концентрации РЗЭ, чем водовмещающие породы. Уровень концентрации РЗЭ в углекислых минеральных водах значительно выше, чем в пресных, термальных и соленых. Основной формой нахождения РЗЭ во всех исследованных типах вод, за исключением рассолов, является карбонатная форма. Общая тенденция поведения растворенных форм РЗЭ в углекислых минеральных водах определяется ведущей ролью гидрокарбонат-иона в обогащении вод тяжелыми РЗЭ. Характер распределения РЗЭ в подземных водах, за исключением углекислых минеральных вод, наследует их распределение в породах зоны питания, в то время как абсолютные содержания РЗЭ в водах обусловлены тремя факторами: временем циркуляции вод, интенсивностью их взаимодействия с вмещающими породами и минеральными формами нахождения РЗЭ в породах (минералах).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда, проект № 14-17-00415.

Список литературы

1. Byrne, R. H. Marine chemistry and geochemistry of the lanthanides / R. H. Byrne, E. R. Sholkovitz ; K. A. Gschneidner Jr, Eyring LR (eds) // Handbook on the physics and chemistry of rare earths. – 1996. – Vol. 23. – Elsevier, Amsterdam. – P. 497–593.

2. De Baar, H. J. W. Rare earth element distributions in anoxic waters of the cariaco trench / H. J. W. De Baar, C. R. German, H. Elderfield, P. van Gaans Geochim // Cosmochim Acta. – 1988. – 52:1203–1219. doi:10.1016/0016-7037(88) 90275-X.

3. De Baar, H. J. W. Solution chemistry of the rare earth elements in seawater / H. J. W. De Baar, J. Schijf, R. H. Byrne // Eur J Solid State Inorg Chem. – 1991. – 28. – P. 357–373.

4. Duncan, T. The mobility of rare earth elements and redox sensitive elements in the groundwater/ seawater mixing zone of a shallow coastal aquifer / T. Duncan, T. J. Shaw // Aquat Geochem. – 2003. – 9. – P. 223–255. doi: 10.1023/B:AQUA.0000022956.20338.26.

5. Byrne, R. N. Rare earth elements scavenging in seawater / R. N. Byrne, K. N. Kim // Geochim et Cosmochim. Acta. – 1990. – № 54. – P. 2645–2656.

6. Erel, Y. Modeling of rare-earth element partition between particles and solutions in aquatic environments / Y. Erel, E. M. Stolper // Geochim et Cosmochim. Acta. – 1993. – 57. – P. 513–518.

7. Shand, P. Rare earth contents of high pCO_2 groundwaters of Primorye, Russia: mineral stability and complexation controls / P. Shand, K. H. Johannesson, O. Chudaev [et al.] // Rare Earth Elements In Groundwater Flow System. Springer. – 2005. – P. 161–186.

8. Kharitonova, N. A. Content and distribution of REEs in high pCO_2 spas from Sikhote-Alin ridge (Far East of Russia) / N. A. Kharitonova, G. A. Chelnokov, E. A. Vakh [et al.] ; Birkler & Torres-Alvarado (eds) // Water-Rock Interaction. – 2010. – P. 473–476.

9. Челноков, Г. А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России / Г. А. Челноков, Н. А. Харитонова ; [отв. ред. д.г.-м.н. В. В. Кулаков]. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 165 с.

10. Вах, Е. А. Поведение редкоземельных элементов при формировании углекислых гидрокарбонатных минеральных вод Приморья / Е. А. Вах, Н. А. Харитонова, А. С. Вах // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2013. – № 4. – С. 48–57.

11. Johannesson, K. H. Geochemistry of rare earth elements in hypersaline and dilute acidic natural terrestrial waters: complexetion behavior and middle rare-earth element enrichments / K. H. Johannesson, W. B. Lyons, M. A. Yelken [et al.] // Chem. Geol. – 1996. – V. 133. – P. 125–144.

12. Parkhurst, D. L. User's guide to PHREEQC (version 2) – a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations / D. L. Parkhurst, C. A. J. Appelo. U. S. Dept. of the Interior, U. S. Geological Survey, Techniques of Water-Resources Inverstigation, Report. – 2000. – Pp. 99–4259. 312 pp.

13. Чудненко, К. В. Селектор – Windows Программное средство расчета химических равновесий минимизацией термодинамических потенциалов. Краткая инструкция / К. В. Чудненко, И. К. Карпов. – Иркутск. – 2003. – 90 с.

14. Чудаев, О. В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России / О. В. Чудаев. – Владивосток : Дальнаука. – 2003. – 203 с.

15. Харитонова, Н. А. Углекислые минеральные воды северо-востока Азии: происхождение и эволюция : автореф. дисс. … д-ра геол.-минералог. наук / Н. А. Харитонова. – Томск, 2013. – 46 с.

16. Челноков, Г. А. Геохимия и генезис подземных рассолов северо-восточной части Уссурийского залива (Приморский край) / Г. А. Челноков, Н. А. Харитонова, М. К. Васильева // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2012. – № 4. – С. 310–319.

17. Вах, Е. А. Основные закономерности поведения редкоземельных элементов в поверхностных водах Приморья / Е. А. Вах, Н. А. Харитонова, А. С. Вах // Вестник ДВО РАН. – 2013. – № 2. – С. 90–97.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ИНДИКАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ЛОКАЛЬНОГО ВЛАГООБОРОТА: ОПЫТ КРАТКОСРОЧНЫХ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В МАЛЫХ РЕЧНЫХ БАССЕЙНАХ ЮЖНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

Шамов В. В.[1], Болдескул А. Г.[1], Матвеева Л. В.[2], Лупаков С. Ю.[2], Кожевникова Н. К.[3], Луценко Т. Н.[1]

[1] Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, vlshamov@yandex.ru;
[2] Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, ploika13@yandex.ru;
[3] Биолого-почвенный институт ДВО РАН, г. Владивосток, nkozhevnikova@ibss.dvo.ru

Аннотация. В данной статье обсуждаются некоторые результаты интенсивных комплексных натурных исследований элементов приповерхностного влагооборота, выполненных в 2012 – 2014 гг. на репрезентативном малом речном бассейне на основе применения современных технических и методических средств гидролого-гидрохимических наблюдений.

Ключевые слова: *влагооборот, малый речной бассейн, сток, гидрохимическая индикация*.

Abstract. Some results of intensive comprehensive natural investigation of the near-surface water cycle substitutes obtained during 2012–2014 on a typical small river watershed using modern hydrological and hydrochemical observation tools are considered in this paper.

Key words: *water cycle, small river basin, runoff, hydrochemical tracers' use.*

Актуальность изучения механизмов формирования речного стока в южной части Дальнего Востока России определяется большим разнообразием и динамичностью геосистем в условиях сильной неустойчивости гидрометеорологических процессов. Вместе с тем данная обширная, но сравнительно малонаселенная территория остается в фокусе современной инвестиционной активности, ресурсного и инфраструктурного освоения. Приморский край находится в зоне умеренного муссонного климата, который характеризуется сезонной сменой направления ветров, а также частыми мощными циклонами, порождающими длительные интенсивные дожди. В связи

с этим на реках края регулярно проходят дождевые и снегодождевые паводки, что приводит к причинению ущерба производственным объектам и населенным пунктам, а также осложняет проектирование и строительство новых инженерных сооружений.

Предметом исследований является макро-, микрокомпонентный и изотопный состав атмосферных, склоновых и речных вод в связи с различными гидрометеорологическими условиями в бассейне. Цель исследования – разработать методику выбора индикаторов (трассеров) для определения источников питания речного стока. При этом применяются современные методы и средства гидрометеорологического и гидрохимического мониторинга. Мониторинг включает измерение количества жидких атмосферных осадков; уровня, температуры, электропроводности, минерализации, pH и расхода воды в ручье; оценку влажности почв; регулярный отбор проб природных вод – атмосферных, подкроновых (собранных под кронами деревьев), склоновых (почвенно-грунтовых) и русловых (речных), – с целью определения их макрокомпонентного состава [1, 2] и содержания природных изотопов 2H и 18O.

Объектом исследований является бассейн ручья Елового, расположенного в пределах Верхнеуссурийского лесного стационара БПИ ДВО РАН, имеет площадь водосбора 3,52 км^2 и II порядок по классификации Хортона-Штралера. Стационар создан в 1960-е годы и находится в бассейне р. Правой Соколовки, которая входит в систему р. Уссури и является ее притоком IV порядка (Чугуевский район Приморского края). По своим ландшафтным характеристикам данная территория типична для среднегорного пояса южного Сихотэ-Алиня и служит своеобразным эталоном южной тайги с преобладанием широколиственно-кедровых и пихтово-еловых лесов.

Горные породы здесь представлены эффузивами кислого и среднего состава (липаритовые порфиры, порфириты, дациты, сиениты и их туфы), из осадочных пород встречаются алевролиты и песчаники [3, 4]. Климат района влажный умеренно-холодный, среднегодовое количество осадков 780 мм, среднегодовая температура воздуха – 2,5° С, среднегодовая влажность воздуха – 74,8%, средняя скорость ветра – 1,3 м/с [6]. Средняя густота гидрографической сети составляет 0,6 – 0,8 км/км^2, долины водотоков глубоко врезаны. Русла рек извилистые, берега обрывистые, высотой до 1,2 м. Дно песчано-галечное, в некоторых местах каменистое. Ширина водотоков колеблется от 1 до 5 м, глубина в межень – от 0,1 до 0,5 м. Водотоки II–III порядка (по классификации Хортона-Штралера) являются наиболее распространенными в данном районе.

Склоны водосбора руч. Елового имеют выпуклую форму, крутизна их достигает 25°, иногда с резко обрывающейся нижней частью и уступами. К устью ручья склоны становятся более пологими и приобретают вогнутую форму. Местами они прорезаны небольшими ложбинами, которые служат долинами временных водотоков. На днище речных долин водоупор отмечен на глубине 3 м. Общая протяженность русла ручья – 1670 м. Правый склон и склон выше водосборной воронки имеют бóльшую протяженность (100 – 500 м), чем левый (100 – 250 м). Уклон русла от водосборной воронки до замыкающего створа составляет 148‰, общее падение ручья – около 400 м. Наибольшая ширина русла 2,5 м, максимальное превышение отметок дна и бровки берега – 1,2 м. Сток ручья почти на всем протяжении устойчивый, полное пересыхание его наблюдалось в засушливые летние периоды в устьевой части, сложенной мощным аллювием р. Правой Соколовки.

Регистрация количества дождей выполнялась с помощью цифровых осадкомеров и метеостанций. Сбор атмосферных осадков осуществлялся в полиэтиленовые конусы, подвешиваемые под открытым небом на расстоянии не менее 10 м от деревьев и строений. Подкроновые воды отбирались в различных типах леса в 2-3-кратной повторности в такие же полиэтиленовые конусы, подвешенные под древесным пологом на высоте 1,0 – 1,5 м.

Для отбора проб склоновых (почвенно-грунтовых) вод использовались вакуумные лизиметры DIK-8392, Daiki Rike Kogyo Co., длиной 0,5 и 1,0 м, которые позволяют отбирать пробы in situ каждые 2 – 4 суток в объеме 200 – 500 мл. Лизиметры были заложены в местах концентрации склонового стока (подземных дренах) на участках, представленных различными типами почв: горно-таежными иллювиально-гумусовыми под елово-пихтовым лесом

и горными бурыми лесными под кедрово-широколиственным лесом, частично пройденным экспериментальными рубками в 1965 – 1966 гг.

Устьевой створ временного гидрологического поста близ устья руч. Елового расположен на прямолинейном участке русла, где условия обеспечивают хорошую точность измерения расхода и устойчивость кривой связи его с уровнем воды $Q = f(H)$. Створ оборудован водомерной сваей, привязанной к абсолютной системе высот, и регистратором уровня и температуры воды LT Levelogger Junior Solinst, работающим с 15-минутным разрешением. Расход воды измерялся с помощью высокоточного электромагнитного расходомера SEBA FlowSens синхронно с отбором проб воды.

При отборе проб речных вод проводилось in situ измерение температуры, электропроводности, pH и O_2 воды с использованием портативного термокондуктометра Ciba Corning M90 и мультипараметрического анализатора воды YSI Professional Plus. Содержание гидрокарбонат-иона определялось потенциометрическим титрованием в нефильтрованных пробах по стандартной методике с помощью pH-метра «Эксперт-01». Другие компоненты определялись после фильтрации через фильтр 0,45 мкм (Durapore Millipore), микроэлементы – методами AAS и ICP-MS, содержание главных анионов (Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-) – на жидкостном хроматографе Shimadzu LC 10Avp, главных катионов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, K^+, Na^+) – на атомно-абсорбционном спектрометре Shimadzu AA 6800. Определение содержания растворенного органического углерода (DOC) в воде проводилось с помощью современного TOC-анализатора (Shimadzu TOC-V_{CPN}). Подробное описание методов измерений, отбора и анализа проб приводится в статьях авторов [1, 2].

В теплые периоды 2012 – 2014 гг. было отобрано порядка 850 проб воды, из них 100 – русловых. В данной статье дан сравнительный анализ гидрохимических и гидрологических характеристик руч. Елового, полученных по данным натурных измерений в течение трех периодов наблюдений.

Сезон наблюдений 2012 г. отличался сильно неравномерным увлажнением: длительный засушливый период в июле сменился периодом интенсивных дождей и сильным августовским паводком с максимальным модулем стока, близким к 100 л/с·км^2. Данная величина для большей части малых рек юга Дальнего Востока РФ характеризует переход от паводков внутриобъемного генезиса к паводкам поверхностного генезиса, когда ёмкость речного бассейна близка к пределу своего насыщения и включается механизм контррегулирования стока [5].

По условиям увлажнения теплый сезон 2013 г. характеризовался сравнительно однородным увлажнением и небольшими – не выше 50 л/с·км^2 – дождевыми паводками в июле и августе. 2014 год отмечается как наиболее засушливый из трех лет наблюдений. Он отличался редкими невысокими дождевыми паводками, наибольший из которых характеризовался максимальным модулем – около 20 л/с·км^2.

Анализ полученных данных показывает преимущественно размытую нелинейную связь концентраций основных макрокомпонентов и водности потока, что обусловлено преобладанием в процессах выщелачивания роли фазы стокоформирования, нежели фактора объема стекающей воды (явление гистерезиса). Особенно это проявляется на примере динамики растворенного органического углерода и кальция: во время высокого паводка на фазе подъема наблюдается вымывание данных компонентов из почвенных горизонтов, затем, вблизи максимума расхода воды и на спаде паводка, имеет место существенное – в 1,5 – 2 раза – разбавление соответствующих компонентов за счет притока маломинерализованных дождевых вод (рис. 1, в, е). Отмечен рост содержания органического углерода и нитратов при увеличении модуля стока, особенно при приближении последнего к значениям 28 – 30 л/с·км^2. Примечательно, что углерод нелинейно реагирует на изменение водности: при расходах от 2 до 100 л/с концентрация данного элемента составляла от 2 до 4 мг/л, при небольшом превышении расхода (100 л/с) содержание углерода увеличивалось в 2 раза (рис. 1, в). В условиях высокого паводка 2012 г. концентрация кальция в начале, в целом, снижалась на фоне роста удельного увлажнения до уровня 60 л/с·км^2, затем, при дальнейшем росте удельного расхода

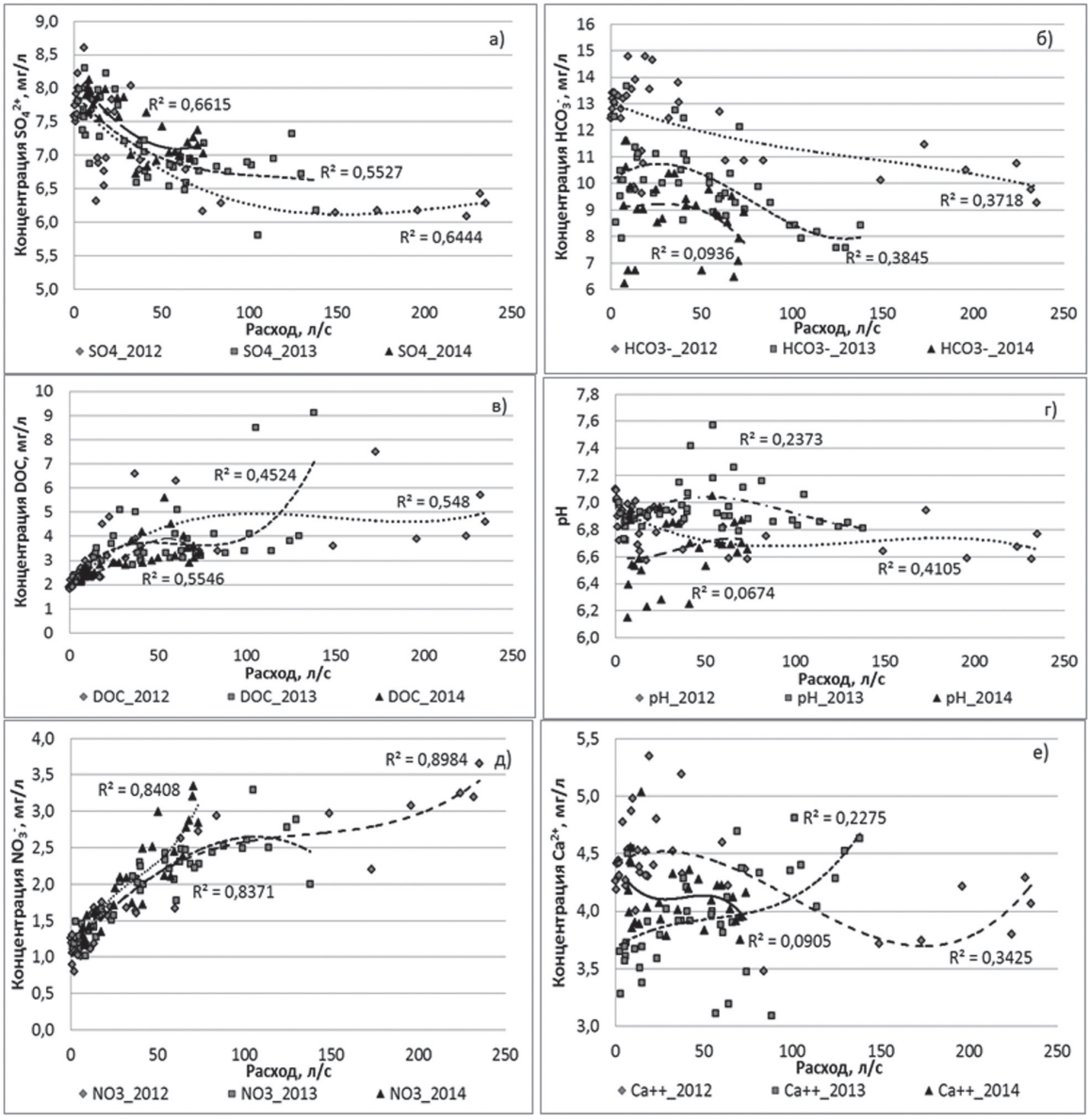


Рис. 1. Соотношение расхода воды в руч. Еловом и содержание ряда компонентов химического состава, по данным натурных измерений в 2012 – 2014 гг.:
а – сульфат-ион; б – гидрокарбонат-ион; в – растворенный органический углерод; г – кислотность; д – нитрат-ион, е) ион кальция

до 80 л/с·км^2 и выше, проявилась тенденция выщелачивания этого элемента из почвенно-грунтовой толщи склонов (рис. 1, е).

Примечательно отличие среднего уровня содержания гидрокарбонатов в зависимости от увлажненности сезона: снижение фона увлажнения (как в 2014 г.) приводит к ослаблению скорости выщелачивания данного компонента в бассейне и снижению уровня его содержания в воде, при этом практически размывается корреляция его с расходом воды.

Согласно полученным данным отмечается снижение концентраций сульфатов и гидрокарбонатов при увеличении модуля стока выше некоторого порогового значения – 10 – 12 л/с·км^2 (рис. 1, б, е). Однако стоит отметить, что разбавление гидрокарбонатов, как и сложное поведение кальция, следует рассматривать как тенденцию на фоне значительного разброса значений, связанного с различными механизмами их миграции на стадии подъема и стадии спада паводка.

Не выявлено существенной связи между водностью потока и величиной pH, при этом прослеживается тенденция понижения среднего фона pH в засушливый сезон (2014 г.), что может быть связано с возрастанием доли питания склоновыми водами верхней части бассейна Елового с более кислыми горно-таежными иллювиально-гумусовыми почвами (рис. 1, г).

С небольшим разбросом выглядят соотношения содержания нитратов и расходов воды (рис. 1, д), при этом рост их на фоне возрастания увлажненности бассейна обусловлен вымыванием их из подстилки и гумусового слоя почвы, особенно в диапазоне удельной водности от 0 до 20 л/с·км^2. При дальнейшем росте водоносности территории такая тенденция ослабевает.

В целом, в 2014 г. наблюдается изменение химического фона, что, вероятно, связано с особенностями гидрологического режима рек в 2013 и во второй половине 2012 гг. Осенью и в начале зимы 2012 г. наблюдалась экстремально высокая водность рек, регулярное переувлажнение почв, подтопление пойм, что не является характерным для данного сезона. Высокие дождевые паводки, с подъемом уровня воды на 1,5 – 3,9 м, наблюдались во второй половине августа и сентября, отмечался выход рек из берегов, подтопление отдельных участков дорог, низководных мостов, селитебных территорий [3]. Такая обстановка определила повышенный фон увлажнения и в 2013 г. с соответствующими химическими откликами в малых водотоках Приморья.

Анализируя полученные данные, можно выделить компоненты химического состава, концентрация которых в среднем снижается с увеличением водности потока в силу их разбавления. К таким компонентам можно отнести сульфаты и гидрокарбонаты. Также прослеживается группа компонентов, для которых наблюдается рост содержания в водотоке с увеличением расхода: растворенный органический углерод, нитраты, кальций, алюминий и др. Кроме того, имеются основания выделить третью группу химических показателей речных вод (например, pH, ряд микроэлементов), которые практически не связаны с расходом воды.

Предварительный анализ некоторых проб воды, отобранных в 2013 г., на содержание природных изотопов воды, выполненный в Институте Арктики и Антарктики РАН, демонстрирует устойчивое и отчетливое различие атмосферной воды от почвенной и русловой (рис. 2). Это указывает на определяющую долю склоновых вод в питании малых рек района и, соответственно, низкие доли базисного стока (подземного питания) и дождевых вод.

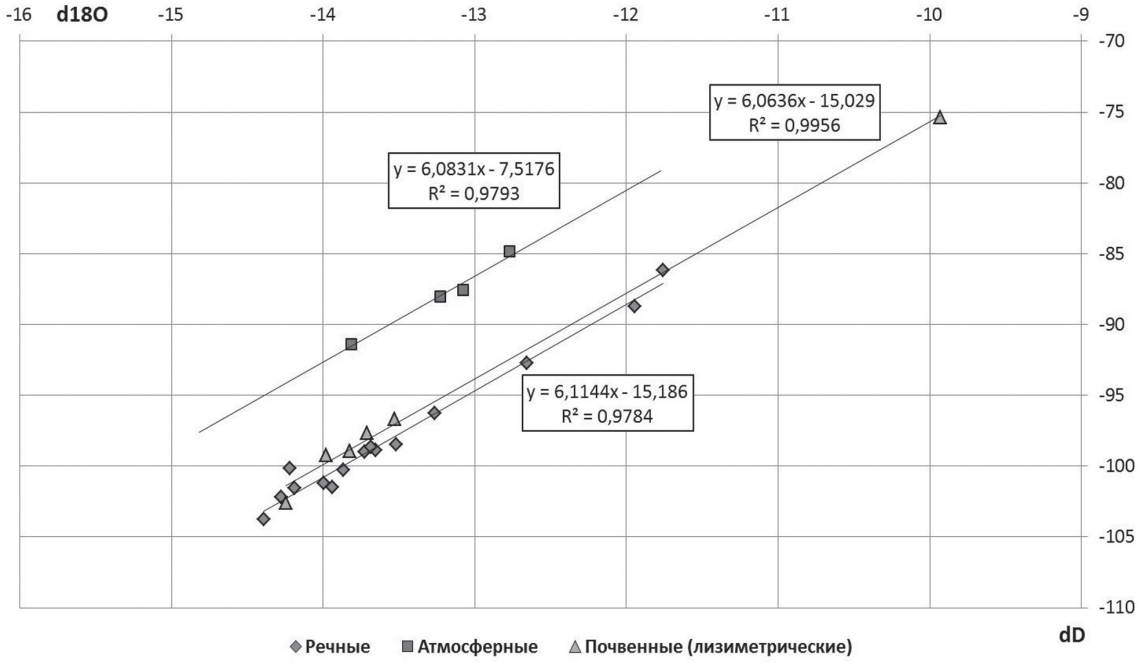


Рис. 2. Соотношение природных изотопов в водах бассейна руч. Елового

Таким образом, связи содержания ряда макрокомпонентов и гидрологических характеристик типичных малых водотоков южного Сихотэ-Алиня демонстрируют нелинейный и неоднозначный характер. В условиях дождевых паводков некоторые компоненты выщелачиваются и их концентрации возрастают, при этом другие демонстрируют разбавление и их содержание снижается, а некоторые практически не связаны с водностью потока. Отдельные компоненты химического состава вод не могут служить надежными трассерами источников формирования стока. Для оценки генетической структуры последнего эффективным является применение комплексных трассеров в рамках процедуры анализа смешения источников (конечных элементов) EMMA [2, 7].

Список литературы

1. Болдескул, А. Г. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в Центральном Сихотэ-Алине / А. Г. Болдескул, В. В. Шамов, Б. И. Гарцман [и др.] // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33, № 2. – С. 90–101.

2. Шамов, В. В. Экспериментальные исследования генетической структуры стока с помощью химических трассеров: постановка задачи / В. В. Шамов, Б. И. Гарцман, Т. С. Губарева [и др.] // Инженерные изыскания. – 2013. – № 1. – С. 60–69.

3. Жильцов, А. С. Гидрологическая роль горных хвойно-широколиственных лесов Южного Приморья. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 232 с.

4. Челноков, Г. А. Углекислые минеральные воды юга Дальнего Востока России / Г. А. Челноков, Н. А. Харитонова. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 165 с.

5. Гарцман, Б. И. Дождевые наводнения на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов и прогнозов, оценок риска / Б. И. Гарцман. – Владивосток : Дальнаука, 2008. – 223 с.

6. Гарцман, Б. И. Условия формирования экстремально высокой водности рек Приморья в осенне-зимний период 2012 г. / Б. И. Гарцман, Л. И. Мезенцева, Т. С. Меновщикова [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 6. – С.77–92.

7. Губарева, Т. С. Разделение гидрографа стока по генетическим составляющим / Т. С. Губарева, Б. И. Гарцман, В. В. Шамов [и др.] // Метеорология и гидрология. – 2015. – № 3. – (В печати).

HYDROLOGICAL SURVEY OF THE BLOCK STREAM IN Mt. MANEO SOUTH KOREA

Masayuki Seto[1], Song-Hyun Kim[2], Yukiya Tanaka[3]
[1] *Fukushima University, Fukushima, Japan msyk_seto@nifty.com;*
[2] *Kyung Hee University, Seoul, South Korea palaeokim@khu.ac.kr;*
[3] *Kyung Hee University, Seoul, South Korea, ytanaka@khu.ac.kr*

Аннотация. Были выявлены процессы формирования склоновых отложений, включая курумы около горы Манео в Южной Корее. В результате анализа горизонтальной проекции и уклона курума видно, что в центральной части курум шире и уклон положе. Такая геоморфологическая особенность говорит о том, что эта форма рельефа была образована оползнем. Согласно нашим наблюдениям склоновые отложения быстро насыщаются водой во время дождей. Точка наблюдения находилась на вершине курума. Этот факт означает, что мелкозернистый материал был вынесен подповерхностным стоком из тела оползня.

Ключевые слова: *курумы, поглощение, процессы формирования, гора Манео, Южная Корея.*

Abstract. This study revealed that formation processes of slope deposits include block stream near Mt. Maneo, South Korea. When examining the plan view and incline of the block stream, we observe that in the central section of the block stream becomes wider, and the incline becomes gentler. This general geomorphological characteristic shows that this landform was formed by landslide. We observed that slope

deposits were rapidly saturated associating with rainfall events. The observation point was located at the top of block stream. These facts imply that subsurface water flow removed fine-grained material from the landslide block.

Key words: *Block stream, suction, form processes, Mt. Maneo, South Korea.*

Geomorphology, geological and climatic features of the study site. Mt. Maneo is located in the southeastern region of South Korea, with the western edge of the mountainous region touching the Miryang River, and the southern edge touching the Nakdong River. The geology of the bedrock consists of rhyolite tuff, which includes a large amount of andesitic gravel from the Cretaceous period intruded by Cretaceous biotite granite. The upper section of Mt. Maneo, where the block stream is located, is composed of biotite granite (KIGAM, 1998), and these heavily weathered granite sections easily crumble under the impact of a hammer. This section of granite also contains many core stones.

According to the observation of 2011 of the Korean Meteorological Agency (www.kma.go.kr), the precipitation was 1529.8mm in the year of the west next Miryang city of the Mt. Maneo. This region had rainfall of 987.4mm in the summer from June to September. This is 65% of annual precipitation. The monthly precipitation of July was 512.5mm. On the other hand, the total precipitation of January, February, March and December was 83.3mm. Especially, the monthly precipitation of January was 0mm. The mean annual air temperature was 13.5 Celsius degrees. July is the warmest month of year. Mean air temperature was 26.4 Celsius degrees. The coldest month is January. Mean air temperature was -3.2 Celsius degrees. Maximum air temperature was 34.9 Celsius degrees in July. Minimum air temperature was -15.8 Celsius degrees in January.

The 669.5 m summit of Mt. Maneo is on a ridge stretching from east to west. The surrounding terrain includes a dissected valley slope and a gentle slope where dissection has not yet progressed. The dissected valley slope has an incline of around 20° and shows a high level of unevenness in a transverse direction. The gentle slope, located south of the ridge connecting the Mt. Maneo summit to a 530 m peak northwest of the summit, has a 15° incline with little dissection compared with other slopes in the area. The block stream consists of blocks of biotite granite, and covers the upper half of the gentle slope. The distribution of the block stream includes the rhyolite tuff region at the lower part of the mountain.

Study method. Using a satellite image reading from Naver site (http://www.naver.com/) and a field survey, we studied the positional relationship between the Mt. Maneo block stream and its surrounding terrain, as well as the general shape of the block stream. The satellite image scale was about 1:5000, which had a resolution sufficient to identify the block stream. Next, we superimposed the interpreted satellite image on a 1:25 000 topographic map, and read the contour lines over the location of the block stream. On site, we placed traverse lines T1 and T2 across upstream and downstream sections of the block stream, respectively. Then, we measured Axis A (longest axis) and Axis B (intermediate axis) of as many blocks as possible located on these traverse lines (Figure 1). The lengths of the traverse lines were 150 m for T1 and 50 m for T2. In addition, a forest road crossed near the lower end of the block stream creating an out crop. We examined the stratigraphy of the slope deposits and the block stream in this out crop.

We observed ground water flow and soil saturation by five tensiometers. All observation points were located at the top of block stream. Depth of the tensiometers were about 30cm. Tensiometers were inserted fine slope deposits at the upper part of the block stream. Observation period was Jul. 9, 2014 to Jul.14, 2014.

Results. The plan view of the block stream on Mt. Maneo has a belt-like shape. A detailed observation of this plan view reveals that in the section above traverse line T1, the block stream width is around 50 m, and in the section below T1 the width significantly increases and is 200 m at the widest point. The lower end splits into two strands, and the block stream width is approximately 20–30 m. The block stream undulates in the transverse direction and surges upward in some sections.

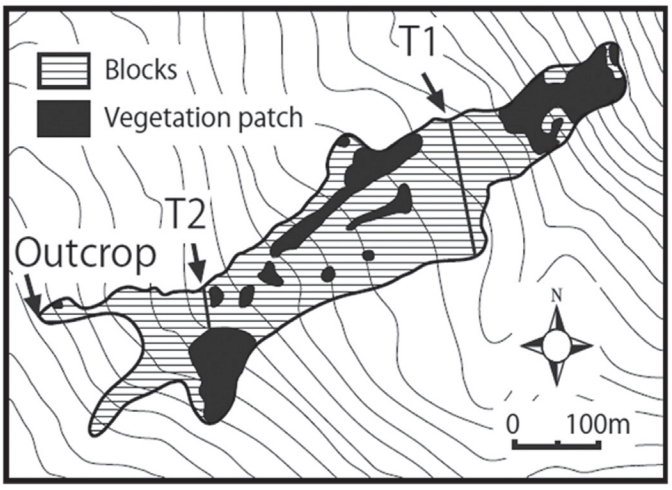


Fig. 1. Block stream near Mt. Maneo

The top end of the slope is the steepest, having an incline of around 20°. The incline in the section between T1 and T2 ranges between 11° to 15°, and from the traverse line T2 to the bottom end, the slope incline is approximately 15°. The middle section of the block stream has the gentlest incline. On examining the contour lines crossing the block stream in Figure 2, the contour lines in the top section are found to be more or less straight and represent an even slope with no obvious ridges or valleys. In the section between traverse lines T1 and T2, the contour lines are convex in the upslope direction, indicating a wide valley. In the lower section of the block stream, the contour lines are convex in the downslope direction, indicating the presence of a ridge.

The blocks in the Mt. Maneo block stream are biotite granite and have a rounded form with smooth edges. On observing the study results for the T1 and T2 traverse lines, the longest and intermediate axes of both the T1 and T2 blocks are found to range between 0.5 and 1.5 m. There were no significant differences in block diameters between the upper and lower sections of the block stream. However, large blocks with longest axis of more than 3 m and intermediate axis of more than 2 m were found on T1. Although T2 had large blocks with longest axis of more than 3 m, this section had no blocks as large in size as those found on T1.

These blocks are all matrix-free, resulting in an openwork block deposit. In addition, most of the block stream area has little vegetation except for a few patches of vegetation that have their roots covering the openwork block deposits. Toward the top end of the block stream, there is a large section of vegetation covering the blocks. There is also a large patch of vegetation on the extension of line T2. The vegetation in these patches mainly consists of Quercus mongolica (broad-leaved deciduous trees) and Pinus densiflora (coniferous red pines). These tree types are the same as those found on the slopes surrounding the block stream.

The sediments of the out crop are as follows: a bright reddish-brown layer of silt with a small amount of gravel, a reddish-brown layer of silt with a small amount of gravel, and a layer of humic soil. In the southeastern section of the out crop, a brown silt layer with gravel is found in between the reddish-brown silt and humic soil layers.

This type of silt layer mixed with gravel was found throughout the area surrounding the block stream and outside the out crop area. The gravel found in these silt layers is weathered biotite granite with diameters ranging from 5 to 20 cm. The blocks comprising the block stream are deposited by eroding these sediments. A cross-section of the block stream is visible in the central part of the out crop and can be split into two parts: a matrix of fine-grained materials on the northwestern side, and a matrix-free deposit on the other side. For the purpose of this study with respect to sedimentary facies, we counted the sections having matrix as part of the block stream. In the matrix-free deposit section,

blocks with a larger diameter tend to be concentrated in the lower portion. The overall cross section has an upward convex shape.

We observed that slope deposits were rapidly saturated associating with rainfall event (Fig. 2). Rain fall event was occurred in Jul. 13, 2014. Rainfall amount was 30mm/day. All tensiometers responded this rain fall event. Suction was decreased very rapidly at this rainfall event. This means that saturation of soil layer occurred at the head of block stream associating with rainfall event.

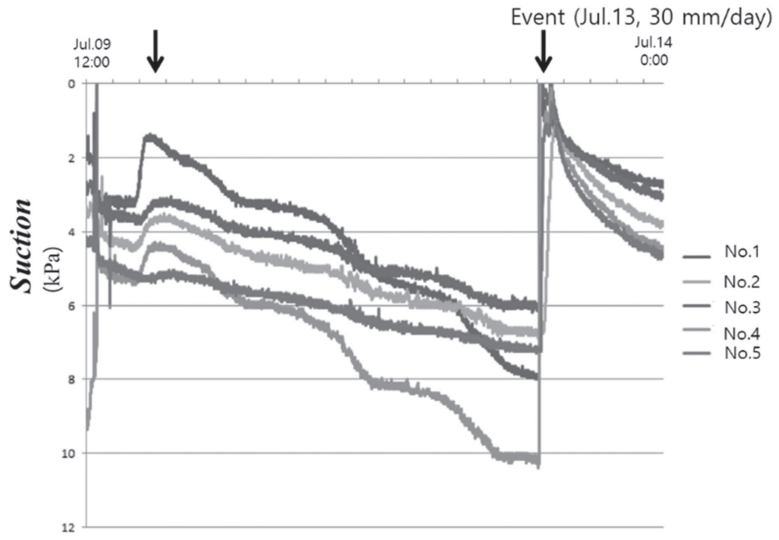


Fig. 2. Change of Suction at the rainfall event

Formation processes of the block stream. Large amounts of disintegrated granite and core stone were found in the biotite granite out crop in the upper section of Mt. Maneo. The blocks comprising the block stream are thought to have been originally produced as core stones in the weathering layer.

When examining the plan view and incline of the block stream, we observe that in the central section of the block stream becomes wider, and the incline becomes gentler. The contour lines indicate the presence of a valley in the upper half of the block stream and a ridge in the lower half. This general geomorphological characteristic shows that this landform was formed by landslide. Regarding the size of the blocks comprising the block stream, no significant differences were observed between those from the T1 and T2 traverse lines. The entire block stream is composed of blocks of more or less the same size. It can therefore be surmised that the sorting of blocks by size, which accompanies rapid mass transfer events (e.g., a debris avalanche), did not occur. We believe that the area of the Mt. Maneo block stream is an old landslide site. This could have been a deep seated landslide that reached the deep weathering layer of the upper section of Mt. Maneo, and it is thought that a large section of the landslide block consisted of core stones and weathered fine-grained material.

Water was concentrated in the valley created by this landslide. We can recognize from observation of suction that the unsolidified weathered fine-grained material forming the landslide block was washed out by this water flow, leaving only the core stones behind. The same process applies to Japanese block stream (Seto, 2011).

References

1. KIGAM. 1998. Geological Map (1:250,000) and explanatory note of the Pusan sheet.

2. Seto, M. 2011. Geomorphic processes since the later last glacial indicated by the formation of block deposition features in mid-latitude temperate zones. In Weathering: Types, Processes and Effects. Matthew JC (ed.) Nova Science Publishers: New York; 69-128.

СЕКЦИЯ 4
РЕГИОНАЛЬНЫЕ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. ГИДРОГЕОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ УЛУЧШЕНЫХ КОЛЛЕКТОРОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ РАССОЛОВ В КАРБОНАТНЫХ РЕЗЕРВУАРАХ КЕМБРИЯ АНГАРО-ЛЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Вахромеев А. Г.[1], Сапункова Л. В.[2], Михеева Е. Д.[3]
[1]Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, VakhromeevAG@ifrnb.ru;
[2]ИрГТУ, г. Иркутск, lili20_11@mail.ru;
[3]ФГУП ИМГРЭ, г. Москва, Galsuta@rambler.ru

Аннотация. На основе современных представлений о закономерностях формирования и локализации залежей, прогрессивной технологии ГРР и скважинной добычи предельно насыщенных поликомпонентных промышленных рассолов карбонатных резервуаров галогенно-карбонатной гидрогеологической формации кембрия Ангаро-Ленского артезианского бассейна рассмотрены перспективы освоения этого типа самостоятельного гидроминерального сырья.

***Ключевые слова**: поликомпонентные промышленные рассолы, водонапорные системы, карбонатные резервуары кембрия.*

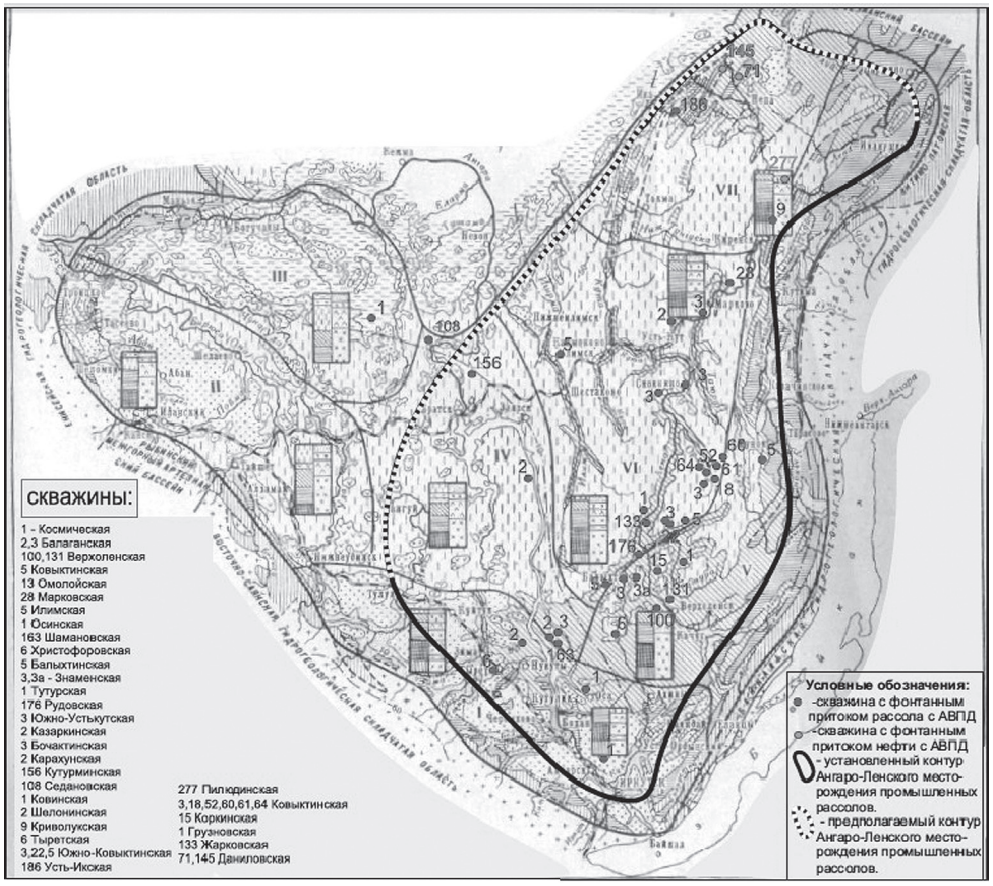
Abstract. The development prospects hydromineral resources are discussed on the basis of modern ideas about the peculiarities of ‑formation and localization of deposits, advanced technology exploration and borehole mining industry ~~is~~ of extremely saturated multicomponent brines in the carbonate reservoirs of the Cambrian halogen-carbonate hydrogeological formations in the Angara-Lena artesian basin.

***Key words**: multicomponent industrial brines, water pressure system, Cambrian carbonate reservoirs.*

Введение. Научная школа Е. В. Пиннекера уделяла исследованию концентрированных рассолов значительное внимание [1]. Настоящий доклад посвящен развитию идей и разработок этой научной школы. Важное внимание Е. В. Пиннекер обращал на вопросы систематики природных резервуаров и генетически неразрывно связанных с ними водонапорных систем [2]. Развивая его тезис о том, что *«крупный и глубокий бассейн пластовых вод нередко состоит из двух-трех водонапорных систем»* [2], обратимся к гидрогеологическому строению природных резервуаров осадочного чехла Ангаро-Ленского артезианского бассейна. Здесь в разрезе выделены карбонатная, галогенная, объединяемые в галогенно-карбонатную – солевую, и терригенно-карбонатную рассолоносные гидрогеологические формации. На основе анализа гидрогеологических условий мы приходим к выводу, что залежи глубоких промышленных рассолов этих двух гидрогеологических формаций Ангаро-Ленского бассейна характеризуются принципиально отличными гидродинамическими условиями, разным уровнем концентрации ценных компонентов в рассолах и продуктивностью (удельными дебитами) [3]. Отличие природных резервуаров, вмещающих водонапорные системы терригенной и галогенно-карбонатной гидрогеологических формаций, имеет крайне важное, принципиальное значение как в гидрогеологическом, так и в геолого-экономическом аспектах. Это две различные по структуре элементарной ячейки пустотного пространства, по барическим и гидрогеохимическим параметрам флюида водонапорные системы. Технико-экономические показатели освоения водозаборных участков солевой формации кратно выше, чем подсолевой, поэтому выделение и оконтуривание эксплуатационных участков как по гидрогеологическим, так и по геолого-экономическим показателям, и объединение ряда участков в одно месторождение на основе

идентичности гидрогеологических условий для территории Ангаро-Ленского бассейна или его части более корректно выполнить раздельно для каждой из этих формаций [4 – 6].

Самые высокодебитные фонтанные притоки предельно насыщенных рассолов с максимальной концентрацией ценных компонентов из глубоких скважин приурочены именно к резервуарам галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. Поскольку мощные толщи солей в коллекторах являются качественным флюидоупором, они изолировали эту водонапорную систему в межсолевых карбонатных пластах от выше- и нижележащих гидрогеологических формаций, и в течение длительного геологического времени обеспечивали режим весьма затрудненного водообмена [1, 2]. Для водонапорной системы карбонатных резервуаров нижнего кембрия, перекрытых солями, характерно аномальное барическое поле, аномально-высокие пластовые давления (АВПД) с градиентом пластового давления 2,35 – 2,65, по сути сопоставимого с горным давлением [5, 7]. Напротив, природные терригенные резервуары венда-кембрия характеризуются пластовыми давлениями ниже гидростатических. Работа глубоких скважин на перелив с промышленными дебитами от первых сотен до первых тысяч кубометров в сутки и кратно бóльшими концентрациями промышленно ценных элементов – брома, лития, магния, и других – аргумент в пользу первоочередного изучения водонапорной системы залежей в карбонатных резервуарах галогенно-карбонатной толщи (рисунок). По самым общим соображениям [7], потенциальные резервуары для локализации промышленных рассолов в карбонатных горизонтах могут быть крупнее по размерам, их фильтрационные параметры в ряде случаев выше на порядки, чем в терригенных коллекторах, а упругие запасы рассолов выше, по крайней мере, в несколько раз.



Глубокие скважины с фонтанными притоками флюида (рассолы, нефть) и контуры распространения водонапорной системы с АК-АВПД параметрами в карбонатных резервуарах кембрия (Ангаро-Ленское месторождение промышленных рассолов)

Главный акцент сделан именно на выявление закономерностей геологического строения мегарезервуара, роль структурно-тектонического фактора в формировании структурно-вещественных неоднородностей, в пределах которых установлено или прогнозируется развитие зон улучшенных коллекторов [5]. Притоки высокодебитных и богатых по концентрации промышленных рассолов платформенных отложений в карбонатных резервуарах галогенно-карбонатной гидрогеологической формации кембрия в пределах Ангаро-Ленского артезианского бассейна приурочены к зонам развития сложных трещинно-каверновых, трещинно-жильно-пластовых и карстово-жильных коллекторов, характеризуемых нормальной (НК) и аномальной фильтрационной средой (АК) и АВПД. Формирование сложных коллекторов и АВПД в межсолевых карбонатных резервуарах кембрия зафиксировано в регионах развития складчато-надвиговых деформаций кембрийского осадочного чехла платформы в зоне влияния Байкало-Патомской шарьяжно-надвиговой системы и обусловлено: для аномально гидропроводного коллектора зонами активной субгоризонтальной трещиноватости – межпластовых срывов; для современных зон АВПД – передачей на флюидную систему определенной доли геостатического, а в ряде случаев и латерального давления аллохтонных пластин и толщи вышележащих пород в пределах мульд проседания. Опираясь на современные воззрения в смежных геологических дисциплинах – геотектонике, геодинамике, тектонофизике и на новые гипотезы формирования южной окраины Сибирского кратона, сформулирована геодинамическая модель формирования водонапорной флюидной системы с АК-АВПД-параметрами в галогенно-карбонатных толщах нижнего кембрия, основанная на шарьяжно-надвиговой теории [4]. Уточнены границы гидрогеологической области активизированного карбонатного коллектора с рассольным насыщением. Основной объем глубоких скважин с АК-АВПД параметрами располагается в полосе вдоль всей краевой части платформы (ширина полосы достигает 300 – 400 км), сопоставимой с зоной отраженной складчатости, форланд-границы современного аллохтона [5], где идет обновление процесса шарьяжной активности. Важно подчеркнуть, что этот контур тектонически активизированной зоны полосы совпадает в плане с контурами Верхнеленской впадины, где по результатам глубокого бурения и площадных геофизических методов [5, 7, 8] широко распространены процессы вторичного преобразования сложных карбонатных коллекторов в резервуарах кембрия. Изложенные модельные представления взяты за основу при обосновании прогнозно-поисковых критериев локализации улучшенных коллекторов и залежей водонапорной системы соленосной гидрогеологической формации, при схематизации граничных условий и подсчете прогнозных эксплуатационных запасов глубоких рассолов [4, 6, 7]. Аппроксимация фильтрационной среды реализуется по принципу «вложения сред» или «двойной пористости».

Водонапорная флюидная система карбонатных резервуаров и химический состав глубоких предельно насыщенных промышленных рассолов сформированы и локализованы в особых, четко идентифицируемых структурно-гидрогеологических условиях, геологических, геодинамических, флюидодинамических обстановках. Аномальные коллекторы приурочены к геологически обусловленным интервалам (субгоризонтальным, изолированным солями и с АВПД) галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. АВПД, как барический параметр, четко характеризует гидродинамически локализованные в разрезе отдельные резервуары (рассолоносный порово-трещинный карбонатный пласт, трещинно-жильную зону, трещинно-карстовый карбонатный горизонт) галогенно-карбонатной толщи. Именно для этих интервалов галогенно-карбонатной толщи типичны аномально высокие значения минерализации и концентрации ценных элементов в предельно насыщенных рассолах. Установлена геолого-генетическая взаимосвязь основных факторов, характеризующих залежь глубоких промышленных рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации: трещинно-пластово-жильного карбонатного коллектора, его барических характеристик и степени насыщения предельного по концентрации природного раствора солей, и редких, рассеянных элементов в этих растворах [4, 5]. Именно геологическая среда и ее важнейшие геологические

параметры обусловливают уникальность состава и свойств предельно насыщенных рассолов, гамму редких, рассеянных элементов и минеральных солей и высокий уровень их концентраций. В то же время важнейшие параметры геологической среды определяют базовые риски изучения и последующего освоения бурением залежей этого типа минерального сырья.

Как логический итог научного обобщения, в контурах Верхнеленской впадины Ангро-Ленского артезианского бассейна в галогенной гидрогеологической формации мегарезервуара нижнего кембрия нами выделено одноименное (см. рисунок) Ангаро-Ленское (Верхнеленское) месторождение глубоких поликомпонентных промышленных рассолов [5, 6, 7]. Залежи рассолов в пределах Ангаро-Ленского месторождения приурочены к сложным каверново-трещинным и трещинно-каверновым карбонатным коллекторам. Фильтрационное поле дополнительно осложнено наложенными трещинно-жильными и карстово-жильными гидрогеологическими структурами транзитного типа. В плане распределение зон улучшенных коллекторов подчинено структурно-тектоническому фактору. Наложенные структурные формы проседания и глубинного соляного карста коррелируют с локализацией гидрогеологических структур. Картина распределения наложенных гидрогеологических структур подчинена закономерному распределению аллохтонных антиклиналей на территории Верхнеленской впадины. Структурами проседания осложнено восточное, надвинутое крыло аллохтона, линейной антиклинали.

Гидродинамическая изоляция локальных гидрогеологических структур с аномальными параметрами (АК-АВПД) от выше- и нижезалегающих рассолоносных формаций является важнейшим фактором формирования аномально высокой, до 630 г/дм^3, минерализации, типичной для предельно насыщенных рассолов. Оцененные перспективные водозаборные участки в пределах Ангаро-Ленского месторождения в карбонатах кембрия условно сгруппированы в две зоны: северную – зона БАМ (Ковыктинский, Южно-Усть-Кутский, Омолойский, Илимский, Марковский участки) и южную – Илгинскаую зону, включающую перспективные водозаборные участки, расположенные как в контурах Илгинской впадины (Знаменский, Балыхтинский, Верхоленский, Коркинский, Тутурский, Рудовский), так и на сопредельных участках Иркутского амфитеатра (Космический, Балаганкинский, Шамановский, Карахунский, Тыретский, Шелонинский) [5 – 8]. Несмотря на различную степень изученности перспективных участков, сегодня это самое «богатое» на Сибирской платформе по прогнозным эксплуатационным запасам месторождение жидкой редкометалльной руды. Суммарные эксплуатационные запасы по известным перспективным участкам месторождения оцениваются в 22 700 м^3/сут, при этом запасы лития составляют 3800 т/год, запасы брома – 80 тыс. т/год на расчетный срок 25 лет.

Обоснованы и внедрены в практику ГРР базовые принципы технологии безопасной проходки и освоения глубокой гидрогеологической скважины, вскрывающей рассолонасыщенную залежь с аномальными АК-АВПД-параметрами, предполагающие:

– опережающее формирование зоны поглощения под закачку расчетных объемов флюида, поступающего «на перелив» на любой стадии буровых работ;

– вскрытие, углубление и освоение зоны АК-АВПД на «управляемом переливе» с одновременной утилизацией поступающих из скважины объемов рассола в подземный полигон захоронения.

Термодинамические параметры фазовых переходов в лифтовых трубах гидрогеологической скважины, работающей концентрированным промышленным рассолом, определяются функциями «природно-технической системы» – пластовым (забойным) давлением, температурой, минерализацией, а также газонасыщенностью и давлением насыщения рассола газом. В процессе строительства скважины и эксплуатации «природно-технической системы» условие гарантированного сохранения однофазности потока флюида обеспечивается стационарными температурными параметрами эксплуатационной колонны. Барические условия в призабойной зоне и в стволе скважины подбираются экспериментально.

Таким образом, получили дальнейшее развитие представления о месторождениях глубоких промышленных металлоносных рассолов Сибирской платформы, как о самостоятельном минерагеническом типе «жидкой редкометалльной руды» [3 – 6]. Существенно конкретизированы структурно-гидрогеологические условия локализации улучшенных коллекторов водонапорной системы в карбонатных резервуарах кембрия Ангаро-Ленского артезианского бассейна. Обоснованы прогнозно-поисковые критерии локализации перспективных водозаборных участков. Результаты предварительной оценки эксплуатационных запасов гидроминерального сырья в Иркутской области, а также технико-экономическая оценка добычи и использования этого сырья для производства лития, брома, бора, стронция, калия, магния и поваренной соли позволяют рассматривать регион, как крупную потенциальную гидроминеральную сырьевую базу. Дальнейшее изучение этой сырьевой базы должно включать предварительную разведку одного из наиболее перспективных участков (Омолойского, Знаменского и т.д.) Ангаро-Ленского месторождения, сопровождаемую бурением и полноценным специальным опробованием глубоких гидрогеологических скважин.

Список литературы

1. Пиннекер, Е. В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна / Е. В. Пиннекер. – М. : Наука, 1966. – 322 с.

2. Пиннекер, Е. В. Проблемы региональной гидрогеологии (Закономерности распространения и формирования поземных вод) / Е. В. Пиннекер. – М. : Наука, 1977. – 196 с.

3. Вахромеев, А. Г. Минерагения концентрированных рассолов осадочного чехла Сибирской платформы / А. Г. Вахромеев // Геология, поиски и разведка месторождений рудных полезных ископаемых : межвузовский сборник научных трудов. – Иркутск : ИрГТУ, 2002. – Вып. 25. – С. 86–97.

4. Вахромеев, А. Г. Месторождения промышленных поликомпонентных рассолов глубоких горизонтов гидроминеральной провинции Сибирской платформы / А. Г. Вахромеев // Вестник ИрГТУ. – 2014 г. – № 9 (92). – С 73–78.

5. Вахромеев, А. Г. Поисковые гидрогеологические критерии локализации месторождений редкометальных промышленных рассолов Сибирской платформы / А. Г. Вахромеев // Изв. Сиб. отд. секции наук о Земле РАЕН. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2008. – Вып. 7 (33). – С 30–41.

6. Сапункова, Л. В. Условия локализации предельно насыщенных рассолов в разрезе галогенной гидрогеологической формации на примере перспективных участков Ангаро-Ленского месторождения / Л. В. Сапункова, Е. Д. Михеева, А. Г. Вахромеев // Мат-лы Всеросс. науч-тех. конф. геонауки. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2014. – С. 63–68.

7. Вахромеев, А. Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов (на примере юга Сибирской платформы) : автореф. дис… докт. геол.-мин. наук / А. Г. Вахромеев. – Иркутск, 2009. – 36 с.

8. Промышленные рассолы Сибирской платформы : гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / С. В. Алексеев [и др.]. – Иркутск : Изд-во ООО «Географ», 2014. – 171 с.

9. Мисюркеева, Н. В. Оценка эффективности поисков промышленных рассолов электромагнитными методами / Н. В. Мисюркеева // Мат-лы Всеросс. науч-тех конф. геонауки. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2014. С. 238–243.

О ПРОБЛЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ВОДОДЕФИЦИТНЫХ ГОРНО-СКЛАДЧАТЫХ РАЙОНАХ (НА ПРИМЕРЕ ЮЖНОГО УРАЛА)

Гаев А. Я.[1], Леонтьева Т. В.[2], Алферов И. Н.[2], Килин Ю. А.[3]
[1] Оренбургский научный центр УрО РАН, г. Оренбург, gayev@mail.ru;
[2] Оренбургский государственный университет, г. Оренбург, alferof_ivan@mail.ru;
[3] Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, maneb-or@mail.ru

Аннотация. В вододефицитных районах наиболее сложной задачей является обеспечение населения качественной питьевой водой. Необходимо разделить потоки воды питьевого и хозяйственно-бытового назначения, чтобы повысить качество питьевой воды и отказаться от огромных затрат на доведение всей массы воды хозяйственно-бытового назначения до питьевого качества.
***Ключевые слова**:* вододефицитные районы, качественная питьевая вода, разделение потоков воды питьевого и хозяйственно-бытового назначения.

Abstract. It is the most difficult task is to supply the population with quality drinking water at water-scarce areas. In order to improve the quality of drinking water and to refuse great expenses for bringing the whole mass of water for household purposes to drinking water quality it is necessary to divide the water flows drinking and household purposes.
***Key words**: water-scarce areas, high-quality drinking water, separating water drinking and domestic purposes streams.*

Горнодобывающие районы Южного Урала относятся к северной части аридной зоны с дефицитом атмосферных осадков, что проявляется в недостатке водных ресурсов при крайней их неравномерности распределения как во времени, так и пространственно [1]. Наибольшую остроту эта проблема приобретает на урбанизированных территориях востока области, а также в Орске, Новотроицке, Гае и на многочисленных месторождениях региона, где имеют место негативные геодинамические процессы [1, 2]. В этой части области проживает до половины ее населения, и за длительный период накопились миллионы тонн промышленных отходов и отвалов вскрышных и вмещающих пород. В водоёмы сбрасываются недостаточно очищенные сточные воды, и требуется разработка мероприятий по защите природных вод от загрязнения и истощения.

Регион исследуется с XVIII в., и особенно активно с 1930-х годов в связи с развитием горнодобывающего производства и освоением целинных земель в 1960-х годах. С развитием рыночной экономики объемы исследований сократились и приобрели локальный характер. За советский период накоплены значительные материалы и выявлен ряд закономерностей в формировании природных вод, построены гидрогеологические схемы и карты, выявлен характер техногенных преобразований гидросферы. Но проблемы водоснабжения и социально-экономического развития не решены.

Рельеф Южного Урала низкогорный. Субмеридиональные хребты Ирендык и Крыкты на западе с отметками 700 – 900 м, сложенные комплексом протерозойско-палеозойских магматических, осадочных и метаморфических пород, сменяются на востоке пенепленом с возвышенностями до 300 – 350 м. Хребты и возвышенности соответствуют антиклинориям, а понижения – прогибам с речными долинами. На востоке региона сформировалась область внутреннего стока с озерами, плоскими неглубокими впадинами без постоянных водотоков, где складчато-глыбовые структуры перекрыты палеогеновыми осадками Тургая.

Климат региона резко континентальный. Испаряемость составляет 600 – 800 мм/год, а количество осадков – 400 – 150 мм. Из почв преобладают южные черноземы, а на юго-востоке − темно-каштановые почвы, эродированные и карбонатизированные с солонцами и солончаками. Лесистость территории не превышает 2% при распаханности территории в 25%.

Древнейшими породами являются раннерифейские метаморфические сланцы и вторичные кварциты (PR_3kl), а преобладают девонские вулканические и обломочные породы с медно-колчеданными рудами, линзами яшм; в мезозойских депрессиях глины, пески, галечники и кремнистые конгломераты вмещают линзы железистых песчаников и бурого угля с марказитом и сидеритом. В молодых депрессиях и карстовых понижениях вскрыты палеогеновые и плиоценовые железистые песчаники, глауконитовые пески, опоки, трепела и глины с сульфидами и буравчиками бурого железняка и гипса. Кроме того, имеются силикатные никель-кобальтовые руды, хромиты, рутил-гранатовые эклогиты с окисью титана, хризотил-асбест, самородное и россыпное золото, руды бокситов, молибдена, вольфрама и бериллия, а также кварциты с 9% кремнезёма и строительные материалы. Четвертичные осадки представлены аллювием, делювиальными и эоловыми отложениями.

Урал превратился в низкогорье в результате пенепленизации и аллитного выветривания в верхнем мезозое, а также неотектонических поднятий на западе в неоген-четвертичное время с амплитудой до 700 – 800 м (до 4 – 6 мм/год до настоящего времени). Восточное крыло было погребено под мезозойскими и кайнозойскими осадками Тургайского прогиба.

Гидрографическая сеть принадлежит в основном к бассейну Урала с плотностью до 0,5 км/км^2. До 90% водного стока приходится на весеннее половодье. Модуль стока уменьшается на юго-восток до 0,5 л/с км^2. В горах воды гидрокарбонатно-кальциево-магниевые (натриевые) с минерализацией 0,3 – 0,5 г/дм^3, а на юго-востоке − даже хлоридные с минерализацией до 5 г/дм^3. Воды озер − от пресных до соленых. Распространены суходолы и пересыхающие малые речки. Озеро Шелкар-Ега-Кара имеет глубину 0,5 – 1,5 м и площадь свыше 9,6 тыс. га, высыхает 1 раз в 10 лет и промерзает 1 раз в 3 года. Вода в нем солоноватая. Постоянный водоток – р. Казанча – имеет озеро Жетыколь площадью больше 5,0 тыс. га и глубиной 1,5 м.

В регионе исследованы поверхностные и подземные воды с применением наземных и дистанционных методов, а также атмосферные осадки, почвы, илы, продукты химического и механического стока и сточные воды предприятий. Значительное воздействие на природные воды оказывают геотехнологические, сельскохозяйственные, промышленные и транспортные источники загрязнения. Схема типизации территории по уязвимости к загрязнению позволила выявить участки менее уязвимые, что надо использовать при размещении производительных сил. Гидрогеоэкологические карты обеспечивают прогноз ситуации с развитием ареалов загрязненных вод от источников загрязнения в долины рек. Ряд предприятий построен в регионе 80 лет назад, и загрязненные воды от них проникли в долины рек. Некоторые реки превратились в сточные канавы, поэтому аллювиальные воды загрязняются. В р. Урал вода имеет соотношение $SO_4 > Cl$ с минерализацией порядка 0,6 г/л дм^3, а в его левом притоке − р. Орь − $Cl > SO_4$ при минерализации до 0,89 г/дм^3.

В горноскладчатых районах распространены воды трещинного типа классов T_6, T_7 и T_8 [3]. Они дренируются водами пластово-порового типа, которые имеют водохозяйственное значение. К юго-востоку с переходом к сухой степи минерализация вод растет, и увеличиваются концентрации сульфатов и хлоридов. Водоснабжение населения осуществляется за счет аллювиального водоносного горизонта, взаимосвязанного с трещинными водами палеозоя. Города Орск, Гай и Новотроицк снабжаются водой поймы р. Урал с минерализацией 0,4 − 0,6 г/ дм^3.

Для сохранения водных ресурсов строятся водохранилища, например, Ириклинское на р. Урал с запасами 3257 млн м^3 и площадью 260 км^2 с многолетним регулированием стока. Существуют и другие водохранилища, но воды не хватает, и качество ее быстро ухудшается [4]. Водохранилища играют роль отстойников и питают аллювиальный горизонт ниже плотин. Качество воды при фильтрации повышается, а скважины имеют дебит 0,17 − 5,0 л/с. Подземных вод также крайне мало из-за дефицита осадочных пород с водоносными пластами и зоной аэрации.

На поднятиях мощность аллювия и дебиты скважин уменьшаются по сравнению с прогибами до 0,5 л/с в межень при понижении до 15,8 м. В Магнитогорском прогибе карстовые

родники и скважины имеют дебиты до 2500 м³/ч, а в зоне выветривания пород палеозоя − до 0,5 м³/ч. Мощность русловой фации аллювия над карбонатными массивами достигает 20 м, обеспечивая удельные дебиты скважин до 5 л/с·м. К востоку палеозойские породы погружаются под отложения Западно-Сибирской платформы, и воды становятся хлоридными с модулями стока не выше 0,1 л/с·км². Воды аллювия остаются пресными при повышенной окисляемости (10,2 мг/дм³ O_2) и содержании железа (0,58 мг/дм³). При малой мощности аллювия аллювиальные воды эксплуатируются совместно с трещинными водами палеозоя. Так, пять скважин в пос. Хмелевка обеспечивают 1 000 м³/сут. Из-за недостатка подземных вод широко используются поверхностные воды. Так, водой Ириклинского водохранилища снабжаются ГРЭС и пос. Энергетик. В ней сезонно повышается содержание аммония и фенолов, ухудшаются привкус, запах, цветность и мутность. В результате колебания уровня воды в водоеме в полосе терригенных пород карбона шириной до 2 км, прилегающей к водохранилищу, развита зона пресных вод. Удельные дебиты скважин составляют 0,34 − 9,20 л/с·м при минерализации вод 0,91 − 1,50 г/дм³. Их эксплуатация целесообразна при восполнении запасов за счет вод водохранилища. Другим вариантом водоснабжения пос. Энергетик могут служить воды аллювия р. Урал в районе водохранилища или ниже плотины Ириклинской ГЭС с водоводом протяженностью в 22 км.

Киембаевский ГОК и г. Ясный обеспечиваются водой из Верхне-Кумакского водохранилища на р. Б. Кумак, левом притоке р. Урал. Полезный объем водоема составляет 45 млн м³, а вода из него используется для водоснабжения пос. Светлый (3,9 млн м³/год), совхозов района (1,2), г. Ясного и Киембаевского ГОКа (5,9 млн м³), всего 11 млн м³/год. При обеспеченности в 1,0% максимальные расходы воды достигают 600 м³/с, при 10%-ной обеспеченности − 300 м³/с. Минерализация воды составляет 0,2 − 0,3 г/дм³, при общей жесткости 1,3 − 3,1 мг-экв/дм³ и pH 6,6 − 7,7. Вода содержит кишечные палочки выше нормы и хлорируется. Водный дефицит обостряется в маловодные годы, поэтому рекомендуется магазинировать воду в аллювиальном водоносном горизонте в долине р. Бол. Кумак ниже впадения р. Джарлы, на участке в 4,5 км. $К_ф$ аллювиального водоносного горизонта составил 48,0 − 196,0 м/сут, а дебиты скважин – 6 − 17 л/с при понижении до 3,9 м. В межень расход воды в реке падает до 0,34 м³/с. Вдоль водохранилища создан инфильтрационный водозабор длиной 5 750 м с эксплуатационными запасами благодаря магазинированию вод в 17318 м³/сут. Комбинированное водоснабжение обеспечивается в объеме 34 тыс. м³/сут.

Таким образом, комбинированная система водоснабжения населения и производственных объектов путем магазинирования части паводковых вод водохранилищ эффективна и заслуживает широкого применения. В долинах мелких водотоков, несмотря на то, что аллювиальные и трещинные воды эксплуатируются совместно, скважины имеют небольшие дебиты. Подземные воды не защищены и подвергаются загрязнению отвалами горных пород, шлаков, золы, шламов, мусором и отходами. Очистные сооружения, как правило, отсутствуют. Восполнение запасов подземных вод за счет водоемов широко применяется в мировой практике.

Для повышения качества питьевой воды и снижения уровня заболеваемости населения рекомендуется разделить потоки воды питьевого и хозяйственно-бытового назначения. Для питья человеку требуется воды питьевого качества 2 − 2,5 л/сут**.** Месторождения вод питьевого качества с небольшими запасами имеются даже на урбанизированных территориях. При их эксплуатации вероятность чрезвычайных ситуаций близка к нулю. При использовании спецмашин и бюветов возможно резко снизить себестоимость воды. Бутилированная вода недоступна большей части населения. Ее высокая стоимость определяется стоимостью систем розлива и транспорта. На небольших объектах вероятность аварий невелика, и требования безопасности легко обеспечиваются.

Поверхностные водоемы и воды аллювиального водоносного горизонта легко подвергаются загрязнению. Для защиты их от загрязнения наиболее эффективны барьерные технологии с комплексными геохимическими [5] и гидродинамическими [2] барьерами. Создаются

очень разнообразные конструкции комплексных барьеров [6 – 9]. Так, на Гайском ГОКе построены простейшие по устройству плотины, хорошо выполнившие задачу по защите водоемов от загрязнения. Нами предложена модель фильтрующего наполнителя из местных материалов. Установка комплексного горизонтального и вертикального дренажа, совмещенная с барьерными технологиями, эффективна для перехвата загрязненных вод, поступающих в долину реки от источника загрязнения, расположенного на склоне долины.

Система мониторинга обеспечивает прогноз состояния природных вод и оценку материального баланса по конкретному водозабору. Из существующих систем контроля федерального, регионального и местного уровней необходимо создать территориальные мониторинг-центры. Дальнейшее развитие территорий, богатых минеральными ресурсами, но вододефицитных, требует коренной перестройки в системе производственных и социально-экологических отношений. Необходимо сосредоточить контроль за природными и сточными водами, здоровьем населения, составом атмосферных осадков, снегового покрова, почв, грунтов и растительности в единых мониторинг-центрах. Сеть и периодичность наблюдений должна опираться на схему типизации территории по уязвимости или защищенности территории от загрязнения и зависеть от интенсивности техногенной нагрузки. В районах с высокой техногенной нагрузкой необходимо посезонно картографировать территорию и корректировать контрольную сеть с учетом качества работы разных производств, уязвимости водозаборов питьевого назначения, наличия сети гидрометслужбы и других ведомств. Мониторинг-центры призваны стимулировать организацию зон санитарной охраны, ликвидацию утечек загрязненных вод, борьбу с коррозией металлических и бетонных сооружений, внедрение безотходных технологий и систем оборотного водоснабжения, утилизацию отходов производства, совершенствование систем землепользования, рекультивацию нарушенных земель с озеленением и лесомелиорацией.

Картографирование территории включает решение следующих задач: а) выявление особенностей строения и гидрогеоэкологического состояния водоносных горизонтов; б) оценку биологической продуктивности водоемов и территорий; в) регистрацию качества природных вод и окружающей среды; г) выявление гидрогеоэкологических закономерностей территории с ее типизацией по защищенности от техногенного воздействия; д) построение существующих и прогнозных схем и моделей водопользования, отвечающих требованиям санитарных норм.

Система мониторинга должна служить инструментом нормирования техногенной нагрузки и основой для разработки мероприятий по ее оптимизации с целью локализации загрязнения путем обоснованного размещения новых производственных объектов на участках, хорошо защищенных от загрязнения, и применения барьерных технологий.

Итак, в вододефицитных районах необходимо, прежде всего, решать задачу по обеспечению населения качественной питьевой водой, разделив потоки воды питьевого и хозяйственно-бытового назначения. Это позволит улучшить качество питьевой воды, резко снизив затраты на доведение огромной массы воды хозяйственно-бытового назначения до питьевого качества, и, главное, резко поднимет уровень здоровья населения, что облегчит решение демографических проблем. При использовании небольших месторождений питьевой воды, которые имеются и в маловодных районах, себестоимость воды и вероятность чрезвычайных ситуаций снижаются.

Список литературы

1. Гидрогеология СССР. Т.43. Оренбургская область. – М. : Недра, 1972. – 272 с.

2. Научно-методические основы защиты от загрязнения водозаборов хозяйственно-питьевого назначения / В. Д. Бабушкин [и др.]. – Пермь, 2003. – 267 с.

3. Кирюхин, В. А. Региональная гидрогеология: учебник для вузов / В. А. Кирюхин. – СПб : С-Пб. гос. горный ин-т (техн. ун-т). – 2005. – 344 с.

4. Кривопалова, З. Ф. Формирование качества воды водохранилищ Южного Урала : [Аргазин., Шершнев, Верхнеурал., Магнитогор., Ириклин., Тоцкого] / З. Ф. Кривопалова, Г. В. Танаева // Охрана природы вод Урала. – Свердловск, 1990. – Вып. 19. – С. 101–115.

5. Перельман, А. И. Геохимия / А. И. Перельман. – М. : Высшая школа, 1989. – 528 с.

6. Пат. Российская Федерация. Установка совмещенного вертикального и горизонтального дренажа при локализации загрязненных флюидов / А. Я. Гаев, И. Н. Алферов, Е. В. Лихненко, Н. С. Локоткова. – № 47914; зарег. в Государственном реестре полезных моделей РФ; – 2005 г.

7. Пат. Российская Федерация. Устройство барьерного типа перед водозабором пресных подземных вод / А. Я. Гаев, И. Н. Алферов, Н. С. Алферова, Е. В. Лихненко. – № 5382; Зарегистрирован в Государственном реестре полезных моделей РФ 10.08.06.

8. Пат. Российская Федерация. Способ локализации загрязнений при эксплуатации водозаборов хозяйственно-питьевого назначения / А. Я. Гаев, Е. В. Кузнецова, А. А. Фоминых, В. А. Почечун. – № 130071; Федеральный институт промышленной собственности. – Москва, 2006.

9. Пат. Российская федерация. Система для очистки загрязненного нефтью или нефтепродуктом грунта / И. Е. Клейменова, Н. Г. Беликова, А. Я. Гаев. – Государственный реестр полезных моделей РФ; опубл. 27.09.07 г.; Бюл. № 27; – 2 с.

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ОБ ЭНДОГЕННОЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ*

Гаев А. Я.[1], Килин Ю. А.[2]

[1] Оренбургский научный центр УрО РАН, г. Оренбург, gayev@mail.ru;

[2] Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь, maneb-or@mail.ru

Аннотация. Гидросфера − это оболочка планеты, соразмерная с тектоносферой Земли, открытая в сторону космоса и внутренних геосфер Земли. Она включает воды Мирового океана, суши, земной коры и верхней мантии, вплоть до астеносферы, включая воды в надкритическом состоянии; имеет две области питания и разгрузки – экзогенную, относительно хорошо изученную, и эндогенную, почти не известную. Не изучены также волосные воды, физически и химически связанные и воды, находящиеся в составе живого вещества. Предстоит уточнить и объем вод гидросферы, поскольку оценки в количестве 2500 млн км^3 основываются на устаревших представлениях о модели ее строения.

***Ключевые слова**:* гидросфера, вода в надкритическом состоянии, экзогенная и эндогенная области питания и разгрузки.

Abstract. Hydrosphere – a shell of the planet, commensurate with tectonosphere Earth, open space in the direction the Earth and internal Geospheres. It includes water, oceans, land, the earth's crust and upper mantle up to the asthenosphere, including water in the supercritical state. It has two areas of power supply and unloading. This exogenic which is relatively well understood. And the second is endogenic, that is little known. A capillary water and physically and chemically bonded water and located in the living substances waters also does not so well explored.

***Key words**: hydrosphere, the water in the supercritical state, field of nutrition and unloading exogenic and endogenic.*

В 1875 г. первые догадки о глубинном строении гидросферы высказал Э. Зюсс, изложив представления о ювенильных водах, поступающих из глубинных недр. В 1931 г. В. И. Вернадский более конкретно сформулировал представления о гидросфере в целом: «…гидросфера планеты должна рассматриваться как единая динамическая система, открытая в сторону космоса и внутренних областей Земли (мантия, ядро)» [1]. Ученые разошлись в мнениях о границах гидросферы, полагая, в частности, что она простирается от верхней границы тропосферы (тропопаузы) до верхней границы мантии [2, 3]. Большинство гидрогеологов вслед

* В порядке дискуссии

за Э. Зюссом, В. И. Вернадским, Д. Мерреем и др., исходя из сферического строения Земли, считают, что *гидросфера − это* водная оболочка планеты, состоящая из вод Мирового океана, подземной гидросферы и поверхностных вод суши (рек, озер, болот, ледников и снежного покрова) [1, 2]. Верхняя ее граница совпадает с нижней границей атмосферы, а нижняя проводилась по глубине с температурой якобы критической для воды (374° С). После открытий астрофизиками воды в солнечных пятнах с температурой 4000° С эти представления начали пересматриваться. Мобилисты обосновали перемещение плит с участием воды, что сопровождается сейсмическими явлениями на глубинах до 700÷900 км. Стало очевидно, что граница гидросферы в нижней части соответствует по положению астеносфере. Еще В. И. Вернадский высказал предположение о надкритическом состоянии воды в нижней части гидросферы.

Исторически поверхностные и подземные воды изучались в рамках разных научных дисциплин – гидрологии и гидрогеологии. Это положение было закреплено в решениях первого съезда гидрогеологов в 1931 г. Начиная с работ В. И. Вернадского, Ф. П. Саваренского, А. М. Овчинникова, Е. В. Пиннекера и др., объектом исследования гидрогеологии стала подземная гидросфера. Но одновременно развивались представления о единстве и взаимосвязи поверхностных и подземных вод. Так, Н. И. Плотников в этой связи, с целью изучения гидросферы, как целостной оболочки Земли, предложил понятие гидрогеосферы, а В. М. Шестаков и С. П. Поздняков науку, изучающую водную оболочку Земли в целом, предложили назвать геогидрологией [4].

Интересное открытие сделали океанологи, установив наличие на дне океанов разгрузку так называемых «черных курильщиков». Вулканологи изучают воды магматических очагов, как источники тепловой энергии, а геологи в недрах акваторий открыли богатейшие рудные и нефтегазовые месторождения. К сожалению, процессы взаимодействия воды в надкритическом состоянии в системе « вода – порода – газ – живое вещество» протекает на недоступных глубинах. Поэтому большое значение приобретают экспериментальные исследования и моделирование этих процессов. Заслуживают самого глубокого внимания результаты исследований структуры воды в надкритическом состоянии, выполненные Максом Вильке с коллегами. Маленький образец воды в надкритическом состоянии исследован в камере с алмазными наковальнями методом комбинационного рентгеновского рассеяния [5]. Прослежено изменение структуры воды от упорядоченной полимеризованной до разупорядоченной, с очень малым числом водородносвязанных ассоциатов. На основе моделирования сделан вывод о том, что в надкритическом состоянии вода приобретает свойства «сверхводы» и способна растворять любые вещества. Благодаря этим свойствам вода способна осуществлять геологический круговорот и способствовать тектоническим процессам. Эти свойства воды предвидел В. И. Вернадский: «Еще глубже в силикатовых и алюмосиликатовых расплавленных массах, вода в своеобразном растворе при наличии огромных давлений – в тысячи атмосфер – и температур, может быть, превышающих тысячу градусов, является основным химическим фактором, действуя как сильная кислота, который создает химическую среду магмы и ее движение» [1, с. 54]. Способность воды глубинных недр растворять даже такие кристаллические породы, как вторичные кварциты, отметил Г. А. Максимович на примере разрезов рудников Южной Африки, указав на наличие там силикатного типа карста [6]. Кристаллические, силикатные породы земной коры и верхней мантии занимают в разрезе планеты сотни километров, что значительно больше мощности осадочной оболочки. Именно в пределах их развития формируется зона силикатного карста. О наличии здесь активных геохимических процессов свидетельствует также присутствие в глубинных флюидах повышенных концентраций углекислоты (40 г/л), метана (до 12,9 г/л), водорода (до 1,5 г/л), азота (до 1,2 г/л), кислорода (до 0,2 г/л), установленных во флюидах Предкавказья, а также сероводорода (до 10 г/л), выявленного в Болгарии [7, 8].

Проиллюстрируем значимость силикатной части разреза гидросферы на примере Предуралья. В геологическом разрезе здесь выделены следующие гидродинамические этажи [9]: 1) верхний этаж, включающий зоны активного водообмена и регионального стока в

отложениях от четвертичного до верхнепермского возраста; 2) этаж 2, с зонами замедленного и весьма замедленного водообмена от кунгурского сульфатно-галогенного комплекса до средне-верхне-девонского преимущественно карбонатного водоносного комплекса с нефтегазоносными горизонтами; 3) этаж 3, от среднего девона до кристаллического фундамента с весьма затрудненным водообменом; 4) этаж кристаллических пород литосферы и верхней мантии, включая астеносферу, в сто и более раз больше по мощности всех других этажей.

Макс Вильке с коллегами подтвердили представления, выдвинутые о ювенильной воде. А. П. Виноградов считал, что диссоциированной воды в мантии в 20 раз больше, чем в поверхностной гидросфере. Структура «сверхводы» изменяется, и при ее разгрузке энергетический уровень ее существенно превосходит уровень энергетики верхней части гидросферы, о чем свидетельствуют высокотемпературные гидротермы «черных курильщиков». С ними связаны месторождения углеводородов и рудных полезных ископаемых в недрах под океанами и морями. «Сверхвода» выщелачивает и растворяет не только карбонаты, сульфаты и галоиды в недрах под морями и океанами, но и силикаты, слаборастворимые в зоне активного водообмена. Разгрузка «сверхводы» происходит по глубинным разломам, вдоль которых, видимо, формируются формы силикатного карста и месторождения полезных ископаемых. Недра под акваториями служат областями разгрузки водонапорных систем, включая воды, формирующиеся в астеносфере. С их разгрузкой связано формирование многих полезных ископаемых, заполняющих формы силикатного карста. Поэтому методы эндогенной гидрогеологии и изучение процессов формирования «сверхводы» имеют большое практическое значение в деле освоения минеральных ресурсов и в области моделирования процессов формирования их залежей с целью разработки геотехнологий. При этом, наука о гидросфере Земли должна получить новый мощный импульс развития в экспериментальной и геотехнологической областях, при поисках, разведке и в теории формирования многих минеральных ресурсов.

Даже после работ В. И. Вернадского считалось, что на больших глубинах существует термодинамически закрытая система, но после работ мобилистов выяснилось, что глубокие горизонты земной коры и верхней мантии представляют собой открытую систему. Геофизики обнаружили глубинные плюмы и их связь с плитной тектоникой. Рост температуры и давления с глубиной благоприятен для нахождения там элементов с повышенным атомным весом. На границе геосфер строение внешних электронных уровней атомов и их энергетика изменяются, что, видимо, и рождает эти плюмы. Такого же рода процессы протекают и в астеносфере, где формируются ювенильные воды или «сверхвода». С ее участием осуществляются движения плит и сейсмические явления на глубинах до 900 км. Основанием литосферных плит служит астеносфера, и, видимо, она же является областью питания и разгрузки ювенильных вод или «сверхводы» [10]. При отрицательных неотектонических движениях в астеносфере формируются ювенильные воды, а при неотектонических поднятиях астеносфера играет роль области разгрузки вод гидросферы. Эти процессы должны исследоваться эндогенной гидрогеологией − новым научным направлением. «Черные курильщики» в океане подтверждают проявление разгрузки ювенильных вод. Процессы их формирования в астеносфере должны стать предметом исследования эндогенной гидрогеологии. Результаты сейсмики надо дополнить экспериментальными исследованиями вещества внутренних геосфер планеты и термальных вод, включая «черные курильщики» [11].

Новейшие тектонические движения обновляют трещиноватость пород, которая и служит в качестве коллектора флюидов, включая ювенильные воды. То есть границы гидросферы совпадают с границами тектоносферы Земли. В результате тектонических движений формируются пьезоминимумы и пьезомаксимумы в земной коре и верхней мантии. При неотектонических поднятиях объем коллекторов возрастает за счет раскрытия трещин. Вода движется сверху вниз к астеносфере и диссоциирует там. При отрицательных движениях объем коллекторов уменьшается. Рост давления в коллекторе и астеносфере при погружении и сжатии создает предпосылки для формирования ювенильных вод.

Детали процессов необходимо уточнять экспериментально, но функционирование такого механизма очевидно, поскольку при положительных неотектонических движениях в недрах обнаружены зоны с деминерализованными рассолами, поглощающими горизонтами и пьезоминимумы с давлением ниже гидростатического [12]. Отрицательные неотектонические движения приводят к уменьшению объема коллекторов и росту давления и газонасыщенности флюидов с формированием зон аномально высоких пластовых давлений (АВПД). Главные области разгрузки флюидов приурочены к акваториям, недра которых поэтому богаче минеральными ресурсами, чем на континентах. Океаны и моря занимают более 70% площади планеты, и месторождения в их недрах имеют более высокие концентрации полезных компонентов. Это обусловлено тем, что в акваториях формируется относительно закрытая гидрогеологическая обстановка, благоприятная для накопления полезных ископаемых.

Трещинные воды кристаллических пород земной коры и верхней мантии, включая астеносферу, выделяются в самый крупный гидродинамический этаж водонапорной системы планеты. Высокая агрессивность «сверхводы» в породах этого этажа способствует выщелачиванию и растворению всех химических элементов на пути ее миграции. С этими флюидами связаны процессы формирования крупных месторождений полезных ископаемых в недрах океанических акваторий [13]. Толщу кристаллических пород от астеносферы до осадочной оболочки вслед за Г. А. Максимовичем [10] мы называем зоной гидрометагенеза и силикатного карста. Установлено, что воды этой зоны обладают кислой реакцией среды с $pH \leq 4$ [14], что связано с влиянием ювенильных вод. Необходимы их экспериментальные исследования и изучение процессов взаимодействия с вмещающими породами, изучение термальных источников, особенно, «черных курильщиков».

Таким образом, гидросфера представляется нам в качестве оболочки планеты, соразмерной с тектоносферой Земли, включающей совокупность природных вод Мирового океана, вод суши, земной коры и верхней мантии, вплоть до астеносферы. Она имеет две области питания и разгрузки – экзогенную, относительно хорошо изученную, и эндогенную, почти не известную. Не изучены не только ювенильные воды, но и так называемые волосные воды, физически и химически связанная вода, а также воды, находящиеся в растениях и живом веществе. Даже общий объем воды, содержащийся в гидросфере планеты, предстоит уточнить, поскольку оценки в количестве около 2500 млн км^3 крайне занижены, так как основываются на устаревших представлениях о модели ее строения.

Список литературы

1. Вернадский, В. И. История природных вод / В. И. Вернадский; сост.: В. М. Шестопалов, А. Ю. Моисеев, В. В. Гудзенко и др.; Институт геол. наук НАН Украины. – Киев, 2012. – 754 с. (Избранные тр. акад. В. И. Вернадского, т. 6).

2. Всеволожский, В. А. Основы гидрогеологии : учебник / В. А. Всеволожский. – 2-е изд., перераб. и доп. − М. : Изд-во МГУ, 2007. – 448 с.

3. Основы гидрогеологии. Т. 1. Общая гидрогеология // Под ред. Е. В. Пиннекера. – Новосибирск : Наука, 1980. – 231 с.

4. Шестаков, В. М., Поздняков С.П. Геогидрология / В. М. Шестаков, С. П. Поздняков. – М. : Академкнига, 2003. –176 с.

5. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2013; DOI:10.1073/pnas.1220301110. Источник – chemport.ru. Информация получена из сообщения электронного журнала С-Пб. отд. Института Геоэкологии РАН В недрах Земли может существовать сверхвода (В. Г. Румынин, А. Никуленков).

6. Максимович, Г. А. Гидрогеохимические зоны платформы / Г. А. Максимович // Химическая география и гидрогеохимия. – Пермь, 1964. – Вып. 3(4). – С. 101–120.

7. Корценштейн, В. Н. Растворенные газы подземной гидросферы Земли / В. Н. Корценштейн. – М. : Недра, 1984. – 230 с.

8. Крайнов, С. Р. Гидрогеохимия / С. Р. Крайнов, В. М. Швец. – М. : Недра, 1992. – 463 с.

9. Гаев, А. Я. О глубинной гидродинамике (на примере востока Русской платформы) / А. Я. Гаев, А. С. Хоментовский. – ДАН СССР, 1982. – Т. 263, № 4. – С. 967–970.

10. Кирюхин, А. В. Гидрогеология вулканогенов / А. В. Кирюхин, В. А. Кирюхин, Ю. Ф. Манухин. – СПб : Наука, 2010. – 395 с.

11. Кирюхин, В. А. Общая гидрогеология: учебник / В. А. Кирюхин. –. СПб. : СПб. гос. горный ин-т (техн. ун-т), 2008. – 439 с.

12. Гаев, А. Я. Подземные резервуары (технология строительства и эксплуатации) / А. Я. Гаев, В. Д. Щугорев, А. Я. Бутолин. – Л. : Недра, 1986. – 223 с.

13. Судариков, С. М. О районировании подвижных гидрогеологических областей океана (на примере Срединно-Атлантического хребта) / С. М. Судариков // Гидрогеология и карстоведение. – Пермь : Изд. Пермского ун-та, 2013. – № 19. – С. 30–37.

14. Гидрогеологические условия формирования и размещения нефтяных и газовых месторождений Волго-Уральской области / М. И. Зайдельсон [и др.]. – М. : Недра, 1973. – 279 с.

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ВНУТРЕННЕМ СТРОЕНИИ, ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ И РЕОЛОГИИ КАМЕННЫХ ГЛЕТЧЕРОВ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ – ИСТОЧНИКОВ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ ЛЕДОВО-ГРЯЗЕКАМЕННЫХ СЕЛЕЙ

Галанин А. А. [1], Оленченко В. В.[2], Христофоров И. И.[1]

[1] ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, agalanin@gmail.com;

[2]Институт нефтегазовой геологии и геофизики, г. Новосибирск, olenchenkovv@yandex.ru

Аннотация. На примере изучения гляциально-криогенного комплекса Городецкого мы пришли к выводу о принципиально иных механизмах формирования и реологии данного образования, относящегося к неизвестному ранее типу приледниковых щебнисто-суглинистых и ледово-щебнисто-суглинистых каменных глетчеров с талым и интенсивно обводненным ложем. Физика подобных объектов не может быть описана на основе закона пластической деформации Глена, используемого для описания движения классических каменных глетчеров и обычных ледников. Реология таких образований, вероятно, может быть описана законами поведения псевдопластичных (неньютоновских) жидкостей и тиксотропных систем.

Ключевые слова: *каменный глетчер, ледник, гляциально-криогенный комплекс, гляциальный сель, электротомография, георадар, Тянь-Шань, горная криолитозона.*

Abstract. Based on the study of the Gorodetsky glacial-cryogenic complex in Tyan-Shan, we concluded that fundamentally different mechanisms of its origin and rheology and its relation to previously unknown type of ice-debris-loam rock glaciers with melted and intensively watered bed. Physics of such objects cannot be described by the Glen's law of plastic deformation that commonly used to derive the movement velocities of rock glaciers as well as common glaciers. The rheology of such formations can probably be modelled by behavior of a pseudoplastic (non-Newtonian) fluid and thixotropic systems.

Keywords: *rock glaciers, glacier, glacial-cryogenic complex glacial mudflow, Electrical resistivity tomography, ground penetrating radar, Tien-Shan, alpine permafrost.*

С середины XX столетия в большинстве ледниковых районов Мира фиксируется стремительное сокращение оледенения, приводящее к формированию крайне нестабильного пояса высокольдистых морен, подпрудных озер и других образований. В целом, процесс дегляциации вызывает цепную реакцию всех компонентов перигляциальной зоны – расширение пояса криогенных, склоновых и флювиальных процессов. В ходе дегляциации в истоках ледниковых долин формируются весьма нестабильные системы, именуемые нами далее гляциально-криогенными комплексами (ГКК). Составляющие их компоненты, тесно связанные в вещественно-энергетическом отношении, комплексно реагируют на сезонные и многолетние изменения

климатических параметров. Одним из проявлений катастрофической динамики ГКК высокогорий Центральной Азии и Европы являются гляциальные сели и сёрджи. Известным печальным примером является ледово-грязе-каменный сель ледника Колка на Кавказе в 2002 г. Он возник в результате блокировки стока ледника собственной частично мерзлой мореной, что в период максимальной абляции ледника (август) привело к ее пересыщению инфильтрующимися талыми водами и последующему гидравлическому разрыву льдистой морены. По некоторым данным скорость движения селя превышала 30 м/с (150 км/час). Механизм его формирования окончательно не установлен [1].

Одним из районов с высоким риском возникновения гляциальных селей является хр. Заилийский Алатау в Северном Тянь-Шане, в предгорьях которого сконцентрировано большое количество населенных пунктов. Крупный город Алма-Аты практически полностью расположен на поверхности гигантских древних селевых конусов.

Изучавшийся нами в 2012 – 2014 гг. селеопасный ГКК Городецкого расположен в истоках р. Бол. Алмаатинки в интервале высот 3150 – 4200 м.н.у.м., имеет длину более 6 км (рис. 1). В истоках бассейна имеется несколько каровых ледников длиной до 2,5 км, сочлененных с истоками глетчера через поля крайне нестабильных льдистых морен, представляющих специфический ледниковый бэдленд. Здесь же, в прифронтальной части ледника Городецкого, расположено несколько озерных котловин, служащих промежуточными бассейнами накопления ледникового стока и тонкого белесого сапропеля – ледниковой «муки». Отдельные озерные котловины были спущены искусственным образом в ходе превентивных мероприятий, поскольку объект считается селеопасным. В спущенных котловинах в обрамлении полей «мертвых» льдов (льдистых морен с высоким рельефом) искусственно углубленное русло ледникового водотока прорезает толщи супесчано-суглинистого материала (ледникового сапропеля) мощностью до 10 м и более. Интенсивно насыщенный взвесью ледниковый сток непосредственно дренирует внутрь каменного глетчера, концентрируясь вдоль его оси. По мере таяния полей «мертвых» льдов происходит гравитационное и солифлюкционное расползание абляционного щебне-глыбового чехла и частичное погребение под ним супесчано-суглинистых ледниково-озерных отложений. Процессы деградации ледяных ядер сопровождаются крипом и разнообразными деформациями, формированием изолированных термокарстовых воронок, в днищах которых из-под глыб и щебня выдавливается тонкодисперсный водо-насыщенный суглинок.

Собственно каменный глетчер имеет длину около 3,4 км, лежит в интервале абсолютных высот 3150 – 3500 м н.у.м. Максимальная его мощность в краевой части составляет около 40 – 50 м. Фронтальный уступ имеет крутизну естественного откоса, а местами превышает ее. Поверхность каменного глетчера на всем протяжении покрыта глыбами и щебнем гранитоидов, гранулометрический состав которых распределен неравномерно. Средние размеры поверхностных обломков варьируют от 0,1 до 1 м. Встречаются участки нагромождения крупных глыб диаметром более 2 – 3 м.

Интенсивность поверхностных деформаций, наличие ориентированных гряд и межгрядовых ровообразных понижений, наплывов и ступеней указывает на высокую динамическую активность каменного глетчера. За время инструментальных наблюдений с 1923 по 2003 г. [2, 3] фронтальный уступ продвинулся в среднем на 72 м, а площадь глетчера увеличилась. Движение носило пульсационный характер, среднегодовая скорость изменялась от 18 до 110 см, наиболее активное смещение происходило в летний период с июня по сентябрь. За это же время края ледников в истоках ГГК Городецкого отступили на 200 – 250 м. Интенсивное движение и увеличение размеров установлено для другого, расположенного в том же бассейне каменного глетчера Моренного. Наступление и увеличение размеров каменных глетчеров за последние полвека происходили на фоне существенного повышения среднегодовой температуры воздуха и деградации ММП, зафиксированных на мониторинговых площадках Казахстанской высокогорной мерзлотной станции. Имеются и другие косвенные признаки

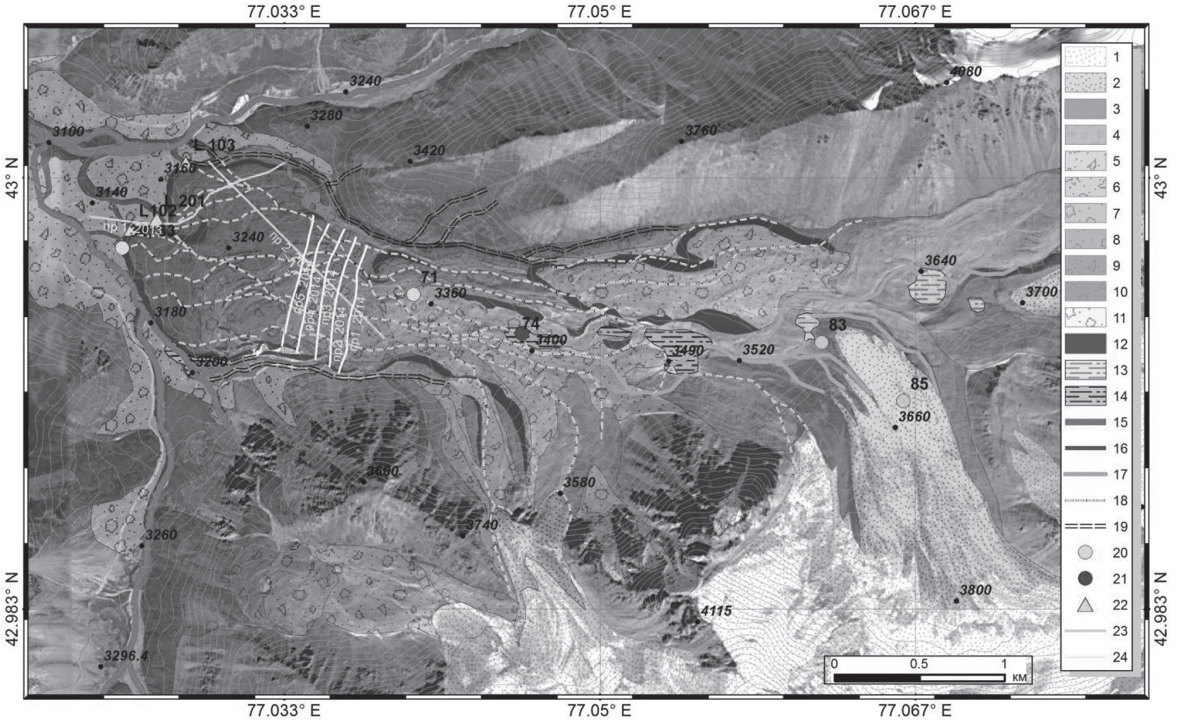


Рис. 1. Схема селеопасного ГКК Городецкого в верхнем течении р. Бол. Алмаатинки (Заилийский Алатау) и размещение фактических данных геотермических, геофизических и изотопных наблюдений в 2012 – 2014 г.

1 – снежно-фирновые поля; 2 – транзитные части (зоны абляции) ледников; 3 – забронированные мореной краевые части ледников; 4 – покрытые мореной поля «мертвых» льдов; 5 –10 – разновозрастные генерации каменных глетчеров, дифференцированные на основании метода остаточной прочности (SHT), лихенометрии (RH5) и геоморфологического анализа поверхности. 11 – донная морена доголоценового оледенения; 12 – резкие осыпные уступы вешних и внутренних бровок каменного глетчера; 13 – приледниковые озера с мощными накоплениями ледниковой «муки»; 14 – сложенные переувлажненными тиксотропными пылеватыми супесями днища естественно и искусственно спущенных приледниковых озер. Водотоки и каналы стока (15 – 19): 15 – мутный поверхностный сток крупных водотоков ниже пояса каменных глетчеров; 16 – чистый (отфильтрованный) сток непосредственно из тела каменного глетчера; 17 – сток с ледников с высокой мутностью и количеством влекомого тонкодисперсного материала; 18 – подповерхностная дренажная система каменного глетчера; 19 – круглогодично сухие маргинальные каналы; 20 – точки отбора проб льда и водного стока на изотопный анализ; 21 – участок выдавливания обводненного суглинка («ледниковой муки») внутри каменного глетчера; 22 – точки установленных двуканальных логгеров для наблюдений за динамикой и температурой стока каменного глетчера, температурой приземного воздуха; 23 – геофизические профили 2013 г. (электротомография, георадар); 24 – геофизические профили 2014 г. (электротомография, георадар)

потепления климата – повышение верхней границы леса, появление молодых елей на поверхности нижней генерации каменного глетчера Городецкого.

Однако, если каменный глетчер Городецкого, как следует из самого определения каменных глетчеров, состоит из сцементированного льдом обломочного материала [4, 5 и мн. др.], то почему на фоне потепления климата его активность не уменьшилась, а размеры и объем непрерывно увеличивались? При этом каменный глетчер уже давно не имеет никакой видимой пространственной связи с ледниками, обломочный материал на его поверхность не поступает также и с боковых склонов из-за отчленяющих краевых каналов. За счет чего происходит увеличение объема глетчера и колебания скорости его движения? Если следовать закону Глена, которым принято описывать движение как каменных глетчеров [5], так и обычных ледников,

то их скорость не должна испытывать столь существенных сезонных колебаний при практически неизменной мощности. Почему поверхностная морфология ледников и каменных глетчеров, являющаяся следствием их течения по одному и тому же закону (Глена), различается кардинальным образом?

Поиск ответов на эти и другие вопросы являлся целью наших комплексных исследований ГКК Городецкого, проведенных с 2012 по 2014 гг. (см. рис. 1). Нами выполнены следующие работы: 1) геофизическое зондирование каменного глетчера методами электротомографии и георадара по профилям; 2) оценка абсолютного возраста поверхности методами лихенометрии и теста остаточной прочности по триангуляционной сетке и профилям; 3) геотермический мониторинг за температурой и режимом стока из-под каменного глетчера с помощью автоматических логгеров; 4) геоморфологическое картографирование и обследование естественных обнажений в стенках термоэрозионных уступов с отбором образцов льда на изотопный анализ.

Комплексирование полученных нами данных и результатов исследований предшественников позволили установить следующее:

1. Каменный глетчер имеет ячеистую внутреннюю структуру, образованную большим количеством жестких блоков относительно чистого льда метаморфического (фирнового) происхождения. Эти реликтовые ледяные блоки, законсервированные в теле каменного глетчера со времени позднеголоценового ледникового максимума (Малого ледникового периода), связаны в единое тело талой и весьма обводненной щебне-глыбово-суглинистой массой, обладающей высокой тиксотропностью.

2. Поскольку каменный глетчер Городецкого не является консолидированным образованием, то он принципиально не может двигаться монолитным телом за счет деформации внутреннего льда-цемента, что противоречит общепринятой реологии течения каменных глетчеров по закону Глена.

3. Геофизические данные указывают, что ложе каменного глетчера под наиболее молодыми генерациями фрагментарно талое, под наиболее древними (краевыми) – полностью талое. Нижняя часть каменного глетчера, обладающая наибольшими скоростями движения и степенью деформации поверхности, характеризуется наименьшими значениями удельного электрического сопротивления, наименьшим количеством льдистых включений (рис. 2). Участки каменного глетчера с наиболее яркими поверхностными пластическими деформациями одновременно являются наиболее талыми и высоко обводненными участками подповерхностного дренажа. О талом состоянии наиболее динамически активных генераций свидетельствует мощный и равномерный сток каменного глетчера на протяжении около 6 месяцев в году (рис. 3), установленные на разных участках каменного глетчера выходы локальные проточной воды в понижениях поверхности, в воронках и трещинах.

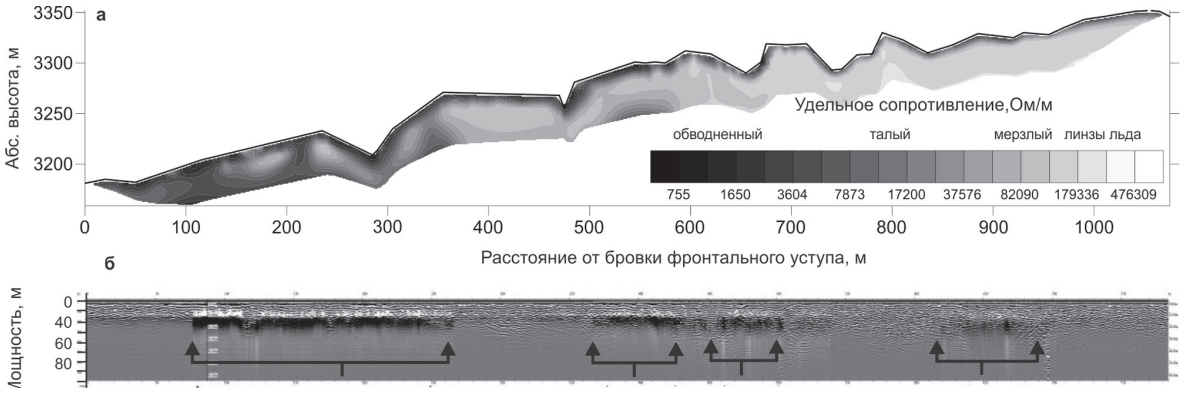


Рис. 2. Геофизические разрезы каменного глетчера Городецкий по профилю Пр. 2 (см. рис. 1):
а – разрез удельных сопротивлений (электротомография); б – отражение радиоволн в частотном диапазоне (георадиолокация)

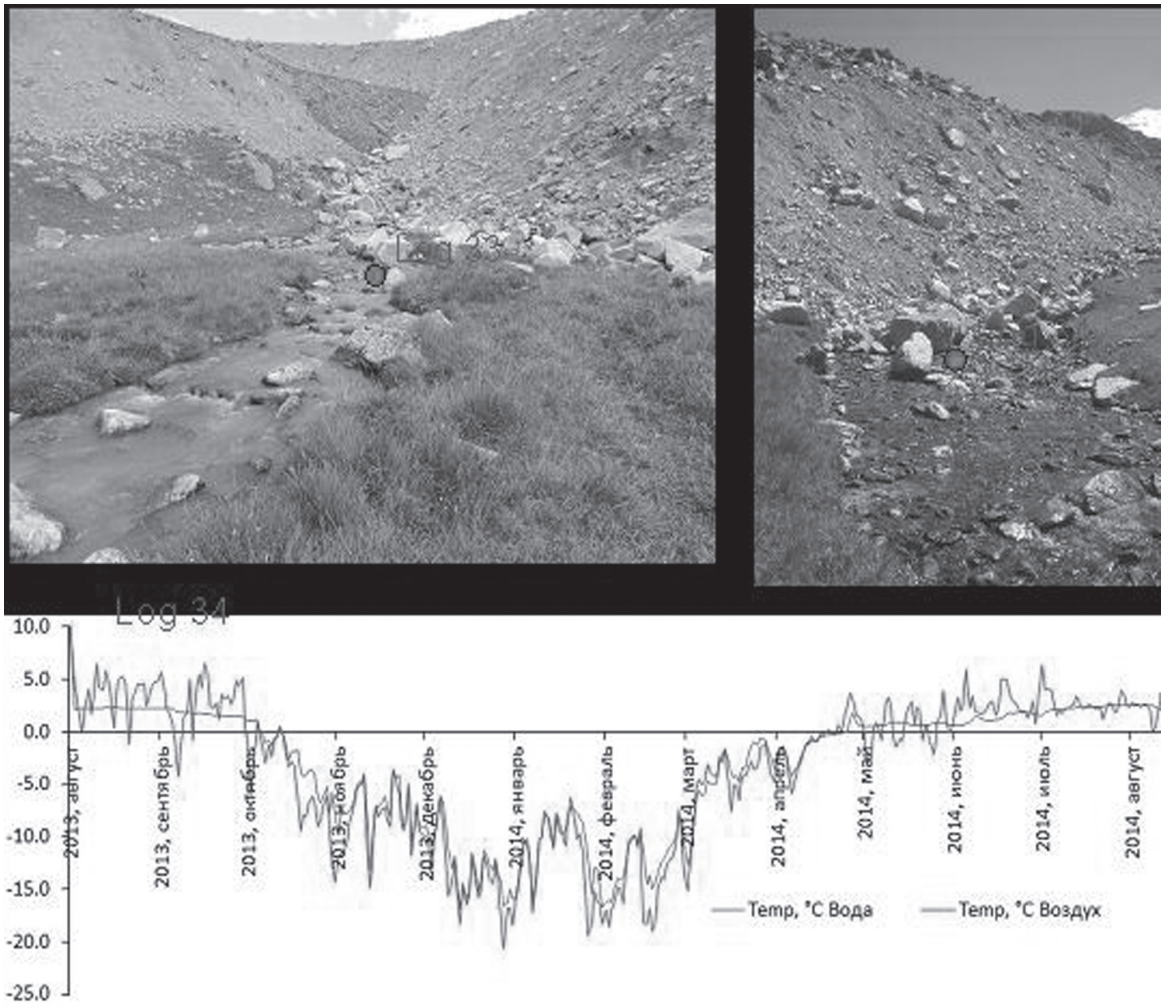


Рис. 3. Результаты геотермического мониторинга за температурой воды (стока) и приземного воздуха в прифронтальной части каменного глетчера Городецкого с августа 2013 г. по август 2014 г.

4. Изученный разрез линзы ископаемого метаморфического льда размерами до 70 м и мощностью до 25 м и отсутствие в ней эпигенетических пластических деформаций свидетельствуют о пассивном движении подобных ледяных включений в теле каменного глетчера. Во вмещающих линзу щебне-глыбовых отложениях не было обнаружено никаких признаков эпигенетических льдов конжеляционного или иного генезиса. Строение линзы указывает о наличии здесь более крупного высоко динамичного ледника во время Малого ледникового периода МЛП, деградация которого привела к формированию каменного глетчера Городецкого.

5. Изотопный состав линзы метаморфического льда оказался близким к составу современных ледников региона, а соотношения dD/d18O свидетельствует об отсутствии его эпигенетической перекристаллизации и изотопного фракционирования в теле глетчера (таблица).

6. Изотопный состав стока каменного глетчера идентичен стоку ледников в области питания, что указывает на отсутствие в его теле существенных объемов конжеляционных или других типов льда, кроме ископаемых метаморфических (фирновых) льдов.

7. Длительность периода стока и его стабильный температурный режим при температуре июля-августа выше 2º С подтверждают установленное на основе геофизического зондирования талое состояние и отсутствие ММП в краевых генерациях каменного глетчера.

8. В теле каменного глетчера происходит дренаж всего водосборного бассейна расположенной выше системы ледников. При этом каменный глетчер играет роль естественного фильтра

Изотопный состав стока и ископаемых льдов каменного глетчера Городецкого, Заилийский Алатау

Тип образцов	N	d18O	d2H	dexc	d2H/d18O	t j	t a1	t a2
т.н. 33; 34. Сток из-под каменного глетчера	2	–12,54±0,01	–85,78±1,86	14,51	6,84	–23,90	1,53	2,54
т.н. 71. Линза метаморфического льда МЛП	2	–13,75±0,01	–93,10±0,05	16,91	6,77	–19,62	–0,22	1,23
т.н. 83. Лед из края ледника	1	–12,99	–87,45	16,47	6,73	–20,72	0,88	2,24
т.н. 85. Лед с поверхности ледника	1	–13,14	–95,19	9,93	7,24	–19,49	0,66	0,86
Среднее		–13±1	–90±4	15±3	6,9±0,2	–21±4	0,7±0,8	1,8±0,8

тонкодисперсного высокогигроскопичного и тиксотропного механического суглинка – «ледниковой муки», которая в ходе инфильтрации накапливается в теле каменного глетчера, заполняя пустоты между обломками, глубокие трещины и внутренние полости. Последние формируются в результате постепенной термоэрозии ископаемых линз метаморфических льдов.

9. Весь спектр указанных процессов реализуются в ходе деградации оледенения, что отражается в крупных осцилляциях каменного глетчера, возраст которых хорошо коррелирует с известными эпизодами отступания ледников в позднем голоцене.

Таким образом, следует считать, что гляциально-криогенный комплекс (ГКК) Городецкого является системой, компоненты которой – ледник, приледниковые озера, пояс льдистых морен, система стока и генерации каменного глетчера – связаны генетически и динамически. Формирование катастрофических ледово-грязекаменных селей - один из возможных результатов динамики подобных систем. Основной предпосылкой формирования селеопасных ГКК является условие блокировки ледникового стока частично мерзлыми моренами и пассивными блоками льдов, что приводит к формированию подповерхностной дренажной системы. В результате фильтрации стока происходит постепенное вытаивание реликтовых блоков льда, замещение его тиксотропным суглинком («ледниковой мукой»). В период интенсивной абляции и активных летних осадков возможно интенсивное обводнение таких образований, динамические подвижки, приводящие к нарушению дренажа. Это, в свою очередь, может привести к быстрому пересыщению водой и гидравлическому разрыву, инициирующему формирование катастрофического ледово-грязекаменного селя.

Очевидно, не все морены и ГКК обладают способностью к такому критическому насыщению. Именно сама возможность процесса насыщения является совокупностью локальных геоморфологических условий, индивидуальными особенностями ледника и характером его деградации.

Полученные в ходе работ данные невозможно уместить в рамках настоящей публикации, они требуют дальнейшего анализа и осмысления. Вместе с тем, уже сейчас требуется кардинальный пересмотр общих теоретических представлений о строении, генезисе и реологии крупных активных каменных глетчеров региона, необходимо системное их изучение в составе ГКК высокогорий. С учетом полученных данных целесообразно внесение корректировки в само определение каменных глетчеров, как генетического типа гляциально-криогенных образований.

Исследования выполнялись при частичной поддержке грантов РФФИ-РС(Я)
№№ 12-05-98507, 14-05-00435-а.

Список литературы

1. Котляков, В. М. Пульсирующие ледники и ледниковая катастрофа на Северном Кавказе / В. М. Котляков, О. В. Рототаева, Н. И. Осокин // Вестник Владикавказского научного центра, 2004. – Т. 4, № 3. – С. 65–71.
2. Gorbunov, A. Dynamics of rock glaciers of the Northern Tien-Shan and the Djungar Alatau / A. Gorbunov, S. Titkov, V. Polyakov // Permafrost and Periglacial Processes, 1992. – Vol. 3. – P. 29–39.
3. Марченко, С. С. Криолитозона Северного Тянь-Шаня: прошлое, настоящее, будущее / С. С. Марченко. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО РАН, 2003. – 106 с.
4. Горбунов, А. П., Титков С. Н. Каменные глетчеры гор Средней Азии / А. П. Горбунов, С. Н. Титков. – Якутск : Ин-т мерзлотоведения СО АН СССР, 1989. – 164 с.
5. Barsch, D. Rockglaciers / D. Barsch. – Berlin, Springer-Verlag, 1996. – 331 p.

СТРУКТУРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ ЗОНЫ

Диденков Ю. Н., Проскурякова З. В.
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, Иркутск, e-mail: Sphira@rambler.ru

Аннотация. В работе представлены результаты исследований, отражающие ведущее влияние процессов рифтогенеза как на формирование структурно-гидрогеологических условий Байкальского региона, так и на уникальную пресноводность его гидросферы в целом.
Ключевые слова: *рифтогенез, структурно-гидрогеологический анализ.*

Abstract. The paper presents the results of research that reflect the leading influence of the rifting processes to the formation structural hydrogeology conditions of the Baikal region. And also on its unique freshwater hydrosphere as a whole.
Key words: *rifting, structural hydrogeology analysis.*

Выполняемые исследования продолжают развитие принципов структурно-гидрогеологического анализа условий формирования ресурсов и состава подземных вод, основы которых разрабатывал профессор Вадим Михайлович Степанов применительно к природным условиям Забайкалья [1], а затем и в общепланетарных масштабах [2].

Основной задачей исследований является обоснование ведущей роли рифтогенеза в формировании структурно-гидрогеологических условий Байкальского региона и его гидросферы в целом. Результаты исследований приведены на разработанной схеме (рисунок). Рифтогенез – это сложный эндогенный процесс, заключающийся в растяжении, утонении и дроблении земной коры в условиях высоко поднятого мантийного диапира. Процесс сопровождается флюидной геодинамикой и тектоническими движениями.

В процессе рифтогенеза образуются листрические разломы сбросового типа, по которым происходит опускание одних блоков земной коры относительно других. Формирование современных морфоструктур Байкальского региона продолжается и в настоящее время [3]. В результате формируются три типа геологических структур: опущенные блоки – впадины, поднятые блоки – («плечи» рифта) горноскладчатое обрамление и межблоковые тела – тектонические разломы.

Современная дегазация мантии и флюидная геодинамика являются основными факторами формирования восходящего высокотемпературного эндогенного флюида. Согласно термодинамическим моделям, температура на границе мантийного диапира достигает 800 – 1000º С, что обусловливает и значительные температуры флюида. Перехватываясь флюидоканалами (разломами с достаточной глубиной заложения и раскрытостью), продукты преобразования водного флюида при подъеме к поверхности и смешении с атмосферными водами

выводятся на поверхность или вскрываются на доступной глубине скважинами. При этом в качестве основного продукта выступают пресные и ультрапресные воды, в газовом составе которых содержатся CH_4, CO_2, N_2 или H_2.

В результате проведенного структурно-гидрогеологического районирования в пределах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) применительно к основным геоструктурным элементам выделено три типа гидрогеологических структур: впадины – гидрогеологические бассейны, «плечи» рифта (горное обрамление) – гидрогеологические массивы и разрывные тектонические нарушения – обводненные разломы. Результаты структурно-гидрогеологического анализа и физико-химического моделирования позволили объединить более двадцати гидрогеологических бассейнов региона в пять характерных типов: Байкальский, Тункинский, Баргузинский, Усть-Селенгинский, Чарский (см. рисунок).

При систематизации рассматривались следующие характеристики бассейнов: перекрытость отложений толщей поверхностных вод; наличие в геологическом разрезе вулканических образований неоген-четвертичного возраста; присутствие в разрезе молассовых толщ; открытость бассейнов к акватории Байкала; распространение таликовых зон и крупноглыбовых образований.

Бассейны Байкальского типа выделены в пределах Байкальской и Хубсугульской впадин. Их отличительной чертой является перекрытость водоносных неоген-четвертичных озерно-аллювиальных отложений толщей озерных вод.

Бассейны этого типа изучены слабо. Однако солевой дисбаланс озера Байкал, наличие гидрохимических инверсий, а также результаты изотопных исследований и физико-химического моделирования процессов формирования состава воды свидетельствуют о возможности существования глубинного опресняющего источника под самим Байкалом [4, 5].

Бассейны Тункинского типа отличаются активным проявлением неоген-четвертичного вулканизма, наличием в разрезе кайнозойских орогенных отложений субпластовых тел, а также штоков базальтов и андезито-базальтов. Трещинно-пластовые воды в базальтовых прослоях вскрываются на глубинах до 203 м и часто обладают напором, величина которого изменяется от 6 до 170 м. Напоры подземных вод, вскрытых в песчаных прослоях, достигают 855 и более метров.

Бассейны Усть-Селенгинского типа – это дельтовые бассейны, ограниченные с одной стороны береговой линией Байкала, водоносные комплексы которых открыты в озерную котловину. Высокими коллекторскими свойствами в бассейнах этого типа характеризуются крупно-галечниковые аллювиальные и озерно-аллювиальные отложения современного возраста. Их водообильность весьма непостоянна. Максимальная обводненность отложений отмечается в непосредственной близости от русел крупных рек и уреза озера Байкал.

Бассейны Баргузинского типа выделены из-за широкого распространения в их пределах тонкодисперсных молассовых отложений с большим содержанием глинистых частиц, которые резко преобладают над крупнообломочными осадками, а подземные воды вскрыты преимущественно в маломощных песчаных пластах и прослоях. Максимальной водообильностью и водопроницаемостью в этих бассейнах обладают аллювиальные отложения в долинах крупных рек, а также аллювиально-пролювиальные и делювиально-пролювиальные образования верхнечетвертичного и современного возрастов.

Бассейны Чарского типа распространены на северо-восточном фланге БРЗ. Их отличительной особенностью является преимущественное распространение в верхней части разреза крупнообломочных фаций различного происхождения, а также наличие мощных подрусловых таликовых зон, аккумулирующих огромные запасы подземных вод. Наибольшей водообильностью характеризуются аллювиально-пролювиально-флювиогляциальные отложения верхнечетвертичного и современного возрастов, представленные в основном хорошо промытыми галечниками и валунами с гравийно-песчаным заполнением в пределах подрусловых таликовых зон. Значения фильтрационных параметров и водообильности здесь исключительно высокие.

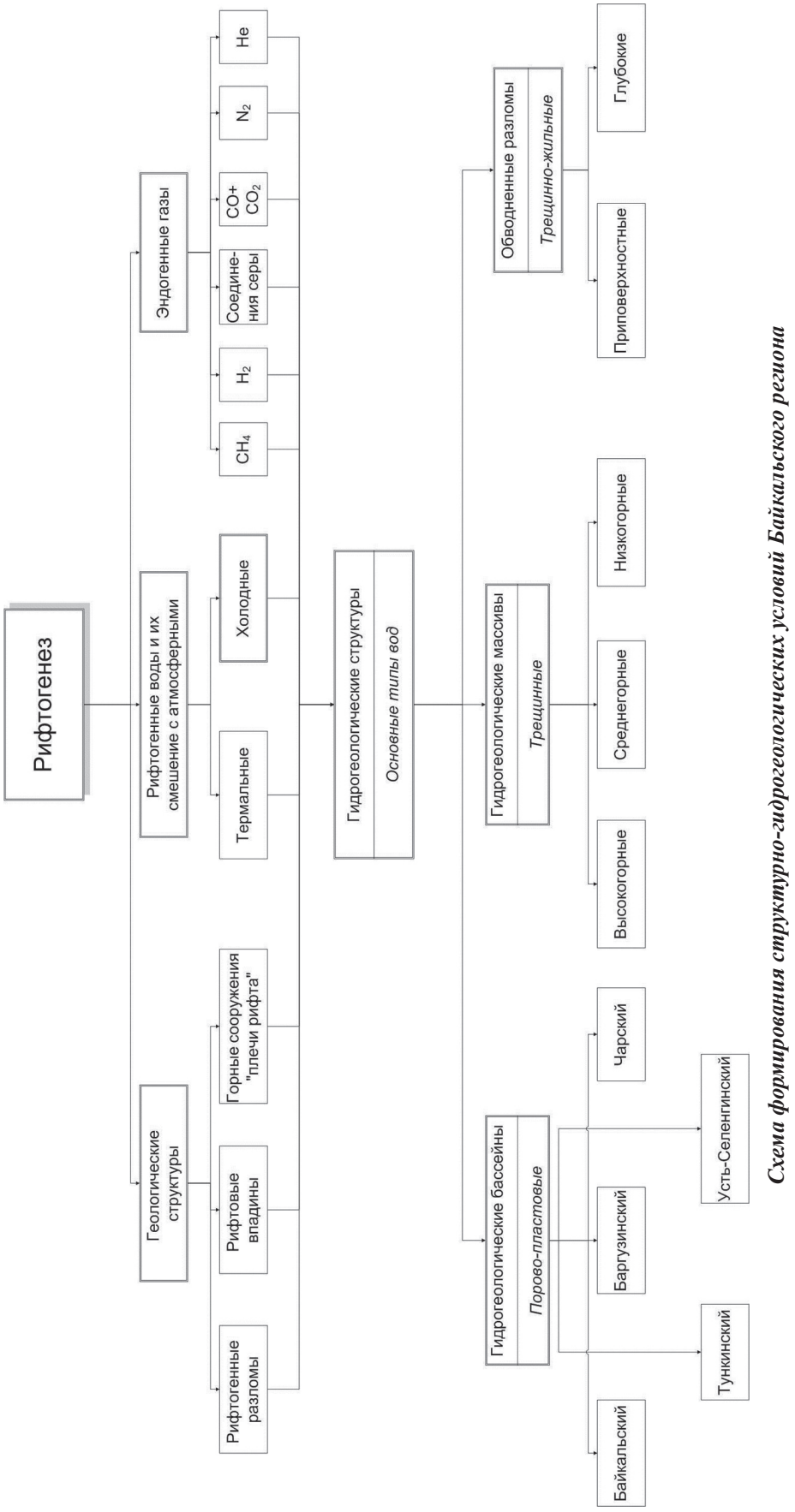


Схема формирования структурно-гидрогеологических условий Байкальского региона

Важным фактором формирования коллекторских свойств водовмещающих пород является степень зрелости бассейна. Молодые бассейны северо-восточного фланга Байкальской рифтовой зоны сложены гравийно-галечниковыми и валунно-глыбовыми образованиями, которые еще не прошли стадию уплотнения и характеризуются высокими коллекторскими свойствами, в отличие от бассейнов центральной и юго-западной частей рифтовой системы. Это позволяет рассматривать бассейны северо-восточного фланга как перспективные объекты для поисков крупных скоплений подземных вод.

Данная систематизация проведена на макроуровне и отражает, в первую очередь, геолого-структурные условия бассейнов, определяющие особенности формирования подземных вод. Последующее районирование внутри каждого типа бассейнов позволит детализировать закономерности распределения подземных вод, что повысит достоверность прогнозирования крупных скоплений как холодных, так и термальных подземных вод, а также результативность поисково-разведочных работ.

Разделение гидрогеологических массивов на высокогорные, среднегорные и низкогорные, впервые выполненное по высотной зональности В. М. Степановым для забайкальских структур [1], осуществлено нами применительно к горным сооружениям БРЗ. При этом оказываются учтенными ведущие ландшафтные факторы формирования подземных вод, а также преобладающие вид и степень выветривания горных пород.

Высокогорные структуры выделены по высотному поясу выше 1800 м над уровнем моря. Горные породы здесь претерпевают первую стадию выветривания (механическое разрушение), почвы практически отсутствуют.

Распространение многолетнемерзлых пород ограничивает возможности для накопления значительных ресурсов подземных вод в трещинах выветривания. Крупными коллекторами для накопления влаги в высокогорных структурах являются крупнообломочные каменные россыпи.

Небольшое количество рыхлого мелкообломочного материала в коре выветривания, отсутствие хемогенных образований и низкая температура пород ограничивают формирование химического состава подземных вод в высокогорных структурах процессами выщелачивания, вследствие чего эти воды отличаются крайне невысокой минерализацией.

Среднегорные структуры приурочены к горным сооружениям, высота которых находится в пределах 800 – 1800 м над уровнем моря. Лишь сравнительно небольшие участки на водоразделах и в верхних частях склонов этих структур покрыты крупнообломочной корой выветривания. Чаще всего горные породы и крупноглыбовые продукты их разрушения погребены под покровом рыхлых образований, по которому развиваются почвы и разнообразная растительность.

Здесь преобладают физико-химические и химические процессы. Замедленная инфильтрация и движение подземных вод вследствие развития мелкообломочной коры выветривания приводит к увеличению минерализации подземных вод до 0,2 г/дм^3 и усложнению их химического состава. Здесь создаются более благоприятные условия для формирования ресурсов подземных вод, чему в немалой степени способствует островной характер распространения многолетнемерзлых пород.

Низкогорные массивы (до 800 м) выделяются по зонам мелкосопочника, покрытого степной растительностью с редкой перемежаемостью лесов. Они приурочены к районам развития степных ландшафтов, в которых кора выветривания, представленная тонкодисперсным и рыхлообломочным материалом, покрывает горные породы чехлом нередко значительной мощности, что не дает накапливаться значительным запасам подземных вод. Формирование химического состава происходит при энергично протекающих процессах окисления в условиях, благоприятных для испарительной концентрации элементов.

По химическому составу воды гидрогеологических массивов меняются от ультрапресных гидрокарбонатных в высокогорных структурах до пресных гидрокарбонатных кальциевых и смешанного катионного состава – в низкогорных.

Многократно возобновляемая тектоническая активность региона привела к образованию крупных региональных и локальных тектонических нарушений. Разломы имеют различные

направления, глубину заложения, степень дезинтеграции пород в зонах дробления. Большинство из них образуют системы северо-восточного и северо-западного простирания.

С обводненными разломами связаны трещинно-жильные воды. По глубине заложения обводненные разломы классифицируются как глубокие и приповерхностные. Анализ распределения подземных вод в обводненных разломах свидетельствует о том, что в зонах дробления приповерхностных разломов локализуются, как правило, холодные пресные подземные воды, а трещинно-жильные воды глубоких разломов обладают повышенной температурой, специфическим микрокомпонентным и газовым составом, но также низкой величиной минерализации. Разгрузка термальных вод главным образом происходит во впадинах, где наблюдается повышенный конвективный вынос тепловой энергии по флюидоканалам фундамента. В целом высокая обводненность зон разломов, при прочих равных условиях, дифференцирована в соответствии с состоянием пород и заполнителем в пределах зон дробления тектонических нарушений.

Для приповерхностных обводненных разломов характерны гидрокарбонатные кальциево-магниевые, кальциево-натриевые воды с минерализацией от 0,02 до 0,3 г/дм^3. Термальные трещинно-жильные воды зон глубоких разломов характеризуются преобладанием в составе анионов гидрокарбонатов и сульфатов, преимущественно натриевым катионным составом, низкой минерализацией и газонасыщенностью. Нередко в зонах разломов вскрываются напорные воды.

Наряду с вышеизложенными, результатом исследований стало создание структурно-гидрогеологической карты Байкальской рифтовой системы масштаба 1:1 500 000. Реализуя основной принцип познания природных закономерностей «от общего к частному», на полученной методологической базе нами составлены карты отдельных частей БРЗ с более детальным районированием и выделением структур, перспективных для формирования крупных скоплений (месторождений) питьевых и лечебных подземных вод. Эти структурно-гидрогеологические карты становятся надежной основой проведения поисково-разведочных работ на подземные воды различного целевого использования.

Выполняемые исследования продолжают развитие представлений о главной роли рифтогенеза и сопровождающих его процессов в формировании структурно-гидрогеологических условий и, в целом, природных вод Байкальского региона. Это ярко выражено, прежде всего, в специфике геологических структур (разломы, впадины, горное обрамление), в которых происходит подъем эндогенных флюидов, генерация рифтогенных вод и их смешение с атмосферными, насыщение микрокомпонентами и газами различного генезиса и, как следствие, формирование природных вод с широким спектром химического состава и температурного режима, но низкой величиной минерализации.

Гидросфера Байкальского региона уникально пресноводна; это подчеркивается жемчужиной нашей планеты – озером Байкал.

Список литературы

1. Степанов, В. М. Гидрогеологические структуры Забайкалья / В. М. Степанов. – М. : Недра, 1980. – 177 с.

2. Степанов, В. М. Введение в структурную гидрогеологию / В. М. Степанов. – М. : Недра, 1989.– 229 с.

3. Кайнозой Байкальской рифтовой впадины / В. Д. Мац [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001. – 249 с.

4. Диденков, Ю. Н. О возможности существования эндогенного источника пресных вод в рифтовых геодинамических условиях / Ю. Н. Диденков, В. А. Бычинский, И. С. Бычинский // Геология и геофизика. – Новосибирск : Гео. – 2006. – Т. 47, № 10. – С. 1114–1118.

5. Диденков, Ю. Н. Анализ микрокомпонентного состава природных вод Байкальской рифтовой зоны / Ю. Н. Диденков [и др.] // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических исследований : материалы Всерос. науч.-техн. конф. «ГЕОНАУКИ». – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2010. – Вып. 10. – С. 167–172.

ТИПЫ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД И ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕРУССКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА

Касырева Е. С.
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
г. Санкт-Петербург, kasyreva.elena@yandex.ru

Аннотация. В работе рассмотрены основные типы минеральных вод Ленинградского, Московского и Северодвинского артезианских бассейнов, входящих в состав Среднерусского артезианского бассейна, их происхождение и распространение. Дана характеристика химического состава каждого типа минеральных вод, описаны основные закономерности его формирования.
Ключевые слова: *минеральные воды, химический состав, артезианский бассейн, минерализация.*

Abstract. In this paper the main types of mineral water, their origin and spreading on the territory of Leningradsky, Moskovsky and Severodvinsky artesian basin, included in Srednerussky artesian basin, are examined. There is also given characteristics of elemental composition, described main laws of its formation.
Key words: *mineral water, chemical composition, artesian basin, salinity.*

Среднерусский артезианский бассейн является одним из наиболее крупных на Восточно-Европейской платформе и объединяет Ленинградский, Московский и Северодвинский артезианские бассейны. К ним приурочены значительные ресурсы подземных вод в архейско-нижнепротерозойских, рифейских, вендских, кембрийских, ордовикских, девонских, каменноугольных, пермских, триасовых, юрских и четвертичных отложениях. Закономерности распространения минеральных вод подчиняются формировавшейся одновременно с осадочным чехлом гидрогеохимической зональности артезианского бассейна, но при этом каждое месторождение минеральных вод является результатом сложного сочетания гидрогеологических, геоморфологических, физико-химических условий, и по-своему, уникально [1].

В пределах Ленинградского и Московского артезианских бассейнов наиболее распространенными являются хлоридные натриевые воды, приуроченные в основном к отложениям вендского водоносного комплекса (граница между пресными и солоноватыми водами проходит по линии Сестрорецк – Песочная – Вартемяки – Пери, причем к юго-востоку минерализация увеличивается до крепких рассолов). Стоит отметить, что в хлоридных водах здесь присутствует недиссоциированная метаборная кислота, содержание которой возрастает с увеличением общей минерализации подземных вод, не превышая при этом 0,4 – 6,0 мг/дм^3 на Карельском перешейке и 104,0 мг/дм^3 – в рассолах вблизи Старой Руссы и Валдая. Растворенные газы в водах данного типа, как правило, азотные, но иногда в них отмечается повышенное содержание редких компонентов, что объясняется локальной повышенной радиоактивностью подстилающих отложения вендского водоносного комплекса кристаллических пород фундамента [2]. К месторождениям данного типа относится, например, Петербургское месторождение минеральных вод, где минерализация изменяется от 1 до 5 – 6 г/дм^3. Здесь восходящие воды базального водоносного горизонта венда засолоняют вышележащий нижний межморенный горизонт. Состав этих вод формируется за счет смешения с пресными инфильтрогенными водами, в результате чего уменьшается величина хлор-бромного коэффициента. Воды данного месторождения, по А. И. Короткову, относятся к «редкому» генетическому типу [1].

На территории Псковской и Новгородской областей хлоридные воды распространены также в кембрийских, ордовикских и девонских отложениях. Четвертичные отложения содержат хлоридные натриевые воды на отдельных участках Карельского перешейка, где они приурочены к межморенным водоносным горизонтам.

В пределах Северодвинского артезианского бассейна хлоридные натриевые воды содержатся практически во всех гидрогеологических подразделениях, минерализация при этом

изменяется от 30,8 г/дм^3 (г. Великий Устюг, отложения нижней перми) до 261 г/дм^3 (г. Кадников, средне-верхнедевонские отложения).

Широко распространены в пределах рассматриваемой гидрогеологической структуры сульфатные воды, которые по катионному составу могут быть кальциевыми (приурочены к гипсоносным или частично огипсованным отложениям) и натриевыми (локально распространены в верхнедевонских горизонтах).

Так, например, сульфатные минеральные воды бассейна нижнего течения р. Волхов (между р. Свирь и истоком р. Невы) приурочены к ордовикскому водоносному горизонту и по своему генезису соответствуют сульфатно-натриевому типу минеральных вод по В. А. Сулину. Из ордовикского горизонта на отдельных участках напорные воды могут проникать в вышележащие девонские горизонты, что подтверждается сходным химическим составом воды. Наибольшее содержание сульфат-ионов и натрия зафиксировано в верхнедевонских пестроцветных отложениях на территории Боровичского района Новгородской области. Сульфатные кальциевые воды распространены в местах скопления пластов гипса и относятся к водам с небольшой минерализацией. В случаях, когда в водоносный горизонт, содержащий сульфатные кальциевые воды, проникают болотные воды, богатые органическим веществом, сульфат-ион восстанавливается с образованием биохимического сероводорода. Примером служит месторождение курорта Хилово Псковской области.

В пределах Северодвинского артезианского бассейна эксплуатируются в основном сульфатные натриевые (хлоридно-сульфатные натриевые) минеральные воды на крупных бальнеологических курортах – Сольвычегодский, «Солониха».

Таким образом, на территории Среднерусского артезианского бассейна можно выделить несколько генетических разновидностей минеральных сульфатно-натриевых вод, а именно, солоноватые воды бассейна р. Волхов, химический состав которых формируется за счет растворения гипса, а также катионного обмена кальция на натрий ордовикских и девонских карбонатно-глинистых пород; седиментогенные соленые воды Сольвычегодского месторождения с минерализацией до 25 г/дм^3; сульфатно-натриевые рассолы верхнего течения р. Сухоны, происхождение которых связано с залежами мирабилита в породах казанского и уфимского ярусов верхней перми; минеральные соленые воды смешанного типа р. Сосновки.

Железистые минеральные воды распространены в основном на территории Ленинградского и Московского артезианских бассейнов. Содержание закисного железа более 10 мг/дм^3 встречается достаточно редко, но иногда отмечаются высокие концентрации окисного железа (10 –13 мг/дм^3). Повышенное содержание окисного железа при незначительном количестве закисного наблюдается в пресных водах ордовикского водоносного горизонта (например, п. Выра). Также железистые воды распространены в межморенных горизонтах четвертичных отложений Ленинградской области, в том числе и в районе Полюстрово. Месторождение полюстровских минеральных вод является одним из наиболее известных. Химический состав воды формируется за счет взаимодействия инфильтрационных вод с водовмещающими породами. На большей части территории распространены пресные гидрокарбонатные кальциевые воды с минерализацией 0,1 – 0,4 мг/дм^3. Концентрация железа на отдельных участках составляет 10 – 25, а в Полюстрово достигает 50 – 65 мг/дм^3. На территории Северодвинского артезианского бассейна встречаются железистые воды с содержанием двухвалентного железа до 165 мг/дм^3. Они приурочены к морским отложениям микулинского межледниковья. По химическому составу подземные воды характеризуются как пресные и солоноватые гидрокарбонатного хлоридно-магниево-кальциевого и натриевого состава с резко пониженным содержанием сульфатов. Происхождение таких вод может быть объяснено окислением водных сульфидов железа, широко присутствующих в дельтовых осадках и морских глинах микулинского межледниковья [1].

Широким распространением пользуются также хлоридные йодистые и йодные воды, которые содержатся как в водах четвертичных отложений, так и дочетвертичных отложений.

В водах четвертичных отложений микулинского межледниковья концентрация йода достигает 40 мг/дм^3. В подземных водах дочетвертичных отложений Усть-Двинской впадины содержания йода не превышают 16 в отложениях венда и 20 мг/дм^3 – в отложениях нижнего карбона [2].

На территории Среднерусского артезианского бассейна расположено месторождение низкотемпературных йодных вод, находящееся в Северодвинской впадине и приуроченное к эрозионному врезу в терригенных отложениях венда, заполненному четвертичными отложениями [1]. Появление высоких концентраций йода (до 38 мг/дм^3) в данном случае связано с выходом его из залегающей выше толщи микулинских межледниковых отложений, что подтверждается уменьшением концентрации йода с глубиной и его исчезновением в подземных водах за пределами распространения микулинских отложений. Отметим, что для данного месторождения характерна инверсионная гидрогеохимическая зональность, обусловленная отжатием подземных вод из микулинских отложений и диффузионным поступлением ионов, в том числе и йода. В пределах Ленинградского и Московского артезианских бассейнов йодные воды не имеют широкого распространения.

На изученной территории присутствуют также радоновые воды. В пределах Ленинградского и Московского артезианских бассейнов они приурочены к вендскому водоносному комплексу в местах контакта с породами кристаллического фундамента, а также к источникам, выходящим из кембрий-ордовикского водоносного горизонта на Ордовикском плато. Концентрация радона в первом случае изменяется от 13,7 Бк/л до 296 Бк/л, а во втором – от 422 Бк/л до 1265 Бк/л. Источником радона на Ордовикском плато могут служить, во-первых, оболовые песчаники, содержащие обогащенные фосфатами раковины, которые сорбируют урановые соединения, а во-вторых, радиоактивные диктионемовые сланцы, залегающие выше по разрезу на оболовых песчаниках.

Таким образом, можно сделать вывод, что минеральные воды различных генетических типов имеют достаточно широкое распространение в пределах водоносных горизонтов и комплексов Среднерусского артезианского бассейна, а их химический состав позволяет эксплуатировать их как в лечебных, так и в промышленных целях.

Список литературы

1. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна / Под ред. А. И. Короткова, А. А. Потапова, В. Г. Румынина. – СПб. : Наука, 2013. – 303 с.

2. Гидрогеология СССР. Том III. Ленинградская, Новгородская, Псковская области. – М. : Недра, 1967. – 328 с.

ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ, РАСПРОСТРАНЕНИЕ И ФОРМИРОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИНДИИ

Колдышева Р. Я.[1], Голицын М. С.[2], Голубев С. М.[3]
[1]ВНИИ Зарубежгеология, г. Москва;
[2]ВСЕГИНГЕО, Московская область, поселок Зеленый, vsegingeo@vsegingeo.ru;
[3]Росгидрогео, г. Москва

Аннотация. Кратко рассмотрены физико-географические условия Индии, геолого-структурное районирование, особенности распространения, формирования и использования подземных вод в пределах гидрогеологических районов полуострова.

Ключевые слова: *Индия, гидрогеологическое районирование, распространение, формирование и использование подземных вод.*

Abstract. Briefly considered physical and geographical conditions of India, geological and structural zoning, especially distribution, formation and use of groundwater within the hydrogeological areas of the peninsula.

Key words: India, hydrogeological zoning, distribution, generation and use of groundwater.

В настоящее время территория Индии разделяется на три гидрогеологических региона: Гималайскую горную область, Индо-Гангскую аккумулятивную равнину и Индостанскую платформенную область. В Гималайской области трещинные и грунтовые воды питают многочисленные родники, широко используемые для питьевого водоснабжения и оросительных систем. В речных долинах основное значение имеет аллювиальный водоносный комплекс. Глубина колодцев достигает 30 метров, дебит скважин – 10 – 15 л/с. Минерализация воды 0,2 – 0,5 г/дм^3, состав ее – HCO_3 Ca.

В пределах Индо-Гангской равнины главные водоносные комплексы представлены четвертичными пролювиальными и аллювиальными отложениями. Грунтовые воды залегают на глубине 2 – 12 м. Дебиты колодцев и скважин составляют от 0,2 до 12 л/с. Напорные воды находятся в 3 – 6 горизонтах и вскрываются скважинами, наблюдается самоизлив. Дебиты скважин достигают 50 – 60 л/с. Минерализация воды – до 1 г/дм^3, состав HCO_3 Ca. На орошаемых площадях минерализация воды пестрая и достигает 3 – 4 г/дм^3.

В Индостанской платформенной области водоносные горизонты находятся в зоне экзогенной трещиноватости докембрийских пород и в верхнемеловом – палеоценовом комплексе траппов. Глубина залегания грунтовых вод в зоне экзогенной трещиноватости зависит от рельефа и достигает 15 метров, мощность обводненной зоны составляет 30 – 50 метров. Дебит скважин 0,5 – 3 л/с. Минерализация воды составляет 0,4 – 3 г/дм^3. Состав пресных вод HCO_3 Ca, солоноватых – Cl-HCO_3 Na-Ca. Траппы содержат горизонты трещинных вод. Коэффициент водопроводимости – 20 – 200 м^2/сут. Дебиты скважин – 0,7 – 0,8 л/с. Минерализация воды – 0,3 – 0,6 г/дм^3.

Схема гидрогеологического районирования Индии была представлена в книге «Гидрогеология Азии» [1]. В ней выделено 6 гидрогеологических районов (Индский, Гангский, Нарбатский, Индостанский, Западно-Гатский, Иравадийско-Салуинский) и 5 артезианских бассейнов внутри Индостанского района, показана граница Предгималайского краевого прогиба, выделены основные площади накопления подземных вод артезианских бассейнов.

Индский артезианский бассейн расположен в северо-западной части страны, занимая 15% ее площади. Включает в себя горные сооружения Каракорума, краевой прогиб и Индскую низменность. Горные сооружения являются внешней областью питания подземных вод. В северной части бассейна в речных долинах известны несколько водоносных горизонтов с дебитами скважин до 10 л/с. Воды пресные, гидрокарбонатные с минерализацией 0,2 – 0,5 г/дм^3. Во внутренней области питания в коре выветривания изверженных пород архея и протерозоя и в зонах тектонических разломов до глубины 30 – 50 метров вскрыты подземные воды с дебитом 1,5 л/с.

Поземные воды мезозойских пород используются в Пенджабе и Раджастане. Дебиты родников достигают 20 л/с, скважин 10 – 50 л/с. Наиболее обводнены нижнемеловые песчаники. В юрских гипсах встречены рассолы. В третичных породах на глубине 1800 – 2200 м залегают воды с минерализацией до 0,8 г/дм^3, но дебиты нефтегазовых скважин низкие. Четвертичные аллювиальные отложения слагают обширные предгорные равнины. Вскрыты несколько водоносных горизонтов с питьевой водой хорошего качества. Режим подземных вод тесно связан с атмосферными осадками. Вблизи побережья Аравийского моря воды солоноватые и соленые. Известны термальные источники с температурой 20 – 90º, связанные с зонами тектонических разломов. Наиболее богата пресными водами северная часть бассейна, центральная и южная бедны ими.

Гангский сложный артезианский бассейн. Расположен в северной части Индии и занимает около 35% территории страны. Северная часть бассейна занята Гималайскими горами,

южнее расположены краевой прогиб и Индостанский щит. Гидрогеологические условия бассейна разнообразны. Наиболее водообильны аллювиально-песчано-гравийные отложения. Как правило, это 2 – 3 водоносных горизонта на глубине до 100 – 120 м. Дебиты скважин достигают 40 л/с и более, в среднем 10 – 20 л/с. Преобладают пресные гидрокарбонатные подземные воды. Режим уровня и общей минерализации подземных вод тесно связан с режимом атмосферных осадков. Аллювиально-пролювиальные отложения конусов выноса широко представлены в предгималайских породах. Мощность водоносных горизонтов до 30 м, дебиты скважин достигают 60 л/с. Общая минерализация вод не превышает 0,5 г/дм^3. Известны термальные источники (20 – 70º С), связанные с зонами тектонических разломов.

Нарбатский гидрогеологический район занимает 10% площади в центральной части Индии и ограничен средневысотными горами. Аллювиальная равнина имеет ширину 50 – 300 км. Основные ресурсы подземных вод связаны с четвертичными и межтрапповыми горизонтами осадочных пород и зонах экзогенной трещиноватости базальтов. Подземные воды залегают на небольшой глубине. Четвертичные аллювиальные отложения мощностью до 100 метров содержат пресные подземные воды, дебиты скважин достигают 45 л/с. Палеоген-неогеновые терригенные породы, изученные в связи с поисками нефти, на глубине 1000 – 1400 м содержат соленые воды и рассолы хлоридного натриевого состава. Известны термальные источники с температурой до 50º С. Район обеспечен ресурсами питьевых подземных вод.

Индостанский гидрогеологический район занимает южную часть страны. Здесь условно выделяются 5 небольших артезианских бассейнов. Подземные воды находятся в зоне экзогенной трещиноватости гранито-гнейсов, метаморфических и осадочных породах рифея, в гондванской формации, палеоген-неогеновых песчаников и аллювиальных отложений речных долин. Пресные воды вскрываются до глубины 250 м. Дебиты скважин достигают 50 л/с. Известны многочисленные термальные источники.

Западно-Гатский гидрогеологический район протягивается узкой полосой вдоль западного побережья полуострова. Внешняя область питания сложена докембрийскими, гондванскими и трапповыми породами. Внутренняя – осадочными породами палеоген-четвертичного возраста. Здесь выделяется несколько водоносных горизонтов до глубины 150 м. Дебиты скважин колеблются от 1 до 30 л/с. Наиболее водообильны аллювиальные песчано-гравийные горизонты. На севере района известны термальные источники.

Общее количество подземных питьевых вод Индии не может удовлетворить потребности крупных городов страны. Около 70% рек содержат загрязненную хозяйственно-бытовыми и промышленными отходами воду. Среди природных загрязнений питьевых подземных вод следует назвать их повышенную соленость, содержание железа, мышьяка и др.

Минеральные подземные воды известны по всей Индии. Основные районы их распространения и использования – это запад (район города Бомбей), север (город Амритсар) и восток страны. Азотные термы относятся к хлоридно-гидрокарбонатному натриевому типу. Для них характерны высокое содержание фтора, кремния и радиоактивность. Азотно-метановые и метановые хлоридные натриевые воды распространены на севере страны. Их минерализация достигает 10 г/дм^3, температура 40º С, характерно повышенное содержание бора. Известны углекислые и сероводородные минеральные воды.

Подземные воды зон активного и замедленного водообмена имеют в основном современное и древнеинфильтрационное происхождение. Глубокие минеральные воды подверглись влиянию термометаморфических, микробиологических процессов и взаимодействию с горными породами [2].

В настоящее время хозяйственное потребление подземных вод, особенно в засушливые годы, достигло огромных размеров в связи с их использованием для питьевого и технического водоснабжения, орошения сельскохозяйственных земель. Проблемы современного комплексного изучения ресурсов, режима и состава подземных вод имеют огромное значение для Индии. Обмен опытом наших стран может быть полезным.

Список литературы

1. Гидрогеология Азии / [под ред. Н. А. Маринова]. – М. : Недра, 1974. – 576 с.
2. Колдышева, Р. Я. Современные требования и рекомендации к оценке качества питьевых подземных вод России и зарубежных стран / Р. Я. Колдышева, М. С. Голицин // Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России». – 2011. – № 1. – С. 9–16.

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ ПОДЗЕМНЫХ ВОД СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ КОЛЫВАНЬ-ТОМСКОЙ СКЛАДЧАТОЙ ЗОНЫ КАК РЕЗУЛЬТАТ ЭВОЛЮЦИОННОГО РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ «ВОДА – ПОРОДА»

Колубаева Ю. В.
Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Томск, kolubaeva@inbox.ru

Аннотация. В настоящей работе дана краткая характеристика химического состава подземных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны по соотношению основных ионов, относящихся к гидрокарбонатному кальциевому химическому типу. С точки зрения эволюции системы «вода – порода» в пределах рассматриваемой территории выделены три геохимических типа вод, соответствующих типу вторичных образований. Показано, что смена одного геохимического типа вод другим происходит с увеличением времени взаимодействия в системе «вода – порода».

Ключевые слова: *подземные воды, система «вода – порода», равновесие, геохимические типы вод.*

Abstract. In this article is given the short characteristic of a chemical composition of the groundwater of northern part of the Kolyvan'-Tomsk folded zone, on a ratio of the main ions relating to hydrocarbonate calcic chemical type. From the point of view of evolution of system of water-rock within the considered territory are allocated three geochemical types of the water which corresponding to type of secondary formation. It is shown, that a change of one geochemical type of water by another happens to increase in time of interaction in system of water-rock.

Key words: *groundwater, system water -rock, equilibrium, geochemical types of water.*

Как известно, классификации, традиционно используемые при гидрогеохимических исследованиях (С. А. Щукарева, М. Г. Курлова, О. А. Алекина, Н. И. Толстихина, М. Г. Валяшко, В. А. Сулина и др.), основаны, в большинстве своем, на выделении химических типов вод по преобладающим анионам и катионам. Но при решении многих гидрогеохимических проблем такой подход не всегда уместен, и особенно в том случае, если речь идет о зоне гипергенеза, в которой, как известно, наиболее всего распространены воды гидрокарбонатного типа с преобладанием роли кальция. Дело в том, что существующие химические классификации не улавливают геохимической специфики различных ландшафтно-климатических зон, а, соответственно, и всего существующего в них разнообразия вод. Еще в начале XX в. В. И. Вернадский [1] писал, что классификация вод должна отражать геологические и физико-географические условия, то есть должны учитываться особенности формирования химического состава вод. Основываясь на его учениях, а также развивая взгляды на формирование состава вод с позиций эволюционного развития системы «вода – порода», С. Л. Шварцев (1998) предложил принципиально иной подход к так называемой генетической классификации, выделяющей геохимические типы вод [2]. В основу выделения последних была положена зависимость между составом воды и составом продуктов выветривания. Переход одного геохимического типа в другой определяется характером изменения параметров геохимической среды и состава водного раствора и контролируется законом действия масс [2, 3, 4]. Таким образом, нами именно с этих позиций был выполнен анализ значительного количества гидрогеохимических данных.

В основу работы были положены результаты анализов, полученные в ходе полевых работ 1992 – 2000 гг., 2008 и 2013 гг. на территории северной части Колывань-Томской складчатой зоны, на междуречье Томи и Яи (рис. 1). Стационарно воды исследовались в Проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории ТПУ, зарегистрированной в Системе аналитических лабораторий Госстандарта России. При интерпретации и обобщении данных использовались химические анализы 601 точки опробования подземных вод рыхлых отложений и 138 точек опробования подземных вод коренных пород.

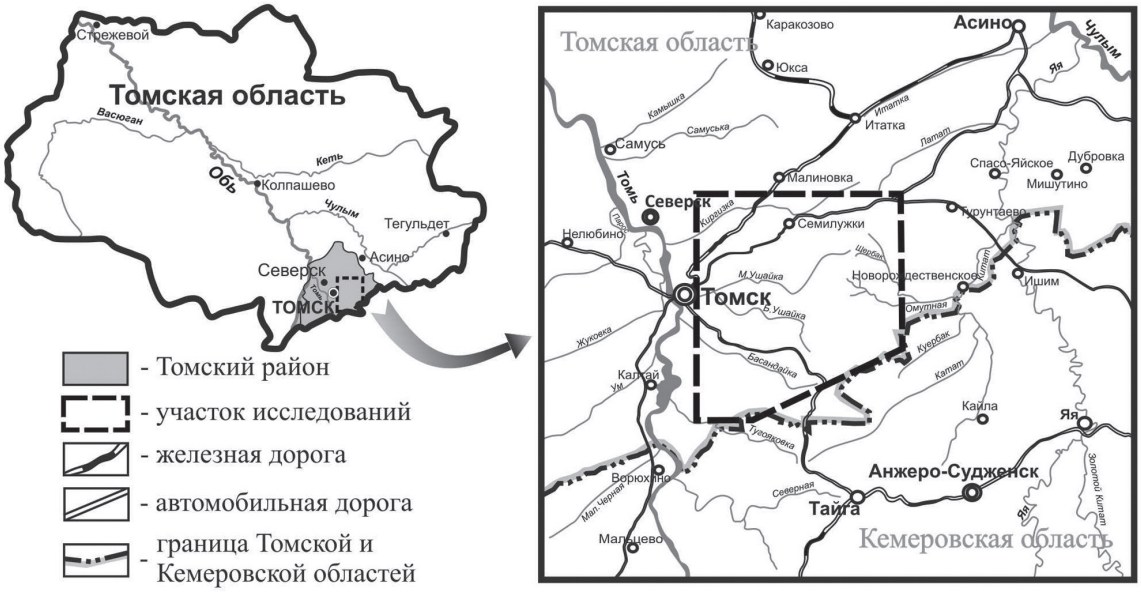


Рис. 1. Обзорная схема района исследований

В административном отношении территория исследований входит в состав Томского района Томской области. В геолого-гидрогеологическом отношении особенностью структуры Колывань-Томской складчатой зоны является ее двухъярусное строение: верхний ярус рыхлых мезозойско-кайнозойских отложений вмещает в себя пластово-поровые воды, нижний ярус древнего фундамента палеозоя – трещинные воды зоны выветривания и тектонических нарушений [5, 6]. Кроме того, спецификой наших исследований является еще и то, что мы, по существу, имеем дело с самой верхней гидродинамической зоной – зоной активного водообмена, со значительными скоростями движения подземных вод, что отражается на геохимической обстановке, а, следовательно, и на химическом составе вод.

Как показал анализ полученных данных, подземные воды рыхлых отложений по величине общей минерализации являются пресными при среднем 507 мг/л (с пределами от 104 до 1229 мг/л), нейтральными при средней величине щелочно-кислотного показателя – 7,4 (от 6,0 до 8,2), от очень мягких до очень жестких (общая жесткость изменяется от 0,9 до 14,6 мг-экв/л) [7]. Если принять во внимание химические компоненты, содержание которых превышает 25 мг-экв %, то порядка 86% вод от общего количества анализов оказываются по анионно-катионному составу гидрокарбонатными кальциевыми, около 13% приходится на гидрокарбонатные кальциево-магниевые воды. Ионы SO_4^{2-}, Cl^- и Na^+ присутствуют в водах в незначительных количествах и не являются определяющими, хотя на участках антропогенного воздействия в этих водах все же могут наблюдаться их повышенные концентрации, которые иногда вносят существенный вклад в изменение солености вод. Последняя, в данном случае, достигает 1229 мг/л.

В подземных водах коренных пород значения общей минерализации варьируют от 354 до 784 мг/л при среднем 527 мг/л. Эти воды характеризуются слабощелочной реакцией среды (среднее 7,6) с пределами от 6,9 до 8,2. Общая жесткость изменяется от 4,0 до 9,7 мг-экв/л

(от умеренно жестких до очень жестких). По соотношению основных ионов эти воды относятся также преимущественно к гидрокарбонатному кальциевому типу (79% от общего количества анализов), и около 18% составляют воды гидрокарбонатного кальциево-магниевого состава. Ионы SO_4^{2-}, Cl^- и Na^+ имеют сугубо подчиненное значение в составе солей. Таким образом, некой отличительной особенностью химического состава вод коренных пород от вод рыхлых отложений является наиболее высокое минимальное значение общей минерализации и немного повышенное по сравнению с последними среднее ее значение.

Согласно развиваемым С. Л. Шварцевым представлениям о формировании состава вод, обогащение вод химическими элементами – есть результат равновесно-неравновесного состояния системы «вода-порода». Эволюционное развитие этой системы приводит к формированию определенных гидрогенно-минеральных комплексов, представляющих собой генетически связанную ассоциацию вторичной минеральной фазы, соответствующего геохимического типа вод и характера геохимической среды [2, 3, 4]. Каждый из геохимических типов вод выделяется по состоянию равновесия с вторичными минералами. Анализ геологического строения исследуемой территории показывает, что в рассматриваемых условиях наибольшим распространением пользуются алюмосиликатные минералы, а также в подчиненном развитии карбонатные. Таким образом, обогащение вод химическими элементами происходит за счет гидролиза алюмосиликатных минералов и растворения карбонатных.

Оценка равновесности природных вод с алюмосиликатными минералами [8] производилась путем нанесения данных состава вод, контролирующих то или иное минеральное равновесие, на построенные по методике Р. М. Гаррелса и Ч. Л. Крайста диаграммы полей устойчивости конкретных минералов и показана на рис. 2. Свидетельством равновесия природных вод по отношению к тому или иному минералу является положение точки в поле этого минерала.

На диаграммах (рис. 2 а, б, в, г) видно, что все точки состава вод находятся вне полей устойчивости первичных алюмосиликатов (анортита, альбита, анальцима, мусковита, Mg-хлорита и др.). Две точки наименее минерализованных вод рыхлых отложений попали в поле гиббсита. Дело в том, что этот минерал среди аутигенных (вторичных) отсутствует, соответственно, и равновесие с гиббситом для подземных вод исследуемой территории фактически отстутствует. Скорее всего, это связано с тем, что подавляющая часть алюминия в таких водах связана с органическим веществом в растворимый комплекс, который в расчетах не учтен. О степени насыщения вод продуктами выветривания первичных пород свидетельствует кучное расположение точек на рис. 2, а и 2, б в полях каолинита и Ca-, Mg-монтмориллонита. При этом на определенной стадии взаимодействия системы $HCl\text{-}H_2O\text{-}Al_2O_3\text{-}CO_2\text{-}CaO\text{-}SiO_2$ достигается насыщенность вод по отношению к карбонату кальция при парциальных давлениях CO_2 от $10^{2,5}$ до $10^{1,5}$ Па (в тех же пределах давлений, которые характерны для реальных условий). Неравновесность вод с эндогенными кальциевыми минералами, в частности, с анортитом, равновесное поле которого располагается значительно выше, связано с карбонатным барьером [2]. По мере роста в растворе содержаний кальция и pH происходит насыщение воды карбонатами этого элемента, и из раствора начинает выпадать кальцит. Осаждение кальцита приводит к уменьшению в растворе кальция и тем самым способствует сохранению неравновесного состояния воды с анортитом. В отношении натриевых и калиевых алюмосиликатов (рис. 2 в, г) наблюдается иная картина: большая часть точек находится в полях устойчивости каолинита. Неравновесность вод исследуемой территории с Na-монтмориллонитом в целом характерна для изучаемой территории, поскольку для достижения равновесия с этим минералом необходимы более высокие значения общей минерализации и щелочности. Таким образом, подземные воды района исследований равновесны со следующими вторичными алюмосиликатными минералами: каолинитом, Ca-, Mg-монтмориллонитом, иллитом, кальцитом. При формировании химического состава вод кальциевая составляющая формируется как за счет выщелачивания распространенных на территории исследований карбонатов, так и за счет Ca-содержащих полевых шпатов (анортит).

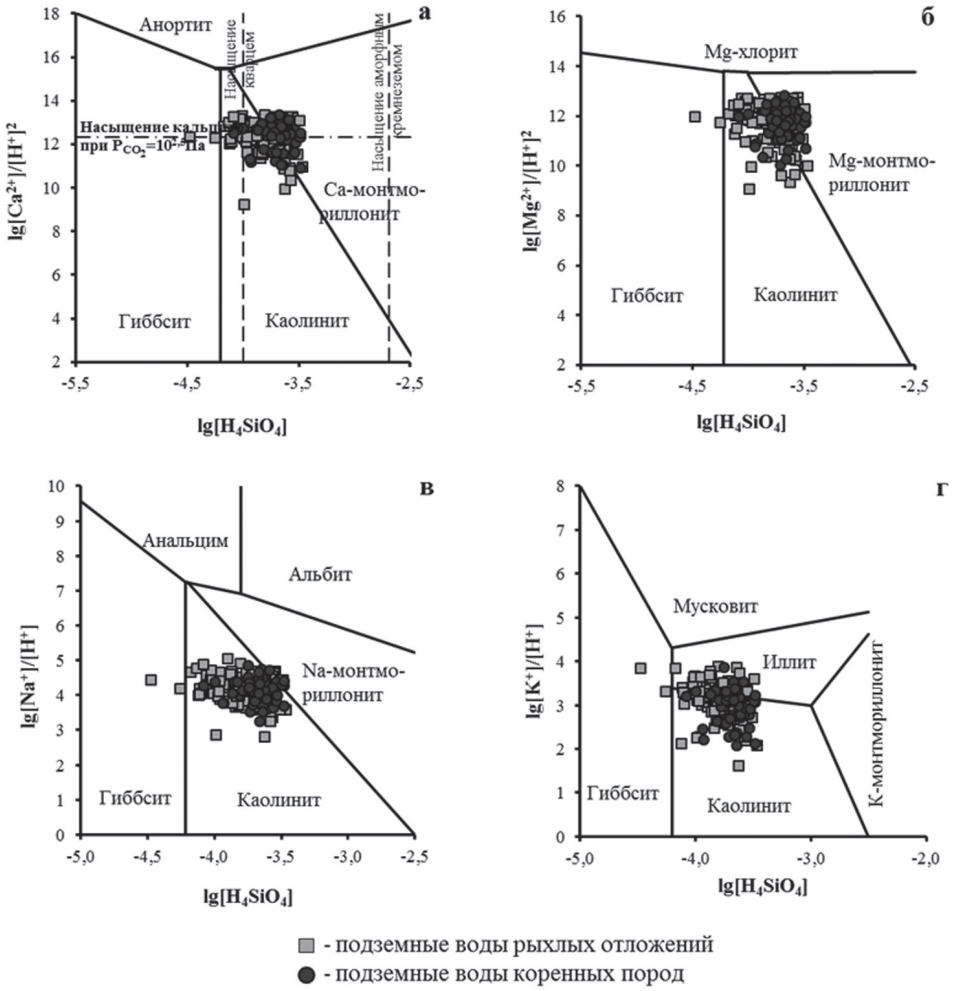


Рис. 2. Диаграммы степени насыщения вод алюмосиликатными минералами при стандартных условиях:

а – система $HCl-H_2O-Al_2O_3-CO_2-CaO-SiO_2$; б – система $HCl-H_2O-Al_2O_3-CO_2-MgO-SiO_2$; в – система $HCl-H_2O-Al_2O_3-CO_2-Na_2O-SiO_2$; г – система $HCl-H_2O-Al_2O_3-CO_2-K_2O-SiO_2$.

На основе термодинамического анализа состояния равновесия подземных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны относительно породообразующих минералов по составу формирующихся вторичных продуктов выветривания были выделены 3 геохимических типа вод: алюминиево-кремнистый, кремнисто-кальциево-магниевый и щелочной карбонатно-кальциевый (таблица) [7].

Геохимические типы подземных вод района исследований

Тип вод	Геохимический тип выветривания	Контролирующие показатели	Необходимое химическое условие
Алюминиево-кремнистый	Моносиаллитный	Al, Si, pH	Равновесие с каолинитом
Кремнисто-кальциево-магниевый	Бисиаллитный	Si, Ca, Mg, pH	Равновесие с Ca-, Mg-монтмориллонитом, гидрослюдой
Щелочной карбонатно-кальциевый	Карбонато-образующий	Ca, HCO_3^-, pH	Равновесие с кальцитом

Выделенные геохимические типы вод в той или иной степени различаются по минерализации, pH, концентрациям типоморфных элементов, прежде всего алюминия и кремния. Вместе с тем, по ионному составу подземные воды разных геохимических типов – гидрокарбонатные, преимущественно кальциевые. При этом увеличение доли кальция наблюдается в ионном составе вод при переходе от первого геохимического типа к третьему, где его доля составляет в среднем 76%-экв.

Началом формирования первого алюминиево-кремнистого геохимического типа вод служит момент насыщения подземных вод каолинитом. Алюминиево-кремнистые воды характеризуются наименьшим временем взаимодействия воды с горной породой, соответственно, и самыми низкими значениями общей минерализации (500 мг/л) и pH (7,3), а также отличаются от остальных геохимических типов наиболее низкими средними значениями SiO_2, равного 7 мг/л; среднее содержания Al составляет порядка 150 мкг/л.

При дальнейшем взаимодействии воды с горной породой в растворе продолжают концентрироваться подвижные катионы и кремнезем. Все это приводит к достижению равновесия в растворе с бисиаллитными глинистыми минералами (монтмориллонитами, гидрослюдами) и формированию кремнисто-кальциево-магниевого геохимического типа вод, в данном случае выделенного по подвижным элементам Ca и Mg, связываемым вторичной минеральной фазой (рис. 2 а, б). Среднее значение общей минерализации данного типа вод составляет 510 мг/л, pH – 7,4, Al – 245 мкг/л, а концентрация SiO_2 составляет уже в среднем 14 мг/л. Это связано с тем, что даже при достижении равновесия вод с каолинитом кремнезем продолжает концентрироваться.

Образование глинистых минералов гидрослюдистого и монтмориллонитового составов не связывает все подвижные катионы, поскольку в растворяемых породах их значительно больше, чем в формируемых глинах. Подземные воды продолжают взаимодействие с материнскими породами, поэтому концентрации катионов растут, этот процесс продолжается до достижения равновесия с кальцитом. Формирующийся при этом щелочной карбонатно-кальциевый геохимический тип вод отличается от первых двух типов более высокими средними значениями общей минерализации – 531 мг/л, HCO_3^- – 390 мг/л, Ca^{2+} – 102 мг/л, pH – 7,8. С этого момента рост кальция в растворе крайне затруднен. Если учесть, что еще не вся часть Mg и K связана образующимися в этих условиях глинистыми минералами, то можно предположить, что именно они, а не Na^+ получат предпочтение в этом случае для дальнейшего концентрирования.

Таким образом, каждому типу вторичных образований соответствует свой определенный геохимический тип вод, и один без другого существовать не может [3]. С увеличением времени взаимодействия в системе «вода-порода» происходит смена одного геохимического типа вод другим. Одним же из наиболее видимых признаков каждого геохимического типа вод является соленость, с ростом которой меняется и сам геохимический тип.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ №14-05-31095-мол_а,
№13-05-98070-р_сибирь_а и №13-05-00062_а.

Список литературы

1. Вернадский, В. И. История природных вод / В. И. Вернадский; Отв. ред. С. Л. Шварцев, Ф. Т. Яншина. – М. : Наука, 2003. – 750 с.

2. Шварцев, С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев. – 2-е изд. исправл. и доп. – М. : Недра, 1998. – 366 с.

3. Геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода – порода»: в 5 томах. Т. 1. Система «вода – порода» в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / В. А. Алексеев [и др.]; отв. редактор С. Л. Шварцев. – Изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.

4. Геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода – порода»: в 5 томах. Т. 2. Система «вода – порода» в условиях зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев [и др.]; отв. редактор Б. Н. Рыженко. – Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.

5. Гидрогеология СССР. Том XVI. Западно-Сибирская равнина (Тюменская, Омская, Новосибирская и Томская области). – М. : Недра, 1970. – 368 с.

6. Гидрогеохимические исследования Колывань-Томской складчатой зоны / П. А. Удодов [др.] – Томск : Изд-во Томского университета, 1971. – 283 с.

7. Колубаева, Ю. В. Геохимия вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны / Ю. В. Колубаева, С. Л. Шварцев, Ю. Г. Копылова // Известия ВУЗов. Геология и разведка. – 2010. – № 2. – С. 50–58.

8. Колубаева, Ю. В. Равновесно-неравновесное состояние природных вод северной части Колывань-Томской складчатой зоны с ведущими минералами вмещающих горных пород / Ю. В. Колываева // Вестник Томского государственного университета. – 2012. – № 364. – С. 167–172.

ЛОКАЛЬНЫЙ ПРОГНОЗ ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЕНИСЕЙ-ХАТАНГСКОГО БАССЕЙНА ПО ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Кох А. А.

ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, KokhAA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. По результатам регионального прогноза западной части Енисей-Хатангского бассейна установлено, что наиболее перспективной является осевая часть. На основе предложенного оптимального комплекса гидрогеохимических критериев выполнен локальный уровень прогноза с целью обнаружения пропущенных или невыявленных залежей углеводородов. По гидрогеологическим показателям из групп гидрогеохимических, водорастворенных газов и органического вещества выделено 23 высокоперспективных объекта, рекомендуемых для дальнейших нефтегазопоисковых работ.

Ключевые слова: *гидрогеохимические показатели, нефтегазоносность.*

Abstract. Based on the regional forecast results of the western Yenisei-Khatanga basin it has been identified that the most potential is the axial region. A local forecast was made based on the optimal complex of the hydrogeochemical criteria to discover missed or unrevealed hydrocarbon reservoirs. The 23 targets with high potential recommended for the further oil and gas exploration works were revealed on the basis of the hydrogeological parameters from the group of hydrogeochemical, water dissolved gases and organic matter ones.

Key words: *hydrogeochemical criteria, petroleum potential.*

Западная часть Енисей-Хатангского бассейна (ЕХБ) находится на территории Таймырского Долгано-Ненецкого муниципального района Красноярского края и ЯНАО. В тектоническом отношении она приурочена к Енисей-Хатангскому региональному прогибу (ЕХРП). Мезо-кайнозойская часть разреза в восточном направлении ограничена Малохетско-Рассохинско-Балахнинским глубинным разломом с системой одноименных мегавалов, на западе открывается и сливается со структурами Западно-Сибирского мегабассейна (ЗСМБ) [1, 2]. Изучение особенностей геологического строения и условий седиментации показало, что мезо-кайнозойская часть ЕХРП является продолжением структур ЗСМБ, которая в восточном направлении становится составной частью депрессий, обрамляющих Восточную Сибирь.

Результатами геолого-разведочных работ последних лет подтвержден высокий потенциал нефтегазоносности западной части ЕХБ открытием Ново-Соленинского, Байкаловского и Северо-Пайяхского месторождений. Вопросами прогноза и оценки перспектив нефтегазоносности по гидрогеологическим критериям в пределах Западно-Сибирской НГП занимались М. Е. Альтовский, Е. А. Барс, Г. Ю. Валуконис, М. А. Гатальский, М. С. Гуревич, Л. М. Зорькин, А. А. Карцев, А. Э. Конторович, В. А. Кротова, В. М. Матусевич, А. Д. Назаров, И. И. Нестеров, В. А. Нуднер, Н. Н. Ростовцев, В. П. Савченко, В. А. Сулин, М. И. Суббота, Е. В. Стадник, Г. И. Сухарев, В. Б. Торгованова и др.

Абсолютным большинством гидрогеологов признается приоритетная роль воды в процессах образования углеводородов (УВ), в условиях их миграции и концентрации, где подземные воды выступают и как среда, и как активный участник переноса. Таким образом, особенности состава подземных вод, водорастворенного газа (ВРГ) и органического вещества (ОВ) нашли широкое применение в качестве гидрогеологических критериев нефтегазоносности. Первые попытки систематизировать гидрогеологические показатели были выполнены В. Т. Малышек в 30-х годах прошлого века. Позже теоретические основы прогноза перспектив нефтегазоносности по гидрогеохимическим критериям изложены в работах В. А. Сулина, И. К. Игнатовича, А. А. Карцева, Е. Е. Белякова, М. А. Гатальского, В. А. Кротова, Г. В. Богомолова, А. П. Козина, М. И. Зейдельсона, М. И. Субботы, И. Б. Фейгельсона, К. В. Филатова, А. С. Зингера, Е. И. Кудрявцева, В. Б. Торгованова, Ю. Г. Зимина, Е. А. Барса и др. Сегодня можно говорить о классификационной системе нефтегазопоисковых гидрогеологических критериев, учитывающих характер и значение каждого показателя, с возможностями их комплексирования на различных уровнях прогноза.

По общегидрогеологическим и палеогидрогеологическим критериям осевая часть юрско-мелового разреза ЕХБ характеризуется наиболее благоприятными условиями для генерации, аккумуляции и сохранения залежей нефти и газа. В осевой части бассейна во время длительных элизионных этапов происходило захоронение сингенетичных талассогенных вод (преимущественно хлоридного натриевого состава с величиной минерализации от 15 до 35 г/дм^3) совместно с богатыми ОВ морскими глинистыми осадками, а в прибортовых частях бассейна практически на протяжении всей истории развития бассейна происходила инфильтрация вод [3].

При анализе различных составляющих подземных вод установлен гидрогеохимический фон водоносных комплексов. Подземные воды, связанные с углеводородами, имеют специфический солевой и газовый состав в зависимости от фазового состава залежи. Отдельные показатели в поисковом отношении не равноценны, но в совокупности определяют общую нефтепоисковую зональность подземных вод. Так, для исследуемой территории выбран оптимальный комплекс гидрогеохимических показателей, указывающих на благоприятные условия генерации, миграции и аккумуляции УВ: концентрация SO_4^{2-}, HCO_3^-, Ca^{2+}, повышенные значения NH_4^-, J^-, Br^-, коэффициенты метаморфизации rNa/rCl, Cl/Br, rCa/rMg, B/Br, газовый фактор, концентрация метана, сумма тяжелых углеводородов (ТУ), азота, бензола и нафтеновых кислот (таблица).

Прогноз фазового притока по предложенному комплексу гидрогеологических критериев нефтегазоносности

Группа показателей			Балл	Прогноз притока			
				Вода	Газ с водой	Газ	Нефть с водой
Гидрогеохимические	Прямые	NH_4, мг/дм^3	0,8	< 6	от 8 до 17	> 17	> 17
ВРГ		Гф	1	< 1	от 1 до 1,5	> 1,5	> 2
		CH_4, %		< 92	92 – 94	> 95	< 92
		Сумма ТУ		< 3	от 3 до 6	< 6	> 6
ВРОВ		Бензол, мг/дм^3		< 0,05	> 0,05	> 0,1	> 0,1
		Нафтеновые кислоты, мг/дм^3		< 4	–	> 7	> 7
Гидрогеохимические	Косвенные	Ca, мг/дм^3	0,1	> 100	100 – 60	< 60	< 60
		SO_4, мг/дм^3		> 50	–	< 40	–
		HCO_3, мг/дм^3	0,3	< 950	1000 – 1200	> 1400	1200 - 1400
		CO_3, мг/дм^3	0,1	< 150	200 – 250	> 250	< 100
ВРГ		N_2, %		> 4	< 3	< 3	< 2
Коэффициенты		rCa/rMg		> 5	–	< 5	< 5
		rNa/rCl	0,2	< 1,4	–	> 1,45	> 1,45
		Cl/Br		< 300	–	> 300	> 300
		B/Br		< 0,8	–	> 0,8	–

Подземные воды региона и Западной Сибири в целом характеризуются низкой сульфатностью (прошли десульфатизацию еще на иловой стадии). Согласно данным Е. С. Гавриленко, В. А. Кротовой, Э. Е. Лондон и др. пониженное содержание сульфатов считается надежным показателем нефтегазоносности (рис. 1, а). Гидрокарбонат-ион является одним из важнейших поисковых показателей в пределах северной части ЗСМБ. Его повышенная концентрация согласно А. М. Велькову, Ю. Г. Зимину, А. С. Зингеру, А. Э. Конторовичу, Е. В. Стаднику, М. И. Субботе и другим исследователям, может рассматриваться как показатель наличия преимущественно газовых залежей (см. рис. 1, а). Источником HCO_3^- послужили продукты преобразования ОВ, залежи УВ и связанные с ними конденсационные воды.

Ионы NH_4^- и J^- связаны с ОВ водовмещающих пород, а их повышенная концентрация свидетельствует о первичном обогащении илов органикой и сохранении значительной части в седиментационных водах (рис. 1, б). В подземных водах Br^- присутствует повсеместно. В зонах затрудненного и застойного водообмена его концентрация достигает 500 мг/дм^3 и более (при содержании в морской воде 65 – 70 мг/дм^3). Повышенное содержание брома указывает на степень метаморфизации подземных вод, а также отражает процессы преобразования ОВ, захороненного вместе с породами в ходе диагенеза.

Нафтеновые кислоты активно вовлечены в процесс диффузионного массопереноса между УВ залежами и пластовыми водами. Для ЕХБ установлена пороговая концентрация для нафтеновых кислот, свидетельствующая о возможном наличии залежи – более 6 мг/дм^3 (рис. 1, в). Гидрогеохимические аномалии J^-, Br^-, B^-, NH_4^- в подземных водах характерны в целом для восстановительных обстановок и застойного водообмена, то есть в условиях, благоприятных для сохранения залежей нефти и газа. Но следует иметь в виду, что отсутствие, например, ионов аммония в водах нельзя рассматривать как отрицательный признак.

В качестве косвенных гидрогеологических показателей, указывающих на благоприятные условия, используют коэффициенты метаморфизации подземных вод (rNa/rCl, Cl/Br, rCa/rMg, B/Br). Последний характеризует наличие маломинерализованных (0,3 – 3 г/дм^3) конденсационных вод преимущественно гидрокарбонатно-хлоридного натриевого состава (этот генетический тип воды формируется при конденсации паров воды из водоуглеродной смеси при снижении пластового давления и температуры). А. Ю. Бычковым и Т. А. Киреевой показано, что соотношение B/Br в морской воде не превышает 0,08 – 0,18 и практически не изменятся при концентрировании подземных вод в процессе катагенеза, но при переходе через паровую фазу в конденсате пара отношение B/Br увеличивается, что связано с более высокой летучестью водорастворенных соединений бора, чем соединений брома.

Генетическое единство ВРГ и залежей УВ является теоретической базой использования этих показателей для оценки перспектив нефтегазоносности. С одной стороны, растворенные газы играют определенную роль в формировании газовых скоплений, с другой стороны, они являются наиболее активными компонентами системы «вода – газ» и создают водные ореолы рассеяния залежей в зонах ГВК и ВНК. В ЕХБ доказана высокая степень газонасыщенности подземных вод (рис. 1, г). ВРГ характеризуются метановым составом (углеводородных компонентов до 99 об.%, с содержанием ТУ от сотых долей процента до 8,8 об.%) [4, 5].

Анализ результатов испытания выявил зависимость изменения концентрации метана и ТУ в пластовых водах в зависимости от фазового состава залежи. Количество ТУ закономерно увеличивается в объектах: «водонасыщенные» – «смесь воды и газа» – «приконтурные воды газовых (газоконденсатных) залежей» – «воды нефтяных залежей» (рис. 1, д). Для нефтяных залежей, приуроченных к зонам застойного водообмена, в составе подземных вод характерно наличие метана и ТУ. Присутствие значительных концентраций азотных газов свидетельствует об инфильтрационном водообмене, следовательно, такие территории следует относить к неперспективным.

Согласно исследованиям В. М. Матусевича, Р. Г. Прокопьевой, В. А. Рылькова и др., высокой значимостью для прогноза углеводородных залежей в группе водорастворенной

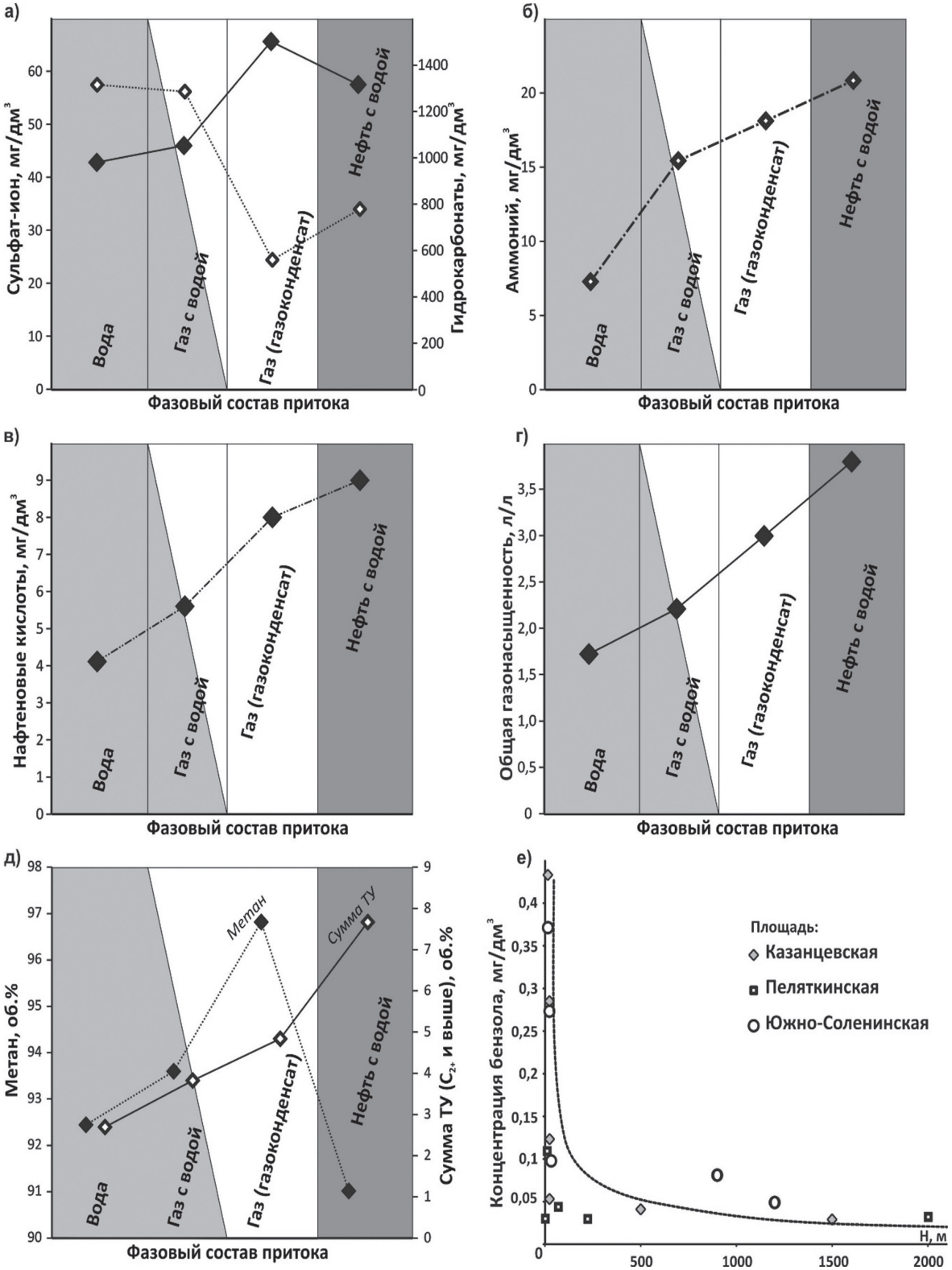


Рис. 1. Изменение концентрации: а) сульфат- и гидрокарбонат-иона; б) аммония; в) нафтеновых кислот; г) величины общей газонасыщенности; д) метана и суммы ТУ от фазового состава притока и изменение концентрации бензола от расстояния до контура нефтегазоносности в пределах западной части ЕХБ

органики являются ароматические и алифатические углеводороды (бензол, толуол, парамета-ортоксилолы, гексан, этилбензол, октан, декан, легкие УВ и др.), органические кислоты и комплекс микроэлементов (титан, марганец, цинк, ванадий, никель, кобальт, хром, медь, скандий, иттрий, иттербий, кадмий, алюминий, ниобий и другие). Многочисленные фактические данные свидетельствуют о том, что содержание ОВ в подземных водах месторождений выше, чем в «пустых» структурах. Следовательно, это служит прямым признаком наличия залежей. Особое место отводится бензолу и его гомологам. В регионе аналитический материал по ВРОВ характеризует разрез от нижней юры до верхнего мела на Казанцевской, Пеляткинской и Южно-Соленинской площадях [5]. По характеру распределения бензола в водах установлено наличие вблизи залежей ореолов повышенных концентраций бензола (рис. 1, е).

Для предложенного комплекса гидрогеохимических показателей составлены эталонные выборки и определены граничные значения каждого. Балльность критерия зависела от принадлежности к той или иной группе (например, группе наличия залежей УВ присвоен максимальный балл). После экспертной оценки индивидуального вклада всех показателей было выделено 23 высокоперспективных объекта, расположенных на 12 структурах, рекомендуемых для постановки дальнейших нефтегазопоисковых работ на обнаружение пропущенных залежей и открытия новых месторождений.

Высокую результативность поисковых работ следует связывать с меловыми резервуарами (нижнехнесуходудинский, нижнехетский) на Средне-Яровской, Токачинской, Яровской и других площадях. Наиболее перспективным среди юрских резервуаров являются малышевский резервуар (Дерябинская, Пеляткинская, Тампейская и другие) и надояхский резервуары (Суходудинская площадь).

Таким образом, выполненные комплексные гидрогеологические исследования с оценкой перспектив нефтегазоносности западной части Енисей-Хатангского бассейна подтверждают целесообразность дальнейшего изучения и высокую вероятность открытия здесь новых месторождений.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00868).

Список литературы

1. Конторович, В. А. Тектоника и нефтегазоносность западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба / В. А. Конторович // Геология и геофизика. – 2011. – Т. 52, №8 . – С. 1027–1050.

2. Фомин, М. А. Анализ тектонического строения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла Енисей-Хатангского регионального прогиба по опорным горизонтам, тектонические предпосылки его нефтегазоносности / М. А. Фомин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2011. – № 9. – С. 4–20.

3. Кох, А. А. Гидрогеологические предпосылки нефтегазоносности западной части Енисей-Хатангского регионального прогиба / А. А. Кох // X Международный научный конгресс Интерэкспо «ГЕО-Сибирь 2014». Т.1. Недропользование. Горное дело. Новые направления технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых (16 – 28 апреля 2014 г.): сборник материалов. – Новосибирск : СГГА, 2014. – Т. 1. – С. 57–61.

4. Гинсбург, Г. Д. Некоторые характерные черты геохимической зональности подземных вод в юго-западной части Енисей-Хатангского прогиба / Г. А. Гинсбург, Г. А. Иванова // Геология и нефтегазоносность мезозойских прогибов севера Сибирской платформы: сб. ст. – Л. : НИИГА, 1977. – С. 6–23.

5. Иванова, Г. А. Бензол и его гомологи в пластовых водах Енисей-Хатангского прогиба / Г. А. Иванова, С. Г. Мельковицкая // Геология нефти и газа. – 1973. – № 2. – С. 27–34.

АКАДЕМИК Г. В. БОГОМОЛОВ И ГИДРОГЕОЛОГИЯ БЕЛАРУСИ (К 110-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Кудельский А. В.
Институт природопользования НАН Беларуси, г. Минск, kudelsky@nature.basnet.by

Аннотация. В настоящей статье показана роль выдающегося гидрогеолога академика Г. В. Богомолова в развитии гидрогеологии Беларуси, теории и практики использования подземных вод.
Ключевые слова: *подземные воды, гидрогеология, теория и практика водопользования.*

Abstract. This article shows the role of the outstanging academician G. V. Bogomolov in the development of hydrogeology of Belarus, the theory and practice of groundwater use.
Key words: *groundwater, hydrogeology, theory and practice of groundwater use.*

В марте 2015 г. академику Г. В. Богомолову – одному из крупнейших гидрогеологов XX столетия – исполнилось бы 110 лет со дня рождения. О нем существует обширная литература [1 –5 и др.], в которой специалисты геологи, гидрогеологи, гидрологи, политические деятели и представители международных научных организаций геологического и водного профиля (ЮНЕСКО, МАГН и др.) подчеркивают огромную роль Герасима Васильевича в развитии наук о Земле, становлении и развитии гидрогеологии. Ниже мне бы хотелось коснуться исследований Г. В. Богомолова на территории Беларуси по некоторым ключевым направлениям геологии и гидрогеологии этого региона.

На исходе моего 10-летнего пребывания в Туркмении, куда я попал по распределению после окончания Днепропетровского горного института, на семейном совете было принято решение сменить аридную географическую зону Земли на гумидную. Профессиональный географ здесь может мне возразить: в годовом разрезе территория Туркмении относится к семиаридной зоне, что, конечно, правильно. Но если этот специалист-географ поработает с гидрогеологом-сьемщиком в июне-октябре (с их 40 – 45° С в тени) в горно-пустынном Западном Копет-Даге и на территории, прилегающей к нему почти со всех сторон – пустыни Кара-Кум, то мы с ним, хочешь-не хочешь, придем к обоюдному консенсусу: да, летняя Туркмения – это, конечно же, не подарок, а обширная часть чрезвычайно теплой аридной зоны земного шара. И согласимся с ним, что эту перегретую зону неплохо бы сменить на гумидную, более близкую нам биологически.

Через год после этих размышлений в ноябре 1968 г. я оказался в Минске, в лаборатории геохимических проблем АН БССР, которую создал и которой руководил академик Константин Игнатьевич Лукашев. В составе этого подразделения академик Герасим Васильевич Богомолов возглавлял отдел геотермии и как-то очень деликатно курировал исследования входящей в состав его отдела лаборатории гидрогеологии под началом крупного гидрогеолога, доктора геолого-минералогических наук Михаила Федоровича Козлова. По своей гидрогеологической принадлежности я оказался в лаборатории М. Ф. Козлова в качестве старшего научного сотрудника.

Гидрогеологи лаборатории изучали подземные воды осушаемого в этот период Белорусского Полесья, и на меня была возложена задача составления гидрогеохимических карт заболоченных территорий. Для гидрогеолога, воспитанного на «потоковой» гидрогеохимии и гидродинамике горно-складчатых сооружений альпийского орогенеза, задача оказалась далеко не простой и, как следствие, предложенные мной решения не соответствовали в полной мере представлениям более опытного белорусского гидрогеолога М. Ф. Козлова. Ситуация усугублялась и моим негативным отношением к глобальной мелиорации (осушению) Припятского Полесья вообще.

«Разруливая» сложившуюся коллизию, К. И. Лукашев предложил мне пост ученого секретаря созданного к этому времени (1971 г.) на базе лаборатории геохимических проблем АН

БССР Института геохимии и геофизики АН БССР. Посоветовавшись с Г. В. Богомоловым, я согласился, понимая, что позиция ученого секретаря приоткрывает мне возможности самостоятельных исследований.

Что поразило меня в Беларуси как гидрогеолога? В первую очередь – это, конечно, практически полная и повсеместная закрытость дочетвертичных отложений (начиная с неогена и палеогена) мощной (до 300 – 500 м) толщей четвертичных пород моренно-ледникового происхождения. Вся эта толща, по существу, представляет собой гидродинамически единый водоносный комплекс, в разрезе которого перемежаются водоносные песчано-гравийные и относительно водоупорные супесчано-глинистые горизонты. И каким же образом в этой «бульдозерно»-ледниково-моренной толще местные гидрогеологи устанавливают (например, для территории Минской городской агломерации) наиболее водообильный днепровско-сожский водоносный горизонт?

Во вторую очередь меня приятно поразила многочисленность высококвалифицированных гидрогеологов, кандидаты наук из которых практически все были учениками академика Г. В. Богомолова, в том числе и мои коллеги по Днепропетровскому горному институту.

И в третьих, хорошо выстроенная структура научно-исследовательских и полевых исследований, в которой большое внимание уделялось следующим вопросам: глубинной позиции поверхности кристаллического фундамента как предиктора динамической активности и качества подземных вод; геолого-гидрогеологическому картированию территории страны; наращиванию кадастра буровых скважин; геоэкологической роли подземных вод; геохимическому составу пресных и минеральных вод, их практическому использованию и генезису.

И, наконец, я был готов стать еще одним учеником Г. В. Богомолова. Так солиден, устойчив и уверен в себе был этот человек! Ему хотелось верить, понимая, как много сделал он, его ученики и сотрудники для гидрогеологии Беларуси (рис. 1).

Рис. 1. Академику Г. В. Богомолову – 75 лет. И мои поздравления!

Первые отрывочные сведения о гидрогеологических условиях территории Беларуси имеются в материалах маршрутных геологических исследований, проводившихся в конце XVIII – начале XIX в. Более полные и систематизированные данные о подземных водах Беларуси содержатся в материалах десятиверстных геологических съемок территории (конец XIX – начало XX в.), в отчетах об осушении болот, водоснабжении городов, железнодорожных станций и других объектов.

Большой объем специальных гидрогеологических исследований в Полесской низменности был выполнен в период работы Западной экспедиции по осушению болот под руководством И. И. Жилинского (1873 – 1898 гг.). Материалы этих исследований обобщены в работах И. И. Жилинского (1899) и других авторов.

В 1914 – 1915 гг. в Минске были пробурены глубокие (до 283 м) скважины с целью водоснабжения города. Материалы исследований, проводимых при бурении, позволили выделить основные водоносные горизонты четвертичных и дочетвертичных отложений [6].

В последующие годы изучение подземных вод Беларуси не прекращалось, и к 1940 г. белорусскими геологами была подготовлена к печати трехтомная монография «Геология Белоруской ССР», один из томов был посвящен подземным водам. В связи с войной 1941 – 1945 гг. ее издание не было осуществлено.

В годы войны большая часть гидрогеологических и гидрогеохимических материалов, накопленных за десятки лет, была утрачена, и лишь единичные работы по гидрогеологии Беларуси были опубликованы [7].

В 1947 г. вышла из печати монография Г. В. Богомолова «Подземные воды Белоруссии» с атласом геологических и гидрогеологических карт и разрезов к ним. В ней рассмотрены условия залегания грунтовых и напорных вод, гидрогеологическое районирование, водообеспеченность территории, химический состав подземных вод. В том же году под научным руководством и при непосредственном участии Г. В. Богомолова Белорусской гидрогеологической станцией Управления геологии и Институтом геологических наук АН БССР начинается изучение режима и элементов баланса подземных вод. Создается опорная государственная сеть скважин по наблюдению за режимом в естественных, а с 1970 г. – и в нарушенных эксплуатацией условиях, проводятся мероприятия по охране подземных вод от истощения и загрязнения. Кроме того, наблюдения за режимом подземных вод выполнялись БНИИ мелиорации и водного хозяйства, Белгипроводхозом, Полесской гидрогеолого-мелиоративной экспедицией «Главполесье-водстрой» и другими организациями. В результате были установлены основные закономерности формирования уровенного, химического и температурного режимов подземных вод, количественно оценены основные режимообразующие факторы, выполнено районирование территории Беларуси по характеру режима подземных вод.

Еще ранее (1948 г.) Г. В. Богомолов анализирует гидрогеологические условия Полесья в связи с планами осушительной мелиорации. В том же году Г. В. Богомолов положительно оценивает перспективы нефтегазоносности Припятского прогиба, что сыграло важную роль в расширении буровых работ на нефть и открытии здесь в 1964 г. промышленной нефтегазоносности. Его интересуют также проблема поисков железных руд в Беларуси (1959), гидрогеология, гидродинамика и геотермия нефтегазоносных геологических структур (1948, 1963, 1967, 1969, 1972, 1975), гидрогеохимия и распространение в подземных водах кремнезема (1964, 1965, 1967), других элементов, качество подземных вод и минеральные воды (1976), проблемы экологии и охраны подземных вод от засоления (1979), водный баланс территории Беларуси (1975, 1976), геотехнология гидродобычи фосфоритов (1981).

Поистине энциклопедичны знания и научные интересы академика Г. В. Богомолова! Особое внимание он уделяет подземному стоку (1963) и искусственному восполнению подземных вод (1963, 1967). Символично, что первая научная статья (1933) и последняя работа (1981) Г. В. Богомолова посвящены гидрогеологии и искусственному восполнению подземных вод Минской городской агломерации.

В 1961 – 1962 гг. на действующих городских водозаборах начато изучение режима подземных вод в нарушенных условиях с целью установления закономерностей формирования эксплуатационных запасов, достоверности их подсчета, оценки влияния сосредоточенного водоотбора на изменение гидрогеологических условий и на поверхностные водотоки. На отдельных водозаборах выявлен неустановившийся режим эксплуатации, что вызвало необходимость изучения возможности искусственного восполнения запасов. В связи с этим под патронажем Г. В. Богомолова в 1973 г. выполнено мелкомасштабное районирование территории республики по условиям искусственного восполнения эксплуатационных запасов подземных вод.

В 1970 г. издается монография «Гидрогеология СССР – Белорусская ССР», составленная группой специалистов Управления геологии и Института геологических наук АН БССР под руководством и редакцией Г. В. Богомолова. В этой работе собран и обобщен весь имевшийся фактический материал по гидрогеологии, гидрогеохимии, режиму и использованию подземных вод. Рассмотрены условия залегания подземных вод всех водоносных горизонтов, гидрогеологическое районирование, гидродинамическая, геохимическая и гидротермальная зональность, палеогидрогеология, оценены естественные и эксплуатационные ресурсы, существующее и перспективное использование подземных вод для водоснабжения и санаторного лечения. Кроме этого, авторы не обошли вниманием вопросы охраны подземных вод от истощения и загрязнения, гидрогеологических условий выявленных месторождений полезных ископаемых, возможности использования минерализованных вод как источника промышленного сырья, влияния подземных вод на заболоченность. Приведена инженерно-геологическая характеристика грунтов всей территории Беларуси.

Здесь хотелось бы особо подчеркнуть огромную роль академика Г. В. Богомолова в становлении и развитии гидрогеологии Беларуси, в формировании научных знаний о подземной гидросфере этого региона Восточно-Европейской платформы. В 1957 – 1958 гг. он впервые обращается к проблеме региональных ресурсов подземных вод платформы (и Беларуси как ее части), создав схематическую карту мощности слоя пресных вод, детализацию которой представляют собой последующие карты-схемы М. Ф. Козлова, А. В. Кудельского и других исследователей.

В 70-х годах XX в., в связи с открытием промышленной нефтегазоносности Припятского прогиба, широкое распространение в республике получают гидрогеохимические исследования, изучение гидрогеохимической зональности, распространения различных типов подземных вод, взаимосвязи химического состава вмещающих пород и поровых вод. В пределах Припятского бассейна внимание гидрогеологов привлекают промышленные рассолы с минерализацией до 485 г/дм^3 и выше, в составе которых фиксируются редкие и рассеянные элементы, в том числе бром, йод, стронций и др. Все эти вопросы живо интересуют Г. В. Богомолова как в практической плоскости получения из рассолов редких и рассеянных элементов [8], так и рассмотрение с позиций фундаментальных наук структуры гидрогеологической зональности земной коры [9] и эволюции поровых растворов в процессах диа- и катагенетического изменения осадочных горных пород [10].

Можно еще очень много говорить о Герасиме Васильевиче Богомолове – крупном ученом, лауреате Государственных премий СССР (1947, 1952) за разработку и внедрение химического метода закрепления плывунов и за открытие и разведку Старобинского месторождения калийных солей; лауреата Государственной премии БССР (1972) за открытие и разведку крупных нефтяных месторождений Припятской нефтегазоносной области Беларуси. Крупный ученый, мудрый человек! Но как часто выдающиеся ученые оставляют за собой право верить в непознанное, верить в чудеса и ждать чуда.

Как-то осенью, встретив меня на одной из аллей Центрального ботанического сада АН БССР, академик Богомолов предложил провести небольшой совместный эксперимент. Обязанности наши в этом эксперименте строго разграничивались: я незаметно от служителей выламываю в кустах ивовую ветку с рогулькой, а Герасим Васильевич с ее помощью определяет,

есть ли под нами подземные воды и куда они текут. Любопытство в который раз оказалось сильнее внутренних убеждений, и, трусливо озираясь, я отправился выполнять первую, наиболее рискованную часть эксперимента. Что было дальше, заслуживает, естественно, более подробного описания.

Академик очистил лозу от коры и, сжав крупными, по-мужски красивыми руками оба ее окончания, направил рогулькой от себя так, что вся веточка расположилась в плоскости, горизонтальной поверхности земли.

– А теперь смотри.

Я смотрел. Согнутые в локтях руки были неподвижны. Без движения оставалась и зажатая в них лоза. Но вот прошло несколько секунд, и рогулька стала медленно опускаться вниз к земле. Руки оставались неподвижны, ни один мускул не дрогнул. Лоза продолжала свое движение, вот она оказалась в плоскости, перпендикулярной поверхности земли, вот рогулька стала подниматься вверх, вот она уже направлена в грудь академика.

Обсуждать эксперимент мы не стали. Поглядывая на меня, Герасим Васильевич хитровато улыбался. Я помалкивал, пытаясь осмыслить увиденное. И думал следующее:

1. Ивовая ветка оказалась и впрямь волшебной. Опустившись рогулькой вниз, она указывала этим, что в данном месте есть вода. Продолжая свое движение вверх по кругу, рогулька подсказала нам, что подземная вода течет в том направлении, к которому академик стоял спиной.

2. Что и академик, и я – гидрогеологи. И еще до «эксперимента» мы оба хорошо представляли себе гидрогеологические условия того места, где встретились. Знали мы, что грунтовые воды здесь есть, что залегают они неглубоко и стекают к озеру, которое поблескивает солнечными бликами в конце аллеи.

3. Герасим Васильевич остроумно пошутил. А если нет? Тогда почему он выбрал (конечно же, вполне сознательно!) такое положение своего тела, при котором рогулька, двигаясь по вертикальной плоскости, могла бы следовать вдоль линий тока подземных вод к озеру? Может потому, что стань он не спиной, а боком к озеру, «волшебная лоза» не смогла бы «указать» направление подземного стока? (рис. 2)

Рис. 2. Дружеский шарж художника Бориса Заборова [11]

Итог моих размышлений, как говорят экспериментаторы, однозначностью не отличался: меня, конечно, разыграли, но почему же все-таки лоза двигалась?

Мы долго еще бродили по осенним аллеям Ботанического сада, говорили о разных разностях, в том числе и об истории поисков воды с помощью «волшебной лозы».

Многие годы академик Г. В. Богомолов оставался неформальным лидером, доброжелательным учителем и даже третейским судьей для белорусских гидрогеологов. Может быть, это, наряду с государственным финансированием геологических исследований, и определило те огромные успехи в развитии минерально-сырьевой базы полезных ископаемых (нефть, каменные соли и др.) и, в том числе, в изучении и практическом использовании подземных вод, достигнутые в «Богомоловскую» эпоху гидрогеологии Беларуси. Было бы неплохо, чтобы государство своим финансированием и вниманием продолжило бы эту эпоху и сегодня.

Список литературы

1. Алексеев, В. Академик Герасим Васильевич (100-летие со дня рождения – жизнь и научная деятельность) / В. Алексеев [и др.] // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: материалы Междунар. конференции. – Минск, 2005. – Т. I. – С. 14–18.

2. Гарецкий, Р. Вклад академика Г. В. Богомолова в развитие геологических и гидрогеологических исследований в Беларуси / Р. Гарецкий [и др.] // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии: материалы Междунар. конференции. – Минск, 2005. – Т. I. – С. 23–26.

3. Йодказис, В. Академик Г. В. Богомолов и гидрогеология Литвы / В. Йодказис, А. Климас // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии : материалы Междунар. конференции. – Минск, 2005. – Т. I. – С. 26–28.

4. Круподеров, В. Сто лет со дня рождения Герасима Васильевича Богомолова – организатора и первого директора ВСЕГИНГЕО / В. Круподеров, Л. Соколовский // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии : материалы Междунар. конференции. – Минск, 2005. – Т. I. – С. 28–30.

5. Ланге, К. Герасим Васильевич Богомолов на курсах ЮНЕСКО в Париже / К. Ланге // Проблемы водных ресурсов, геотермии и геоэкологии : материалы Междунар. конференции. – Минск, 2005. – Т. I. – С. 30–32.

6. Тутковский, П. А. Глубокое бурение в 1914 – 1015 гг. в г. Минске в сопоставлении с другими глубокими буровыми скважинами в районе Полесья / П. А. Тутковский, Е. В. Оппоков // Материалы по исследованию рек и речных долин Полесья Полесской изыскательской партией. – Киев, 1916. – Вып. 1. – 21 с.

7. Богомолов, Г. В. Справочник к обзорным схематическим гидрогеологическим картам центральной территории БССР / Г. В. Богомолов, П. Г. Герасимов, В. И. Духанина. – Л.-М., 1941.

8. Богомолов, Г. В. Рассолы Припятской впадины – возможный источник извлечения редких и рассеянных элементов / Г. В. Богомолов, А. В. Кудельский, П. Г. Альтшулер // Вопросы геологии и геохимии земной коры Белоруссии. – Минск : Наука и техника, 1977. – С. 64–68.

9. Богомолов, Г. В. Гидрогеологическая зональность земной коры / Г. В. Богомолов, А. В. Кудельский, В. В. Колодий // Докл. АН СССР. – 1973. – Т. 212. – № 4. – С. 938–941.

10. Богомолов, Г. В. Поровые растворы и их роль в геологических процессах / Г. В. Богомолов [и др.] // Литология и полезные ископаемые. – Москва, 1973. – № 5. – С. 46–57.

11. Кудельский, А. В. Новеллы о воде / А. В. Кудельский. – Минск : Наука и техника, 1973. – 207 с.

О ПРОБЛЕМЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕЛЕБНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД АВТОТУРИСТИЧЕСКОГО КЛАСТЕРА «ТУНКИНСКАЯ ДОЛИНА» И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Лехатинов А. М., Лехатинова Э. Б.
МО «Тункинский район», Кырен, Республика Бурятия, Россия, lexam29@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются проблемы использования и ведения мониторинга целебных подземных вод в связи с развитием международного и местного туризма в Тункинской долине.

Ключевые слова: *Целебные воды, автотуристический кластер, химический состав, лечение, породы.*

Abstract. Problems of use and conducting monitoring of healing underground waters in connection with development of the international and local tourism in the Tunkinsky valley are considered.

Key words: *Healing waters, autotourist cluster, chemical composition, treatment, breeds.*

Постановлением Правительства Российской Федерации № 644 от 02.08.2011 г. «Развитие внутреннего и въездного туризма в Российской Федерации (2011 – 2018 гг.)» на территории Республики Бурятия предусмотрено создание четырех международных туристических кластеров, в том числе автотуристического кластера «Тункинская долина». Данный кластер

представлен тремя базовыми участками наиболее посещаемых территорий в местностях «Вышка», Аршан и Нилова Пустынь, где традиционно широко используются целебные подземные минеральные воды.

Территория Тункинского района, на которой находятся туристические объекты, по площади превышает 11 тыс. кв. км. Природная рекреационно-туристическая ценность связана с уникальной особенностью строения Тункинской долины – впадины байкальского типа Байкальской рифтовой зоны (БРЗ).

Тункинская впадина с северной и северо-западной стороны замкнута альпинотипным высокогорьем Тункинского хребта с абсолютной отметкой выше 3200 м и хребтом Мунку-Сардык высотой до 3491 м. Южный и юго-западный её борт представлен сводово-блоковым хребтом Хамар-Дабан (Ореховая гора) с куполо-платообразными вершинами, осложненными останцами и ледниковыми карами, трогами в гольцовом поясе до высоты 2758 м.н.у.м. (верховье р. Харбяты).

Геологическое строение Тункинской впадины и прилегающих хребтов характеризуется сложным сочетанием горных пород различного возраста и петрографического состава, которые вмещают подземные воды. Широко распространены метаморфические, интрузивные породы докембрия и палеозоя. Ограниченное развитие имеют мезозойские отложения. На Хамар-Дабане неоген-четвертичные эффузивные породы залегают на древних отложениях в разных местах в виде плато с выходом гранитных даек и штоков. Редкие фрагменты плато-базальтов сохранились на Тункинском хребте, особенно на его северо-западном фланге. Голоцен-плейстоценовые образования представлены аллювиальными, аллювиально-пролювиальными, ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями. В эрозионно-тектонических распадках высокогорья преобладают делювиально-коллювиальные породы. Коллювиально-деляпсивные отложения покрывают склоны в лесном поясе среднегорья и низкогорья. На подгорных наклонных поверхностях преобладают пролювиально-селевые отложения и горный аллювий, которые во многих местах перекрывают ледниковые и водно-ледниковые накопления.

Морены висячих троговых долин уступами «падают» с поднятого крыла Тункинского сброса, по которому продолжаются современные вертикальные движения хребта и впадины: первый воздымается, а вторая погружается. Дифференцированные тектонические движения, в свою очередь, медленно (1 – 2 мм/год) и скачкообразно изменяют местный базис денудации, следовательно, растягиваются (разуплотняются) породы, особенно рыхлые, в сторону опущенного крыла регионального сброса. Аномальное увлажнение склона обуславливает разрыв сплошности слабоустойчивых пород зоны разрывных нарушений, формируются осовы в осыпях, сплывы, оплывины, оползни-потоки, которые усиливают катионный обмен поглотительного комплекса областей формирования и питания подземных и поверхностных вод. Склоновые гравитационно-эрозионные и селевые процессы увеличивают инфильтрацию поверхностной и атмосферной воды в результате нарушения кольматажа коры выветривания и зон разрывных нарушений, в которых расположены селеносные русла водотоков.

Тункинские целебные подземные воды были известны местному населению с древних времён, о чем свидетельствуют наскальные рисунки и надписи, культовые места у источников (Шумак, Хонгор-Уула и т.д.). В советское время работы по изучению закономерностей распространения, режима, состава, свойств, степени защищенности подземных вод, в том числе минеральных и термальных, проводились регулярно. Регулярность нарушена за последние десятилетия. Хотя по первоначальным данным Института земной коры СО РАН, Госкомгеологии Республики Бурятия, курортного комплекса «Аршан» и Института геологии Бурятского научного центра СО РАН, они не уступают по целебности минеральным водам знаменитых курортов Кавказа и Закавказья (Кисловодск, Пятигорск, Железноводск, Мацеста, Цхалтубо), Предкарпатья (Моршин, Трускавец) и Болгарии (Софийские воды).

Термальные минеральные подземные воды, используемые пансионатом «Жемчужина», имеют температуру 39° и 56° С. Эти лечебно-столовые, кремнистые, гидрокарбонатно-натриевые, слабощелочные подземные воды с содержанием органического углерода, эффективно

лечат многие заболевания. Успешно излечиваются, например, заболевания опорно-двигательного аппарата, женское бесплодие, церебральные атеросклерозы без нарушения мозгового кровообращения и т. д. Диапазон лечебных свойств этих вод впечатляет, хотя они не изучены еще достаточно полно применительно к другим болезням. Пожары, интенсивная рубка леса, активная застройка подгорных поверхностей, а также активизация селевых и эрозионных процессов в областях формирования и питания подземных вод существенно отражаются на лечебных их свойствах за истекшие 30 – 40 лет. Эффективность воздействия термальных вод на восстановление здоровья не постоянна и связана с колебанием минерализации воды в скважинах Р-1 и Г-1. Тем не менее, химический состав воды, например, в скв. Г-1 в 1980 г., по данным ПГО «Бурятгеология» (Ю. И. Кустов, 2008), был представлен в виде:

$$4,8\frac{HCO_3 55 Cl 44 SO_4 1}{(Na+K)69 Mg 27 Ca 4}.$$

В 1911 году (А. М. Лехатинов, Оргильянов А. И. [1]), вода имела практически аналогичный состав:

$$4,65\frac{HCO_3 56 Cl 43}{(Na+K)67 Mg 27 Ca 6}.$$

Следовательно, за 30 лет не произошло значительного изменения состава воды по содержанию отдельных элементов.

Широко известны по целебным свойствам воды большой группы источников в местности Хонгор-Уула. Полуорганизованная водолечебница находится в горах Хамар-Дабана (живописная долина р. Харагун), в десяти километрах южнее от поворота с автотрассы Култук-Монды в сторону с. Охор-Шибирь. Примечательно, что в Хонгор-Ууле каждый источник подземных вод имеет свое назначение. Железистые, трещинно-жильные, сульфатно-гидрокарбонатные воды, в зависимости от содержания иона железа в области разгрузки, используются для лечения глаз, сердца, печени, почек, селезенки, кишечника и женских органов. Эти подземные воды применяются и для общеукрепляющих ванн. Здесь функционирует пансионат с несколькими ванными помещениями. Однако на действующих курортах состав и состояние подземных вод практически не изучаются в оптимальном режиме.

Курорт Аршан расположен у южного подножья Тункинских Альп на поверхности древнего конуса выноса р. Кынгарга, покрытого смешанным светлохвойным лесом. С наклонного предгорья высотой 800 – 940 м (абс. отм.), которое на 200 – 230 м возвышается над урезом р. Иркут, открывается красивая панорама прилегающей территории. В южном направлении природное великолепие представляется взору вулканами, степными, лесостепными, лесными, горно-тундровыми и гольцовыми ландшафтами днища впадины и хребта Хамар-Дабан. Купола- и платообразные водораздельные поверхности хребта придают горизонту сказочно красивое очертание, особенно на восходе Солнца. С севера к курорту вплотную подступают лесные склоны и гольцовые вершины Тункинского хребта, которые отличаются четко выраженным альпинотипным рельефом. Последний имеет пилообразный гребень водоразделов, осложненных карами (креслоподобные углубления), карлингами (пирамидальные вершины). Хребет изобилует висячими троговыми долинами, ущельями, каньонами, водопадами, прислоненными селевыми конусами выноса, моренами разного размера и другими экзотическими формами рельефа.

Сказочная красота природы, озонированный воздух и целебные минеральные, термальные воды активно влияют на отдых и лечение. Минеральные подземные воды Аршана обладают свойствами, очень близкими кисловодским. Они даже превосходят их по содержанию отдельных полезных компонентов. Так, сравнительная характеристика минеральных вод трех популярных курортов Аршан, Кисловодск и Дарасун, составленная А. В. Булгатовым [1], показывает, что по содержанию полезных катионов и анионов аршанская вода занимает первое место (таблица).

Химический состав минеральных вод курортов Аршан (НПТ), Кисловодск (Сев. Кавказ, Нарзан) и Дарасун (Читинская обл.).

Катионы и анионы	Аршан, источ. 3 (г/л)	Нарзан, основной источ. (г/л)	Дарасун, источ. 27 (г/л)
Катионы:			
Натрий Na’	0,1215	0,0863	0,0209
Кальций Ca»	0,5780	0,3894	0,1549
Магний Mg»	0,1215	0,884	0,0536
Анионы:			
Хлор Cl’	0,1363	0,1266	0,0045
Гидрокарбонат HCO_3	2,0594	0,1529	0,7832
Сульфат SO_4	0,4255	0,4961	0,0614
Свободный CO_2	1,9544	21,23	3,308
Температура по ˚С	+ 8,5	+ 13,7	+ 1,4

Целебные минеральные воды Аршана имеют всероссийскую известность. Особый эффект достигается при профилактике и лечении этими водами гастрита, язвы желудка и кишечника, холецистита, гепатита, дискинезии, колита, интерколита, желчнокаменной и почечнокаменной болезни, пиелонефрита и цистита. Термальные воды применяются курортом для лечения ревматизма, кожных и других заболеваний. Достаточно принять 9 – 15 ванн и больной ощущает облегчение или выздоравливает. Особенно эффективно излечиваются кожные заболевания.

Минеральные воды курорта «Нилова Пустынь» по химическому составу и целебным свойствам очень близки к подземным водам Цхалтубо (Грузия), Белокурихи (Алтай), Мацесты (Сочи). По данным специалистов, в Ниловой Пустыни достигаются хорошие результаты при лечении опорно-двигательного аппарата, нервной системы, гинекологических, кожных, сосудистых, урологических, интоксикационных и других заболеваний. Известно также, что многие люди, страдающие трофическими язвами, псориазом, экземой, диатезом, лечение которых медикаментами не давало желаемых результатов, избавлялись от этих недугов после нескольких посещений Ниловой Пустыни.

Заметно возрастает популярность «диких» Шумакских минеральных вод**,** несмотря на трудную доступность местности. Десятки минеральных источников с различной минерализацией и температурой воды расположены здесь на участке слияния рек Правого и Левого Шумака. О высоком качестве этих целебных вод свидетельствует то, что они используются населением уже более 150 лет. Ради здоровья люди не боялись очень трудного перехода через глухую тайгу, болота и крутые склоны Тункинских гольцов. Курортная местность «Шумак» расположена высоко в горах на абсолютной высоте более 1600 м в живописной корытообразной ледниковой долине одноимённой реки — правого притока р. Китой. Природа здесь изумительно красивая – залесенная долина переходит в альпийские луга, над которыми красуются величественные скалистые вершины Тункинских гор. Курорт функционирует в тёплое время года, когда отдыхающие могут прилететь на вертолёте и прибыть верхом на лошадях, или пешком по тропам. Основная тропа от с. Хойтогол до Шумака пролегает по великолепным по красоте ландшафтам предгорья и гольцового пояса через перевал Шумакский (2400 м.). Это самый высокий перевал на популярных туристических маршрутах по Восточной Сибири.

Наличие углекислых, гидрокарбонатных кальциево-магниевых и радоновых источников подземных вод с температурой от 10° С до 37° С, с содержанием углекислоты от 0,26 до 565 мг/л, радона от 0,4 до 700 эман, превратили эту местность в активно посещаемую. По целебным свойствам минеральные воды Шумака сравнимы с Пятигорскими источниками (Северный Кавказ). Они хорошо помогают больным с заболеваниями печени, желчных путей, сердца, сосудов, желудка, кишечника, нервной системы, дыхательных путей, обмена веществ и др. Труднодоступность курорта не позволяет многим больным использовать целительные

силы Шумакского «чуда». Эта проблема может быть частично решена организацией регулярных вертолётных рейсов по маршруту: с. Кырен – урочище Шумак.

Тункинская долина располагает также малоизвестными местами проявления целебных вод, которые используются, главным образом, местными жителями: Туранские, Мондинские, Халагунские, Шармакские, Кунтенские, Койморские, Хурайхобокские минводы и Папий аршан. Эти воды содержат в своем составе сероводород, метан, радон и другие газовые компоненты. Огромные их ресурсы, большое разнообразие по составу и свойствам, исключительно благоприятные природные условия могут позволить Республике Бурятия, совместно с национальным парком, организовать в XXI веке курортный комплекс «Тункаминводы» по аналогии с «Севкавминводами».

В рамках развития атотуристического кластера «Тункинская долина» создается современная рекреационно-оздоровительная инфраструктура в местах выхода минеральных и термальных подземных вод. Туристический поток увеличится до 400 – 500 тысяч человек в год. Следовательно, решение проблемы рационального использования и охраны подземных вод, прежде всего минеральных, должно рассматриваться как первостепенная задача. Начинается интенсивное использование пресных питьевых подземных вод разных горизонтов. С 2010 года на «Вышке» функционирует 17 скважин глубиной 10 – 20 м и 4 скважины берут воду с глубины 150 м. Вода первого горизонта характеризуется высоким содержанием нитрит-иона, который более чем в два раза превышает ПДК [2]. Качество воды нижнего водоносного слоя не изучено.

Для выявления причинно-следственных связей загрязнения и истощения пресных питьевых и целебных подземных вод кластера необходима организация их комплексного мониторинга. Без подробного мониторинга вод невозможно прогнозировать перспективу их использования по мере роста антропогенных нагрузок на окружающую природную среду.

Список литературы

1. Булгатов, А. В. Курорт Аршан / А. В. Булгатов. – Улан-Удэ : Бурятское книжное изд-во, 1964. – 140 с.

2. Лехатинов, А. М. Термальные минеральные и пресные питьевые подземные воды рекреационных ландшафтов Тункинской впадины и их использование / А. М. Лехатинов, А. И. Оргильянов // Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока Сибири. – Иркутск : Изд-во ООО «Географ», 2012. – С. 474–478.

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В МЕЖГОРНЫХ ВПАДИНАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Манукьян В. А.
ФГУГП «Гидроспецгеология», г. Москва, manval36@gmail.com

Аннотация. Рассматривается почти полувековая история взаимодействия уникального месторождения пресных подземных вод с крупным горно-химическим комбинатом. В процессе эксплуатации месторождения не произошло сколько-нибудь заметной сработки запасов, обеспеченных инверсией разгрузки, но это привело к заметному загрязнению поземных вод. С помощью тщательного изучения баланса подземных и поверхностных вод, основанного на проведении образцовых опытно-фильтрационных работ с последующим моделированием, предлагается выход из кризиса.

***Ключевые слова**: месторождение, баланс подземного и поверхностного стока, уравнение связи, кластерный анализ, уран.*

Abstract. Here it is considered a nearly half-a-century history of the interaction between the unique fresh underground water deposit and a large-scale mining-chemical industrial enterprise. During the work process of the exploitation of the deposit it didn't happen any noticeable exhaust of the underground water supply protected with the inversion of the relieve, but it became a reason of the appreciable contamination of the underground waters. After the thorough investigation of the underground water basin balance and river basin balance, which was founded on the cluster pumping tests and the following computer simulation technique the way out of the situation is offered in this article.

Key words*: deposit, underground water basin and river basin balance, equation of connection, cluster analysis, uranium.*

Восточно-Урулюнгуйское месторождение пресных подземных вод, разведанное в 1966 – 1968 гг., расположено в межгорной впадине на юго-востоке Забайкалья. Она простирается на 80 км с юго-запада на восток, ограничиваясь с севера – Кличкинским, с юга – Аргунским хребтами (рис.1) В западной половине депрессии полностью отсутствует поверхностный сток (падь Сухой Урулюнгуй), в восточной половине отмечается временный водоток – р. Урулюнгуй со среднегодовым расходом Q_0 = 1,99 м^3/с. Река, текущая преимущественно на многолетнемерзлых породах мощностью от 15 до 38 м, прорезает с севера на юг Кличкинский хребет, поворачивает на восток при входе в Восточно-Урулюнгуйскую депрессию и достигает реки Аргунь.

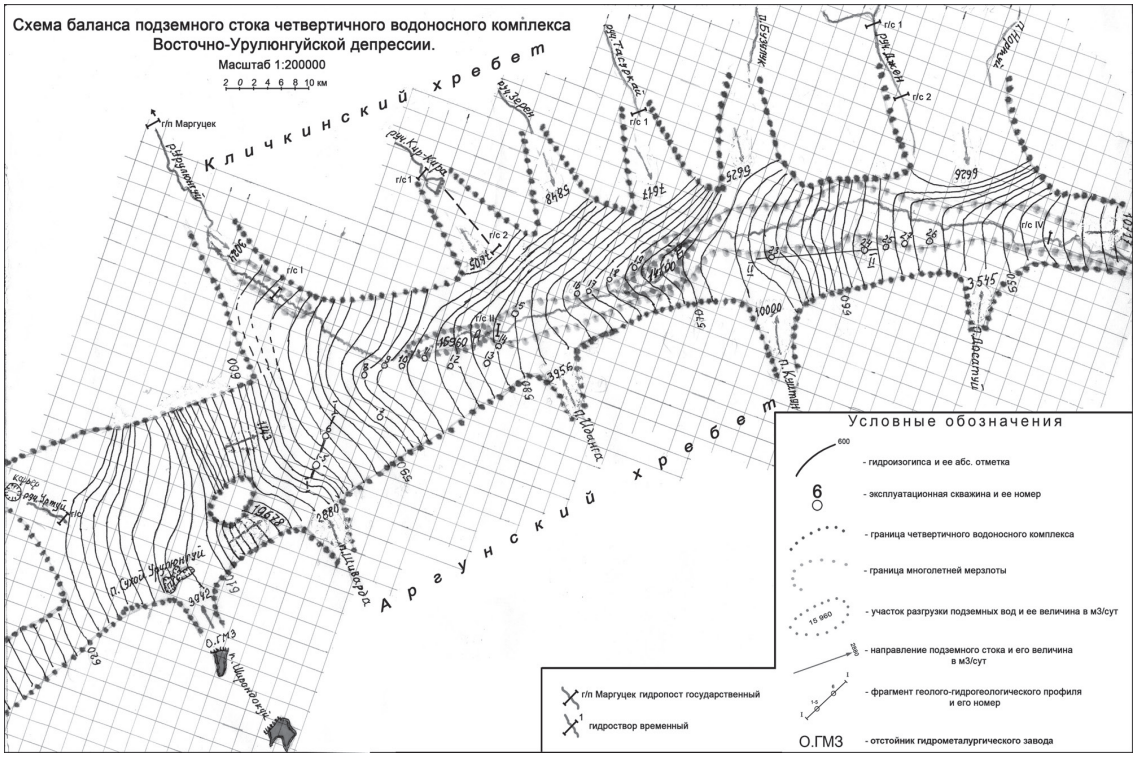


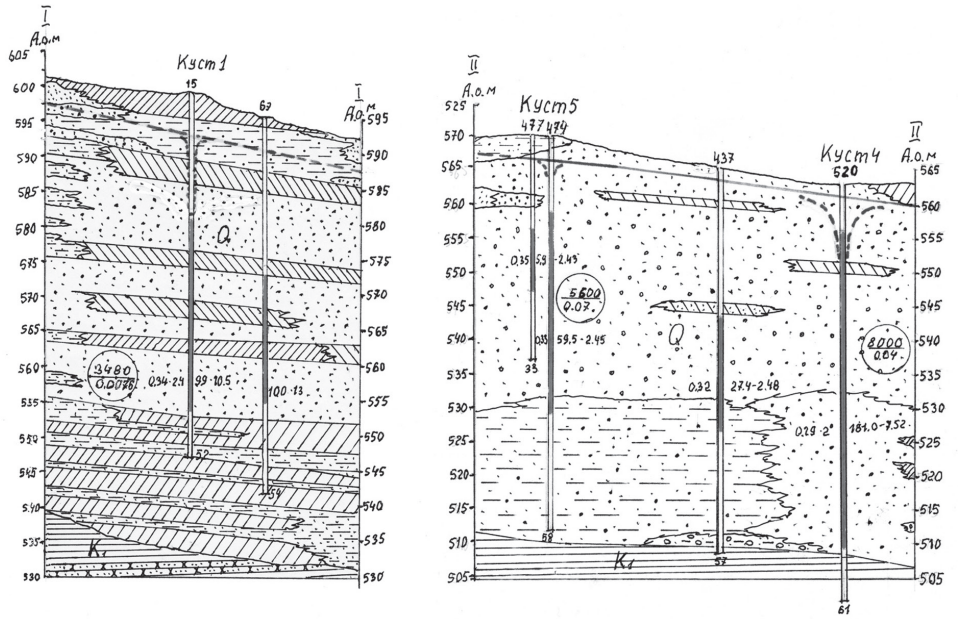
Рис. 1. Схема баланса подземного стока четвертичного водоносного комплекса Восточно-Урулюнгуйской депрессии

При дефиците воды в регионе Восточно-Урулюнгуйское месторождение было признано уникальным в 1968 г. на совместной заседании представителей Минсредмаша и Мингео СССР, и отмечена недопустимость строительства отстойников и хвостохранилищ гидрометаллургического производства урана в верховьях долины. Тем не менее, позднее такие сооружения были созданы в непосредственной близости от головного водозабора с санкции министра Е. П. Славского.

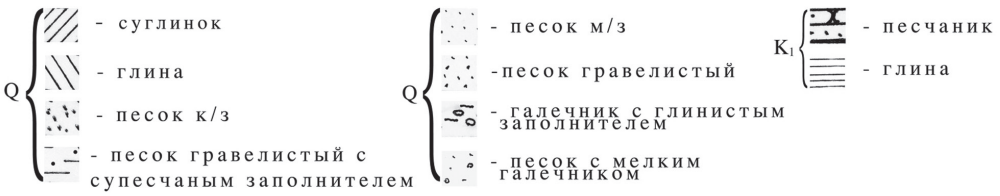
Уникальность месторождения заключается в наличии мощного, исключительно проницаемого песчано-гравийного коллектора, простирающегося вдоль всей долины и дренирующего временный поверхностный сток. Его избыток в нижней половине долины разгружается

в сквозные талики поймы р. Урулюнгуй. Речной сток в годы высокой и средней водности существует независимо от подземного стока, а в годы низкой водности речной сток обеспечивается разгрузкой подземных вод. Именно её инверсия привела к отсутствию сколько-нибудь заметной сработки запасов за 45 лет эксплуатации месторождения.

Четвертичный водоносный комплекс (Q_{I-IV}) озёрно-аллювиального генезиса мощностью до 60 метров состоит из песчано-гравийных отложений с прослоями глин, суглинков, супесей. Характерные разрезы представлены на рис. 2 и в работе [1]. Корреляция разреза вдоль оси долины отмечается на всём её протяжении, в поперечном направлении многослойный разрез к бортам переходит в делювиально-пролювиальные фации. Проницаемость обломочных пород по лабораторным исследованиям образцов с ненарушенной структурой показали аномально высокую проницаемость (Кф = 400 – 1500 м/сут). Проводимость комплекса по данным образцовых откачек из кустов № 1 и № 3 [1] составила 3500 – 4000 м^2/сут, а её колебания в пределах всей депрессии – от 500 до 9 000 м^2/сут.



Условные обозначения:



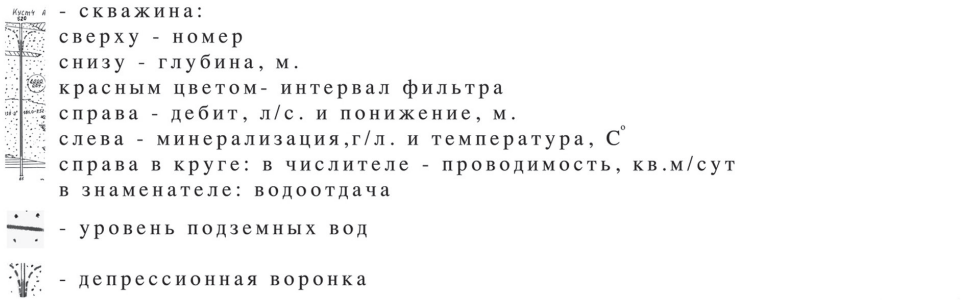


Рис. 2. Гидрогеологические разрезы

Способ разглинизации скважин, предложенный автором в 1967 г., обеспечил для центральных совершенных скважин дебитов Q, равный 99 – 250 л/с, а для разведочных 20 – 40 л/с, что при фациальной изменчивости разреза в плане позволяло получить суммарную проводимость комплекса в пределах условного радиуса влияния. При этом полученный удельный дебит соответствовал проводимости, рассчитанной по начальным отрезкам графиков прослеживания. Опробованные одиночные скважины, наряду с кустами № 1 – 5, были использованы в качестве опорных при создании карты проводимости комплекса в плане.

Если с определением проводимости в слоистых толщах с помощью эффективно разглинизированных скважин с фильтрами в нижней половине комплекса относительно ясно, то определение эффективной водоотдачи в них значительно сложнее. В частности, при опробовании куста № 1 (рис. 2) на графиках прослеживания снижения уровня можно построить второй прямолинейный отрезок, параллельный первому, который соответствует эффекту Болтона для безнапорного пласта (рис. 3). На разрезе показана многослойная напорная система, в которой при заметном понижении верхний слой становится безнапорным, а нижний, отделенный от верхнего водоупором, работает как напорный. Однако они соединены единым фильтром, обеспечивающим дополнительное перетекание внутри него из-за разных скоростей снижение уровня в каждом горизонте [1]. Для скв. № 21 (см. рис. 3) средняя пьезопроводность складывается из суммы:

$$\lg a_{cp} = \frac{km_1}{km_1 + km_2} \times \lg a_1 + \frac{km_2}{km_1 + km_2} \times \lg a_2 ,$$

где $\lg a_2$ определенная по начальному отрезку графика прослеживания, равна 6,52 (при $a_2 = 3{,}3 \times 10^6$ м^2/сут) [2].

Был рассмотрен частный случай вычисления водоотдачи комплекса, приведенного к трёхслойному напорному в начале опыта комплексу.

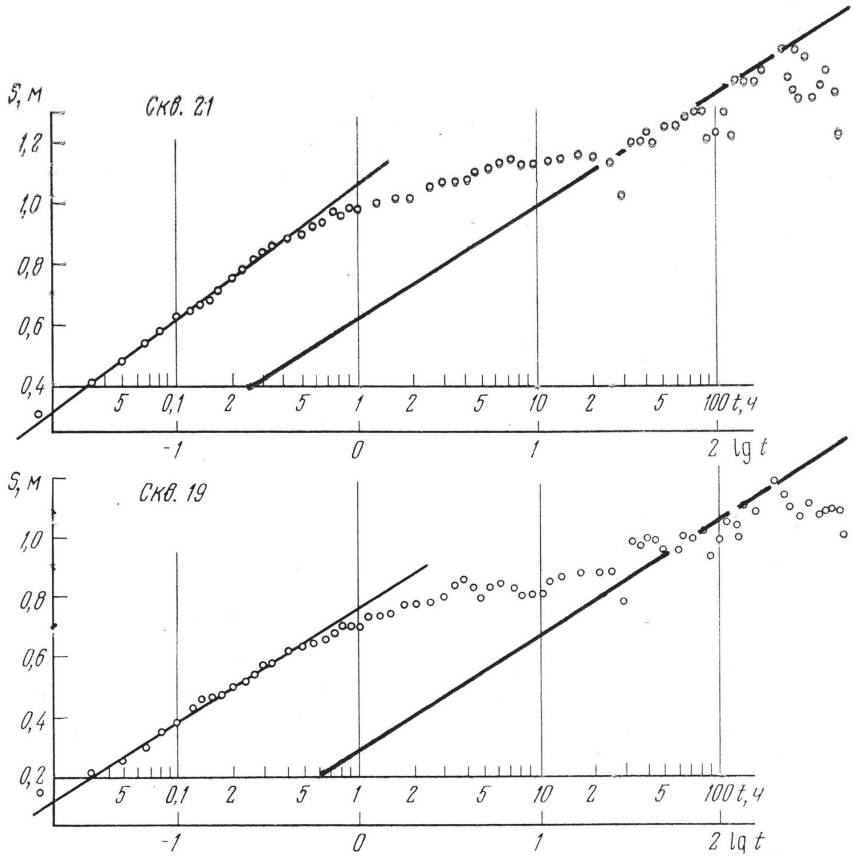


Рис. 3. Куст № 1. Графики прослеживания понижения уровня

Для оценки водоотдачи на восточной участке долины, обладающей высокой проводимостью, была проведена кустовая откачка с максимально возможным возмущением комплекса (Q_0 = 250 л/с). Условный радиус влияния откачки оказался равным 9 км. В результате решения обратной задачи на модели (Б. М. Зильберштейн) при существенной вертикальной анизотропии комплекса рассчитанная водоотдача оказалась равной μ = 0,04 = 4%, а проводимость km = 8000 м²/сут. Графоаналитический расчёт водоотдачи по данным опробования куста № 5 показал μ = 0,07 = 7%.

Для дифференциации водоотдачи в плане всего месторождения, включая Сухой Урулюнгуй, были использованы данные мониторинга уровня разведочных скважин за длительный период наблюдений, которые позволили по многочисленным парам скважин вычислить пьезопроводность на каждом отрезке в соответствии с методикой, изложенной А. В. Лебедевым [2, с. 16, 35 – 37]. Рассчитав пьезопроводность каждой пары скважин, легко получить водоотдачу, зная среднюю проводимость между этими скважинами. К 1991 г. была составлена фильтрационная схема месторождения с предварительным распределением проводимости и водоотдачи в плане, а также картой гидроизогипс масштаба 1:50 000 с сечением уровней через 1 м.

В 1992 г. была составлена методика федерального мониторинга на Восточно-Урулюнгуйском месторождении по заданию Министерства экологии РФ (авторы В. А. Мироненко, В. А. Манукьян, В. П. Карамушка). На основании фильтрационной схемы Б. М. Зильберштейном и В. С. Орловой были решены обратные задачи в стационарной и нестационарной постановке отдельно для пади Сухой Урулюнгуй и собственно Восточно-Урулюнгуйской депрессии. На рис. 1 представлены результаты решения стационарной задачи, отражающие баланс подземного стока на 30 октября 1991г. (60 суток без осадков) в год высокой водности. Баланс учитывает приток из пади Сухой Урулюнгуй, из долины р. Урулюнгуй, а также изо всех падей правого и левого борта долины. Приток последних определяется по данным проводимости и естественному уклону в устье каждой пади. Приток из падей правого борта был подобран на модели. Положение гидроизогипс в устье пади Сухой Урулюнгуй было стабильно в течение большого периода наблюдений, поэтому естественный поток легко вычисляется. Важно отметить, что величина потока постоянна из-за дополнительных техногенных факторов, включая фильтрацию из отстойников ГМЗ (падь Широндокуй), фильтрацию из водохранилища пади Тулукуй (верховье Сухого Урулюнгуя) шахтного водоотлива, дренажных вод угольного карьера, инфильтрации при поливе дачных участков и.т.д. Вся эта сумма дополнительного питания входит в узкое устье пади Сухой Урулюнгуй, играющего роль водослива, и обеспечивает постоянство питания месторождения из пади Сухой Урулюнгуй. В отрицательные элементы баланса входят разгрузка подземного потока из двух таликов (АиБ), отток на восточном замыкании депрессии и эксплуатационный водоотбор. Критерием согласования на модели являлось положение гидроизогипс. В процессе моделирования определялась величина разгрузки и уточнялось положение зон различной проводимости. Достоверность представленного на модели поля фильтрации основана на образцовом опробовании 5 кустов и нескольких сот разведочных скважин. Многолетний режим подземных вод позволил воспроизвести положение зеркала грунтовых вод и пьезометрическую поверхность комплекса с высокой точностью на момент прекращения осадков.

Общий приток подземных вод составляет 76947 м³/сут, а отток на восточной границе равен 107717 м³/сут. Остальная невязка приходится на разгрузку А-15960 м³/сут, разгрузку Б-14100 м³/сут (всего 30060 м³/сут) и эксплуатационный водоотбор – 36170 м³/сут.

Питание подземных вод из Сухого Урулюнгуя составляет 20821м³/сут(q = 0,20 л/с·км²) из левых падей долины – 32721 м²/сут. Средний модуль подземного стока этих падей равен q = 0,66 л/с·км². Рассчитанный на модели приток воды из правых падей долины достигает 20381 м³/сут, модуль подземного стока q = 0,50 л/с·км².

Для оценки стока р. Урулюнгуй при входе в Восточно-Урулюнгуйскую депрессию в годы различной водности и величины подземного стока левых притоков и пади Сухой Урулюнгуй была построена кривая обеспеченности стока р. Урулюнгуй по г/п Маргуцек за 28 лет наблюдений.

Для оценки закономерностей формирования стока на р. Урулюнгуй и её левых притоках установлен ряд гидростворов, наблюдения за которыми охватили годы разной водности – низкой (1966 – 67 гг.), средней (1972 – 74 гг.) и высокой (1988 – 91 гг.). Полученные результаты наблюдений позволили связать их путём множества последовательных корреляций с данными государственных гидропостов (см. рис. 1).

Исходный химический состав месторождения подземных вод – сульфатно-гидрокарбонатный с переменным катионным составом – от магниево-натриевого-кальциевого до кальциевого-магниевого-натриевого. Сухой остаток равен 0,2 – 0,4 г/л. В процессе длительной эксплуатации в устье Сухого Урулюнгуя появляется всё увеличивающийся по площади ореол сульфатных вод. В начале эксплуатации в микрокомпонентном составе в качестве вредных примесей преобладали фтор, марганец, свинец. Нынешний состав микроэлементов определяется загрязнённым фильтрационным потоком из Сухого Урулюнгуя. Состав этого потока формируется шахтным водоотливом, водоотливом из угольного карьера, фильтрацией из отстойников пади Широндокуй с ph = 2 – продуктом сернокислотного выщелачивания богатых урановых руд. В отстойниках в растворённом виде содержатся кадмий (1 мг/л), молибден, литий и уран. По данным микро- и макроисследования состава воды эксплуатационных скважин реки Урулюнгуй и ручья Кир-Кира (всего 22 объекта), проведенного в 2011 – 2012 гг. по 70 элементам силами Аналитического сертификационного испытательного центра Института проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов РАН (руководитель В. К. Карандашев), большинство проб показало значительное превышение концентрации урана по сравнению с ПДК, иногда на порядок и более. При длительной эксплуатации водоносного комплекса и отсутствии заметной сработки запасов, состав воды каждой скважины носит стационарный характер. Кластерный анализ 22 объектов по 70 элементам в каждом может использоваться для выделения отдельных групп скважин, химический состав которых формируется на определённых участках поля фильтрации и отличается друг от друга. Применение этого метода изложено в статье [4].

Наши исследования месторождения, проведенные в 1983 – 1993 годах, позволили смоделировать работу двух водозаборов. Первый, предназначенный для технического водоснабжения, охватывает весь Сухой Урулюнгуй и выходит в долину Восточного Урулюнгуя, ликвидируя подтопление Сухого Урулюнгуя, перехватывая весь загрязненный поток и снимая разгрузку на участке А. Второй водозабор к востоку от скв. № 15 предлагалось использовать для питьевых целей. Однако последние исследования химического состава водозабора показали, что для питьевых целей можно использовать только скв. № 15, 16, 17, 19, к которым следует добавить несколько проектных скважин, расположенных на левом берегу реки вдоль этого ряда, остальные скважины водозабора (№23 – 28) следует также использовать для технического водоснабжения. Необходимость создания водозабора для технического водоснабжения связана с возможным отключением от эксплуатации Тулукуевского водохранилища, поскольку Китай проектирует повернуть реку Аргунь в сторону оз. Далай-Нор.

Выводы. 1. Крупное месторождение пресных подземных вод в межгорной депрессии со временным водотоком на вечномерзлых породах эксплуатируется 45 лет без заметной сработки запасов.

2. Эффективная разглинизация скважин позволила получить высокие дебиты центральных и разведочных скважин (до 99 – 250 л/с), соответствующие исключительно высоким значениям проводимости (до 5 000 – 9 000 $м^2$/сут).

3. Пересмотрена величина эффективной водоотдачи высокопроницаемых обломочных пород в условиях многослойной толщи или вертикальной анизотропии комплекса (уменьшение до 1 – 4%).

4. За период эксплуатационной разведки (1973 – 93 гг.) создана фильтрационная схема всего месторождения, основанная на получении достоверных сведений о проводимости и водоотдаче комплекса с использованием образцовых ОФР и длительного мониторинга уровня и химического состава подземных вод.

5. Решение серии обратных задач на основе подготовленной фильтрационной схемы позволило создать достоверную гидродинамическую модель месторождения и численно оценить все составляющие баланса.

6. Полученная фильтрационная схема подтверждается комплексом детальных гидрометрических исследований с привязкой к государственным гидропостам.

7. Эксплуатация месторождения происходит за счёт инверсии части разгрузки и напрямую не связана с паводковым стоком.

8. Расширение запасов возможно за счёт полного снятия разгрузки и обеспечения периодической инфильтрации речного стока.

9. Функционирование уранового горно-химического комбината в области питания водоносного комплекса привело к постепенному загрязнению подземных вод ураном и другими токсичными элементами.

10. Применение кластерного анализа позволило выделить участки водозабора, наименее подверженные загрязнению.

11. Необходимо расширить выделенный участок для использования его в качестве источника питьевого водоснабжения.

12. В пади Сухой Урулюнгуй и в западной части Восточно-Урулюнгуйской депрессии предлагается создание водозабора для технического водоснабжения комбината, что полностью снимет разгрузку подземных вод на участке А, перехватывая загрязненный поток.

Список литературы

1. Боревский, Б. В. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек / Б. В. Боревский, Б. Г. Самсонов, Л. С. Язвин. – М : Недра, 1979. – С. 326.

2. Лебедев, А. В. Оценка питания и баланса грунтовых вод по данным о режиме их в естественных пунктах Юго-Востока Европейской части СССР и Северного Казахстана / А. В. Лебедев, Е. Н. Ярцева. – М. : «Недра», 1967. – 172 с.

3. Манукян, В. А. Решение задачи о притоке подземных вод к скважине в двух пластах, разделенных непроницаемым слоем / В. А. Манукян. – Гидротехника и инженерная гидрогеология. – 1972. – Вып. 38. – С. 88–92.

4. Манукьян, В. А. Опыт применения кластерного анализа для оценки масштаба взаимодействия артезианских горизонтов Северо-Запада Подмосковья / В. А. Манукян // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 6. – С. 53–57.

ГИДРОГЕОХИМИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ АРКТИКИ

Новиков Д. А.
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, NovikovDA@ipgg.nsc.ru

Аннотация. Впервые проведено обобщение гидрогеохимических данных по нефтегазоносным бассейнам Арктики. Выявлена строгая схема смены геохимических и генетических типов подземных вод. На начальной стадии метаморфизации находятся воды пестрого химического состава зоны активного газоводообмена. Затем следуют воды осадочных бассейнов с отсутствием в разрезе солей, которые, в свою очередь, сменяются рассолами бассейнов с галогенными формациями. Заключительным звеном в этой цепи с максимальной степенью метаморфизации состава выступают рассолы кристаллических щитов архей-протерозойского возраста и их склонов. Инфильтрогенные рассолы выщелачивания в пределах солянокупольных структур в генетическом плане представляют единую группу в пределах бассейнов Свердруп, Анабаро-Хатангского и других.

Ключевые слова: *гидрогеохимия, вертикальная гидрогеохимическая зональность, подземные воды, рассолы, Арктика, осадочный бассейн.*

Abstract. For the first time hydrogeochemical data on the Arctic petroleum basins has been summarized. A strict scheme of change in geochemical and genetic groundwater and brine types has been revealed. Waters of diverse chemical composition of the supergene zone are at the beginning of evolution followed by the sedimentary basin groundwaters with salt-free section, which, in turn, are replaced by brines of sedimentary basins with salt structures. Archean-Proterozoic brines of the crystalline shields and their slopes are the most evolved. Leached infiltration brines within the salt plugs are genetically similar in the Sverdrup, Anabar-Khatanga and other basins.

Key words: *hydrogeochemistry, vertical hydrogeochemical zoning, groundwaters, brines, Arctic, sedimentary basin.*

Осадочные бассейны Арктики представляют огромный интерес, как регион с огромными потенциальными ресурсами углеводородов. В настоящее время промышленные скопления нефти и газа выявлены во многих их них: Атабаска, Бофорт-Маккензи, Западно-Сибирский, Свердруп и другие. Их уникальность заключается в том, что этаж промышленной нефтегазоносности изученных бассейнов охватывает отложения от древних докембрийских до четвертичных. С проведением геологоразведочных работ в Арктике связано накопление огромного фактического материала, отражающего сведения об условиях залегания, химическом и газовом составе подземных вод, структуре гидродинамического поля и геотермическом режиме недр. При этом надо отметить, что бассейны характеризуются различной степенью гидрогеологической изученности.

Результатам гидрогеологических исследований осадочных бассейнов Сибири посвящены работы Л. П. Алексеевой, С. В. Алексеева, А. С. Анциферова, М. Б. Букаты, В. И. Вожова, Г. Д. Гинсбурга, А. А. Дзюбы, Ю. Г. Зимина, Г. А. Ивановой, М. К. Калинко, А. А. Карцева, А. Э. Конторовича, Н. М. Кругликова, А. Р. Курчикова, В. М. Матусевича, Д. А. Новикова, Е. В. Пиннекера, Б. П. Ставицкого, С. Л. Шварцева, О. Н. Яковлева и др. Особенности гидрогеологического строения Северо-Аляскинского, Бофорт-Маккензи, Свердрупского, Западно-Гренландского, Восточно-Канадского и других бассейнов рассмотрены в работах H. Baadsgaard, S. Bachu, Z. Chen, C. A. Connolly, K. Dewing, M. Gascoyne, S. E. Grasby, J. S. Hanor, B. Hitchon, Y. Lee, F. J. Longstaffe, J. A. Nunn, C. M. Sauveplane, R. L. Stotler, J. R. Underschultz, L. M. Walter и других.

В настоящем исследовании впервые обобщены материалы гидрогеохимического опробования более 2500 скважин, пробуренных в осадочных бассейнах Арктики (Тимано-Печорский, Западно-Сибирский, Енисей-Хатангский, Анабаро-Хатангский, Северо-Аляскинский и др.). При сравнительном анализе подземных вод осадочных бассейнов Арктики выделяется несколько гидрогеохимических групп (рис. 1). Первая представлена солоноватыми и солеными водами пестрого состава с величиной общей минерализации до 10 г/дм^3. Эти воды повсеместно распространены в водоносных горизонтах зоны активного газоводообмена (гипергенеза) или выявлены в приконтурных зонах углеводородных залежей (конденсатогенные воды). Помимо пестрого химического состава и невысокой минерализации, конденсатогенные воды также характеризуются высокой газонасыщенностью до – 2 л/л и более. Вторая – наиболее многочисленная группа, представлена подземными солеными водами и рассолами хлоридного натриевого, хлоридно-гидрокарбонатного натриевого состава с величиной общей минерализации от 15 до 350 г/дм^3.

Соленые подземные воды с величиной общей минерализации до 70 г/дм^3 (как показывает детальный анализ результатов гидрогеохимического опробования и палеогидрогеологических реконструкций) не связаны с галогенными формациями и относятся по генезису к седиментогенным водам, в различной мере смешанным с литогенными (элизионными). Группа проб воды с величиной общей минерализации 250 – 350 г/дм^3 характеризует генетический тип рассолов выщелачивания каменной соли. Такими же геохимическими параметрами характеризуются рассолы районов проявления соляного тектогенеза в осадочных бассейнах Аликанте (Испания), Заргос (Иран), Северного моря, Свердруп (арктические районы Канады), Северной Германии

и многих других. Хлоридные кальциевые рассолы с величиной общей минерализации более 200 г/дм^3 вскрыты в водоносных горизонтах древней Сибирской платформы, Анабаро-Лаптевского бассейна и кристаллических щитов и их склонов – Анабарского и Канадского (см. рис. 1).

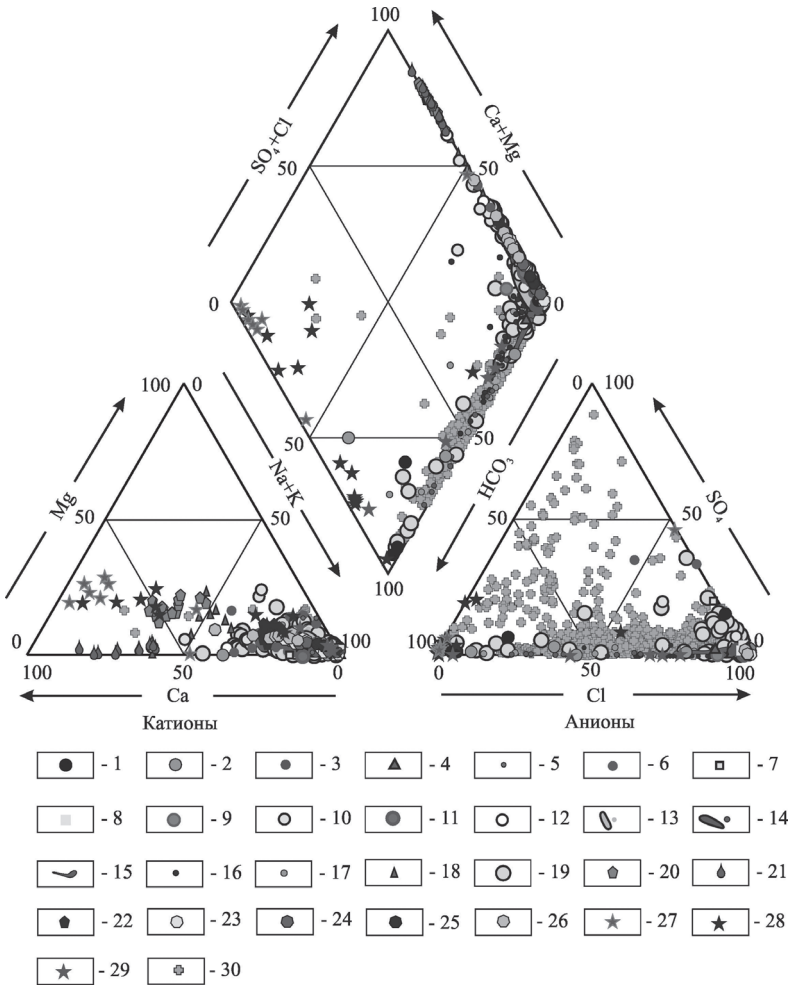


Рис. 1. Диаграмма Пайпера подземных вод осадочных бассейнов Арктики.
Анабаро-Хатангский бассейн (гидрогеологические комплексы): 1 – апт-альб-сеноманский, 2 – неокомский, 3 – верхнеюрский, 4 – нижне-среднеюрский, 5 – триасовых образований, 6 – пермский, 7 – каменноугольных отложений, 8 – девонский, 9 – ордовикский, 10 – венд-кембрийский, 11 – рифейский, 12 – кристаллических пород нижнего протерозоя и архея; Арктические районы Западно-Сибирского бассейна (гидрогеологические комплексы): 13 – апт-альб-сеноманский, 14 – неокомский, 15 – верхнеюрский, 16 – нижне-среднеюрский, 17 – палеозойский; 18 – кембрийские рассолы Сибирской платформы; 19 – рассолы триасового комплекса бассейна Свердруп; 20 – рассолы кембрийских отложений Анабарского щита (южный склон); 21 – рассолы архей-протерозойских отложений Канадского щита; 22 – рассолы верхнедевонско-нижнекаменноугольных отложений Тимано-Печорского бассейна; бассейн Альберта (гидрогеологические комплексы): 23 – меловой, 24 – юрский, 25 – каменноугольных отложений, 26 – девонский; бассейн Атабаска: (гидрогеологические комплексы): 27 – четвертичных отложений, 28 – верхнемеловой горизонт с нефтенасыщенными песками, 29 – верхнемеловой базальный горизонт; 30 – подземные воды и рассолы кайнозойских гидрогеологических комплексов бассейна Бофорт-Маккензи

Установлено, что с ростом степени метаморфизации рассолов значительно изменяется их состав. Так, в изучаемом регионе наиболее метаморфизованные рассолы с повышенным содержанием кальция (отношение Ca/Cl составляет до 0,33 и выше) выявлены в водоносных горизонтах кембрия, венда и рифея Сибирской платформы (рис. 2).

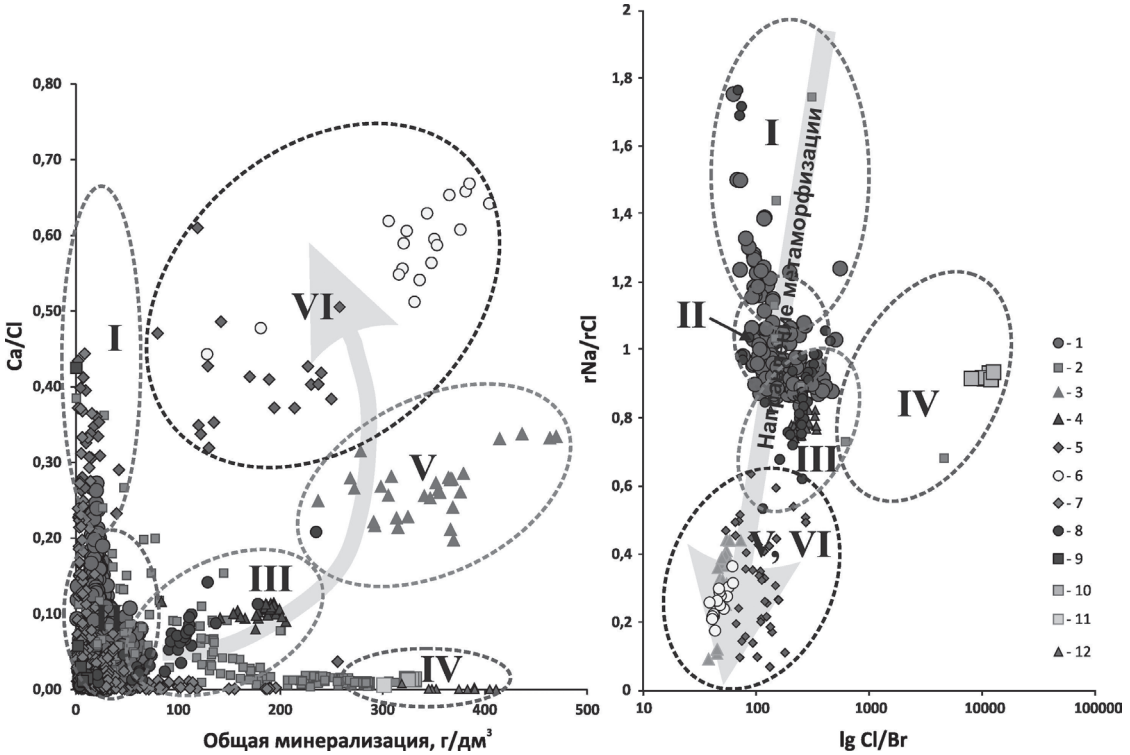


Рис. 2. Зависимость коэффициента метаморфизации Ca/Cl от величины общей минерализации подземных вод (а) и генетического коэффициента rNa/rCl от Cl/Br в подземных водах осадочных бассейнов Арктики:

1 – Западно-Сибирского, 2 – Анабаро-Хатангского, 3 – Восточно-Сибирского (Сибирской платформы), 4 – Тимано-Печорского, 5 –Канадского щита, 6 – Анабарского щита, 7 – Бофорт-Маккензи, 8 – Альберта, 9 – Атабаска и соляных диапиров: 10 – Конарсия, 11 – Пиносо Аликанте и 12 – Горлебен. Генетические группы подземных вод и рассолов: I – зоны активного газоводообмена, II – осадочных бассейнов с отсутствием соленосных отложений, III – осадочных бассейнов с галогенными формациями, IV – районов распространения солянокупольных структур, V –древних осадочных бассейнов с галогенными формациями, VI – кристаллических щитов и их склонов

Подземные соленые воды и рассолы Западной Сибири и других осадочных бассейнов с отсутствием галогенных формаций находятся на самой начальной стадии метаморфизации состава. Отношение Ca/Cl обычно не превышает 0,2, а более высокие значения соотносятся с водами активного газоводообмена в их пределах. Инфильтрогенные рассолы выщелачивания в пределах солянокупольных структур Анабаро-Хатангского бассейна в генетическом плане схожи с современными рассолами выщелачивания солянокупольных структур Ирано-Пакистанского бассейна (Конарсия, Гавбаст) и других.

Среди всех изученных подземных соленых вод и рассолов Арктики наиболее метаморфизованными являются хлоридные кальциевые рассолы Анабарского и Канадского кристаллических щитов и их склонов с минерализацией более 200 г/дм^3. Анализ распределения основных генетических коэффициентов подтверждает это. Величина rNa/rCl составляет 0,1 – 0,6, Cl/Br колеблется в интервале 50 – 150, а отношение Ca/Cl превышает 0,3 (см. рис. 2). Таким образом, выстраивается четкая схема геохимических типов и генетических групп подземных соленых вод и рассолов осадочных бассейнов Арктики: на самой начальной стадии метаморфизации находятся воды пестрого химического состава зоны активного газоводообмена, затем идут подземные воды осадочных бассейнов с отсутствием соленосных отложений, которые в свою очередь сменяются рассолами осадочных бассейнов с галогенными формациями. Заключительным звеном в этой цепи с максимальной степенью метаморфизации выступают рассолы кристаллических щитов архей-протерозойского возраста и их склонов.

Крайне интересными выглядят результаты изучения вертикальной гидрогеохимической зональности осадочных бассейнов Арктики (рис. 3).

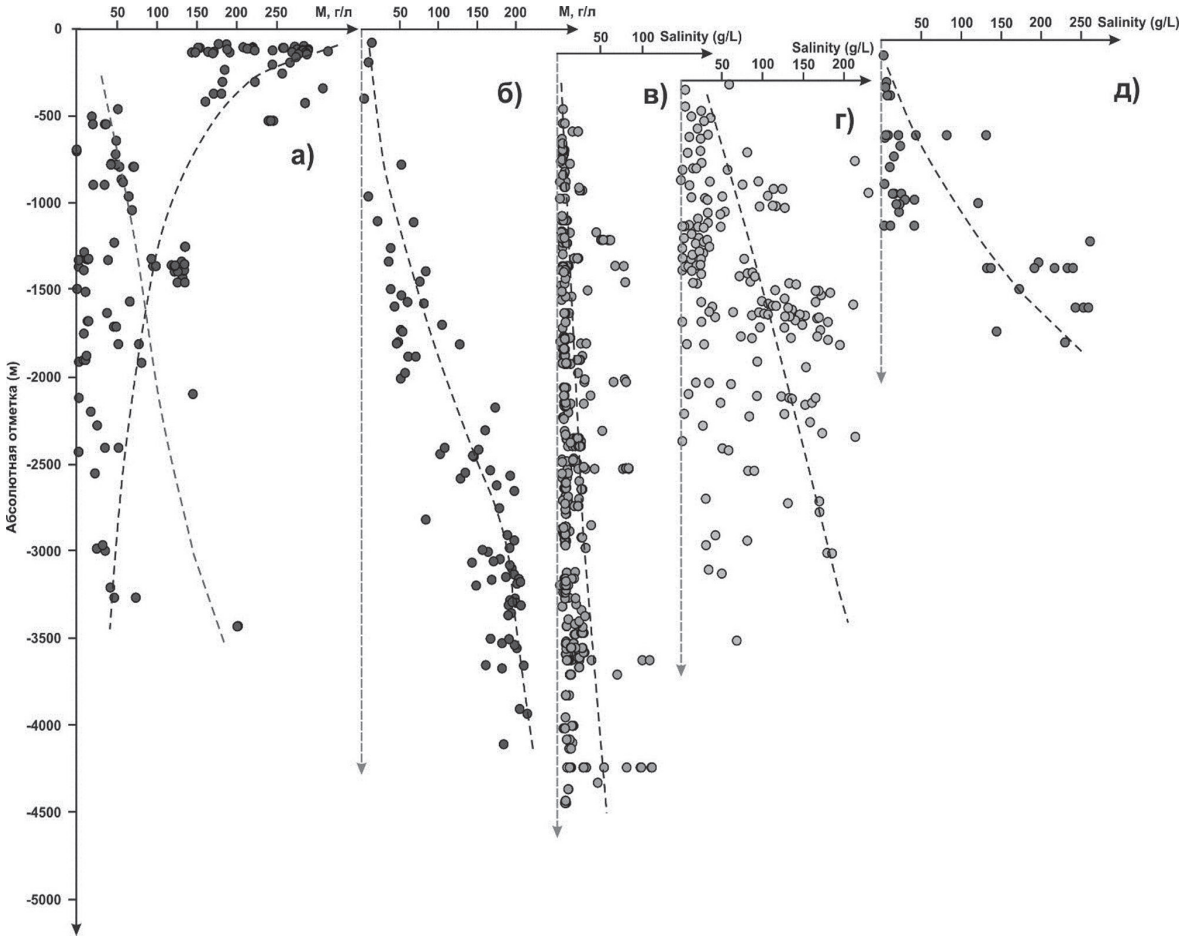


Рис. 3. Изменение минерализации подземных соленых вод и рассолов с глубиной в осадочных бассейнах Арктики с соленосными формациями:
а – Анабаро-Хатангского, б – Тимано-Печорского, в – Бофорт-Маккензи, г – Свердруп, д – Канадского щита

К настоящему времени установлено, что Западно-Сибирский мегабассейн отличается невысокой минерализацией подземных вод и рассолов – до 150 г/дм^3 (в арктической зоне – до 70 г/дм^3), бессульфатностью, значительным содержанием в пластовых водах мезозойского этажа растворенных ОВ и газов углеводородного состава, изменениями гидрогеохимических типов и минерализации подземных вод по площади и в разрезе. При этом каждая из рассматриваемых водонапорных толщ мезозоя характеризуется рядом гидрогеохимических особенностей, обусловленных палеогидрогеологической историей, последующими процессами метаморфизации пластовых вод, а также вертикальной миграцией вод из палеозойского фундамента в осадочный чехол в районах отсутствия мощной вулканогенно-осадочной толщи триаса.

В Арктической зоне Западной Сибири и прилегающих районах Енисей-Хатангского бассейна выявлена широкая область проявления инверсионной гидрогеохимической зональности, проявление которой является следствием геологической эволюции осадочного бассейна и протекающих процессов нефтегазообразования. В расположенном восточнее Анабаро-Хатангском бассейне (см. рис. 3, а) прямой (нормальный) тип вертикальной гидрогеохимической зональности установлен в пределах структур с отсутствием соляных диапиров, а при их наличии также устанавливается инверсионный тип.

Как показали результаты гидрогеохимического опробования скважин, в пределах осадочных бассейнов Сибири процесс восходящей миграции рассолов по зонам тектонических нарушений и литологическим окнам из нижележащих отложений в вышезалегающие горизонты распространен очень широко. Это явление многократно подтверждено во всех осадочных бассейнах Арктики и фиксируется помимо гидрогеохимических аномалий в структуре геотермического и гидродинамического поля более высокими величинами пластовых температур и давлений. Так, в гидрогеологическом разрезе бассейна Бофорт-Маккензи на общем фоне подземных вод с величиной общей минерализации до 50 г/дм^3 в ряде скважин в разных водоносных горизонтах вскрыты рассолы с соленостью более 100 г/дм^3, не характерными для этих отложений (см. рис. 3, в). Такие рассолы хлоридного натриевого состава с величиной общей минерализации 185 – 200 г/дм^3 выявлены в отложениях формации Husky (верхяя юра) на площади Parsons (Бофорт).

Детальный анализ гидрогеологических материалов позволяет сделать следующие выводы:

1) эволюция структуры гидродинамического поля проходила в тесной связи с гидрогеологической цикличностью развития осадочных бассейнов. В настоящее время в регионе имеется два типа природных водонапорных систем: элизионная – во внутренних областях бассейнов и инфильтрационная – во внешних прибортовых;

2) в осадочных бассейнах доминируют подземные соленые воды и рассолы с величиной общей минерализации от 0,2 до 350 г/дм^3 хлоридного-гидрокарбонатного натриевого, хлоридного натриевого и хлоридного кальциевого типов;

3) подземные воды мезозойских отложений Западно-Сибирского, Енисей-Хатангского, Анабаро-Хатангского бассейнов, а также Бофорт-Маккензи и Атабаска находятся на начальной стадии метаморфизации химического состава. Наиболее измененными за счет процессов взаимодействия с вмещающими горными породами и рассеянным органическим веществом являются рассолы Анабарского и Канадского кристаллических щитов и их склонов;

4) современные геохимические особенности подземных соленых вод и рассолов является продуктом длительной геологической эволюции, на которую оказало влияние множество геологических и гидрогеологических факторов, но в первую очередь – многочисленные постседиментационные процессы в системе «вода – порода – газы – ОВ», а также влияние залежей УВ (процессы их формирования и разрушения). Главным же фактором, определяющим современную гидрогеохимию осадочных бассейнов Арктики, является время их взаимодействия с вмещающими горными породами, начиная с момента попадания в осадочных бассейн.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00868).

СТРУКТУРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ С ГУМИДНЫМ КЛИМАТОМ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Норова Л. П.
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, larisanorova@rambler.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются особенности гидрогеологических структур с гумидным климатом в пределах северо-запада Европейской части России на основе эколого-гидрогеологического районирования.

Ключевые слова: Подземные воды, артезианский бассейн, геолого-структурные и климатические факторы, зона пресных вод.

Abstract. This article discusses the features of the hydrogeological structures with humid climate within the north-west European part of Russia on the basis of ecological and hydrogeological zoning.

Key words: ground water, artesian basin, structural and climatic factors, the area of fresh water.

В «Золотой век» отечественной гидрогеологии кафедра гидрогеологии Ленинградского горного института, как и другие кафедры подобного профиля, стала одним из ведущих научно-образовательных центров страны. Во многих регионах Советского Союза проводились научно-исследовательские работы кафедры, связанные с изучением условий формирования минеральных вод, решением проблем водоснабжения некоторых городов, разработкой теории и методики гидрогеохимических поисков рудных месторождений на юге Дальнего Востока [1, 2]. Обширный полигон гидрогеологических исследований находился в Восточной Сибири [3]. Большое место в работах ведущих ученых кафедры занимала Европейская часть России, которая, по словам В. А. Кирюхина, «представляла собой своеобразный гидрогеологический полигон, где решались разнообразные вопросы, связанные с изучением ресурсов подземных вод, разных типов гидрогеологической зональности, выявлением закономерностей распространения и формирования подземных вод…» [4]. Вопросы, связанные с изучением природных ненарушенных гидрогеологических условий на Русской равнине, можно найти и в трудах русских геологов Н. Ф. Погребова, С. Н. Никитина, В. С. Ильина, О. К. Ланге и др. Однако время и деятельность человека во многом изменили объекты гидрогеологического исследования на Европейской части России, появилась необходимость изучения техногенного воздействия на подземные воды [3, 5, 6, 7, 8, 9].

Типизация осадочных бассейнов артезианского типа. Как известно, среди гидрогеологических структур артезианские бассейны (АБ) являются наиболее емкими вместилищами осадочных пород на нашей планете. Типизация осадочных бассейнов артезианского типа проводится по различным признакам, среди которых следует назвать структурно-тектонические, литологические, время заложения фундамента и др. По своему структурно-тектоническому положению АБ классифицируются на две основные группы: платформенных и горно-складчатых областей (таблица).

Специфика основных групп артезианских бассейнов

Артезианские бассейны	
платформенных областей	горно-складчатых областей
значительные размеры (2 – 3 и более млн км^2);	сравнительно небольшие размеры;
большая мощность осадочного чехла (до 3 – 15 км и более);	интенсивная дислоцированность и литолого-фациальная невыдержанность осадочных пород
разнообразное сочетание терригенных, карбонатных и соленосных пород;	глубокая промытость разреза и широкое распространение пресных вод;
значительная протяженность путей движения подземных вод и относительная стабильность гидрогеологических условий;	более активные, по сравнению с платформенными областями, процессы динамики подземных вод и их взаимодействия с окружающей средой
некоторая заторможенность в динамике подземных вод и их взаимодействия с окружающей средой	

Артезианские структуры по времени заложения фундамента разделяются на два типа: древние (допалеозойское время) и молодые (палеозой и позже). Разное время и условия образования осадочного чехла определили направленность гидрогеохимических процессов и сложившуюся гидрогеохимическую зональность. На формирование гидрогеохимической зональности артезианских бассейнов влияли условия седиментации, диагенеза, катагенеза осадочных пород, изменения климата и др.

В бассейнах седиментации происходит аккумуляция осадков и образование водоносных систем. Воды в осадочной толще находятся как в свободном, так и в физически связанном состоянии (примерно в равных соотношениях). Их химический состав унаследовал особенности иловых вод бассейнов седиментации, т.е. гидрогеохимическая обстановка начальных условий формирования зональности АБ определяется химическим разнообразием

морей, озер и рек. При регрессии моря возникает инфильтрационный режим питания подземных вод, фронт инфильтрационных вод оттесняет седиментационные воды, при трансгрессии возникает обратная картина. В истории развития АБ смена водных режимов происходила неоднократно; на начальных этапах развития АБ преобладал седиментационный режим, а на конечных – инфильтрационный.

В зависимости от условий инфильтрационного питания АБ могут делиться на три основных типа, находящихся в условиях гумидного, аридного климата и распростриения многолетней мерзлоты. Общая направленность гидрогеохимических процессов в АБ обусловлена, прежде всего, взаимодействием современных инфильтрационных вод с водопроводящими породами, с образовавшимися ранее древними инфильтрационными и седиментационными водами, а также с возрожденными водами, возникшими при литификации осадочных пород.

В условиях гумидного климата формируется наиболее мощная зона пресных вод, которая на глубине 300 – 500 м и более сменяется зоной соленых вод. В нижней части осадочного чехла, даже при отсутствии в разрезе галогенных отложений, могут быть встречены рассолы автохтонного или аллохтонного происхождения с минерализацией до 150 г/дм^3. Влияние климатических условий на гидрогеологическую обстановку и климатическую зональность АБ обосновал Н. И. Толстихин еще в 1956 году.

Специфическая гидрогеологическая обстановка возникает в эпохи оледенения, когда образуется многолетняя мерзлота, возникает ледовый литогенез, а криогенные процессы управляют фазовыми переходами воды и формированием их химического состава. В истории Земли В. Е. Хаин выделяет 11 циклов оледенения. В каждом цикле оледенения происходила многократная смена этапов похолодания и потепления. Например, на Европейской части России в плейстоцене установлено 8 этапов похолоданий и, соответственно, потеплений. Среднегодовая температура воздуха в период похолоданий опускалась до минус 12 – 15° С. Мощность ледникового покрова достигала 3 – 4 км. Продолжительность межледниковий была в 2 – 3 раза больше ледниковых периодов, а среднегодовая температура воздуха составляла плюс 10 – 12º С. В теплое время образовывались межморенные горизонты мощностью 20 – 30 м. После таяния ледников, деградации многолетней мерзлоты возникали благоприятные условия для формирования зоны пресных вод.

В области аридного климата, на юге Европейской части России формируются грунтовые воды континентального засоления. Поэтому, если в области гумидного климата пресные воды имеют однообразный гидрокарбонатно-магниево-кальциевый состав, то в области аридного климата состав вод становится пестрым. В них, наряду с гидрокарбонатами, значительную долю могут составлять сульфаты и хлориды.

Зоны пресных вод ближе всего залегают к поверхности Земли, и поэтому состояние этой зоны может рассматриваться как своего рода интегральная характеристика «экологического здоровья» или «нездоровья» рассматриваемой территории. Техногенные воздействия на зону пресных вод могут иметь разные причины и последствия, что сказывается на изменении различных гидрогеологических параметров – состава, свойств, ресурсов, уровня, дебита, температуры и других.

Гидрогеологическая характеристика отдельных районов артезианских структур. В 2003 г. В. А. Кирюхин обозначил исходные позиции в обосновании эколого-гидрогеологического районирования Европейской части России, в пределах которой к наиболее крупным платформенным областям с осадочным чехлом относятся Русская, Баренцевоморская плиты [3]. Таких позиций он выделил, по крайней мере, три: 1) система достаточно однородных и близких по литологическим, геофильтрационным, геохимическим и гидрогеологическим параметрам геологических тел; 2) достаточно близкие условия формирования зоны пресных вод; 3) особенности проявления процессов загрязнения подземных вод: естественных, связанных с эволюцией гидрогеологических систем и техногенных, обусловленных воздействием наложенных антропогенных процессов на гидрогеологические системы.

На основе этих принципов в пределах Европейской части России были выделены две группы районов: А) складчатых областей (I – Балтийская, II – Уральская, III – Кавказская); Б) артезианских структур (1 – Северо-западный склон, 2 – Ижорское плато, 3 – Главное Девонское поле, 4 – Карбоновое плато Московской синеклизы, 5 – Северный склон и Мезенская впадина, 6 – Печорская синеклиза, 7 – Волго-Уральская антеклиза, 8 – Прикаспийская синеклиза, 9 – Воронежская антеклиза, 10 – Восточное Предкавказье, 11 – Западное Предкавказье).

В каждом эколого-гидрогеологическом районе техногенные процессы, обусловливающие загрязнение окружающей среды, в широких масштабах развиваются на общем гидрохимическом фоне, созданном природной обстановкой. Этот фон может быть «нормально чистым», а может быть «загрязнен» естественными природными процессами. Техногенное воздействие может не отражаться на гидрогеохимической обстановке, а может оказывать на нее негативное влияние. Ниже приводится краткая характеристика структур с гумидным климатом северо-запада Европейской части России.

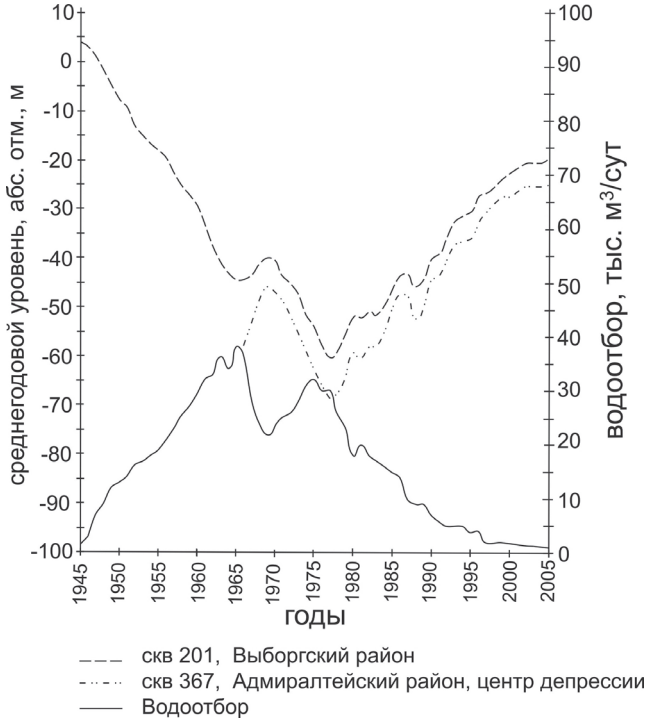
Северо-западный склон. Рассматриваемый район приурочен к Карельскому перешейку и примыкающим к нему бассейнам Ладожского, Онежского озер, Невы и акватории Финского залива. Это северный склон Московского артезианского бассейна. Основные ресурсы пресных подземных вод приурочены к верхней трещиноватой зоне кристаллического фундамента, вендскому водоносному комплексу и четвертичным отложениям (преимущественно межледниковым и ледниковым). Для рассматриваемой территории характерна радоноопасность, связанная с водами и породами кристаллического фундамента, водами базального горизонта венда и зонами глубинных разломов [5, 9].

Интересный материал был получен на основе наблюдений за изменением пьезометрического уровня в нижнекотлинском (гдовском) водоносном горизонте Санкт-Петербурга. По своему генезису это седиментогенные воды хлоридного натриевого состава с минерализацией, постепенно возрастающей по падению водоносного горизонта на юго-восток от 1 г/дм^3 в районе Сестрорецка до 5 – 6 г/дм^3 – к югу от Санкт-Петербурга. Водоносный горизонт перекрыт водоупорными глинами котлинского горизонта венда, размытыми иногда на всю мощность в древних долинах. Первые скважины, пробуренные на этот горизонт в конце 19 века, оказались самоизливающими. Затем, в результате эксплуатации этого горизонта уровень подземных вод постепенно понижался. Максимальный водоотбор (30 – 38 тыс. м^3/сут) был достигнут в 1965 – 1977 гг., что привело к снижению уровня от первоначального положения около 70 м и созданию глубокой депрессионной воронки площадью около 20 тыс. км^2 (рис.). В дальнейшем, вследствие спада промышленного производства водоотбор значительно сократился. В 1995 г. он был равен 5 – 2 тыс., а в 2007 г. – 1,32 тыс. м^3/сут. Снижение водоотбора сопровождалось повышением пьезометрического уровня. К 2007 г. его абсолютная отметка составила –18,6 м и продолжает расти.

Следует отметить, что связь с вышележащими водоносными горизонтами может осуществляться в зонах пересечения тектонических нарушений, с которыми связаны погребенные долины (наиболее глубокие из них на всю мощность пересекают толщу вышележащих глин котлинского горизонта венда).

В зонах пересечения тектонических нарушений растет проницаемость глин. Повышение уровня в нижнекотлинском водоносном горизонте негативно сказывается на условиях эксплуатации объектов метрополитена, канализационных коллекторов и приводит в ряде случаев к авариям при строительстве подземных сооружений. Кроме того, подъем уровня отражается на изменении деформационных свойств горных пород и понижении устойчивости самих инженерных сооружений в пределах депрессионной воронки.

Среди нормируемых компонентов наибольшим содержанием в водах отличаются железо и марганец. Концентрация железа в межморенном водоносном горизонте возрастает с севера на юг и достигает максимальных значений в районе Полюстровского месторождения минеральных вод. К настоящему времени выполнено достаточно большое количество



Динамика водоотбора и изменений пьезометрического уровня подземных вод нижнекотлиноского (гдовского) водоносного горизонта в Санкт-Петербурге

гидрогеологических исследований на этом месторождении. Одними из сложных вопросов являются генезис железистых вод, проблема охраны Полюстровского месторождения [1, 8].

Ижорское плато. Этот район называется также Ордовикское плато, поскольку здесь на поверхность выходит ордовикский водоносный комплекс, содержащий значительные ресурсы подземных вод, которые оцениваются примерно в 400 тыс. м^3/сут. Известняки ордовика выходят на поверхность и закарстованы, поэтому обладают высокой обводненностью. Пресные воды встречаются также в нижележащем кембро-ордовикском водоносном комплексе песков и девонских отложениях, которые перекрывают на некоторых участках ордовикские известняки сверху. Еще в начале XX века Н. Ф. Погребов показал, что водоносные горизонты на Ижорском плато существенно зависят от климатических условий. В засушливые годы ресурсы подземных вод могут значительно уменьшаться, что не позволяет обеспечить стабильное водоснабжение такого большого мегаполиса, как Ленинград. Изучение гидрогеологии Ижорского плато продолжалось и продолжается непрерывно все последующие годы. На основе данных была построена гидрогеодинамическая модель Ижорского плато, что дало возможность рассчитать ресурсы подземных вод [3, 10].

Незащищенность грунтовых вод способствует загрязнению их нитратами, пестицидами и другими продуктами и отходами сельскохозяйственной деятельности.

Главное Девонское поле. Водоносные отложения среднего и верхнего девона образуют своеобразную структуру, область питания которой находится на Ижорском плато, а область разгрузки – в Приильменской впадине (котловина оз. Ильмень). Вещественный состав девонских отложений характеризуется большим разнообразием. Это известняки, доломиты, песчаники, мергели, эвапориты, глины. Поэтому состав пресных вод здесь отличается некоторой пестротой, присутствием сульфатов и хлоридов при общем гидрокарбонатном составе. Мощность зоны пресных вод сравнительно невелика – до 100 – 200 м. Переслаивание водоносных и водоупорных пород создает условия для напорного режима вод, вплоть до самоизлива. Как правило, с глубины 100 м и более вскрываются солоноватые и соленые воды (месторождение Старая Русса). Часто встречаются месторождения сульфатных

вод (питьевых лечебных) и сероводородных вод (месторождение Хилово) [9]. Загрязнение подземных вод имеет очаговый характер. Виды загрязнения – хлоридное, сульфатное, нитратное, нефтяное, микробиологическое и другое. На участках водозаборов формируются депрессионные воронки радиусом до 1 – 2 км.

Карбоновое плато – это центральная часть Московского артезианского бассейна, который характеризуется наибольшей мощностью зоны пресных вод (до 300 – 500 м). Водовмещающими породами являются карбонатные и терригенные породы верхнего, среднего и нижнего карбона. Московский регион является богатейшей кладовой пресных подземных вод. Эксплуатационные ресурсы оцениваются в нем в количестве 8,8 млн $м^3$/сут [11]. Из этого количества отбирается примерно половина, но и этого достаточно для того, чтобы образовались огромные депрессионные воронки, как уже указывалось, и в ряде скважин происходит подтягивание соленых вод, а на других водозаборах качество воды стало ухудшаться, поскольку в скважины поступает загрязненная вода. На территории Москвы возникает ряд неблагоприятных физико-геологических явлений (карст, суффозия, осадка сооружений и др.). Многие из этих явлений обусловлены деятельностью подземных вод.

Время и деятельность человека изменили объекты гидрогеологического исследования, находящиеся в условиях гумидного климата на северо-западе страны. Интересной в связи с этим представляется история изучения Ленинградского месторождения горючих сланцев, Курской магнитной аномалии, подземных вод Северного склона и Мезенской впадины, Печерской синеклизы и Воронежской антеклизы и др. Разнообразие гидрогеологических обстановок связано как с геологической историей развития региона и изменчивостью климатических условий, так и с многообразием физико-химических взаимодействий в системе «вода – порода».

Список литературы

1. Кирюхин, В. А. Гидрогеохимия : учебник / В. А. Кирюхин, А. И. Коротков, С. Л. Шварцев. – М. : Недра, 1993. – 384 с.

2. Кулаков, В. В. Месторождения пресных подземных вод Приамурья / В. В. Кулаков; отв. ред. В. А. Кирюхин / Ин-т водных и экологических проблем ДВО РАН. – Владивосток, 1990.

3. Кирюхин, В. А. Региональная гидрогеология : учебник для ВУЗов. / В. А. Кирюхин. – СПб. : СПГГИ (ТУ), 2005. – 344 с.

4. Кирюхин, В. А. Нестор Иванович Толстихин. Жизненный и творческий путь 1896 – 1992 / В. А. Кирюхин. – СПб : Изд-во НИИЗК СПбГУ, 2006. – 140 с.

5. Грейсер, Е. Л. О возможных источниках радона в подземных водах Ленинградской области / Е. Л. Грейсер, А. Н. Павлов // Тр. Ленингр. гидрометеорolог. ин-та. – Л., 1969. – Вып. 33. – С. 95–104.

6. Кирюхин, В. А. Общая гидрогеология : учебник / В. А. Кирюхин; Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). – СПб, 2008. – 439 с.

7. Коротков, А. И. Среднерусский артезианский бассейн / А. И. Коротков. – Л. : ЛГИ, 1982. – 60 с.

8. Коротков, А. И. К вопросу о формировании химического состава железистых вод / А. И. Коротков, В. А. Ходина // Зональность подземных вод платформенных и горно-складчатых областей. – Л., 1981. – С. 166–169.

9. Редкие типы минеральных вод Среднерусского артезианского бассейна / под ред. А. И. Короткова, А. А. Потапова, В. Г. Румынина. – СПб : Наука, 2013. – 303 с.

10. Кирюхин В. А. Эколого-гидрогеологическое районирование Европейской части России / В. А. Кирюхина, Л. П. Норова // Школа экологической геологии и рационального недропользования : материалы четвертой межвузовской научной конференции (6 – 10 октября 2003). – Санкт-Петербург : СПбГУ, 2003. – С. 28–39.

11. Хордикайнен, М. А. Экологические аспекты отбора пресных подземных вод в Московском регионе / М. А. Хордикайнен // Толстихинские чтения. – СПб : СПГГИ, 1999. – С. 58–62.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОМИНЕРАЛИЗОВАННЫХ ПЛАСТОВЫХ ФЛЮИДОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АГЕНТОВ ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ МИНЕРАЛЬНОЙ И ПОЛИМЕРНОЙ ПРИРОДЫ

Портнягин А. С., Шиц Е. Ю., Федорова А. Ф.
Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, al220282@mail.ru

Аннотация. В работе рассмотрено влияние высокоминерализованных пластовых флюидов на нефтевытесняющие свойства растворов вытеснения минеральной и полимерной природы. В результате проведенных исследований установлено, что применение высокоминерализованного раствора и растворов полиакриламида (ПАА) в качестве агента вытеснения может привести к ухудшению фильтрационно-емкостных свойств породы коллектора. Также установлено, что наибольшей нефтевытесняющей способностью обладают растворы полиэтиленгликоля (ПЭГ) и карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), загущающая способность которых при контакте с высокоминерализованной пластовой водой сохраняется.

***Ключевые слова**: пластовая вода, степень минерализации, совместимость, полиакриламид, карбоксиметилцеллюлоза, полиэтиленгликоль*.

Abstract. In work influence of highly mineralized formation fluids on the petroforcing-out properties of solutions of replacement of the mineral and polymeric nature is investigated. As a result of the conducted researches it is established that use of highly mineralized solution and solutions of polyacrylamide (PAA) as the agent of replacement can lead to deterioration of filtrational and capacitor properties of breed of a collector. It is also established that the greatest petroforcing-out ability solutions of polyethyleneglycol (PEG) and carboxymethylcellulose (CMC) which thickening ability at contact with highly mineralized reservoir water remains possess.

***Key words:** reservoir water, mineralization degree, compatibility, polyacrylamide, carboxymethylcellulose, polyethyleneglycol.*

Пластовые воды – спутники нефтяных и газовых месторождений, представляющие собой сложные растворы, в состав которых входят неорганические соли, газы, растворимые в воде органические вещества. Наличие этих компонентов обусловливает своеобразие физико-химических свойств различных типов подземных вод.

Среди растворенных веществ в пластовых водах преобладают неорганические соли, количество которых определяется величиной общей минерализации. Минерализация пластовых вод колеблется в очень широких пределах. Так, минерализация пластовых вод ряда месторождений Западной Сибири составляет 10 – 20 г/дм^3 [1], на месторождениях нефти Астраханской области и республики Калмыкия этот показатель не превышает 120 г/дм^3 [2, 3], тогда как минерализация пластовых вод нефтяных месторождений Татарстана составляет более 200 г/дм^3.

Наличие большого количества растворенных минеральных солей в попутно добываемых пластовых флюидах негативно сказывается на сроках службы технологического оборудования нефтяных месторождений, а также может при использовании несовместимых с пластовой водой нагнетаемыми в пласт жидкостями приводить к снижению фильтрационно-емкостных свойств породы – коллектора и, соответственно, потере продуктивности добывающих нефтяных скважин.

Нефтяные залежи Юго-Западной Якутии характеризуются значительной минерализацией пластовых вод (>300 г/дм^3) и весьма специфичными особенностями гидрогеологического строения. Кроме того, месторождения нефти обладают редко встречающимися термобарическими параметрами – для них характерна аномально низкая пластовая температура и пластовое давление ($P_{пл)}$. Пластовая температура на глубине 2000 м не превышает 14 – 16° С, что на 40 – 45° С ниже среднестатистических мировых показателей при градиенте температуры, равном 3º С/100 м. Пластовое давление ниже условного гидростатического на 6 – 8 МПа, за исключением Талаканского месторождения [4].

На примере Иреляхского ГНМ рассмотрим влияние высокоминерализованных пластовых флюидов на эффективность агентов вытеснения нефти минеральной и полимерной природы.

В качестве вытесняющих агентов были исследованы:

1. Высокоминерализованный раствор (ВМР), применяемый в качестве раствора вытеснения на Иреляхском ГНМ. Он получен в результате растворения каменной соли из отложений чарской свиты нижнего кембрия (скважина № 1РЭ) водой хвостохранилища обогатительной фабрики АК «АЛРОСА». Общая минерализация составила 284,5 г/дм^3.

2. Водные растворы синтетических и модифицированных природных полимеров различной стоимости, активно применяющиеся в мировой практике при добыче нефти – растворы полиакриламида (ПАА) с концентрацией 0,5, 1 и 2 г/ дм^3 – сополимера акриламида, акриламида и его солей [5].

3. Растворы натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы (Na-КМЦ) с концентрацией 3, 5 и 7 г/дм^3 – простого эфира целлюлозы и гликолевой кислоты, растворы полиэтиленгликоля (ПЭГ) с концентрацией 20, 30 и 50 г/дм^3 [5].

Всестороннее изучение проблемы совместимости пластовых вод и закачиваемого высокоминерализованного раствора с учетом индивидуального химического состава, ионной силы смешиваемых растворов, возможности протекания конкурирующих реакций, а также низких температур позволило авторам установить, что при смешении этих растворов происходит значительное снижение фильтрационных характеристик коллекторов вследствие интенсивной сульфатизации и кальцинирования [6]. Для исключения нежелательного кристаллообразования и ухудшения фазовой проницаемости по нефти, а также повышения эффективности метода гидродинамического воздействия в качестве агентов нефтевытеснения было предложено использовать растворы полимеров.

Результаты исследований показали, что применение растворов ПАА в качестве агента вытеснения нефти из модели коллектора в присутствии высокоминерализованных пластовых вод приводит к резкому и значительному снижению, практически до нулевого, значения коэффициента проницаемости породы-коллектора (рис. 1).

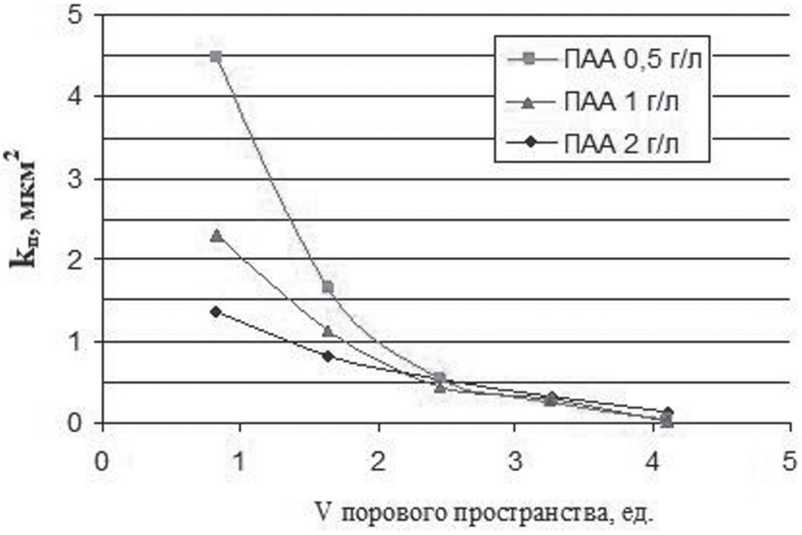
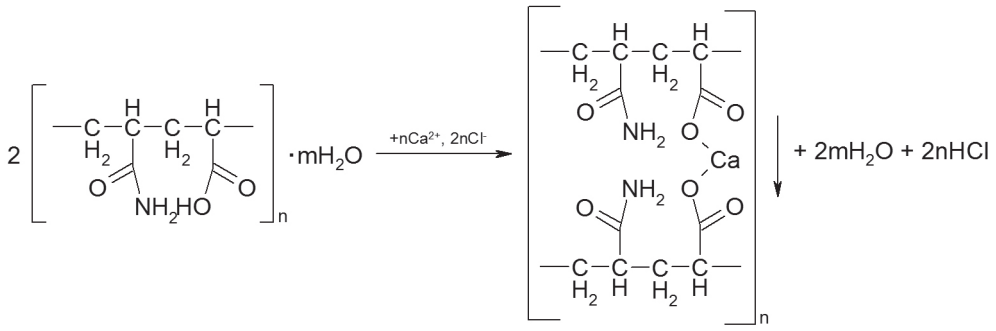


Рис. 1. Зависимость коэффициента проницаемости от объема порового пространства образца породы-коллектора Иреляхского ГНМ РС(Я)

Снижение коэффициента проницаемости связано с конденсацией противоионов на цепи полиона и дегидратацией полисоли в результате взаимодействия в системе «полиион – противоион», то есть с взаимодействием кальция и магния в пластовой воде с амидной группой полимера [7]:



Этот процесс способствует осаждению макромолекул «на себя» с последующей коагуляцией их в макроскопический осадок и закупорке пор породы-коллектора (рис. 2).

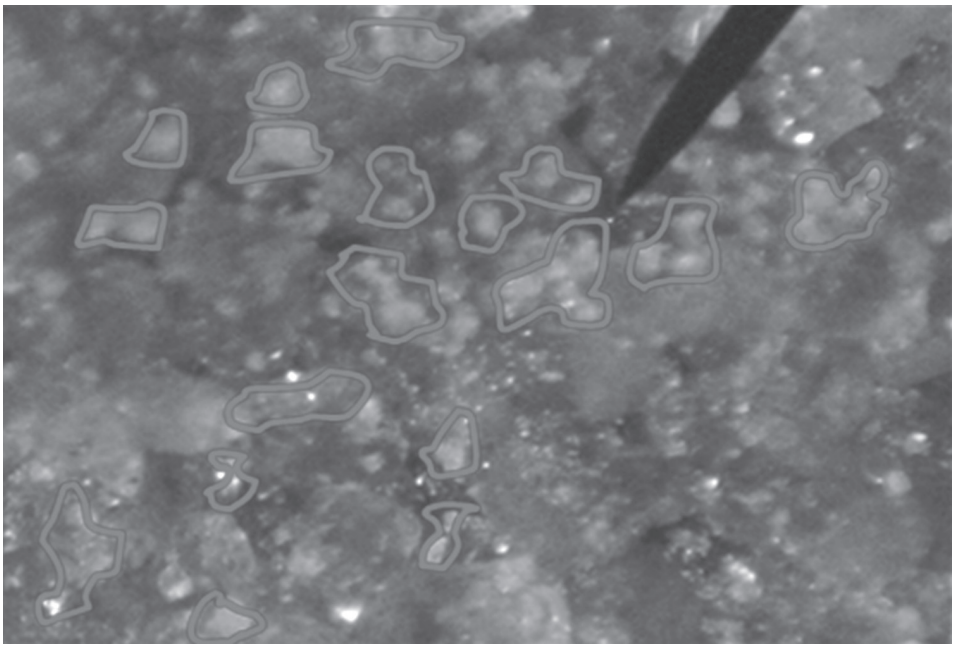


Рис. 2. Вид поверхностей сколов образцов керна (1×45) после вытеснения нефти раствором, содержащим 0,5 г/дм³ ПАА

Таким образом, применение растворов ПАА в качестве агента вытеснения нефти на месторождениях, характеризующихся содержанием катионов двухвалентных металлов > 120 г/дм³ в пластовой воде, приводит к образованию осадка, инверсии первоначальных структур, что не эффективно с технологической точки зрения, и, следовательно, не может быть рекомендовано.

Изучение нефтевытесняющего действия растворов КМЦ и ПЭГ в условиях, приближенных к пластовым, существенного негативного влияния на фильтрационно-емкостные характеристики породы-коллектора не выявило.

Так, количество извлекаемой нефти характеризует вытесняющую способность агента вытеснения. В результате проведенных исследований нефтевытесняющих свойств исследуемых растворов в имитированных условиях низких пластовых температур, а также в присутствии остаточной пластовой воды установлено, что из исследуемых растворов наилучшими нефтевытесняющими свойствами обладают растворы ПЭГ (30 г/дм³) и КМЦ (7 г/дм³) с коэффициентами вытеснения равными 0,68 и 0,654 соответственно (таблица). Сопоставление нефтевытесняющих свойств растворов КМЦ и ПЭГ с соотношением вязкости нефти к вязкости смеси растворов полимеров с пластовой водой ($\mu_н/\mu_{в+пв}$) показало, что максимальные

значения коэффициента нефтевытеснения растворов КМЦ следует ожидать у растворов, значения $\mu_н/\mu_{в+пв}$ которых находятся в диапазоне от 3,3 до 4,7, а для растворов ПЭГ – в диапазоне от 4,24 до 5,5.

Установлено, что в условиях месторождений, характеризующихся специфическими условиями, применение растворов КМЦ с концентрацией 5 г/л, ПЭГ 30 г/л позволяет более чем на 50% повысить коэффициент вытеснения нефти относительно минерализованного раствора вытеснения и растворов ПАА всех концентраций, для которых, как было установлено, коэффициент вытеснения варьируется от 0,37 до 0,405. Полученный результат можно объяснить тем, что вязкость растворов ПАА в процессе его взаимодействия с пластовой водой резко снижается в результате коагуляции макромолекул ПАА в нерастворимый осадок на 25 – 95% (таблица). Снижение вязкости раствора полимера также ведет к увеличению значения $\mu_н/\mu_{в+пв}$ до 8 – 9 единиц, что находится на одном уровне со значениями $\mu_н/\mu_{в+пв}$ для высокоминерализованного раствора.

Физико-химические свойства исследуемых растворов вытеснения

Показатели	ВМР	ПАА			КМЦ			ПЭГ		
Концентрация растворенного вещества, г/дм^3	284,5	0,5	1	7	3	5	7	20	30	50
Соотношения вязкости нефти и исследуемого раствора при 10° С ($\mu = \mu_н/\mu_в$)	8,17	6,13	3,78	0,41	5,7	5,3	4,1	5,8	4,1	3,3
Изменения вязкости исследуемого раствора при смешении с пластовой водой, % (минерализация 400 г/дм^3)	– 5	– 25	– 50	– 95	+ 12	+ 12	+ 24	– 2	– 3	– 14
Соотношения вязкости нефти и исследуемого раствора при 10° С ($\mu = \mu_н/\mu_{в+пв}$) при смешении с пластовой водой	8,64	8,17	7,51	8,91	5,10	4,71	3,31	6,01	4,24	3,84
Коэффициент вытеснения, доли единиц	0,4	0,405	0,4	0,37	0,49	0,68	0,65	0,5	0,654	0,62

Загущающая способность ПЭГ и КМЦ, в отличие от ПАА, при контакте с пластовой водой сохраняется. При смешении растворов ПЭГ с модельными пластовыми водами снижение вязкости растворов составляет не более 20% (см. таблицу). Смешение же растворов КМЦ с модельными пластовыми водами приводит к повышению вязкости растворов до 25%, свидетельствующее о протекании процесса «всаливания», которое обусловлено связыванием кальция и магния, содержащихся в пластовой воде, с карбоксильными анионами КМЦ [8].

Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что предлагаемые растворы вытеснения на основе КМЦ практически не деструктируют в пластовых условиях и могут быть рекомендованы для применения на нефтяных месторождениях, характеризующихся высокой степенью минерализации пластовых вод, в то время как растворы на основе ПАА химически не совместимы с высокоминерализованными пластовыми водами.

В тех случаях, когда величина соотношения вязкости нефти и вытесняющего агента находится в пределах 3,5 – 5,5 единиц, по реологическим характеристикам существует оптимум, соответствующий максимальному вытесняющему воздействию на нефтяной пласт. Однако

увеличение значений $\mu_н/\mu_{в+пв}$ ведет к существенному снижению вытесняющей способности раствора вытеснения. Так как эффективность полимерного воздействия во многом определяется реологическими характеристиками полимерных растворов, при планировании методов увеличения нефтеотдачи, основанных на закачке в пласт водополимерных растворов, возможно ограничиться определением их вязкости при температурах эксплуатации с учетом влияния высокоминерализованных пластовых флюидов.

В результате комплексных исследований, проведенных в лабораторных условиях, установлено, что водорастворимые полимеры могут являться технологической альтернативой высокоминерализованным растворам вытеснения. В качестве базового вытесняющего агента для совершенствования метода заводнения на месторождениях Юго-Западной Якутии рекомендуется использование раствора карбоксиметилцеллюлозы с концентрацией 5 г/дм^3.

Список литературы

1. Зубков, М. Ю. Оценка степени достоверности определения минерализации пластовых вод на примере Дружного, Ловинского, Нивагальского и Покачевского месторождений (Западная Сибирь) / М. Ю. Зубков, Р. В Коваленко., Н. Ф. Улыбина // Горн. ведомости. – 2008. – № 2. – С. 34–39.

2. Сангаджиева, Л. Х. Химический состав пластовых вод и их влияние на загрязнение почвы / Л. Х. Сангаджиева, Д. Э. Самтанова // Геология, география и глобальная энергия. – 2013. – № 3 (50). – С. 168–178.

3. Масленников, А. И. Особенности солевого состава пластовых вод Астраханского газоконденсатного месторождения / А. И. Масленников, Ж. В. Калашник // Вестник Астраханского Государственного технологического университета. – 2008. – № 6. – С. 116–118.

4. Крец, В. Г. Основы нефтегазового дела : уч. пособие / В. Г. Крец, А. В. Шадрина. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 200 с.

5. Энциклопедия полимеров / Ред. : В. А. Кабанов [и др.]. – М. : Советская энциклопедия. – 1974. – Т. 1. – 1224 с.

6. Шиц, Е. Ю. Исследование совместимости пластовой воды Иреляхского ГНМ с агентами поддержания пластового давления / Е. Ю. Шиц [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2008. – № 1. – С. 82–86.

7. Тагер, А. А. Физико-химия полимеров / А. А. Тагер. – М. : Химия, 1968. – 545 с.

8. Бектуров, Е. А. Синтетические водорастворимые полимеры в растворах / Е. А. Бектуров, З. Х. Бакаукова. – Алма-Ата : Наука, 1981. – 248 с.

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЛЕНО-АНАБАРСКОЙ И ЛАПТЕВСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ОБЛАСТЕЙ

Садыкова Я. В.
Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН,
г. Новосибирск, SadykovaYV@ipgg.sbras.ru

Аннотация: На основе комплексной интерпретации материалов ГИС глубоких скважин, документации керна, химического анализа подземных вод, данных по стратиграфии, литологии, седиментологии, гидрогеологии зоны сочленения Лено-Анабарской и Лаптевской нефтегазоносных областей выполнена детальная гидрогеологическая стратификация. Выделены гидрогеологические этажи, ярусы, комплексы, водоносные и водоупорные горизонты. Приведены их литологические и гидрогеохимические характеристики, обоснованы причины выделения. Представлен типовой состав подземных вод основных гидрогеологических комплексов.

Ключевые слова: *гидрогеологическая стратификация, водоносные и водоупорные горизонты, северо-восточные районы Сибирской платформы.*

Abstract: The detailed hydrogeological stratification of Lena-Anabar and Laptevih oil and gas areas was constructed on the basis of complex interpretation of well logging data, results of core description and

hydrogeochemical analysis of ground waters and the data of stratigraphy, lithology, sedimentology, geology and hydrogeology. The hydrogeological stages, complexes, aquafers and seals were allocated. Their lithological and hydrogeochemical characteristics are given here; the causes of their allocation are substantiated. The typical ground water composition of main aquafers is presented.

Key words: *hydrogeological stratification, aquafers and seals, North-Eastern part of the Siberian craton.*

Планомерное изучение геологического строения, гидрогеологии и нефтегазоносности северо-восточных районов Сибирской платформы проводилось с середины прошлого века. Начало этих работ связано с открытием на полуострове Нордвик скопления нефти. Однако, несмотря на многочисленные признаки нефтегазоносности, устойчивых промышленных притоков нефти и газа получено не было. В связи с этим изучение территории практически прекратилось до недавнего времени, когда резко возрос интерес к геологии Арктики и морям Северного Ледовитого океана.

К настоящему моменту накоплен большой объем геологической, геофизической, геохимической, литологической, гидрогеологической информации о северо-восточных районах Западной Сибири и западной части Енисей-Хатангского прогиба, но его восточная часть – Анабаро-Хатангская седловина и Лено-Анабарский прогиб – изучены недостаточно.

В результате детального анализа имеющейся информации по стратиграфии, литологии, седиментологии, гидрогеологии, данных интерпретации ГИС глубоких скважин, автором выполнена детальная гидрогеологическая стратификация зоны сочленения Лено-Анабарской и Лаптевской нефтегазоносных областей (НГО), выделены основные гидрогеологические таксоны: этажи, ярусы, комплексы и горизонты, прослежено их распространение как по площади, так и по разрезу. Основными критериями выделения водоносных и водоупорных толщ в разрезе являлся литолого-минералогический состав пород и их физические свойства.

Исследуемый регион слабо изучен глубоким бурением. Имеются материалы по отдельным скважинам Улахан-Юряхской, Усть-Оленекской, Бурской, Хастахской, Чарчыкской площадей и данные колонкового бурения на Улахан-Юряхской структуре. Поэтому были также проанализированы дела скважин, результаты исследований керна и испытания водоносных горизонтов Нордвикской, Чайдахской, Южно-Тигянской, Улаханской и других площадей в пределах Анабаро-Хатангской НГО. Также использовано описание разрезов палеозойских и мезозойских обнажений, выполненных сотрудниками ИНГГ СО РАН во время проведения полевых работ.

В пределах рифейского, верхнепротерозойского и фанерозойского эонов выделены два гидрогеологических этажа: верхний, приуроченный к зоне активного водообмена, и нижний – затрудненного и застойного водообмена. Гидрогеологические комплексы согласно их приуроченности к крупным стратиграфическим подразделениям (эрам, эонам) объединены в верхнепротерозойский (рифейский и вендский), палеозойский (кембрийский-пермский), мезозойский (триасовый-меловой) и кайнозойский ярусы.

Анализ фактического материала позволил выделить 10 гидрогеологических комплексов: рифейский, вендский, кембрийский, ордовикский, силурийский, пермский, триасовый, юрский, меловой – в пределах нижнего гидрогеологического этажа и четвертичный – в пределах верхнего этажа, а также водоносные и водоупорные горизонты. Названия горизонтам присвоены согласно общепринятым наименованиям стратиграфических ярусов.

Архей-мезопротерозойский гидрогеологический комплекс, возможно, существует, однако он не вскрыт бурением в пределах изученных площадей. Поэтому на стратификационной схеме комплекс не выделен. Тем не менее, архей-протерозойские отложения вскрыты на Костроминской площади (Анабарская НГО). В литологическом составе преобладают гнейсы, кристаллические сланцы, карбонатные отложения, прорванные интрузиями основного состава. В результате испытания получены притоки подземных вод с минерализацией 77,5 г/дм^3

хлоридного натриево-кальциевого состава. Содержание (г/дм^3) натрия и калия достигает 19,1, магния – 0,5, кальция – 9,5, хлора – 47,5, гидрокарбонат-иона – 0,7, сульфат-иона – 0,1, брома и йода – не превышает 10 мг/дм^3 (таблица).

Типовой состав подземных вод нижнего гидрогеологического этажа Лено-Анабарской и Лаптевской НГО

Гидрогеологический комплекс	Скважина	Дебит скв., м^3/сут	M	Ca”	Mg”	Na’+K’	Cl’	HCO3”	SO4”
			г/дм^3						
Архей-протерозойский	Костромин ская 1	33,6	77,5	9,50	0,48	19,2	47,6	0,7	0,12
Рифейский	Хастахская 930	687	42,1	1,60	0,02	12,8	26,9	0,7	0,20
Кембрийский	Хастахская 930	395,5	12,7	0,20	0,12	4,5	7,0	0,4	0,41
Ордовикский	Усть-Оленекская 237	34,8	32,7	1,40	0,12	10,6	17,2	3,4	0,00
Каменноугольный	Южно-Суолемская 10	16	23,0	1,24	н/о	7,3	10,6	0,3	3,62
Пермский	Хастахская 930	3,7	38,2	0,57	0,14	14,0	22,4	1,0	0,07
	Северо-Суолемская 1	1,96	11,5	0,01	0,01	6,8	1,7	1,2	1,78
Юрский	Рассохинская 1	163	13,8	0,10	0,03	5,2	7,7	0,7	0,05
Меловой	Среднепясинская 1	4,2	3,1	0,00	н/о	1,2	1,3	0,6	0,02

Примечание: М – общая минерализация, н/о – измерения не проводились.

Рифейский гидрогеологический комплекс изучен в ходе бурения и испытания Хастахской 930 и Бурской 3410 скважин, вскрывших верхнерифейские осадки лахандинской эры [1]. Снизу-вверх выделяются тукуланская, куладинская и хастахская свиты. Рифейские осадки представлены переслаивающимися доломитами с аргиллитами, алевролитами и песчаниками [2]. Суммарная мощность осадков достигает 1000 м. Все проницаемые верхнерифейские породы объединены в верхнелахандинский водоносный горизонт, а глинистые отложения нижней части тукуланской свиты включены в нижнелахандинский водоупорный горизонт.

Из отложений куладинской свиты в скважине Хастахская 930 получен приток воды дебитом 687 м^3/сут. Подземные воды имеют хлоридный натриевый состав (по С. А. Щукареву) с минерализацией 42 г/дм^3. Содержание (г/дм^3) натрия и калия достигает 12,8, магния – 0,02, кальция – 1,6, хлора – 26,9, гидрокарбонат-иона – 0,7, сульфат-иона – 0,2, брома – 43,8 мг/дм^3, йода – 9,5 мг/дм^3. В скважине Бурская 341 из отложений хастахской свиты получен приток с дебитом 6,2 м^3/сут. Кроме того, предположительно рифейский гидрогеологический комплекс вскрыт скважинами на Ледянской, Северо-Суолемской и Хорудалахской площадях в пределах Анабаро-Хатангской НГО. При испытании скважин из него получены притоки подземных вод дебитом, достигающим 166 м^3/сут.

Вендский гидрогеологический комплекс представлен осадками песчаниковой толщи и верхневендских туркутской, чарчыкской и маттайской свит, которые вмещают эдиакарский, верхне- и нежненемакит-далдынский водоносные горизонты. Глинистые осадки чарчикской свиты относятся к средненемакит-далданскому водоупорному горизонту. Отложения венда вскрыты скважинами Хастахская 930, Чарчикская 1, Бурская 3410 и Усть-Оленекская 2370, пробуренными в пределах Лено-Анабарского прогиба. В скважине Бурская 3410 из маттайской свиты получен приток воды с дебитом 68,1 г/дм^3.

Кембрийский гидрогеологический комплекс вскрыт множеством скважин в пределах Анабаро-Хатангской седловины и Лено-Анабарского прогиба. Анализ строения кембрийских осадков показал наличие многочисленных несогласий в пределах всего разреза. Вероятно, отсутствие нижнекембрийских осадков обусловлено многочисленными трансгрессиями и размывом накопившихся ранее осадков. Границы комплекса в настоящее время не определены.

Скважинами, пробуренными в пределах Хастахской, Бурской и Чарчикской площадей, вскрыт весь разрез кембрия. Снизу-вверх выделены еркекетская (чускунская) свита, доломитовая толща, тюессалинская и лапарская свиты. На территориии Анабаро-Хатангской седловины вскрыты только отложения среднего кембрия. В кембрийской части разреза выделены соответственно атдабанско-тойонский и аюсокканско-аксайский водоносные горизонты, и разделяющие их томмотский и амгинско-майский водоупоры.

Из отложений доломитовой толщи в скважине Хастахская 930 получен приток хлоридных натриевых вод с минерализацией 12,7 г/дм^3 и с дебитом 395,5 м^3/сут. Содержание (г/дм^3) натрия и калия составляет 4,5; магния – 0,12; кальция – 0,2; хлора – 7,0; гидрокарбонат-иона – 0,4; сульфат-иона – 0,4; брома – 26,3 мг/дм^3; йода – 12,7 мг/дм^3. Кроме того, приток из кембрийских осадков получен из скважин на Северо-Суолемской и Костроминской площадях.

Ордовикский гидрогеологический комплекс. Ордовикские отложения вскрыты в северной части Лено-Анабарской НГО скважиной Усть-Оленекская 2370. Отложения нижнего ордовика отсутствуют. Средний ордовик, с несогласием залегающий на вендских осадках, представлен хара-сырской толщей. Верхний ордовик разделяется на курупахскую и буор-сырскую толщи, вмещающие лланвирнско-ашгильский водоносный горизонт мощностью до 600 м. Вещественный состав ордовикских толщ и их фильтрационно-емкостные свойства идентичны. Породы представлены переслаивающимися сероцветными скрытокристаллическими доломитами, известняками и известковистыми мергелями. Локальными водоупорами могут служить широко развитые алевритисто-глинисто-мергелистые прослои. На юге Лено-Анабарской НГО отложения ордовика отсутствуют.

При испытаниях ордовикского комплекса (курпахская и буор-сырская свиты) был получен приток воды с дебитом 34,8 м^3/сут. Воды хлоридные натриевые с минерализацией 32,75 г/дм^3. Содержание (г/дм^3) натрия и калия достигает 10,6, магния – 0,12, кальция – 1,4, хлора – 17,2, гидрокарбонат-иона – 3,4.

Силурийский гидрогеологический комплекс вскрыт скважиной Усть-Оленекская 2370 в отложениях сабрыняхской свиты. Свита представлена переслаивающимися серыми известковистыми доломитами и доломитистыми, глинистыми известняками мощностью до 180 метров. Отложения девона и карбона, широко развитые на полуострове Юрюнг-Тумус, в пределах Лено-Анабской НГО отсутствуют повсеместно. Проследить их распространение в Лаптевской НГО в настоящее время не представляется возможным.

Пермский гидрогеологический комплекс вскрыт скважинами на Южно-Тигянской, Чайдахской, Улаханской, Северо-Суолемской, Южно-Соулемской, Хастахской, Чарчикской, Усть-Оленекской и других площадях в терригенных и вулканогенных образованиях. Нижнепермские отложения тустахской (джаргалахской), нижнекожевниковой (бурской) свит вмещают ассельско-уфимский водоносный горизонт. Джагалахская и бурская толщи выделяются в пределах Чарчикской и Хастахской площадей, а тустахская и нижнекожевниковая свиты – в пределах Усть-Оленекской площади и Анабаро-Хатангской седловины.

Отложения верхнекожевниковой и мисайлапской свитами верхней перми вскрыты скважиной Усть-Оленекская 2370. Верхнекожевниковая свита образует казанский водоупорный горизонт, а вышезалегающая мисайлакская – нижнетарский водоносный. Разрез замыкает эффузивно-туфовая свита, выделяемая только в пределах Анабаро-Хатангской седловины и относящаяся к верхнетатарскому водоупору.

Воды пермского комплекса в пределах Хастахской и Северо-Суолемской площадей разнообразны по своему химическому составу, что связано, вероятно, с различными условиями седиментации. Кроме того, приток получен на Чайдахской, Южно-Тягянской и других площадях в пределах Анабаро-Хатангской НГО. В пределах комплекса вскрываются хлоридные натриевые, хлоридно-сульфатные натриевые, хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые, хлоридные натриево-кальциевые типы вод. Минерализация воды составляет 11,5 – 66 г/дм^3. Содержание основных макро- и микрокомпонентов изменяется пропорционально солености

подземных вод. Сумма натрия и калия колеблется от 6,8 до 17,5 г/дм^3, магния – от 0,01 до 0,89, кальция – от 0,01 до 7,92, хлора – от 1,7 до 39,9, гидрокарбонат-иона – 0,09 до 1,22.

Триасовый гидрогеологический комплекс. Триасовые отложения широко распространены [3]. Нижний триас представлен улахан-юряхской, чековской (терютехской), ыстанахской и пастахской свитами, которые выклиниваются в западном направлении. Отложения улахан-юряхской свиты вмещают индский водоносный горизонт, а вышезалегающие отложения слагают оленекский водоупорный.

Средний триас представлен улахан-крестовской свитой и ее возрастными аналогами гуремисской и анабарской, вмещающими анизийско-ладинский водоносный горизонт.

В пределах верхнего триаса выделяются нижнекорнийский водоупорный горизонт, соответствующий осадкам осипайской свиты, и верхнекорнийско-рэтский, объединяющий тумулскую и чайдахскую свиты.

Триасовый комплекс вскрыт многочисленными скважинами на полуострове Юрюнг-Тумус (Нордвикская, Кожевниковская и другие площади). Подземные воды характеризуются высокими значениями общей минерализации, достигающими 400 г/дм^3. Они являются рассолами выщелачивания девонского соленосного комплекса, распространенного в пределах данного региона.

Юрский гидрогеологический комплекс. Нижне-среднеюрские отложения представлены кыринской, келимярской и чекуровской свитами. Кыринская и келимярская свиты сложены преимущественно глинистыми породами с редкими прослоями алевролитов суммарной мощностью 500 м. Они маркируют геттанг-нижнебатский водоупорный горизонт. Чекуровская свита, сложенная песчаными алевролитами и алевритовыми песчаниками, вмещает батский водоносный горизонт мощностью до 200 м.

Морские отложения верхней юры сложены терригенными породами с преобладанием алевролитов и аргиллитов. На исследуемой территории выделяется буолкалахская свита, представленная алевролитами и глинами мощностью до 250 м. Она вмещает кимеридж-берриасский водоупорный горизонт, отделяющий меловой комплекс от юрского.

Подземные воды юрского комплекса изучены на Рассохинской площади. По составу они преимущественно хлоридные натриевые с минерализацией от 8,9 до 15,2 г/дм^3. Концентрация йода изменяется в интервале 10 – 20 мг/дм^3, брома – 30 – 60 мг/дм^3, бора – до 10 мг/дм^3.

Меловой гидрогеологический комплекс. Нижнемеловые отложения иэдесской, салгинской и лукумайской свит – песчанистые, с прослоями алевролитов, аргиллитов и углей. По своим фильтрационно-емкостным свойствам могут быть отнесены к единому валанжинальбскому водоносному горизонту мощностью до 800 м [4]. Приток получен на Массоновской и Средне-Пясинской площадях. По химическому типу преобладают воды хлоридного натриевого, гидрокарбонатно-хлоридного натриевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриево-кальциевого состава. Величина общей минерализации изменяется от 2,7 до 3,3 г/дм^3. Отложения верхнего мела отсутствуют.

Кайнозойский гидрогеологический ярус представлен четвертичным гидрогеологическим комплексом. Палеогеновые и неогеновые отложения в пределах исследуемого региона отсутствуют.

Четвертичный гидрогеологический комплекс широко распространен. Отложения по данным колонкового бурения представлены песками, суглинками, супесями суглинистыми, рыхлыми, с включениями растительных остатков, торфа. Повсеместно наблюдаются включения льда в виде слоев и многочисленных линз. В пределах Анабаро-Ленской зоны комплекс практически не изучен, поскольку мощность сезонноталого слоя не превышает 50 см, т.е. водовмещающие породы комплекса повсеместно проморожены. По химическому составу подземные воды в основном гидрокарбонатные кальциевые, с минерализацией до 0,1 – 0,2 г/дм^3.

Таким образом, в пределах Лено-Анабарской и Лаптевской НГО выявлены подземные воды разного химического состава, распространенные в различных гидрогеологических

комплексах – от рифейского до четвертичного. Во всех комплексах нижнего гидрогеологического этажа доминируют хлоридные натриевые воды (по С. А. Щукареву) с величиной общей минерализации от 3 до 70 г/дм^3. Воды каждого комплекса имеет свои особенности в распределении основных макро- и микрокомпонентов, концентрация которых напрямую зависит от величины их солености. По мере роста минерализации подземных вод происходит закономерное увеличение содержания хлора, натрия, магния, кальция, калия, брома, иода, бора и аммония. При минерализации вод 15 – 20 г/дм^3 и более в них происходит снижение содержания гидрокарбонат-иона. В целом в разрезе доминируют воды с минерализацией до 35 г/дм^3, среди рассолов преобладают слабые (50 – 100 г/дм^3).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00868).

Список литературы

1. Граусман, В. В. Стратиграфия верхнего докембрия и нижнего кембрия Оленекского поднятия / В. В. Граусман, В. А. Рудавская, Н. И. Васильева // Отечественная геология. – 1996. – № 8. – С. 30–35.

2. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Рифей и венд Сибирской платформы и ее складчатого обрамления / Н. В. Мельников [и др.]. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2005. – 428 с.

3. Стратиграфия нефтегазоносных бассейнов Сибири. Триасовая система / А. М. Казаков [и др.]. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2002. – 322 с.

4. Решения 3-го Межведомственного регионального стратиграфического совещания по мезозою и кайнозою Средней Сибири. – Новосибирск, 1981. – 91 с.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД МОНГОЛИИ В ОБЛАСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

Сурмаажав Д[1]., Цэренжав Д.[2]
[1]Гидрогеологическая и геоэкологическая компания «Экогидрогеотехник», г.Улаанбаатар, surmaajavdamdin@yahoo.com;
[2]Институт геоэкологии АН Монголии, г.Улаанбаатар

Аннотация. В настоящей статье рассматриваются особенности, условия формирования и распределения подземных вод Монголии в высотных поясах прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород. На основании мерзлотно-гидрогеологического анализа выделены талики, приуроченные к тектоническим нарушениям, к руслам крупных рек и крутым скалистым склонам южной экспозиции.

Ключевые слова: *надмерзлотные, межмерзлотные, подмерзлотные воды, подземные воды несквозных и сквозных таликов.*

Abstract. This article discusses the features of the conditions of formation and distribution of groundwater in Mongolia in altitudinal belts intermittent and continuous distribution of permafrost. Within this zone permafrost cover more than 80% of the territory. On the basis of permafrost-hydrogeological analysis highlighted taliks confined to major tectonic faults, to the beds of large rivers and steep rocky slopes with southern exposure.

Key words: *upper-, intra-, subpermafrost ground waters, ground waters of closed and open taliks.*

Монголия расположена в Центральной Азии. Зимой в условиях антициклинальной погоды на большей части территории создаются благоприятные условия для выхолаживания земной поверхности. В результате происходит глубокое сезонное промерзание горных пород в пределах

всей Монголии, достигающее 1,4 –5,0 м. С увеличением абсолютной высоты местности влажность горных пород возрастает, а поступление тепла сокращается до 1 ккал/см^2. Поэтому размеры островов и массивов многолетнемерзлых пород с высотой увеличиваются, и они встречаются все чаще. По этим данным на территории Монголии выделяются пять высотных геокриологических поясов: спорадического, редкоостровного, островного, прерывистого и сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород. Многолетнемерзлые породы занимают в Монголии сравнительно небольшую площадь – не более 15% ее территории. Из них 40 – 80% – многолетнемерзлые породы имеют прерывистое распространение и более 80% – сплошное [1].

Распространение подземных вод в области многолетнемерзлых пород зависит от зональных и высотно-поясных особенностей теплообмена, а также литологии горных пород (состав, генезис и свойства), рельефа, экспозиции склонов, геолого-тектонического строения, интенсивности новейших движений, сейсмичности, мерзлотно-гидрогеологической структуры и др.

По отношению к мёрзлым породам подземные воды можно подразделить на 4 типа:

Надмерзлотные воды. Сезоннопромерзающие надмерзлотные воды Монголии по-своему режиму могут быть определены как верховодка. Питание происходит за счёт атмосферных осадков и поверхностных водотоков. По направлению на юг длительность существования надмерзлотного водоносного горизонта увеличивается до 6 – 8 месяцев, воды двигаются в направлении уклонов поверхности рельефа. В январе-марте промерзание деятельного слоя достигает максимума. Воды деятельного слоя изолированы снизу и сверху мерзлыми породами, при замерзании формируют бугры пучения и наледи.

Воды таликов. *Воды несквозных таликов.* Месторождения для водоснабжения самона Ринчинлхумбэ Хубсугульского аймака, приуроченные к склонам южной экспозиции, относятся к поровым и трещинным коллекторам конусов выноса. Подземные воды движутся обычно в соответствии с уклоном местности и имеют преимущественно сезонное питание. Вследствие этого их уровень зимой значительно снижается и может происходить полное истощение водоносного горизонта. Разгружаются они в виде нисходящих источников, образующих в начале зимы небольшие наледи, дренируются речной сетью или питают воды межмерзлотного и подмерзлотного стока.

Воды нескозных подозерных таликов. В Монголии изучены под многочисленными термокарстовыми озерами в котловине Дархад Прихубсугулья. Около Оз. Цагаан нуур скважиной на глубине 27 м вскрыты подземные воды, имеющие застойный режим и полупромерзающие при значительном охлаждении.

Воды подрусловых сквозных таликов вскрыты на территории самона Төмөрбулаг Хубсугульского аймака, самона Хангая Архангайского аймака. Они включают аллювиальные грунтовые поровые воды и трещинные воды подстилающих коренных пород.

Воды сквозных подозерных таликов изучены под термокарстовыми озерами Тунамал и Эрхэл Прихубсугулья. У акватории термокарстовых озёр буровыми скважинами мерзлые породы не вскрыты.

Воды сквозных таликов встречаются на территории самоны Цагаан уул, Арбулаг, Ханх Хубсугульского аймака, где выявлены обводнённые тектонические нарушения. Дебит источника Рашаант – 10,0, Сонгино – 8л/с. В зонах крупных тектонических нарушений в долинах Идэр, Тэс и Чулуут выявлены воды сквозных таликов. По химическому составу они соответствуют разгружающимся по таликам водам подмерзлотного, реже – межмерзлотного стока. Их режим зависит от особенностей водообмена в гидрогеологической структуре, к которой они относятся.

Подмерзлотные воды. Контактирующие подмерзлотные воды Монголии всегда обладают напором. Это относится как к пластово-поровым и пластово-трещинным водам, так и к водам поровым, трещинным, трещинно-жильным и др.

Аллювиальные подмерзлотные воды выявлены в районе пос. Налайха под маломощными мёрзлыми толщами на пойме и террасах. Налайхинская межгорная падина перекрыта

с поверхности маломощными делювиально-пролювиальными отложениями (мощность мерзлых пород 15 – 20 м). Напорные подземные воды вскрываются на глубине 35 – 40,0 м. Вдоль ручья Налайх широко распространены мерзлотные процессы и явления: пучение, гидролоккалиты и термокарстовые озера.

Трещинные подмерзлотные воды сверху перекрыты маломощными мерзлыми толщами. Вскрываются на глубине 20 – 40 м в гранитных массивах на территории Дзабханского аймака. Контактирующие подмерзлотные воды обнаружены на глубине 50 – 200 м на территории самона Цагаан уул Хубсугульского аймака и самон Цагаан нуур Баян улгийского аймака.

Межмерзлотные и внутримерзлотные порово-пластовые и трещинно-пластовые воды встречаются в Дархатской котловине. Они имеют положительную температуру, слабо минерализованы.

Таковы основные типы подземных вод на территории Монголии, где распространены многолетнемерзлые породы.

Список литературы

1. Геокриологические условия Монгольской Народной Республики. – М. : Наука, 1974. – 200 с.
2. Общее мерзлотоведение. – М. : Изд-во Моск. ун-та, 1978. – 464 с.

ГИДРОГЕОХИМИЯ ПРИУРАЛЬСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ОБЛАСТИ

Сухорукова А. Ф., Новиков Д. А.
Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, SukhokukovaAF@ipgg.sbras.ru, NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Установлено, что в разрезе северных районов Приуральской нефтегазоносной области развиты соленые воды хлоридного натриевого, хлоридно-гидрокарбонатного натриевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого типа с величиной общей минерализации от 1,0 до 18,6 г/дм^3. Состав водорастворенных газов главным образом метановый, с низким содержанием тяжелых углеводородов. По мере погружения водоносных горизонтов в юго-восточном направлении от Урала происходит закономерный рост величины общей минерализации подземных вод. Выявлен прямой тип вертикальной гидрогеохимической зональности, характерный для прибортовых частей большинства артезианских бассейнов мира. Определены основные факторы, формирующие состав подземных вод и определяющие тип гидрогеохимической зональности.

Ключевые слова*: подземные воды, минерализация, гидрогеохимическая зональность.*

Abstract. It has been identified that groundwaters in the section of the northern Fore-Uralian petroleum area are of Na-Cl, Na-Cl-HCO_3 and Na-HCO_3-Cl geochemical facies, with total dissolved solids (TDS) from 1.0 to 18.6 g/dm^3. The dissolved gas is predominantly methane throughout the area, with minor contents of heavy hydrocarbons, while nitrogen has a significant contribution along the basin margins only. Groundwaters systematically increase in salinity as the aquifers become deeper in the southeastern direction away from the Urals i.e., have salinity profiles typical of many artesian basin margins worldwide. Factors controlling the groundwater composition and type of salinity profile have been revealed.

Key words: *groundwaters, salinity, salinity profile.*

Целенаправленно гидрогеологические условия нефтегазоносных отложений ЗСАБ и его северо-западного борта начали изучаться с 50-х годов прошлого столетия в связи с началом нефтегазопоисковых работ. Наиболее весомый вклад внесли труды Н. Н. Ростовцева, О. В. Равдоникас, В. Б. Торговановой, Б. Ф. Маврицкого, Н. М. Кругликова, Л. Г. Учителевой, Б. П. Ставицкого, А. Э. Конторовича, А. А. Карцева, Г. А. Толстикова, Ю. Г. Зимина, В. А. Нуднера, А. А. Розина,

Л. М. Зорькина, А. Р. Курчикова, В. В. Нелюбина, О. Н. Яковлева, В. М. Матусевича, А. Д. Назарова и других исследователей. В свет вышла серия сводных монографий по гидрогеологии, гидрогеохимии, гидродинамике и геотермии Западно-Сибирского артезианского бассейна (ЗСАБ), при этом вопросам детализации разных его частей отводилось крайне мало внимания.

В настоящей работе обобщены все имеющиеся гидрогеохимические материалы о гидрогеологическом разрезе Приуральской нефтегазоносной области, расположенной в северо-западной части ЗСАБ. Здесь распространены гидрокарбонатные натриевые и хлоридно-гидрокарбонатные натриевые воды с минерализацией до 5 г/дм^3, сменяющиеся по мере продвижения к юго-восточным и восточным областям хлоридными натриевыми водами с минерализацией до 15 – 20 г/дм^3. Отчетливо прослеживается дифференциация водоносных комплексов юрских и меловых отложений [1 – 6]. При этом воды северо-западного борта ЗСАБ относятся к слабосоленым и соленым с величиной общей минерализации до 20 г/дм^3. Этот факт является следствием особенностей геологического строения бассейна, в котором отсутствуют галогенные формации.

Наиболее соленые подземные воды в Приуральской части приурочены к горизонтам верхнеюрского водоносного комплекса. Характер изменения соотношения катионов и анионов в подземных водах по мере увеличения их солености показывает, что среди катионов в водах преобладает натрий, на втором месте следует кальций и далее – магний. Среди анионов в маломинерализованных водах преобладает гидрокарбонат-ион, а в более соленых (> 3,0 г/дм^3) – хлор-ион. Концентрация гидрокарбонат-иона, начиная с минерализации, равной примерно 2,0 г/дм^3, в водах постепенно уменьшается, что приводит к смене гидрокарбонатного типа вод на хлоридно-гидрокарбонатный или хлоридный. Установленные особенности накопления основных компонентов четче проявляются в разных химических типах подземных вод (Cl-Na, HCO_3-Cl- Na, Cl-HCO_3- Na).

На основе детальных палеогидрогеологических реконструкций, палеонтологических и палеогеографических исследований можно предположить наличие в разрезе следующих генетических типов подземных вод: I – конденсатогенных, сформированных путем конденсации из водоуглеродной смеси при формировании газовых залежей, II – древних инфильтрогенных и литогенных (обычно пресных, солоноватых, реже – соленых), имеющих атмосферный генезис, проникших в отложения бассейна путем инфильтрации при гипергенезе в геологическом прошлом и высвобождающихся при термодегидратации глинистых минералов, III – седиментогенных, поступающих в осадочный бассейн при седиментации в морских условиях (таблица).

Это предположение находит подтверждение в многочисленных публикациях по условиям формирования мезозойских отложений. Установлено, что в пределах изученной территории в мезозойское время доминировал гумидный субтропический климат, и никогда не формировались соленосные отложения.

Наибольшим разнообразием химического состава и вариацией всех генетических коэффициентов отличаются воды типа «I». В нашем случае мы имеем раствор, состоящий из разных долей фоновых пластовых вод и конденсата из водоуглеродной смеси. Величина общей минерализации варьируется от 1,3 до 4,9 г/дм^3. Градиент минерализации (M/H)*100) является минимальным для всех выделенных типов вод и составляет среднем 0,2 Na/Cl и Cl/Br коэффициенты изменяются от 0,86 до 5,7 и от 63 до 552 соответственно. Эти воды выявлены на локальных участках окологазоводяных (ГВК) контактов во всех комплексах в пределах большинства изученных месторождений (Березовское, Чуэльское, Пунгинское, Северо-Игримское и др.).

Воды типа «II» отличаются более высокими значениями солености вод (до 10,5 г/дм^3) и значениями коэффициентов (M/H)*100, Na/(Ca+Mg), Na+Mg/Ca, Br*10^3/M, I*10^3/M, NH_4*10^3/M, Br/I и HCO_3/SO_4. Древние инфильтрогенные воды территориально доминируют в западных прибортовых частях, например, на Войкарской, Азово-Мужинской и других структурах.

Химическая характеристика генетических типов вод Приуральской НГО

Коэффициент	Типы вод		
	I – Конденсатогенные	II – Древние инфильтрогенные и литогенные	III – Седиментогенные
pH	7,2 – 8,4 (7,3)	6,7 – 7,6 (7,1)	6,6 – 8,9 (8,0)
M, г/дм^3	< 5 (1,3 – 4,9)	< 5 – 10 (1,4 – 10,5)	> 10,5 (11,3 – 17,0)
(M/H)*100	0,1 – 0,4 0,2	0,1 – 0,6 0,3	0,45 – 2,7 0,9
rNa rCl	0,9 – 5,7 2,0	0,9 – 4,6 2,1	0,8 – 1,5 1,0
Cl Br	63 – 552 208	63 – 552 191	68 – 735 228
rNa (rCa+rMg)	1,7 – 66,9 18,0	3,1 – 23,9 12,1	3,4 – 43,2 14,5
rNa+rMg rCa	2,0 – 66,9 23,9	6,8 – 35,2 26,1	5,6 – 85,4 21,5
rCa rMg	1,0 – 7,6 2,6	1,0 – 2,2 1,5	0,6 – 69,5 4,8
(rCa/rNa)*100	1,5 – 16,9 9,6	0 – 16,9 6,6	1,2 – 18,4 6,2
rSO_4*100 rCl	0 – 5,6 2,5	0 – 4,54 0,90	0 – 0,44 0,085
$rHCO_3$*100 rCl	0 – 111,8 43,4	0 – 74,25 9,05	0 – 0,06 0,03
Br*10^3 M	4,3 – 4,4 4,35	0 – 5,7 3,2	0 – 5,62 3,51
I*10^3 M	1,8 – 2,8 2,3	0 – 2,8 0,9	0 – 2,48 1,22
Br I	1,54 – 5,71 3,1	1,54 – 37,0 5,3	0,3 – 10,73 3,8
HCO_3 SO_4	0 – 172 33	0 – 405 121	2,6 – 689 77
Число анализов	14	19	199

Примечание: min-max/среднее значение.

В гидрогеологии многих нефтегазоносных бассейнов особую роль играют воды типа «III» и рассолы, свидетельствующие о высокой степени гидрогеологической закрытости недр, наличии зон затрудненного и весьма затрудненного водообмена, в которых создаются условия, наиболее благоприятные для процессов миграции и аккумуляции нефти и газа. Они выявлены в наиболее погруженных юго-восточных и восточных районах. В пределах изученной территории седиментогенные воды характеризуются минерализацией выше 10,5 г/дм^3, более низкими по сравнению с предыдущими типами значениями коэффициента метаморфизации вод Na/Cl (в среднем 0,96) и Cl/Br коэффициента (в среднем 180). Отмечается рост коэффициента Br/Cl по мере погружения водоносных горизонтов, что указывает на значительное снижение степени водообмена.

Гидрогеологические модели основных месторождений ЗСАБ (Березовское, Деминское, Верхне-Кондинское, Горное, Пунгинское, Сотэ, Чуэльское и др.) позволили детально оценить степень изменчивости гидрогеологических условий вплоть до пласта и проследить их изменение по площади и разрезу. Например, на Чуэльском газовом месторождении в разрезе выделяются все комплексы за исключением неокомского, который здесь распространен весьма ограниченно.

Юрские гидрогеологические комплексы вместе с отложениями палеозойского фундамента и его коры выветривания составляют единую гидравлически взаимосвязанную напорную систему. Ее воды относятся к хлоридному натриевому типу с величиной общей минерализации 13,6 – 14,9 г/дм^3. Содержание йода колеблется в пределах 4,8 – 21,2, брома – 25,6 – 63,4 мг/дм^3. Воды насыщены газами углеводородного состава с величиной общей газонасыщенности 2,24 – 2,3 л/л, т.е. являются предельно насыщенными.

Как показывают палеогидрогеологические реконструкции, внешней областью питания для водоносных горизонтов изученной территории на протяжении всех этапов развития осадочного бассейна был восточный склон Урала, что определило характер вертикальной гидрогеохимической зональности этой части ЗСАБ. Здесь «работают» классические постулаты гидрогеологии, свидетельствующие о том, что соленость вод растет по мере уменьшения степени водообмена. Подтверждение этому мы находим при анализе латеральной и вертикальной гидрогеохимической зональности территории. По мере погружения водоносных горизонтов в юго-восточном направлении от Урала происходит закономерный рост величины общей минерализации подземных вод. Это видно на примере базальных отложений основного продуктивного горизонта «П» бат–верхнеюрского возраста. Здесь происходит закономерный рост солености подземных вод от 1,5 г/дм^3 на Войкарской площади до 10,0 г/дм^3 – на Похромской и 16,3 г/дм^3 – на Пальхос-Турской площади. В этом же направлении увеличивается содержание основных макро- и микрокомпонентов, общая газонасыщенность вод и доля гомологов метана в составе водорастворенных газов.

Установленные закономерности в распределении солености вод по площади отчетливо прослеживаются в разрезе нефтегазоносных отложений. Детальный анализ гидрогеохимических данных позволил выделить в разрезе три основных тенденции распределения общей минерализации подземных вод с глубиной.

Первая характеризуется незначительным увеличением солености вод по мере погружения водоносных горизонтов и низкой минерализацией – от 0,6 до 3,9 г/дм^3. Территориально эта область приурочена к структурам Мужинского выступа и отличается близким залеганием пород фундамента (500 – 600 м).

Вторая зависимость установлена в районе Березовского газового месторождения и сопредельных площадей. Здесь развиты более минерализованные воды (8,1 – 17,5 г/дм^3), соленость подземных вод увеличивается с глубиной более интенсивно, чем в предыдущем случае.

Третья характеризует отложения продуктивного горизонта «П» на юго-востоке (Перегребненская и Радомская площади). Для них характерны подземные воды с более низкой минерализацией (10,9 – 14,2 г/дм^3), причем рост ее с глубиной менее интенсивен.

Западно-Сибирский артезианский бассейн является уникальной кладовой углеводородного сырья, вследствие чего процессы нефтегазообразования, миграции и аккумуляции залежей нефти и газа оказали огромное влияние на характер вертикальной гидрогеохимической зональности. Сравнивая тип вертикальной гидрогеохимической зональности изученного региона с другими регионами Западной Сибири, можно проследить как общие черты, так и существенные отличия. Во всех прибортовых районах фиксируется невысокая общая минерализация подземных вод – до 20 г/дм^3, при этом в каждом конкретном случае изменение минерализации воды с глубиной обусловлено различными факторами. В Западно-Сибирском артезианскогом бассейне в целом, и в изученном регионе, в частности, существует нормальная гидрогеохимическая зональность в условиях отсутствия соленосных отложений, как это наблюдается в Иллинойском, Анабаро-Хатангском, Восточно-Сибирском и других бассейнах.

Основные выводы. 1. В разрезе северных районов Приуральской нефтегазоносной области развиты соленые воды хлоридного натриевого, хлоридно-гидрокарбонатного натриевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого типа с величиной общей минерализации от 1,0 до 18,6 г/дм^3.

2. Внешней областью питания на протяжении всех этапов развития был восточный склон Урала, что в последствии определило характер вертикальной гидрогеохимической зональности этой части ЗСАБ. По мере погружения водоносных горизонтов в юго-восточном направлении от Урала происходит закономерный рост величины общей минерализации подземных вод. Здесь выявлен прямой тип вертикальной гидрогеохимической зональности, характерный для прибортовых частей большинства артезианских бассейнов мира.

3. Главными факторами, формирующими состав подземных вод и определяющими тип гидрогеохимической зональности северных районов Приуральской нефтегазоносной области, являются гидрогеологическая цикличность развития осадочного бассейна, существование обширной области питания в западной части региона и наличие различных генетических типов подземных вод, а также время взаимодействия в системе «вода – порода – газ – органическое вещество».

4. На основе палеогидрогеологических реконструкций изучаемого района ЗСАБ и данных о химическом составе подземных вод и водорастворенных газов выделены три генетических типа подземных вод – конденсатогенные, древние инфильтрогенные воды и литогенные, седиментогенные. Доминирующую роль в разрезе играют воды второго типа, внедрение которых происходило во время регрессии моря и инфильтрации, вплоть до настоящего времени, с Северного и Приполярного Урала.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-05-00868).

Список литературы

1. Зорькин, Л. М. Гидрогеологические критерии газоносности Приуральской части Западно-Сибирской низменности / Л. М. Зорькин // Труды ВНИИГаз. – М. : Гостоптехиздат, 1962. – Вып. 15. (23). – С. 158–175.

2. Кругликов, Н. М. Гидрогеология северо-западного борта Западно-Сибирского артезианского бассейна / Н. М. Кругликов // Труды ВНИГРИ. – Л. : Недра, 1964. – Вып. 238. – 166 с.

3. Кругликов, Н. М. Особенности формирования химического состава подземных вод Западно-Сибирского мегабассейна / Н. М. Кругликов, В. В. Нелюбин, О. Н. Яковлев // Формирование подземных вод как основа гидрогеологических прогнозов. – М. : Наука, 1982. – 301 с.

4. Матусевич, В. М. Геохимия подземных вод Западно-Сибирского нефтегазового бассейна / В. М. Матусевич. – М. : Недра, 1976. – 157 с.

5. Ставицкий, Б. П. Гидрохимическая зональность юрских и меловых отложений Западно-Сибирского бассейна / Б. П. Ставицкий [и др.] // Геология и геофизика – 2004. – Т. 45, № 7. – С. 826–832.

6. Воды и газы палеозойских и мезозойских отложений Западной Сибири / В. Б. Торгованова [и др.] // Труды ВНИГРИ. – Л. : Гостоптехиздат, 1960. – Вып. 159. – 460 с.

РОЛЬ FE^{3+} И MN^{4+} В БИОТРАНСФОРМАЦИИ НЕФТЕПРОДУКТОВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ СРЕДНЕАМУРСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАССЕЙНА

Фишер Н. К., Кулаков В. В.
Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск, fisher@ivep.as.khb.ru

Аннотация. Оценена возможность биодеградации нефтепродуктов в сильнозагрязненных подземных водах. На основе анализа пространственно-временной динамики геохимических индикаторов выявлены основные механизмы биотрансформации и биодеградации нефтепродуктов, определены ключевые факторы, влияющие на данные процессы.

***Ключевые слова**: подземные воды, нефтепродукты, самоочищение, акцепторы электронов.*

Abstract. The possibility of hydrocarbons biodegradation in the highly polluted groundwater was assessed. Based on analysis of spatio-temporal dynamics of geochemical indicators the main mechanisms of hydrocarbons biotransformation and biodegradation, key factors influencing these processes were identified.

***Key words**: groundwater, hydrocarbons, natural attenuation, electron acceptor.*

Нерациональное использование подземных вод во время бурной индустриализации XX в. привело к их интенсивному загрязнению. Это вызвало значительную проблему, так как подземные воды – важный защищенный источник питьевой воды для человечества. Несмотря на то, что в подземных водах заключено более 97% всей пресной воды (за исключением ледников и ледникового покрова), они представляют собой наименее изученную экосистему. В последние 20 лет многочисленные попытки восстановить загрязненные подземные воды не привели к желаемому результату в связи с недостатком знаний о биогеохимических процессах в подземных водах, поэтому первоочередной задачей является защита подземных вод от дальнейшего загрязнения. В настоящее время способность подземных вод к самоочищению в условиях антропогенной нагрузки в разных геологических, геокриологических и климатических условиях пока еще слабо изучена. До сих пор нет полного понимания того, какие факторы контролируют самоочищение подземных вод, и что влияет на скорость биодеградации загрязняющих веществ.

Изучение загрязнения подземных вод в Хабаровском крае ведется как территориальными центрами государственного мониторинга состояния недр федерального агентства по недропользованию, так и несколькими недропользователями, однако изученность развития процессов загрязнения подземных вод, состава загрязняющих элементов в регионе характеризуется, как крайне слабая [1]. Кроме того, не изучается устойчивость подземных вод к загрязнению и способность к самоочищению.

В Хабаровском крае установлено более 70 очагов загрязнения подземных вод. По количеству участков и объему загрязнения подземных вод нефтепродукты и их производные являются приоритетным в крае [1, 2, 3]. Наиболее интенсивное загрязнение геологической среды нефтепродуктами отмечается в районе г. Комсомольск-на-Амуре. Использование в 40 – 50-х годах незащищенных котлованов в качестве резервуаров хранения сырой нефти, многочисленные прорывы продукто- и нефтепроводов, захоронение в карьерах нефтешламов привели к масштабному загрязнению подземных вод. Содержание нефтепродуктов в отдельных скважинах превышает ПДК в 1000 раз и более, а мощность слоя линз нефти на кровле подземных вод может достигать 3,5 м.

Среднеамурский артезианский бассейн, в северной части которого находится г. Комсомольск-на-Амуре, сложен четвертичными аллювиальными отложениями и характеризуется слабой природной защищенностью [4], что позволяет загрязняющим веществам беспрепятственно фильтроваться в подземные воды. Кроме того, суровые климатические условия территории не способствуют быстрой биодеградации нефтепродуктов и их производных как на поверхности земли, так и в зоне аэрации, а также в водоносных горизонтах.

Процессы самоочищения подземных вод от нефтепродуктов изучались в районе рекультивированных полигонов промышленных отходов и вдоль трассы продуктопровода (рисунок).

Считается, что самоочищение подземных вод может происходить за счет разбавления, сорбции, испарения и биодеградации. Однако истинное самоочищение происходит исключительно за счет биодеградации, поскольку происходит деструкция загрязняющих веществ [5]. Наиболее предпочтительным методом изучения процессов самоочищения подземных вод является метод геохимических индикаторов, который показывает уже результат микробиологических процессов *in situ* [5, 6]. При деградации загрязняющих веществ в подземных водах, которые характеризуются отсутствием кислорода, в качестве акцепторов электронов микроорганизмы используют NO_3^-, Mn^{4+}, Fe^{3+}, SO_4^{2-}, образуя NH_4^+, Mn^{2+}, Fe^{2+}, S^{2-} [7]. После истощения вышеназванных акцепторов электронов, создаются метаногенные условия. Очередность использования

Карта-схема участка исследований

акцепторов электронов микроорганизмами следующая: $NO_3^- \rightarrow MnO_2 \rightarrow FeOOH \rightarrow SO_4^{2-} \rightarrow CO_2$. При биодеградации органических веществ в подземных водах изменяется минерализация, содержание растворенного неорганического углерода, Eh и pH-среды. Минерализация увеличивается за счет образующегося при биотрансформации нефтепродуктов *in situ* углекислого газа и, соответственно, гидрокарбонат-иона в подземных водах.

Для анализа пространственно-временной динамики геохимических индикаторов применена камеральная обработка данных, полученных в ходе многолетнего мониторинга подземных вод. Были использованы фондовые материалы Территориального геологического фонда по Хабаровскому краю, Департамента по недропользованию по Дальневосточному федеральному округу, Комсомольского отделения Дальневосточного регионального центра государственного мониторинга состояния недр. На основе анализа геохимических индикаторов было установлено, что активность микробного сообщества, участвующего в биотрансформации и биодеградации нефтепродуктов *in situ*, зависела от поступления акцепторов электронов (NO_3^-, Fe^{3+}, Mn^{4+}, SO_4^-). В период малой водности, когда приток акцепторов электронов был слабым, процессы биотрансформации нефтепродуктов были значительно слабей, чем в период высокой водности. При этом микроорганизмы в большей степени в качестве акцепторов электронов использовали Fe^{3+} и Mn^{4+} (таблица), что связано с их большим природным содержанием в водоносных горизонтах и зоне аэрации [4]. В результате анаэробной биотрансформации нефтепродуктов концентрация Fe^{2+} в подземных водах возрастала до 132, Mn^{2+} – до 16 мг/дм^3. Это значительно превышает природный фон (для Fe^{2+} – 25 мг/дм^3, для Mn^{2+} – 2-2,5 мг/дм^3). Динамика содержания Fe^{2+} и Mn^{2+} была схожей и изменялась синхронно, что связано с динамикой уровней подземных вод. Повышение уровня подземных вод способствовало восстановлению Fe^{3+} и Mn^{4+} в зоне аэрации и активизации в ней микробиологических процессов.

Корреляционная связь образования гидрокарбонат-иона и использования различных акцепторов электронов микроорганизмами при биотрансформации нефтепродуктов

№ скважины (см. рис. 1)	HCO_3^- / Mn^{2+}	HCO_3^- / Fe^{2+}	HCO_3^- / NH_4^+	HCO_3^- / SO_4^{2-}
1	0,46	0,19	0,41	0,03
2	0,68	0,28	0,06	0,02
3	0,03	0,01	–0,39	–0,09
4	0,95	0.95	0,05	–0,29
5	0,73	0,95	0,55	0,49
6	0,97	–0,08	0,89	–0,74
7	0,41	0.20	0,61	0,37
8	0,11	0,28	0,77	–0,08
9	0,14	0,03	0,12	0,41
10	0,80	0,45	0,12	0,04
11	0,63	0,83	0,50	0,38
12	0,78	0,56	0,16	0,13
13	0,95	0,21	0,48	0,13
14	0,95	0,83	0,53	0,78
15	0,94	0,90	0,89	0,08
16	-0.15	0,71	0,50	0,60
17	0,56	0,62	0,42	0,05
18	0,45	0,21	0,57	–0,42
19	0,43	0,33	0,50	–0,46

Наиболее активные процессы биотрансформации нефтепродуктов, сопровождаемые восстановлением Fe^{3+} и Mn^{4+}, отмечались на участках, где фиксировалась максимальная концентрация нефтепродуктов, а геологическая среда не была нарушена раскопками (точки 4 – 6, 13 – 15), т.е. на расстоянии 100 и более м от полигонов. Здесь отмечалась уверенная корреляционная связь образования Fe^{2+} и Mn^{2+} и HCO_3^- (см. таблица), что доказывает использование микроорганизмами ионов Fe^{3+} и Mn^{4+} в качестве акцепторов электронов при биотрансформации нефтепродуктов. При этом микроорганизмы в большей степени в качестве акцептора электронов использовали Mn^{4+}, что связано с бóльшим получением энергии, чем при использовании Fe^{3+}.

Использование микроорганизмами NO_3^- и SO_4^{2-} в качестве акцепторов электронов было значительно слабей, так как они имеют антропогенное происхождение – захороненные промышленные отходы [6]. В связи с этим более активные процессы нитратредукции и сульфатредукции были отмечены непосредственно у рекультивированных полигонов промышленных отходов. В результате нитратредукции концентрация NH_4^+ увеличивалась до 50 мг/дм^3. Процессы сульфатредукции при биотрансформации нефтепродуктов фиксируются по отрицательному значению коэффициента корреляции HCO_3^- / SO_4^{2-} (см. таблицу), так как образуемый S^{2-} быстро реагирует с Fe^{2+} и в виде сульфида железа выпадает в осадок.

Таким образом, с использованием метода геохимических индикаторов, который отражает результат микробиологических процессов в геологической среде *in situ*, установлено, что при анаэробной трансформации и деградации нефтепродуктов в подземных водах микроорганизмы в большей степени используют Fe^{3+} и Mn^{4+} в качестве акцепторов электронов, что связано с их большим содержанием в породах.

Работа выполнена в рамках проектов 14-III-B-09-218, 15-II-6-013 комплексной программы фундаментальных исследований Дальневосточного отделения РАН «Дальний Восток».

Список литературы

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Хабаровского края в 2013 году / Под ред. В. М. Шихалева. – Хабаровск : ООО «Медиа-Мост», 2014. – 242 с.
2. Архипов Б. С. Нефтяное загрязнение бассейна р. Амур (на примере района г. Комсомольска-на-Амуре) / Б. С. Архипов, С. А. Козлов // Амур на рубеже веков. Ресурсы, проблемы, перспективы : материалы междунар. науч. экол. конф. и II краевой конф. по охране природы. – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 1999. – Ч. 2. − С. 94−95.
3. Архипов, Б. С. Загрязнение подземных вод на территории ДВФО / Б. С. Архипов, С. А. Козлов // Разведка и охрана недр. − 2007. − № 7. − С. 86–88.
4. Кулаков, В. В. Геохимия подземных вод Приамурья / В. В. Кулаков. – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН. − 2011. − 254 с.
5. Banwart, S. A. Natural attenuation of hydrocarbon compounds in groundwater / S. A. Banwart, S. F. Thornton // Timmis K.N. (ed.). Handbook of hydrocarbon and lipid microbiology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. − 2010. − P. 2473–2486.
6. Фишер, Н. К. Процессы самоочищения подземных вод от нефтепродуктов в северной части Среднеамурского артезианского бассейна / Н. К. Фишер, В. В. Кулаков // Всероссийская конференция «Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата», 29 сентября – 3 октября 2014 г., Хабаровск : сб. докладов [Электронный ресурс]. – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, 2014. − С. 174−177.
7. Widdel F. Anaerobic Hydrocarbon-Degrading Microorganisms: An Overview / F. Widdel, K. Knittel, A. Galushko // K. N. Timmis (ed.), Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. − 2010. − P. 1997−2021.

РОЛЬ ГЕОЛОГО-СТРУКТУРНЫХ УСЛОВИЙ В ЛОКАЛИЗАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ИРКУТСКОЙ ВПАДИНЫ

Черенева В. А.
Национальный исследовательский Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, vchereneva@list.ru

Аннотация. В работе представлены результаты структурно-гидрогеологического анализа условий формирования месторождений подземных вод в пределах Иркутской мезозойской впадины, а также установление критериев обоснования перспективных участков.
Ключевые слова: *месторождение подземных вод, зона тектонических нарушений, Иркутская впадина.*

Abstract. The article describes the results of the structural hydrological analysis of forming conditions of ground water fields in the Irkutsk Mesozoic depression. The article ascertains criteria of justification of perspective areas.
Key words: *deposit of ground waters, zone of tectonic faults, Irkutsk depression.*

Рассматриваемый регион приурочен к наиболее освоенной части Иркутской области. Здесь сосредоточены основные населенные пункты, включая областной центр, а также крупные объекты различных отраслей промышленности. Все это требует привлечения значительных объемов водных ресурсов. Основным содержанием выполняемых исследований в этой связи является проведение структурно-гидрогеологического анализа условий формирования месторождений подземных вод различного целевого использования. Главная цель анализа – на основе геологического развития региона и становления современных структур обосновать их перспективность для локализации крупных скоплений подземных вод и выявить участки проведения результативных поисково-разведочных работ.

Иркутская впадина находится на сочленении Присаянской и Прибайкальской ветвей Иркутского прогиба. Контуры ее отражают северо-западное и северо-восточное простирание

обрамляющих складчатых структур и, соответственно, предгорных бортов впадины. Протяженность ее в широтном направлении более 100 км, ширина – до 30 км, абсолютная отметка днища до – 100 м, глубина впадины до – 650 м. Углы падения пород в предгорных бортах 15 – 25°, в платформенном – 5° [1].

Характерной особенностью юрской тектоники является параллельность молодых структур с древними направлениями складчатости. Иркутский угленосный бассейн представляет собой сложную структуру, состоящую из целого ряда впадин, между которыми существуют перемычки, явившиеся результатом разной интенсивности прогибания различных участков бассейна. Максимальному прогибанию подверглась область слияния Присаянской полосы бассейна с его Прибайкальской ветвью, где была образована Иркутская впадина.

Иркутская впадина простирается в северо-западном направлении до междуречья Хайты-Картагона, где намечается ее граница с Арансахойской впадиной. В поперечном разрезе Иркутская депрессия на всем своем протяжении имеет ясно выраженную асимметрию. Северное крыло впадины представляет пологую моноклиналь с северо- и северо-западным воздыманием слоев под углом до 5°. Юго-западное крыло – крутое, а в северо-восточном направлении наблюдается постепенный подъем структуры. Максимума прогибания, судя по мощности юрских отложений, депрессия достигает в непосредственной близости от предгорий Восточных Саян. Здесь отмечается нарастание в сторону Восточных Саян углов падения карбонатного кембрия, в конечном итоге приведшее к образованию крупной флексуры северо-западного простирания с падением ее на северо-восток под углом 40 – 50°. Ось этой флексурной складки почти совпадает с современным контактом нижнего кембрия и юры. Таким образом, Иркутскую депрессию и весь Иркутский бассейн можно рассматривать как дальнейшее развитие флексуры, заложенной в каледонское время. Кроме того, синклинальный прогиб поверхности палеозойского ложа юры имеет ясно выраженную тенденцию погружения шарнира к юго-востоку в сторону г. Иркутска. При этом фиксируется минимальная удаленность оси прогиба от непосредственного выхода на дневную поверхность карбонатных пород нижнего кембрия.

Отмеченная антиклинальная структура начинается непосредственно от осевой зоны прогиба и простирается, в основном, в северо-восточном направлении. Внешняя конфигурация антиклинального поднятия несколько напоминает очертания Иркутской впадины. Антиклинальная складка при средней ширине 10 км простирается с северо-запада от долины р. Олха на северо-восток до долины р. Ушаковки на 20 км. Ядро антиклинали, вскрытое под четвертичными отложениями непосредственно в г. Иркутске, сложено отложениями верхней подсвиты присаянской свиты. От ядра структуры породы падают под разными углами. Наибольшие углы падения зафиксированы на северо-западном ее крыле, которое слагают породы нижней подсвиты кудинской свиты, падающие под углом 5°, а иногда 10 – 12° на северо-запад. Значительно положе, почти горизонтально, залегают породы на юго-восточном крыле. Здесь от ядра складки последовательно сменяют друг друга отложения нижней и верхней подсвит кудинской свиты. По длинной оси наблюдается также некоторая асимметрия складки, подчеркнутая разными углами наклона шарнира в северо-восточном и юго-западном направлениях. Вблизи долины р. Ушаковки отмечается более крутое погружение шарнира. В юго-западном направлении шарнир складки погружается очень плавно. Отдельные элементы залегания фиксируют здесь углы падения в среднем 3 – 5°, и лишь в периклинальной части складки, непосредственно у зоны прогиба углы увеличиваются до 8 – 12°.

Таким образом, ложе юрской осадочной толщи представляет собой эрозионно-тектоническую структуру, заполнение которой непрерывно продолжалось в течение черемховской, присаянской и кудинской эпох. Образование юрских осадков происходило на фоне общего погружения. Последнее в юрское время периодически сопровождалось усилением положительных движений в горных сооружениях, причем неравнозначным ни по силе, ни по времени проявления. Эти поднятия выражались в появлении на разных этапах юрской системы конгломератов и горизонта грубозернистых песчаников, а промежутки между ними характеризовались довольно спокойной обстановкой и знаменовались отложением глинисто-углистых образований.

В последующие этапы геологической истории тектонические движения были весьма интенсивны. Они начались во второй половине третичного периода и продолжаются до настоящего времени. Для неотектонических движений характерна все та же связь с предшествующей историей тектонических движений. Для территории платформы характерны медленные и малоконтрастные движения, в то время как в горных областях Восточных Саян и Прибайкалья они были более интенсивны.

Как известно, новейшими тектоническими движениями была окончательно сформирована структура Иркутского бассейна и завершено сооружение горного обрамления. Направление складчатости в кайнозойский период было то же, что и в мезозойскую эпоху, и это совпадение приводит к значительному усилению складок, сформированных предшествующими тектоническими этапами. В целом кайнозойский этап особенно четко отразился в дальнейшем прогибании флексуры, являющейся юго-западным крылом впадины.

При картировании юрских отложений на большей части не было обнаружено прямых признаков, указывающих на наличие сколько-нибудь значительных дизъюнктивных нарушений, выразившихся в региональном изменении условий залегания пород или в их механической и термальной переработке. Однако при изучении подземных вод в скважинах было выявлено несколько участков, характеризующихся подтоком высокоминерализованных вод, близких по геохимии водам кембрийских отложений.

Как правило, в Иркутской впадине подземные воды до глубины 300 м являются пресными, гидрокарбонатного кальциево-натриевого состава с минерализацией до 0,5 г/дм^3. На глубине 350 – 400 м минерализация вод резко возрастает до 3 г/дм^3, и состав их меняется на хлоридный натриевый. Эта закономерность подтверждена большим количеством скважин региона. Однако в долине р. Иркута единичными скважинами были вскрыты воды с аномальной для юрских отложений минерализацией. Так, в эксплуатационных скважинах в пос. Акинино – Баклаши, глубина которых 40 – 70 м, отмечается повышенное содержание хлора. В скважине, пройденной на правом берегу р. Иркута до глубины 50 м, воды пресные, на глубине 140 м воды становятся солоноватыми, хлоридного натриевого состава с минерализацией 2 г/дм^3, а с глубины 200 м минерализация возрастает до 10 г/дм^3.

В долине р. Иркута подземные воды на глубине 100 м имеют минерализацию 3 г/дм^3 и хлоридный состав. Появление вод с подобной минерализацией можно объяснить лишь подтоком со значительных глубин. Последнее при мощности юрских отложений на этом участке 450 – 500 м может быть объяснено наличием в долине р. Иркута дизъюнктивного нарушения. Судя по распространению высокоминерализованных вод, ослабленная зона приурочена к долине р. Иркута и линейно вытянута в северо-восточном направлении. Природа нарушения недостаточно ясна. Однако можно предположить, что заложено оно было в доюрское время в результате тектонических движений в Прибайкалье, о чем свидетельствует простирание ослабленной зоны. Последующие мезозойская и кайнозойская эпохи тектогенеза выразились в омолаживании структуры и активизации движения подземных вод в ее пределах.

В рассматриваемом регионе выявлен ряд месторождений подземных вод. Кратко остановимся на особенностях формирования некоторых из них.

Тельминское месторождение питьевых подземных вод (МППВ) находится в 5 км юго-восточнее г. Усолье-Сибирское и совпадает с водосборным бассейном р. Тельминка. В структурном отношении оно охватывает большую часть Арансахойской впадины, выполненной отложениями юрского возраста. Гидрогеологические подразделения представлены водоносными комплексами присаянской, черемховской и заларинской свит. Наиболее водообильны два первых. В Арансахойской впадине отчетливо наблюдается увеличение водообильности присаянского комплекса в направлении от крыльев к оси. Напор уменьшается от центра впадины к периферии (от 50 – 90 м в центре до 2 – 15 м – на крыльях). Аномально высокая обводненность пород отмечена по долинам рек Тельминки и Биликтуйки, где удельный дебит достигает 20 л/с и более. Водопроводимость пород изменяется от десятков до 6500 м^2/сут. По химическому составу воды гидрокарбонатные, магниево-кальциевые с минерализацией 0,2 –

0,7 г/дм^3. В 1972 г. на заседании ГКЗ были утверждены запасы Тельминского месторождения по категориям: В – 8,6 тыс.м^3/сут, C_1 – 9,1 тыс.м^3/сут.

Каролокское МППВ в административном отношении расположено в Иркутском районе Иркутской области, в 20 км к юго-востоку от г. Иркутска на правобережье Иркутского водохранилища. В геолого-структурном отношении оно находится в южной части Иркутской впадины, где выделяется зона предгорного прогибания – Прииркутское понижение, в котором юрские слои падают круто под углами до 30^0. Более мелкой геологической структурой является Михалевская мульда (Михалевский бассейн третьего порядка), наиболее погруженная часть которой характеризуется изогипсами –100 м. Юрские осадки с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на нижележащих породах и перекрываются осадками кайнозоя.

В пределах месторождения подземные воды почти повсеместно обладают напором. В долинах рек скважины часто фонтанируют. Глубина вскрытия подземных вод изменяется от первых метров в днищах и на склонах долин до 40 – 50 м – на водораздельных пространствах. Водоносные комплексы выдержаны по площади, мощность их составляет преимущественно 20 – 50 м. В отложениях кудинского, присаянского и черемховского комплексов отмечаются один-два, а иногда три водоносных горизонта. Водоносные комплексы и горизонты гидравлически связаны друг с другом и имеют одинаковые уровни. Коэффициенты фильтрации водовмещающих пород изменяются от 0,5 до 50 – 200 м/сут. Высокую производительность имеет первый от поверхности водоносный горизонт, который всегда приурочен к зоне интенсивной трещиноватости. Он связан преимущественно с отложениями кудинского или присаянского комплексов, и только в краевых частях мульды водоносный горизонт приурочен к отложениям черемховского комплекса. Дебит родников достигает нескольких литров в секунду. Нередко встречаются пластовые выходы с дебитом 10 – 25 л/с. Удельный дебит скважин часто превышает 1 л/с. На химический состав подземных вод юры значительное влияние оказывает подток рассолов и соленых вод из подстилающих пород нижнего кембрия. Глубина залегания соленых вод нередко составляет всего 19 м, а их минерализация бывает часто более 10 г/дм^3. В 2014 г. утверждены запасы Каролокского МППВ в количестве 600 м^3/сут по категории C_1.

Кроме того, в пределах Иркутской впадины выявлены Малоеловское, Юго-Восточное, Новолисихинское и другие МППВ с запасами от 0,174 до 1,26 тыс.м^3/сут.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы, определяющие критерии выделения перспективных участков для локализации подземных вод различного целевого использования:

1. От бортов впадины к ее центральной, наиболее погруженной части, отмечаются: активизация и локализация подземного стока; увеличение мощностей юрских отложений; увеличение объемов стока; рост напоров подземных вод, а значит увеличение допустимых значений понижений уровня при эксплуатации, что, соответственно, повышает ресурсный потенциал оцениваемых участков недр.

2. Развитие современной гидросети, как правило, по зонам тектонических нарушений (обводненным разломам), характеризующимся повышенной водообильностью и стабильностью режима подземных вод. Однако в этих геолого-структурных условиях по глубоким разломам возможен подток более минерализованных вод из палеозойских толщ, использование которых возможно в бальнеологических целях, а формирование пресных вод питьевого назначения осуществляется в зонах приповерхностных обводненных разломов.

Задачи дельнейших исследований сводятся к дополнению формирующейся базы данных по МПВ и разработке их структурно-генетической систематизации, а также к осуществлению разномасштабного структурно-гидрогеологического картографирования рассматриваемого мезозойского предгорного прогиба в целом и выделения перспективных структур для результативного проведения поисково-разведочных на воду работ.

Список литературы

1. Гидрогеология СССР Т. XIX. Иркутская область. – М. : Недра, 1968. – 496 с.

СЕКЦИЯ 5
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ВОДОСНАБЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НГК НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЧОНСКОЙ ГРУППЫ, ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ

Аузина Л. И., Паршин А. В., Шульга В. В.
Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, lauzina@mail.ru

Аннотация. Одна из важных проблем, возникающая при изучении и эксплуатации месторождений нефтегазового комплекса (НГК), – это поиски подземных вод для разноцелевого водоснабжения. Месторождения и участки НГК Восточной Сибири находятся в очень сложных геолого-гидрогеологических и горно-технических условиях, что в значительной мере затрудняет решение задачи водоснабжения. В статье представлена обобщенная геолого-гидрогеологическая модель месторождений углеводородов Чонской группы, составленная в результате анализа информации, имеющейся по региону; определены основные источники формирования запасов подземных вод; предложен подход к оптимизации поисково-оценочных работ на воду на основе выделения наиболее перспективных участков по ряду косвенных признаков с использованием современных ГИС-технологий.

Ключевые слова: *месторождение углеводородов, Чонская группа, геологическое строение, гидрогеологические условия, ресурсы подземных вод, оптимизация, поисково-оценочные работы, модуль трещиноватости, модуль стока, морфоскульптура, экспертные оценки, геоинформационная система.*

Abstract. One of the main problems arising in the study and exploitation of oil and gas deposits is the search of groundwater for different purpose water supply. Oil and gas deposits in the East Siberia have very complex geological, hydrogeological and mining conditions, which greatly complicates the solution of the problem of water supply. The paper presents a generalized geological – hydrogeological model of Chonskoy group hydrocarbon deposits composed by analyzing the information available in the region, the article describes the main sources of groundwater resources formation. Propose an approach to optimize the hydrogeological investigations based on the selection of the most promising areas using a number of indirect signs using modern geoinformatic technologies.

Key words: *hydrocarbon deposits, Chonskoy group, geological structure, hydrogeological conditions, groundwater resources, optimization, prospecting-valuation investigations, fracture module, runoff module, morphosculpture, expert assessments, geographic information system.*

В настоящее время цены в мире зависят от стоимости нефти, в связи с чем исследования, направленные на поиски, разведку и эффективную эксплуатацию месторождений углеводородов в России, имеют стратегическое значение. Государственная программа создания в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке единой системы добычи, транспортировки газа и газоснабжения, с учетом возможного экспорта газа на рынки Китая и других стран АТР, утверждена в сентябре 2007 г. приказом Министерства промышленности и энергетики РФ.

Одно из наиболее перспективных в этом отношении направлений – это газотранспортная система «Сила Сибири», соединяющая Восточную Сибирь с Тихим океаном (ВСТО). Один из крупных ресурсных баз этого проекта – Чонская группа меторождений, включающая Вакунайский, Тымпучиканский и Игнялинский участки, примыкающие друг к другу и расположенные на границе Иркутской области и Республики Саха (Якутия). Их суммарные запасы оцениваются в 125 млн тонн нефти и 225 млрд кубометров газа.

Значительные затраты в структуре геологоразведочных исследований занимают поисково-разведочные работы на воду различного назначения: хозяйственно-питьевого и технического, в основном, для поддержания пластового давления (ППД). В районах крайнего Севера, отличающихся весьма низкой степенью геолого-гидрогеологической изученности, определение

местоположения гидрогеологических скважин представляет значительную сложность и часто не приносит желаемого результата. В связи с этим оптимизация размещения поисково-разведочных скважин на воду на нефтегазовых месторождениях – задача актуальная в той же степени, как и непростая.

Анализ работ, проведенных на месторождениях НГК Иркутской области и Якутии (Верхнечонское, Пеледуйское, Кедровое и др.), позволил создать обобщенную модель месторождений углеводородов этого региона и выделить ряд факторов, на которые можно опираться при поисково-оценочных исследованиях, предполагающих оценку запасов подземных вод. Выявленные особенности, методика и алгоритмы получения отражающих их картографических материалов были формализованы в экспертную геоинформационную систему, обеспечивающую поддержку принятия решений при гидрогеологических исследованиях в конкретных природно-ландшафтных и геологических условиях.

Рассматриваемая площадь расположена в юго-восточной части Сибирской платформы в пределах Непского свода, принадлежащего Непско-Ботуобинской антеклизе – структуре центральной части платформы. Последняя отделена от Байкало-Патомского складчатого обрамления Ангаро-Ленским краевым прогибом.

В геологическом строении исследуемых площадей принимают участие образования архея, протерозоя, кембрийской системы, четвертичные отложения, а также триасовые интрузивные образования.

Наибольший интерес в гидрогеологическом отношении представляют водоносные комплексы палеозойских и мезозойских отложений, в которых формирование подземных вод контролируется разломной тектоникой, трапповым магматизмом и особенностями распространения многолетнемерзлых пород (ММП). С разломами связаны гидрогеологические аномалии – субаэральные и субаквальные выходы соленых сероводородных вод. Разрывная тектоника подчеркивается и геоморфологическими признаками – рисунком гидросети, сквозными долинами. Разломы глубокого заложения отображаются и дайками долеритов, вытянутыми по одной линии. Преобладают разрывные нарушения субширотного, северо-восточного и субмеридионального направлений. Все разломы крутопадающие. Наибольшие смещения пород (до 100 м и более) отмечаются по разрывам вдоль оси Чоно-Нюйской антиклинали, что характерно для складок непского типа со сбросово-сдвиговым характером смещений.

Таким образом, геолого-гидрогеологические условия территории весьма разнообразны и, согласно существующей «Классификации…» [1], исследуемая территория относится к 3-й группе с очень сложными гидрогеологическими и горно-геологическими условиями.

В пределах изучаемой территории в соответствии с перечисленными особенностями и стратиграфической приуроченностью выделяются следующие гидрогеологические подразделения:

– слабоводоносный локально водоносный криогенно-таликовый нижнеюрский комплекс терригенных отложений;

– водоупорный массив нижнетриасовых интрузивных пород;

– локально-водоносный криогенно-таликовый средне-верхнекембрийский комплекс терригенных отложений;

– слабоводоносный локально-водоносный криогенно-таликовый нижне-среднекембрийский комплекс карбонатных отложений;

– зоны обводненных разломов, разделяющиеся, в зависимости от их гидрогеологической роли, на водовыводящие, по которым происходит разгрузка подземных вод, и водопроводящие, по которым осуществляется переток подземных вод водоносных подразделений различной стратиграфической приуроченности. Нарушения чаще всего относятся к доюрскому возрасту и являются перекрытыми. Наиболее достоверно трассируются разломы со смещением пород, характеризующиеся дезинтеграцией литифицированных отложений и повышенной проницаемостью. Надвиговые зоны являются непроницаемыми, нередко – экранирующими.

В целом по региону химический состав подземных вод весьма пестрый: от пресных гидрокарбонатных и сульфатно-гидрокарбонатных с минерализацией 340 – 950 мг/л до слабосолоноватых гидрокарбонатно-сульфатных и сульфатных с минерализацией от 1000 до 2827 мг/л. При этом зона свободного водообмена, приуроченная к разрезу, ограниченному подошвой верхоленской свиты и включающая пресные воды, имеет мощность, редко превышающую 150 – 200 м.

Наиболее перспективным с точки зрения организации водоснабжения является локально-водоносный криогенно-таликовый средне-верхнекембрийский комплекс терригенных отложений верхоленской свиты, приуроченный к зоне интенсивного водообмена, где по зонам тектонических нарушений формируются сквозные талики. Основные запасы подземных вод этой зоны формируются за счет естественных запасов, естественными и привлекаемыми за счет инфильтрации поверхностных вод. Обеспеченным источником водоснабжения, вероятнее всего, является ресурсная составляющая. Естественные ресурсы в рассматриваемом регионе практически не изучались, имеются лишь сведения регионального характера с единичными замерами подземного стока.

В зоне замедленного водообмена, положение которой соответствует слабоводоносному локально-водоносному криогенно-таликовому нижне-среднекембрийскому комплексу карбонатных отложений литвинцевской свиты, подземные воды ограничиваются емкостными и упругими запасами, количество которых в регионе весьма ограничено.

В силу слабой изученности выделение зон повышенной водообильности для последующего бурения по прямым гидрогеологическим признакам практически невозможно. В связи с этим автором разрабатывается принцип оптимизации поисково-разведочного бурения на базе оценки комплексного показателя водообильности (КПВ), определение которого производится по косвенным показателям методом экспертных оценок.

Анализ имеющегося по сходным территориям материала и результаты проведенных полевых работ на ГКМ Восточной Сибири позволили выделить ряд косвенных показателей и факторов, влияющих на водообильность перспективных подразделений и не представляющих особой сложности при их определении.

– Геологическое строение территории, отраженное на государственных картах масштаба 1:200 000.

– Модуль трещиноватости Мт, определенный по соотношению длины русел рек l, не перекрытых четвертичными отложениями и пересекающих площадь квадрата S, размер которого определяется детальностью исследований:

$$Мт = l/S.$$

– Составленная в соответствии с расчетами схема модулей трещиноватости территории.

– Линейный Мл и площадной Мп модули подземного стока, определенные по результатам полевых работ балансово-гидрометрическим методом, т.е. по разности расхода рек в двух гидрометрических створах Q [2]:

• площадные модули естественных ресурсов подземных вод Мп определяются для всего водосборного бассейна реки, ограниченного замыкающим створом:

$$Мп = Q/S_В,$$

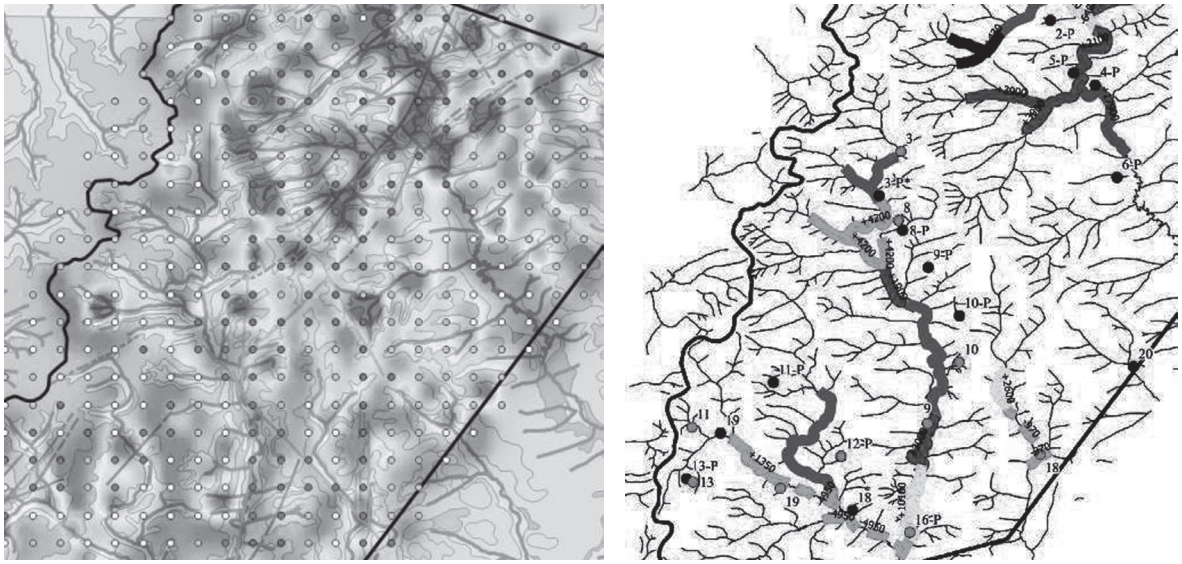
где Q – расход воды, приведенный к 95% обеспеченности, л/с, S – площадь водосбора, км^2;

• линейные модули подземного стока Мл определяются следующим образом:

$$Мл = Q/L,$$

где ΔQ – приращение расхода реки между створами, л/с, ΔL – расстояние между створами, км.

– Аквальные морфоскульптурные показатели: превышение и расстояние ТН над главной и ближней дренами.



Примеры представления интерполированного модуля трещиноватости (слева) и линейного модуля подземного стока (справа)

Для выделения ведущих факторов был сформирован ГИС-проект, состоящий из векторных тематических слоев данных, включающих геологическое строение, рельеф, гидросеть, гидродинамические показатели и фильтрационные параметры водовмещающих отложений перспективных гидрогеологических подразделений по эталонным участкам, структурно-вещественные комплексы, тектонические нарушения и т.д. Итоговый геоинформационный проект включает более пятидесяти слоев. Столь большое их количество, без сомнения, крайне неудобно для визуального анализа, в связи с чем целесообразна его генерализация до нескольких высокоинформативных интегральных показателей с помощью математико-картографического аппарата ГИС [3]. Для этого создано программное обеспечение «Гидропоиск», реализующее над вышеперечисленными слоями математические операции для получения итоговых показателей. Программный комплекс создан на языках pl/pgSQL и python, обработка данных выполняется централизованно на уровне СУБД, результаты расчетов представлены в векторном виде и могут быть интерполированы в непрерывные растровые покрытия (рисунок).

Сопоставление расчетных данных с информацией по эталонным объектам на основе экспертного подхода позволяет создать обоснованные классификации слоев комплексных показателей.

На данный момент рассчитываются шесть высокоинформативных картографических представлений, количественная дифференциация и последующее суммирование которых позволяет оценить территорию по ее перспективности. В составе ГИС используются исключительно открытые программные решения, стандарты и протоколы. Наряду с описанными аналитическими возможностями, обеспечивается типичная для геоинформационной инфраструктуры систематизация всей картографической информации, многопользовательская работа с векторными данными, конфиденциальность и контроль доступа к информации, при этом в соответствии с принятым геоинформационным подходом [3] пользователи получают всегда актуальную информацию в уже оформленном и готовом для анализа виде.

Выводы. Основной объем полевых гидрогеологических работ на поисково-оценочной стадии может быть сведен к четко организованным гидрометрическим маршрутным исследованиям, незначительному объему бурения и опытно-фильтрационного опробования гидрогеологических скважин, местоположение которых определяется после оценки КВП.

Созданная геоинформационная технология обеспечивает существенное повышение геологической и экономической эффективности поисково-оценочных работ.

Предлагаемый подход показал свою правомерность на месторождениях Чонской группы, в настоящее время продолжается тестирование его эффективности.

В дальнейшем на основе описанных мультипликативных и аддитивных показателей может быть сформирован комплексный показатель водопроводимости (КВП), который еще более ускорит визуальный анализ данных, позволит оптимизировать проведение геофизических, буровых и опытно-фильтрационных работ на выделенных участках.

Список литературы

1. Классификация запасов и прогнозных ресурсов питьевых, технических и минеральных вод. – М. : МПР РФ, 2007.

2. Куделин, Б. Н. Принципы региональной оценки естественных ресурсов подземных вод / Б. Н. Куделин. – М. : МГУ, 1960. – 344 с.

3. Паршин, А. В. Интегральные геохимические индикаторы в основе математико-картографического обеспечения экспертных геохимических географических информационных систем / А. В. Паршин, О. И. Демина // Проблемы недропользования. – 2014. – № 2. – С. 53–59.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ТЕРРИТОРИИ ЯМАЛО-НЕНЕЦКОГО НЕФТЕГАЗОДОБЫВАЮЩЕГО РЕГИОНА

Бешенцев В. А.

Тюменский государственный нефтегазовый университет, г. Тюмень, Jeang@mail.ru

Аннотация. Сегодня обстановка такова, что из-за негативных воздействий хозяйственной и иной деятельности на окружающую природную среду, в том числе на подземную гидросферу, мы имеем такие последствия, как загрязнение поверхностных вод рек, водоемов и подземных вод. В связи с этим важнейшей задачей человечества является сохранение их качества. Проблемы качества воды заставляют нас гораздо внимательнее относиться и к состоянию экологии в целом.

Ключевые слова: *качество подземных вод, водоснабжение, запасы подземных вод, загрязнение.*

Abstract. Today the situation is such that because of the negative impacts of economic and other activity on the natural environment, including underground hydrosphere we have such consequences as the pollution of the surface waters of rivers, reservoirs and groundwater. Therefore, the most important task of mankind is the preservation of their quality. Water quality issues require more careful attention to the environment in General.

Key words: *the quality of groundwater, water supply, groundwater contamination.*

Ресурсы подземных вод, которыми располагает Ямало-Ненецкий нефтегазодобывающий регион, участвуют во всех видах производственной и хозяйственной деятельности.

На территории региона добыча пресных подземных вод производится для целей хозяйственно-питьевого и производственно-технического водоснабжения населения и предприятий, минерализованных (соленых) – для технического водоснабжения систем поддержания пластовых давлений при разработке месторождений углеводородов, минеральных – для бальнеологических (лечебных) целей.

В исследуемом регионе по состоянию на 01.01.2014 г. разведаны и утверждены в установленном порядке запасы по 196 месторождениям подземных вод и автономным лицензионным водозаборным участкам [1].

Общая величина утвержденных запасов равна 1038,627 тыс. м^3/сут, из них 886,629 – пресные (питьевые), 151,61 тыс. м^3/сут – соленые (технические) и 0,388 тыс. м^3/сут – лечебные воды (таблица).

Эксплуатационные запасы подземных вод ЯНАО

Назначение воды	Эксплуатационные запасы, тыс. м³/сут					Водоотбор в 2013 г., тыс. м³/сут
	Всего	A	B	C_1	C_2	
Пресные для питьевых и технических целей	886,629	241,024	295,006	251,974	98,625	230,382
Соленые (апт-сеноманские)	151,61	22,3	55,825	62,195	11,29	53,873
Лечебные	0,388		0,388			0,001
Итого по ЯНАО	1038,627	263,324	351,219	314,169	109,915	284,256

Ежегодно из подземных источников на исследуемой территории добывается и используется в пределах 100 млн м³воды. Динамика добычи подземных вод приведена на рис. 1. Их доля в общем объеме водопотребления по Ямало-Ненецкому нефтегазовому региону составляет порядка 81%.

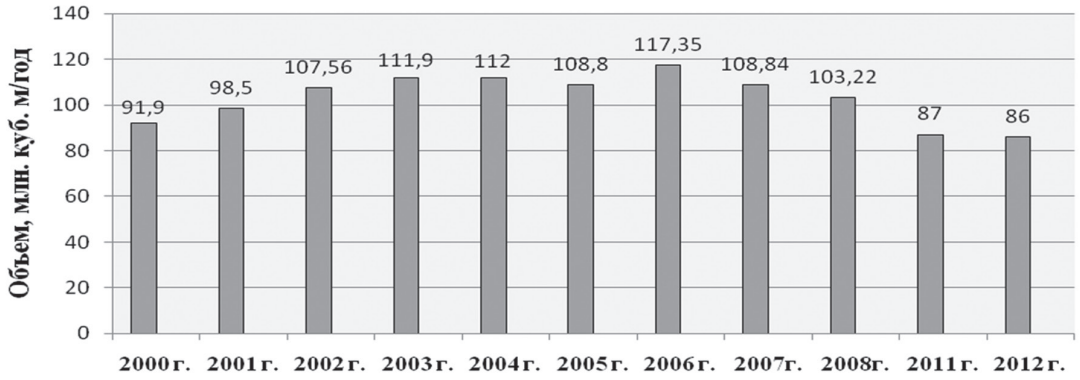


Рис. 1. Динамика добычи подземных вод по годам

Максимальная доля использования подземных вод в балансе хозяйственно-питьевого водоснабжения приходится на Пуровский и Надымский районы, где водоснабжение полностью обеспечивается за счет подземных источников. Среди населенных пунктов максимальное использование пресных подземных вод приходится на города: г. Ноябрьск – 54,474 тыс. м³/сут, г. Новый Уренгой – 38,852, г. Надым – 43,995, г. Муравленко – 9,880, г. Губкинский – 9,786 и г. Салехард – 9,840 тыс. м³/сут (рис. 2). В этих городах доля подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении составляет 100%. [3].

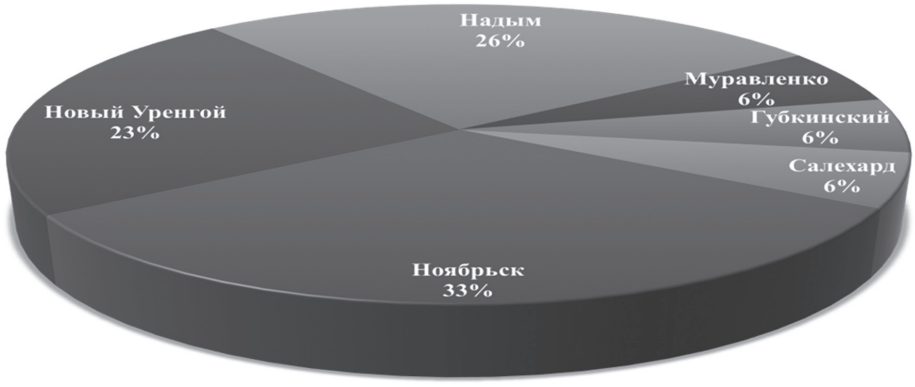


Рис. 2. Использование пресных подземных вод в городах округа

Пресные подземные воды. Пресные подземные воды, являющиеся основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения Ямало-Ненецкого автономного округа, приурочены к отложениям эоцен-олигоцен-четвертичного гидрогеологического комплекса.

По результатам оценки обеспеченности населения запасами и ресурсами подземных вод территория округа относится к наиболее благоприятным регионам Российской Федерации. Их прогнозная величина оценивается почти в 36 млн м^3/сут [2]. Основная их часть сосредоточена в гидрогеологических структурах Западно-Сибирского артезианского мегабассейна (88,5%). На долю структур Больше-Уральского горно-складчатого бассейна приходится оставшаяся часть, т.е. 11,5%.

Из указанного общего количества прогнозных эксплуатационных ресурсов пресных подземных вод разведано и оценено по состоянию на 01.01.2014 г. всего 886, 629 тыс. м^3/сут. По данным Государственного статистического отчета 2-ТП «Водхоз» [2], из подземных источников было добыто 217,37 млн м^3 воды, что составило около 30% утвержденных запасов пресных подземных вод. При довольно благополучном соотношении ресурсов пресной воды и осуществляемого водопотребления в округе вопрос питьевого водоснабжения остается довольно острым, что связано, прежде всего, с качеством воды.

Характерной особенностью пресных подземных вод региона является их низкая минерализация, редко превышающая 100 мг/дм^3 (ультрапресные воды). Низкие концентрации отмечаются для таких основных солеобразующих компонентов, как кальций (от 3 до 50 мг/дм^3) и магний (от 2 до 40 мг/дм^3). На фоне пониженных значений этих ионов резко выделяются высокие содержания ионов железа (от 1,4 до 6,5 мг/дм^3) и марганца (от 0,01 до 2,2 мг/дм^3), а также кремнекислоты (от 2,4 до 35 мг/дм^3). Ниже санитарных норм находится содержание фтора и йода.

Специфика химического состава подземных вод создает определенную степень риска для населения и требует перед подачей воды потребителю проведения специальных мероприятий по водоподготовке, а недостаток солевой нагрузки и концентраций биологически необходимых компонентов может быть скомпенсирован внесением в рацион питания населения сбалансированных минеральных вод [3].

Благодаря относительной защищенности (за счет мерзлоты) подземные воды в отличие от поверхностных загрязняются более медленно, но процесс идет и носит необратимый характер. Проведенные автором в течение ряда лет научно-исследовательские работы по опробованию пресных подземных вод Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона показали следующее.

1. Наблюдается загрязнение пресных подземных вод на Уренгойском, Салехардском, Таркосалинском, Муравленковском, Надымском городских водозаборах [4]. Например, в подземных водах Салехардского городского водозабора, начиная с 1986 г., присутствует NH_4^-, концентрация которого с 1993 по 2003 гг. устойчиво держится на отметках 2,0 – 2,5 мг/дм^3. Показатель мутности на водозаборе достигает значений 5,8 – 7,5 мг/дм^3, а в единичных случаях доходит до 11 мг/дм^3. На ликвидированном втором участке водозабора содержание NO_3^- изменялось от 1 до 6–7 мг/дм^3. Во времени эти изменения происходили следующим образом: в период многоводной фазы (с 1982 по 1984 гг.) величина NO_3^- достигала значений 6–7, затем в 1985 – 1986 гг. уменьшилась до 0,5 – 1,0 мг/дм^3 и далее возросла вплоть до 1995 г. до величины в среднем 4,5 – 5,0 мг/дм^3, а в отдельных случаях – до 16 мг/дм^3 [3].

Повышение и снижение содержания в подземных водах ионов азотистой группы зависит не только от водности года, но и подчиняется сезонности, увеличиваясь в осенне-зимние и весенние периоды и уменьшаясь в летнее время.

Среднее содержание PO_4^{3+} в скважинах городского водозабора достигает 3,3 мг/дм^3, изменяясь от 1,3 до 3,52 мг/дм^3 , что указывает на наличие процесса коммунально-бытового загрязнения.

2. На городском водозаборе Тарко-Сале обращает на себя внимание превышение фонового содержания фосфатов, хлоридов и азотной группы. При этом наблюдается рост содержания NO_3^-.

3. На Надымском водозаборе за десятилетний период наблюдений отмечается устойчивый рост минерализации, которая возросла с 60 до 250 мг/дм^3, т.е. в четыре раза. Также отмечается рост содержания железа – с 2 до 6 мг/дм^3. Параллельно росту естественных компонентов на водозаборе наблюдается устойчивый рост содержания азотной группы и полифосфатов, что позволяет говорить о коммунально-бытовом загрязнении подземных вод.

4. Необходимо отметить наличие в подземных водах региона, в первую очередь в Пуровском районе, техногенных компонентов-загрязнителей: нефтепродуктов и фенолов.

5. В результате многолетней эксплуатации подземных вод практически на всех городских водозаборах региона отмечается рост железа и уменьшение pH. Их можно отнести к специфическим компонентам техногенеза в результате водоотбора пресных подземных вод.

6. По мнению С. А. Козлова [4], механизм увеличения концентрации железа и марганца в подземных водах на участках их эксплуатации связан с увеличением в воде концентрации двуокиси углерода. На участках действующих водозаборов при осушении водовмещающих пород в кровле водоносного горизонта и соответственном увеличении зоны аэрации процессы окисления органических веществ в нижней части зоны аэрации (верхняя часть водовмещающих отложений) будут происходить более интенсивно. Окисление органических веществ интенсифицирует образование CO_2, который, быстро растворяясь в подземных водах, снижает их pH и сдвигает в них карбонатное равновесие в сторону HCO_3^- и простых ионов Fe^{2+} и Mn^{2+}. Высокая водопроводимость водовмещающих пород ограничивает описанные процессы в околоскважинной зоне радиусом 10 – 15 м.

7. Имеющиеся факты загрязнения подземных вод вызывают серьезную тревогу за сохранение их качества в ближайшем будущем, учитывая крайне медленное естественное самоочищение и возобновляемость. Все это требует разработки специальных мер по защите подземных вод от загрязнения на основе детального изучения влияющих на процесс факторов.

Минерализованные подземные воды. Добыча минерализованных (соленых) подземных вод на территории округа осуществляется для целей технического водоснабжения систем поддержания пластового давления (ППД) при разработке и эксплуатации месторождений углеводородов. При этом основным объектом добычи являются подземные воды апт-альб-сеноманского гидрогеологического комплекса.

По состоянию на 01.01.2013 в округе для целей технического водоснабжения систем ППД оценены и утверждены в установленном порядке запасы на 30 месторождениях в количестве 151,61 тыс. м^3/сут [3].

Ежегодно для этих целей добывается и используется до 80 тыс. м^3/сут [3].

Минерализация этих подземных вод изменяется от 19,8 до 22,7 г/дм^3. В составе минерализованной воды преобладают хлор и натрий. Содержание йода достигает 30 мг/дм^3, бора – 20 мг/дм^3, фтора – 1,6 и железа – 25 мг/дм^3. В воде отмечено низкое содержание гидрокарбонатов и практически полностью отсутствуют сульфаты.

Помимо использования минерализованных вод апт-альб-сеноманских отложений для целей ППД, сам водоносный коллектор широко используется для захоронения сточных вод. К настоящему времени на разрабатываемых месторождениях углеводородов и вблизи отдельных населенных пунктов обустроены 57 полигонов захоронения. Ежегодно в недра региона сбрасывается (подлежит захоронению) порядка 3,5 млн м^3 сточных вод.

Минеральные подземные воды. На территории округа имеются всего несколько объектов эксплуатации минеральных вод, которые используются в лечебных целях (столовые питьевые воды, минеральные лечебные ванны).

Общие эксплуатационные ресурсы минеральных подземных вод по территории округа не оценивались. По региональным данным, они весьма велики и достаточны для широкого использования почти в любом освоенном в хозяйственном отношении районе ЯНАО, не только для отмеченных выше целей, но и в плавательных бассейнах по примеру ХМАО и юга Тюменской области.

По состоянию на 01.01.2014 в округе для бальнеотерапевтического применения оценены и утверждены в установленном порядке запасы на 3 объектах в количестве 0,388 тыс. м^3/сут. Необходимо отметить, что интерес для бальнеотерапевтического применения представляет уникальная лечебная вода, вскрытая в юрских отложениях на глубине 400 м скв. № 36, пробуренная в 1989 г. в центре г. Салехарда. Вода гидрокарбонатно-хлоридная натриевая с минерализацией 1,0 г/дм^3 и очень высоким содержанием органического вещества. По заключению Свердловского НИИ курортологии и медицинской реабилитации вода может использоваться для лечения заболеваний нервной системы, костно-мышечной системы, органов пищеварения, женских половых органов и кожи. Эксплуатационные запасы минеральной лечебной воды не утверждены [3].

В заключение можно сказать, что наличие богатейших запасов подземных вод на территории Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона требует постановки вопроса не только о путях их рационального использования, но и об охране их от истощения и загрязнения.

Список литературы

1. Доклад «Об экологической ситуации в Ямало-Ненецком автономном округе в 2013 году». – Салехард : Департамент природно-ресурсного регулирования, лесных отношений и развития нефтегазового комплекса ЯНАО, 2014. – 223 с.

2. Государственный статистический отчет 2-ТП «Водхоз» за 2013 г. – Тюмень : НОБВУ, 2014.– 241 с.

3. Бешенцев, В. А. Подземная гидросфера севера Западной Сибири (в пределах Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона) / В. А. Бешенцев, Т. В. Семенова // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2014. – № 4. – С. 6–11.

4. Козлов, С. А. Изменение химического состава пресных подземных вод Средне-Амурского артезианского бассейна в техногенно нарушенных условиях / С. А. Козлов, Б. С. Архипов // Материалы XV Всероссийского совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. – Тюмень, 1997. – С. 58–59.

ИЗ ИСТОРИИ ОТКРЫТИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД В СССР (МИНСК, РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ)

Богомолов Ю. Г.[1], **Станкевич Р. А.**[2]

[1]ООО «Российский союз гидрогеологов», Росгидрогео, г. *Москва;*
[2]РУП «Научно-производственный центр по геологии» Министерства природы и окружающей среды Республики Беларусь, Республика Беларусь, г. Минск

Аннотация. Приведена краткая историческая информация о зарождении научной, учебной и прикладной гидрогеологии в России и Советском Союзе, на фоне которой описывается открытие минеральной воды «Минская-4» в Республике Беларусь (Минск).

Ключевые слова: *гидрогеология, минеральная вода, скважина, формула солевого состава, гидрогеохимическая зона.*

Abstract. The review provides the short historical information on the creation of the scientific, school and applied hydrogeology in Russia and Soviet Union, on the background of description discovery of mineral water «Minskaya-4» in Minsk, Republic of Belarus.

Key words: *hydrogeology, mineral water, well, formula of soil composition, hydro-geochemical zone.*

История открытия (1929 г.) и использования минеральных вод в Белоруссии является прекрасным фрагментом для изучения истории становления гидрогеологической науки и практики в России, в том числе изучения и охраны минеральных вод.

В 1919 г. вскоре после издания известного декрета советского правительства об охране курортных зон, подписанного В. И. Лениным, началось планомерное изучение минеральных вод России. К славной плеяде русских инженеров-исследователей конца XIX – начала XX в., посвятивших свою жизнь изучению минеральных вод Российского государства, относится, прежде всего, Н. Н. Славянов, который вместе с первыми исследователями минеральных вод (А. П. Герасимовым, М. Г. Курловым, А. Н. Огильви, М. В. Сергеевым) заложили основы современных представлений о гидрогеологии минеральных вод. Замечательным результатом работ Н. Н. Славянова был обзор (совместно с В. В. Ивановым) «Гидрогеологическое изучение минеральных вод, минеральных озер и лечебных грязей Центральным институтом курортологии Наркомздрава СССР в 1929 – 1946 гг.». К этому же периоду (1928 – 1929 гг.) относится изучение минеральных вод в Белоруссии Г. В. Богомоловым. Наиболее значительным открытием Николая Николаевича Славянова является источник минеральных вод в Железноводске (в скважине №16 на глубине 120 м), которому было присвоено имя «Славяновский» [1] и, соответственно, известной ныне минеральной воде – «Славяновская». Наиболее значительным открытием Герасима Васильевича Богомолова в области минеральных вод является источник минеральной воды в Минске (в скважине № 4 «Эльвода» на глубине 353,8 м), которому 20.12.2014 г. к 85-летию открытия был поставлен монумент на месте скважины, вскрывшей минеральную воду, известной в настоящее время как «Минская-4». Однако юридического оформления открытия не произошло по причине «несоответствия» фамилии первооткрывателя. «Вот мы назовем эту воду Богомоловской, – сказал в 1981 г. семье Г. В. Богомолова Первый Секретарь Центрального Комитета Коммунистической Партии Белоруссии Т. Я. Киселев, – и пойдут паломники к воде…, а у нас проблемы…». Судьбы Н. Н. Славянова (1878 – 1958 гг.) и Г. В. Богомолова (1905 – 1981 гг.) пересеклись на ниве работы в лаборатории гидрогеологических проблем АН СССР (ЛГГП АН СССР) в 50-х годах XX в. (после 1946 г. – ЛГГП им. Ф. П. Саваренского АН СССР; расформирована в 1961 г.).

Первые лекции по гидрогеологии в России начал читать в 1907 г. профессор П. Н. Чирвинский в Донском политехническом институте (г. Новочеркасск). Он же подготовил первый учебник по гидрогеологии в 1922 году. В 1908 г. после окончания Горного института в Санкт-Петербурге Н. Н. Славянов провел ряд наблюдений и измерений при ремонте каптажа Кисловодского Нарзана. Таким образом, он заложил начало своим будущим многолетним исследованиям на Кавказских минеральных водах. Первая кафедра гидрогеологии была основана в 1914 г. под руководством профессора А. Н. Семихатова в Московском сельскохозяйственном институте.

Зарождение научной и прикладной гидрогеологии началось после 1917 года и в Народном земельном комитете Российской Советской Федеративной Социалистической Республики (НАРКОМЗЕМ РСФСР), после 1924 г. – в Геологическом комитете СССР (ГК СССР), в 1927 г. – в Бюро по изучению подземных вод (далее Бюро). После создания в 1918 г. Московской горной академии (МГА) в ней была утверждена в 1920 г. гидрогеологическая специальность и организован в 1924 г. «Кабинет гидрогеологии» профессором О. К. Ланге. С 1929 по 1953 гг. МГА имела имя т. Сталина, в 1929 г. из состава МГА им. т. Сталина было выделено несколько самостоятельных известных институтов, в том числе Московский геолого-разведочный институт им. Серго Орджоникидзе, в котором в 1930 г. профессор Ф. П. Саваренский основал на гидрогеологическом факультете кафедру гидрогеологии, сохранившуюся и поныне. В дальнейшем МГА (Ленинский проспект, 6) несколько раз меняла свое название – Московский горный институт (МГИ), Московский государственный горный университет (МГГУ) и, наконец, слившись с Московским институтом стали и сплавов (МИСИС), приобрела 17.03.2014 г. название Национальный исследовательский технологический университет (НИТУ – Ленинский проспект, 4), утратив подразделения гидрогеологического профиля. В декабре 1931 г. в Ленинграде состоялся Первый всесоюзный гидрогеологический съезд, единственный за всю историю гидрогеологии в СССР и СНГ [2].

Бюро Государственного научно-исследовательского института гражданских, промышленных и инженерных сооружений (ГИС – Государственный институт сооружений, как коротко называли его специалисты) Всесоюзного Совета Народного Хозяйства Союза Советских Социалистических Республик (ВСНХ СССР) явилось предтечей сектора «гидрогеологии» во Всесоюзном научно-исследовательском институте инженерно-строительной гидротехники и инженерной гидрогеологии (Гидротехгеоинститут) Союзстроя Народного Комиссариата Тяжелой Промышленности СССР (НКТП СССР). Гидротехгеоинститут был создан 30.06.1931 г. и переименован 20.01.1934 г. во Всесоюзный научно-исследовательский Институт водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии (ВНИИ «Водгео»), с 14.10.1994 г. – Государственный научный центр Российской Федерации открытое акционерное общество «НИИ ВОДГЕО» (ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО»), сохранивший подразделения гидрогеологического профиля.

С 1927 г. в Бюро работал в качестве заместителя начальника студент МГА Г. В. Богомолов, который по распределению для подготовки диплома об окончании МГА был направлен в Белоруссию. Бюро располагалось тогда в Москве в двухэтажном старой постройки здании 1/3 по Большой Лубянской улице, на углу с улицей Пушечной (снесено в 1982 г., на его месте сейчас находится здание Федеральной службы безопасности РФ (ФСБ РФ)).

В мае 1928 г. начались исследования ГИС ВСНХ СССР по поискам новых источников водоснабжения для Минска из девонских и ледниковых отложений. В составе изыскательской партии было 10 человек: начальник, старший гидрогеолог (Г. В. Богомолов), два младших гидрогеолога, четыре коллектора и два буровых мастера. Научное руководство партии осуществлял профессор Г. Ф. Мирчинк, который разработал совместно с Г. В. Богомоловым детальный план ее научно-производственной деятельности. В программу партии входило бурение гидрогеологических поисковых скважин глубиной 80 – 180 м в окрестностях Минска (деревни Новинка, Петровщина, Степянка, Дражня), проведение геологических исследований четвертичных отложений, а также бурение скважины с проектной глубиной 400 м – № 4 «Эльвода», в пойме р. Свислочи. Проходка этой скважины была завершена в 1929 г. на глубине 353,8 м; в то время эта была самая глубокая скважина в западных районах СССР и считалась реперной.

Студент Г. В. Богомолов и буровая бригада тогда расположились в д. Сенницы под Минском, откуда по центральной Захарьевской улице города в течение двух лет направлялись на берег р. Свислочи для бурения скважины № 4 «Эльвода» (рис. 1). Намного позже это место

Рис. 1. Утро буровой бригады в д. Сенницы под Минском (1929 г.).
За столом – старший гидрогеолог Г. В. Богомолов

на берегу реки, где была пробурена скважина, вошло в парк им. Горького, а скважина № 4 «Эльвода» стала называться «Минская-4». Захарьевская улица превратилась в современный центральный проспект Минска, сменив за свою историю несколько названий (Проспект Ленина, Сталина, Ф. Скорины, Независимости).

В настоящее время в районе Минска и прилегающей территории работает ряд лечебно-оздоровительных учреждений, использующих минеральные воды, а также имеются предприятия по бутилированию минеральных вод. Мощность осадочных отложений, содержащих пресные и минеральные воды, изменяется здесь от 424 до 592 м с увеличением на восток и юго-восток в сторону погружения кристаллического фундамента. Мощность зоны пресных вод достигает 300 – 320 м, минеральных вод (солоноватых и соленых) – 105 – 290 м с увеличением с северо-запада на юго-восток. Водовмещающими породами минеральных вод являются верхнепротерозойские песчаники, которые отделяются от вышележащей зоны пресных вод регионально выдержанным водоупором (по площади и в разрезе), представленным глинами, алевролитами, плотными песчаниками. Отдельные интервалы минеральных вод также разделены водоупорами, что способствует устойчивому сохранению минерализации и солевого состава в процессе эксплуатации минеральных вод на разных глубинах.

Выделяют воды малой (2 – 5 г/л), средней (6 – 11 г/л) и высокой (11 – 27 г/л) минерализации хлоридно-натриевого и сульфатно-хлоридно-натриевого типа. В зависимости от рельефа дневной поверхности в районе Минска глубина гидрогеохимических зон (по степени минерализации) составляет для пресных вод до 300 – 320 м, солоноватых – до 400 – 450 м, соленых – до 530 м и более. Пропорционально минерализации изменяется и концентрация основных гидрогеохимических компонентов. Эти компоненты промежуточных вод отражают результат смешения вод глубинной зоны высокой минерализации и слабоминерализованной воды верхней зоны (таблица).

Все три зоны, очевидно, связаны между собой постепенными переходами химического состава и минерализации. Повышение минерализации происходит, главным образом, за счет хлора и натрия и в меньшей степени за счет сульфатов, принимая с глубиной все более четкий характер хлоридно-натриевых вод.

Водоносный терригенный комплекс верхнего протерозоя в районе Минска изучался путем бурения глубоких скважин на пресные и минеральные воды. Впервые он был вскрыт в 1915 г. на территории нынешнего парка им. Горького скважиной № 1 глубиной 281,8 м [4], затем в 1926 – 1929 гг. на той же территории еще тремя скважинами – № 2, 3, 4 глубиной 275,9 – 294,95 м [1]. Скважины использовались для гидрогеологических исследований, затем для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Минска.

При углублении скважины № 4 «Эльвода» до 353,8 м в декабре 1929 г. уровень воды поднялся выше устья на 1,3 м, а минерализация воды достигла 6,1 г/л (в дальнейшем она стала известна как «Минская минеральная»). В 1930 г. эту скважину затампонировали (засыпали) до глубины 295 м и получили воду с минерализацией менее 0,3 г/л, пригодную для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Минска. В 1946 – 1949 годах скважина № 4 «Эльвода» была углублена до кристаллического фундамента как Минская опорная скважина (580,27 м), описание которой выполнено А. Н. Золотаревой в 1949 г. Скважина вскрыла гранитные породы фундамента на глубине 557,58 м и хлоридно-натриевые минеральные воды на этой глубине с минерализацией от 3,2 до 27,2 г/л. В 1951 – 1952 гг. в г. Минске на территории 1-й клинической больницы пробурены 2 скважины, вскрывшие хлоридно-натриевые воды на глубине 390,0 м с минерализацией 5,6 г/л, на глубине 523,9 м – 20,1 г/л.

В результате изучения материалов бурения этих относительно глубоких для того времени скважин выявлены особенности гидрогеохимической зональности, охарактеризован химический состав подземных вод и определены перспективы их бальнеологического использования.

Гидрогеохимические типы минеральных лечебных вод Минска и окрестностей [3]

№№ п/п	Местоположение, номер* скважины	Глубина скважины, м абс. отметка устья, м	Интервал опробования, м	Формула солевого состава воды
Хлоридно-натриевые воды				
1	Минская опорная скважина (парк им. Горького) опробовалась на разных глубинах (в том числе пресные воды**, см. интервал опробования)	580,27 194,70	280,0**	M 0,35 $\frac{HCO_3 96 SO_4 2 Cl 12}{Na 67 Ca 21 Mg 12}$
			300,0	M 3,2 $\frac{Cl 79 SO_4 14 HCO_3 7}{Na 89 Ca 6 Mg 5}$
			326,0	M 5,5 $\frac{Cl 82 SO_4 15 HCO_3 3}{Na 92 Ca 7 Mg 1}$
			352,0	M 6,1 $\frac{Cl 87 SO_4 12 HCO_3 1}{Na 91 Ca 6 Mg 3}$
			476,86-510,00	M 27,2 $\frac{Cl 87 SO_4 13}{Na 77 Ca 14 Mg 8}$
2	1-я клиническая больница, скв. 1	523,90 215,90	474-509	M 16,1 $\frac{Cl 83 SO_4 16}{Na 81 Ca 11 Mg 7}$
			519,0	M 20,1 $\frac{Cl 83 SO_4 17}{Na 80 Ca 13 Mg 7}$
3	1-я клиническая больница, скв. 2	390,00 215,90	348-379,5	M 5,6 $\frac{Cl 82 SO_4 14 HCO_3 3}{Na 96 Mg 3 Ca 1}$
4	Больница автозавода	475,00 217,00	412-432	M 12,0 $\frac{Cl 87 SO_4 12 HCO_3 1}{Na 82 Ca 11 Mg 6}$
5	Городская водогрязелечебница, скв. 1	545,00 211,50	497-540	M 13,4 $\frac{Cl 80 SO_4 19}{Na 81 Ca 12 Mg 6}$
6	Городская водогрязелечебница, скв. 3	400,00 211,50	347-388	M 2,53 $\frac{Cl 78 SO_4 12 HCO_3 9}{Na 87 Ca 8 Mg 4}$
7	Минский завод безалкогольных напитков, скв. 3, минеральная вода «Минская-3»	418,00 211,78	402-411	M 5,95 $\frac{Cl 81 SO_4 15}{Na 89 Ca 7}$
8	Минский завод безалкогольных напитков, скв. 4, минеральная вода «Минская-4»	390,00 211,50	320-360	M 3,6 $\frac{Cl 82 SO_4 11 HCO_3 6}{Na 93 Ca 5}$
9	Пос. Ждановичи, ПЧУП «Дарида», скв. 2/97	410,00 222,00	360,0-400,0	M3,4 $\frac{Cl 86 SO_4 12 HCO_3 2}{(Na + K) 68 Ca 19 Mg 13}$
10	Пос. Ждановичи, ПЧУП «Дарида», скв. 3/01	417,00 229,00	365,0-417,0	M3,2 $\frac{Cl 78 SO_4 13 HCO_3 9}{(Na + K) 83 Ca 10 Mg 7}$
11	Водно-спортивный комбинат (парк Челюскинцев)	518,20 215	430-516,5	M 12,2 $\frac{Cl 80 SO_4 19}{Na 84 Ca 9}$
12	9-я городская больница, скв. 2	373 200	353-364	M 9,6 $\frac{Cl 81 SO_4 18 HCO_3 1}{Na 85 Ca 8 Mg 6 K 1}$
13	9-я городская больница, скв. 1	510 200	452-489	M 21,4 $\frac{Cl 85 SO_4 15}{Na 81 Ca 12 Mg 7}$
14	Пос. Ждановичи, санаторий «Криница», скв. 2/69	379,60 210,40	354-378	M 3,5 $\frac{Cl 75 SO_4 16}{Na 92 Ca 4}$
Хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные натриевые воды				
15	Пос. Ждановичи, санаторий «Беларусь», скв. 1	470,00 211,5	421-470	M 5,4 $\frac{Cl 70 SO_4 25}{Na 92 Ca 5 Mg 3}$
16	Пос. Ждановичи, санаторий «Криница», скв. 2/60	477,10 211,50	433,9-477,0	M 10,8
17	Санаторий «Аксаковщина», скв. 1	474,00 212,00	440-474	M 4,6 $\frac{SO_4 52 Cl 41}{Na 82 Ca 10}$

№№ п/п	Местоположение, номер* скважины	Глубина скважины, м / абс. отметка устья, м	Интервал опробования, м	Формула солевого состава воды
18	Санаторий «Аксаковщина», скв. 1а	н.с.	448-456	$M\ 12{,}3\ \frac{SO_4 51 Cl 43}{Na 82}$
19	Пос. Острошицкий Городок, санаторный лагерь «Геолог», скв. 1	576,5 / 235,0	495-529	$M\ 12{,}3\ \frac{Cl 67 SO_4 32}{Na 74 Ca 20}$
20	Пос. Острошицкий Городок, санаторный лагерь «Геолог», скв. 2	453 / 235,0	422-448	$M\ 7{,}5\ \frac{Cl 72 SO_4 26}{Na 86 Ca 9}$
21	Водозабор «Волма», скв. 6	н.с.	410,0-452,8	$M\ 3{,}2\ \frac{Cl 77 SO_4 20}{Na 88}$
22	Заславль, ст. Зеленое	465,2 / 224,05	420-456,2	$M\ 4{,}0\ \frac{Cl 64 SO_4 31}{(Na + K) 93 Ca 4}$
23	Пос. Городище, санаторий «Дружба», скв. 2	378,8 / 230	350-370	$M\ 4{,}3\ \frac{Cl 73 SO_4 22 HCO_3 5}{Na 92 Ca 4 Mg 3 K 1}$

*В знаменателе дроби – год окончания бурения скважины.

С 1959 г. проводятся целевые поисково-разведочные работы по выявлению месторождений минеральных вод с последующим строительством на их базе профилакториев и санаториев. В ряде населенных пунктов (Минск, Ждановичи и др.) осуществляется разведка месторождений с подсчетом эксплуатационных запасов минеральных вод в отложениях верхнего протерозоя. В этих работах принимали участие С. П. Гудак, П. Н. Дмитриева, В. В. Дынич, А. К. Морозов, В. А. Ольховик, Г. В. Смирнова, Р. А. Станкевич и др. С 1953 по 2001 гг. в Минске и ближайших окрестностях (пос. Ждановичи, Городище и др.) была пробурена 41 скважина на минеральные воды глубиной от 360 до 600 м, из них 5 скважин для гидрогеологических исследований и 36 скважин для каптажа минеральных вод, Общая минерализации этих вод находится в пределах 3,1 – 27,23 г/л. На базе минеральных вод работает ряд лечебно-оздоровительных учреждений и предприятий по розливу минеральных вод. 36 эксплуатационных скважин на минеральные воды, расположенные в разных частях территории, принадлежащие 14 владельцам, образуют отдельные водозаборы из 1 – 5 скважин (см. таблицу). В 2004 и 2005 гг. завершены две специальные работы: по оценке запасов минеральных вод для Минского завода безалкогольных напитков (МЗБН) и обобщению данных многолетней эксплуатации минеральных вод Минской группы месторождений. Эти работы содержат по настоящее время максимум обработанной и полезной информации о минеральных водах Минска и подробные сведения о глубинном геолого-гидрогеологическом строении района. В частности, эксплуатационные запасы минеральных вод для МЗБН утверждены по категории А в количестве: «Минская-3» – 100 м^3/сут (скв. 3), «Минская-4» – 400 м^3/сут (скв. 4, 5, 7).

Из формул солевого состава видно (см. таблицу), что результативная вода от смешивания устойчиво сохраняет гидрогеохимический облик, свойственный глубинной минерализованной воде, а воды гидрогеохимической нижней зоны в Минске имеют одинаковый хлоридно-натриевый состав при уменьшающейся вверх минерализации благодаря увеличению разбавления и повышению степени водообмена с верхними пресными водами. На Минской возвышенности и прилегающей территории в разрезе осадочной толщи, вплоть до зоны минеральных вод, преобладает нисходящая фильтрация подземных вод (в противоположность, например, долинам крупных рек – Зап. Двины, Припяти, где происходит разгрузка глубинных вод и установлены подтоки более минерализованных вод в зону пресных вод). Поэтому в районе Минска при водоотборе пресных вод из протерозойских песчаников пока не проявляется большая активность процессов подтока соленых вод снизу.

Минеральные воды Минска и окрестностей успешно применяются в больницах, санаториях и других лечебно-оздоровительных учреждениях: при минерализации до 10 – 12 г/л как

лечебно-питьевые для лечения заболеваний органов пищеварения и обмена веществ, а свыше 10 – 12 г/л – как бальнеологические (в ваннах, бассейнах) для лечения сердечно-сосудистой системы, периферической нервной системы, гинекологических заболеваний и заболеваний опорно-двигательного аппарата. С 1957 г. осуществляется бутылочный розлив Минской минеральной воды № 3 и 4.

С момента открытия в недрах Минска целебной минеральной воды прошло более 85 лет. В связи с этим в парке им. Горького, расположенном в самом центре города на берегу реки Свислочи, в 2014 г. на месте Минской опорной скважины был воздвигнут монумент, посвященный этому событию и первооткрывателю минеральной воды «Минская-4», видному отечественному гидрогеологу академику Герасиму Васильевичу Богомолову. Торжественное открытие монумента состоялось 20 декабря 2014 г. Легкая, взмывающая вверх капля воды (рис. 2), выполненная из серебристого силумина (сплава алюминия с кремнием), на основании которой помещен барельеф академика Г. В. Богомолова (рис. 3), украсила парк им. Горького. За последние 36 лет МЗБН подготовлено почти 2,5 млрд бутылок минеральной воды «Минская-4», природный состав которой полностью соответствует природному составу воды из скважин на этот водоносный горизонт.

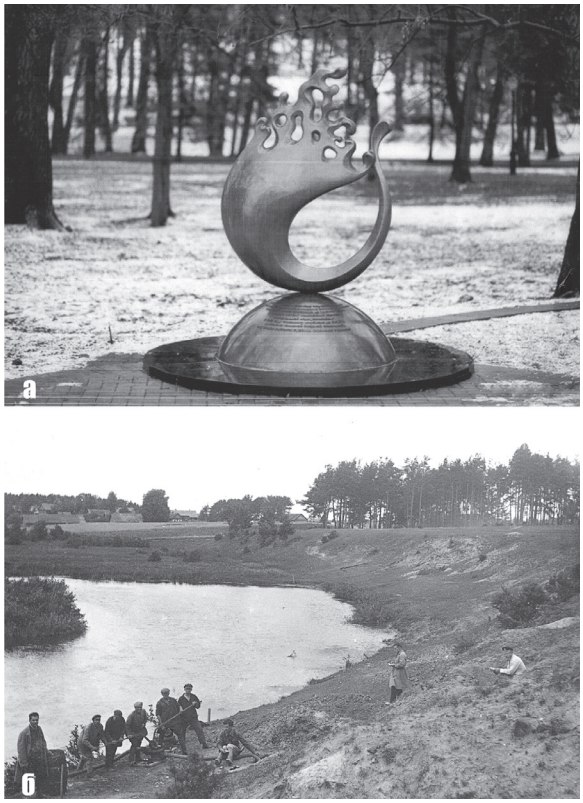


Рис. 2. 85 лет с момента открытия минеральной воды «Минская-4»:
а – монумент на оголовке скважины «Минская № 4 Эльвода» 1929 г. в парке им. М. Горького в Минске, посвященный минеральной воде «Минская-4» и ее первооткрывателю – академику Г. В. Богомолову (установлен 20.12.2014 г.); б – проходка скважины на минеральные воды в Минске на берегу р. Свислочи, 1929 г. (Г. В. Богомолов сидит во время проведения откачки у оголовка скважины)

Рис. 3. Барельеф и текст на полусфере основания монумента минеральной воде «Минская-4»:
а – первооткрыватель;
б – информация об открытии

Г. В. Богомолов стоял у истоков научной и прикладной гидрогеологии в СССР, получив базовое гидрогеологическое образование в МГА им. т. Сталина. Защитив диссертацию на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук в 30-х годах прошлого века на основе исследовательских материалов по Белоруссии, в том числе и по наблюдениям в скважине № 4 «Эльвода», он впервые в СССР обосновал производительность водоносного горизонта на основе опытно-фильтрационных работ (ОФР) [3]. Возглавив позже сектор «гидрогеологии» в Гидротехгеоинституте, став заместителем директора этого института, он в 1939 г. основал Всесоюзный научно-исследовательский институт гидрогеологии и инженерной геологии (ВСЕГИНГЕО) – первое научное подразделение такого рода в мире, имеющее аналоги во многих странах, и был назначен его первым директором. В 1979 г. мировая научная общественность водного профиля избрала Г. В. Богомолова Почетным президентом Международной ассоциации гидрологических наук (МАГН), первым в СССР и до сих пор единственным на постсоветском пространстве. Но больше всего Герасим Васильевич гордился на закате жизни «водичкой», как он говорил, на безлесном берегу р. Свислочи в Минске, недалеко от булыжной мостовой Захарьевской улицы в далеком 1929 г. В 1928 г. 23-летний Герасим Богомолов познакомился в Минске со своей будущей супругой – уроженкой Белоруссии. В 1929 г. он открыл минеральную воду «Минская-4». В этом же году у них появился первенец – сын Александр.

Юбилейный для минеральной воды «Минская-4» 2014 г. ознаменовался и другими знаковыми событиями, имеющими прямое отношение к научной и прикладной гидрогеологии: 100 лет кафедре гидрогеологии Московского сельскохозяйственного института, 95 лет Кабинету гидрогеологии МГА, 90 лет Всероссийскому научно-исследовательскому институту гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, 85 лет кафедре гидрогеологии Ленинградского горного института, 80 лет ГНЦ РФ ОАО «НИИ ВОДГЕО», 75 лет ВСЕГИНГЕО, 70 лет ЛГГП им. Ф. П. Саваренского АН СССР, 70 лет кафедре динамической геологии и гидрогеологии Пермского государственного университета, 35 лет со дня избрания первого Почетного президента МАГН в СССР.

Установка монумента минеральной воде в Белоруссии, в Минске, по существу первого недекоративного памятника воде в СНГ, – не только хороший подарок гидрогеологической общественности и ее первооткрывателю к 110-летию со дня рождения (17.03.2015 г.), но и знак повышенного внимания глав государств единого экономического пространства (Армении, Белоруссии, Казахстана, России) к подземным и поверхностным водным ресурсам на постсоветском пространстве. И это правильно.

Список литературы

1. Багамолов, Г. В. Гідрагеалагічныя даследаванні ў басейне р.Свіслач / Г. В. Багамолов, М. А. Вевіароўская // Матар'ялы па вывучэнню геолегіі, гілрагеолегіі і карысных выкапняў БССР. Выд. АН БССР, т. VII, – Менск, 1933., С. 5–322 (Богомолов Г. В., Вевиоровская М. А. Гидрогеологические исследования в бассейне р. Свислочь // Материалы по изучению геологии, гидрогеологии и полезных ископаемых БССР, т. VII, АН БССР. – Минск, 1933. – С. 5–322.

2. Богомолов, Ю. Г. К организации Второго гидрогеологического съезда (СНГ) / Ю. Г. Богомолов, Г. И. Буачидзе, А. Н. Воронов [и др.] // Будущее гидрогеологии: современные тенденции и перспективы. – Санкт-Петербург, 2008. – С. 7–32.

3. Веригин, Н. Н. Из истории становления опытно-фильтрационных работ / Н. Н. Веригин, Д. А. Манукьян // Проблемы изучения земной коры. – Минск, 1990. – С. 36–38.

4. Гарманов, И. В. Николай Николаевич Славянов. 1978 – 1958 / И. В. Гарманов [и др.]. – М. : Наука, 1985. – 127 с.

5. Станкевич, Р. А. Минское месторождение глубоких артезианских вод. Краткий очерк природных условий и истории освоения / Р. А. Станкевич. – Минск : Беларуская навука, 1997. – 87 с.

6. Тутковский, П. А. Глубокое бурение в 1914 – 15 гг. в г. Минске в сопоставлении с другими буровыми скважинами в районе Полесья / П. А. Тутковский, Е. В. Оппоков // Материалы по исследованиям рек и речных долин Полесья. – Киев : Типография «И. И. Уколов». Отдельный оттиск, 1916. – 21 с.

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ СТОЛОВЫХ ВОД СИБИРИ В ЛЕЧЕБНО-ОЗДОРОВИТЕЛЬНЫХ ЦЕЛЯХ

Джабарова Н. К., Сидорина Н. Г., Коханенко А. А., Король Е. А.
Филиал «Томский научно-исследовательский институт курортологии и физиотерапии» ФГБУ СибФНКЦ ФМБА России, г. Томск, resurs@niikf.tomsk.ru

Аннотация. Дана характеристика минеральных природных столовых вод отдельных регионов Сибири. Проведена типизация этих вод. Показаны особенности физико-химического и микроэлементного состава природных столовых вод Сибири и перспективы их использования.
Ключевые слова: *Сибирь, природные столовые воды, микроэлементы.*

Abstract. The characteristic of mineral natural table waters of certain regions of Siberia is given. Typification of these waters is carried out. There are shown the features of physico-chemical and microelement composition of natural table waters of Siberia and prospect of their use.
Key words: *Siberia, natural table waters, microelements.*

Одним из путей решения проблемы обеспечения населения качественной питьевой водой является увеличение объемов розлива минеральных природных столовых вод, отвечающих требованиям экологической чистоты и соответствующих критериям, предъявляемым к пищевой продукции.

К минеральным природным столовым водам относятся подземные воды с минерализацией менее 1 г/дм^3, используемые в нативном виде для питья и розлива без специальной подготовки. Такие воды широко распространены на территории Сибири и имеют выходы в виде источников в горных регионах и пробуренных скважин на освоенных территориях. Это, в основном, воды с минерализацией от 0,3 до 1,0 г/дм^3, по составу – гидрокарбонатные, с содержанием ионов кальция, магния, натрия в различных сочетаниях в зависимости от местоположения водозабора в системе гидрогеологической зональности подземных вод. В настоящее время особенно актуальны вопросы использования выявленных проявлений минеральных столовых вод не только для розлива с целью потребления населением экологически чистой продукции, но и применения их в лечебно-оздоровительных целях на базе санаторных учреждений и туристических центров.

Цель работы: оценить перспективы использования минеральных столовых природных вод для оздоровления населения Сибирского региона.

В институте формируется база данных по минеральным водам отдельных регионов Сибири в виде кадастра с указанием точного местонахождения водопроявления и запасов минеральных вод по результатам работ гидрогеологических организаций, с характеристикой состава, качества и типа вод на основе многолетних исследований, проводимых специалистами аккредитованной Испытательной лаборатории природных лечебных ресурсов. Изучение минеральных вод ведется согласно утвержденным в РФ нормативным документам (Технические регламенты, ГОСТы, СанПиНы и др.).

В регионе осуществляется розлив минеральных природных столовых вод, состав и качество которых периодически исследуется в Испытательной лаборатории (таблица).

Согласно утвержденному ГОСТ Р 54316-2011 «Воды минеральные природные питьевые» разливаемые воды по основному ионному составу относятся к различным гидрохимическим типам минеральных столовых вод (Сенежский, Архызский и др.). Наряду с этим, следует отметить, что в местных сибирских водах выявляются биологически активные компоненты в различных концентрациях, не достигающих кондиции, что должно учитываться при практическом использовании вод.

Несмотря на малую минерализацию, подземные слабоминерализованные (пресные) воды представляют собой достаточно сложные многокомпонентные гидрогеохимические системы с широким спектром микроэлементов.

Характеристика минеральных природных столовых вод Сибирского региона

Местоположение водопункта, номер скважины	М, г/дм^3	Ионно-солевой состав	Специфические компоненты, мг/дм^3	Типизация (ГОСТ Р 54316-2011)
Томская область				
«Дальний ключ», Шегарский район, скв. № 5П-00	0,60	$\frac{HCO_3\ 100}{Ca\ 70\ Mg\ 19\ (Na+K)\ 11}$	H_2SiO_3 18 H_3BO_3 3	Сенежский
«Юнона», с. Шиняево, скв. № 63	0,34	$\frac{HCO_3\ 96\ Cl\ 4}{(Na+K)\ 93\ Mg\ 5\ Ca\ 2}$	H_2SiO_3 17 Ag 0,006	Архызский
Кемеровская область				
«Талинка», г. Кемерово, скв. № 3	0,79	$\frac{HCO_3\ 92\ Cl\ 8}{(Na+K)\ 97\ Ca\ 3}$	H_2SiO_3 8 H_3BO_3 4	Архызский
«Сибирянка», г. Юрга, скв. № 152Д	0,75	$\frac{HCO_3\ 84\ SO_4\ 9\ Cl\ 7}{Ca\ 57\ Mg\ 31\ (Na+K)\ 12}$	H_2SiO_3 19 H_3BO_3 10	Сенежский
«Таежная», Кемеровский район, скв. № 1	0,57	$\frac{HCO_3\ 92\ Cl\ 8}{(Na+K)\ 97\ Ca\ 3}$	H_2SiO_3 19 H_3BO_3 2	Архызский
«Югус», пос. Усинский, скв. № 10352 «Новая»	0,33	$\frac{HCO_3\ 96\ SO_4\ 4}{Ca\ 73\ Mg\ 16\ (Na+K)\ 11}$	Не опр.	Сенежский
Красноярский край				
«Vitaква», «Morоz», Минусинский район, скв. № 6	0,7	$\frac{HCO_3\ 68\ Cl\ 23\ SO_4\ 9}{Mg\ 39\ (Na+K)\ 34\ Ca\ 27}$	H_2SiO_3 18 H_3BO_3 3-4	Сенежский
Алтайский край				
«Змеиногорская-кристальная», г. Змеиногорск, скв. № 72/92	0,35	$\frac{HCO_3\ 75\ Cl\ 15\ SO_4\ 10}{Ca\ 49\ Mg\ 29\ (Na+K)\ 22}$	Не опр.	Сенежский
«Серебряный ключ», с. Стан-Бехтемир, скв. № 252 Д	0,53	$\frac{HCO_3\ 97\ Cl\ 3}{Ca\ 61\ Mg\ 30\ (Na+K)\ 9}$	H_2SiO_3 до 36 Ag 0,004-0,006	Сенежский
Республика Алтай				
«Асонов ключ» Усть-Коксинский район	0,5	$\frac{(HCO_3+CO_3)\ 92\ SO_4\ 5\ Cl\ 3}{Ca\ 55\ Mg\ 23\ (Na+K)\ 22}$	H_2SiO_3 18 H_3BO_3 4 Ag 0,005 Se 0,007	Сенежский
Иркутская область				
«Родники России», Олхинское месторождениеие, скв. № 1-Э	0,56	$\frac{HCO_3\ 90\ Cl\ 9\ SO_4\ 1}{Ca\ 55\ Mg\ 25\ (Na+K)\ 20}$	Не опр.	Сенежский
«25М Море Байкал», (ТЗ «Жемчужина Байкала»), Иркутский район, д. Худяково, скв.№ 1-Х	0,23	$\frac{HCO_3\ 100}{Ca\ 66\ Mg\ 22\ (Na+K)\ 12}$	Не опр.	Сенежский

В этих водах в различных концентрациях обнаруживаются химические элементы, концентрации которых в питьевых водах нормируются в зависимости от их биохимической значимости (селен, серебро и др.). Низкие нормативы этих элементов объясняются их санитарно-токсикологическими показателями, в частности селен относится ко второму классу опасности.

С другой стороны, имеются сведения о неблагоприятном влиянии на человека и животных дефицита селена. Одной из причин дефицита селена является его недостаточное поступление в организм человека, животных на территории биогеохимической провинции, где в продуктах питания, почве и питьевой воде имеет место низкий уровень этого элемента. Микроэлемент, поступая в организм с пищей, интенсивно включается в обменные процессы клетки. Для селена характерно участие в окислительно-восстановительных процессах, в синтезе специфических функциональных белков. Селен входит в состав ферментов, обладает антиоксидантными и радиопротекторными свойствами. Содержание селена в органах и тканях млекопитающих на порядок выше, чем в почве. Это свидетельствует о беспрепятственной миграции элемента по биологическим цепям и преимущественном его поступлении с пищей [1].

С 1980 г. Всемирной Организацией Здравоохранения селен отнесен к незаменимым микроэлементам в питании, разрабатываются рекомендации по величине суточной потребности его в зависимости от возраста, пола и физиологического состояния человека [2].

На сегодняшний день для профилактики селенодефицита используются и питьевые воды с добавкой селена в форме селената или селенита натрия до концентрации селена в воде в пределах 6 – 8 мкг/дм^3 [3]. Однако наиболее ценными являются природные воды с нативным содержанием селена в пределах таких концентраций. В подземных водах концентрация селена изменяется в соответствии с геохимическими особенностями природных вод, на формирование которых определяющую роль оказывает окислительно-восстановительная среда. Имеются сведения о соосаждении селена гидроксидами железа, глинами, вероятно, и органическими соединениями [4].

Горный Алтай располагает значительными ресурсами подземных вод, заключенных в жильно-блоковых водоносных зонах горных пород различного возраста, а также артезианских бассейнах межгорных впадин (Уймонская, Курайская, Чуйская и др.). Это, в основном, пресные воды, многие из которых по составу и качеству могут быть отнесены к минеральным природным столовым водам. По данным ТЦ «Алтайгеомониторинг» за длительный период наблюдений (2001 – 2009 гг.) в водах ряда скважин, колодцев и родников, расположенных на территории Майминского, Усть-Канского, Усть-Коксинского, Кош-Агачского районов республики, выявлен селен в различных концентрациях.

При курортологическом обследовании лечебно-оздоровительной местности «Теректинская» в пределах Уймонской котловины нами оценены слабоминерализованные воды местных источников, содержащие селен в концентрациях до 10 мкг/дм^3. Источник «Асонов ключ» берет начало на склонах Теректинского хребта и имеет выход на территории санаторно-курортного комплекса «Асонов ключ». Вода источника применяется для питья и ингаляций в целях оздоровления отдыхающих и туристов на базе развивающегося оздоровительного центра. Комплекс природных факторов среднегорной здравницы в сочетании с физическими нагрузками и применением минеральной воды местного источника способствует формированию адаптационных реакций, повышающих резервы организма человека, что позволяет рекомендовать его для профилактики и лечения различных заболеваний. Многолетние исследования качества воды источника «Асонов ключ» (ТНИИКиФ, 1999 – 2011 гг.) позволили рекомендовать розлив минеральной природной столовой воды «Асонов ключ» для широкого использования в профилактических целях как взрослого, так и детского населения региона.

Поиск подземных селенсодержащих вод в пределах Горного Алтая для практического использования продолжается. Особый интерес для исследований представляет источник Чаган-Узун, в воде которого выявлено содержание селена в пределах 6-7 мкг/дм^3 (ТЦ «Алтайгеомониторинг»). Освоение данного участка перспективно благодаря удобному расположению

его вдоль Чуйского тракта, в пределах отдаленного Кош-Агачского района, пользующегося особой популярностью у автотуристов.

В пределах перспективных для развития рекреационных районов Алтая практически во всех подземных водах обследованных источников и скважин выявлены ионы серебра в различных концентрациях (0,4 – 15,0 мкг/дм^3), что определяет особый интерес для использования их в оздоровительных целях.

Применение минеральной воды «Серебряный ключ» Бехтемирского месторождения для лечения заболеваний мочевыводящей системы, желудочно-кишечного тракта, ЛОР-органов, пародонтозов, стоматитов, аллергических состояний обосновано широким комплексом научных исследований специалистов Алтайского медуниверситета под руководством профессора А. И. Неймарка на базе курорта. Использование минеральной воды в санатории «Рассветы над Бией» с высокой эффективностью при заболеваниях мочевыводящей системы, а также результаты лечения хронического пиелонефрита и нефролитиаза у взрослых и детей [5] определяют урологический профиль курорта «Бехтемирский» Алтайского края.

Выявленные подземные серебросодержащие воды скважин и источников Горного Алтая могут быть рекомендованы к использованию в лечебно-профилактических целях на базе местных санаторно-курортных учреждений в пределах развивающихся лечебно-оздоровительных местностей Республики Алтай («Чемальская», «Бие-Телецкая» и др.) [6].

Для практического использования вод в лечебных целях необходимо проведение сезонных наблюдений за их составом и качеством, а также выполнение клинико-экспериментальных исследований с разработкой медицинских технологий.

Таким образом, вопросы поиска и исследований минеральных столовых природных вод в Сибирском регионе остаются актуальными на данный момент. Широкий выбор минеральных столовых природных вод и их изученность позволят расширить базу и промышленный розлив экологически чистых вод на территории Сибирского региона при условии разработки технологических схем освоения и утверждения зон горно-санитарной охраны в целях защиты от загрязнения и истощения. Предпочтительным является расположение цехов розлива вблизи скважин, что даст возможность эксплуатировать их без предварительного резервирования воды, обеспечивая качество разливаемых минеральных вод.

Список литературы

1. Джабарова, Н. К. Курортно-рекреационный потенциал лечебно-оздоровительных местностей Горного Алтая / Н. К. Джабарова, Э. С. Яковенко // Курортная медицина. – 2012. – № 1. – С. 6–13.

2. Крайнов, С. Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С. Р. Крайнов [и др.]. – М. : Наука, 2004. – 677 с.

3. Лебедева, Г. В. Использование минеральной воды «Серебряный ключ» в комплексном лечении детей с хроническим пиелонефритом и дизметаболическими нефропатиями : автореф. дис. … канд. мед. наук / Г. В. Лебедева. – Томск, 2010. – 23 с.

4. Мантмер, Н. Н. О предпосылках массового производства питьевой воды «Легенда», скорректированной по содержанию биогенных микроэлементов – йода и селена / Н. Н. Мантмер // Питьевая вода Сибири-2006. – Барнаул, 2006. – С. 129–134.

5. Тутельян, В. А. Селен в организме человека: метаболизм, антиоксидантные свойства, роль в канцерогенезе / В. А. Тутельян [и др.]. – М. : Изд-во РАМН, 2002. – 224 с.

6. Щелкунов, Л. Ф. Селен и его роль в питании / Л. Ф. Щелкунов, М. С. Дудкин, Н. А. Голубкина [и др.] // Гигиена и санитария, 2000. – С. 32–35.

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Иванова Т. П.[1], Озерский А. Ю.[2], Фадина Т. А.[3]
[1]Департамент по недропользованию по Центрально-Сибирскому округу;
[2]ОАО «Красноярская горно-геологическая компания»;
[3]МУП Эвенкийского муниципального района
Территориальный центр «Эвенкиягеомониторинг»

Аннотация. Рассматриваются результаты геологической разведки подземных вод в Красноярском крае. Показана взаимосвязь месторождений подземных вод с различными гидрогеологическими структурами. Дана экономическая оценка стоимости оценки запасов подземных вод.
***Ключевые слова**: подземные воды, месторождения, Красноярский край.*

Abstract. There are characterized the results of the geological exploration for groundwater that was carried out in the Krasnoyarsk Territory. The relationship between groundwater deposits and different hydrogeological structures is shown. Costs of assessment of groundwater resources were calculated.
***Key words:** Groundwater, deposits, Krasnoyarsk Territory.*

Красноярский край является одним из крупнейших субъектов Российской Федерации, размеры которого уступают только Республике Саха (Якутия). Площадь края около 2,39 млн км^2. Население составляет около 2,86 млн человек (на 01.01.2015 г.), в том числе городского населения – 76,8%. На территория края – речные системы двух крупнейших рек России – Енисея и Оби, дренирующих большую его часть. В соответствии с гидрогеологическим районированием России [1] основная часть Красноярского края занята крупнейшими гидрогеологическими регионами Азии: Западно-Сибирским и Восточно-Сибирским, к северной части которых примыкает Таймырская, а к южной – Енисейская и Саяно-Алтайская гидрогеологические складчатые области (ГСО). Наиболее крупной и сложной гидрогеологической структурой в пределах края является Восточно-Сибирский гидрогеологический регион, в котором выделены артезианские бассейны (АБ) более высокого порядка (рис. 1).

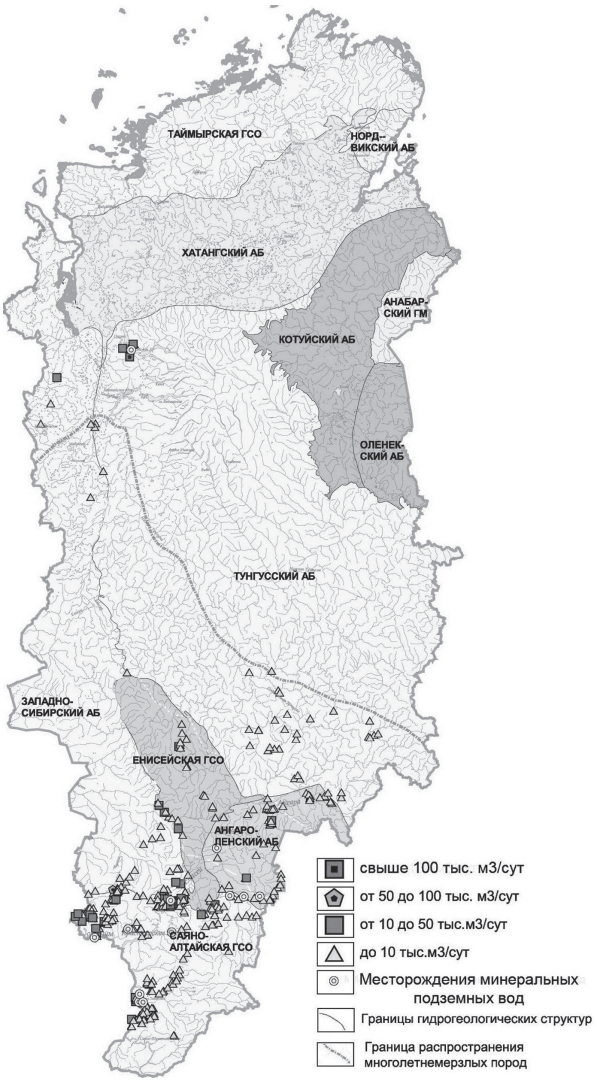


Рис. 1. Месторождения подземных вод Красноярского края

В гидрогеологическом отношении структуры, расположенные в северной части края, практически не изучены. Отличительной особенностью данных территорий является наличие многолетнемерзлых пород: от спорадической и редкоостровной мерзлоты на юго-западе до островной, массивно-островной и сплошной на северо-востоке территории. Практически повсеместно в криолитозоне непосредственно под

многолетнемерзлыми породами вскрываются высоко концентрированные хлоридные рассолы. В меженный период многие реки красноярского Севера становятся солеными из-за разгрузки в них рассолов по тектоническим разрывам и литологическим «окнам». Это обстоятельство существенным образом ограничивает возможности использования в питьевых целях поверхностных и подземных вод и делает весьма сложной задачу гидрогеологических поисков источников водоснабжения населения. Многие населенные пункты Эвенкийского района испытывают большие сложности с обеспечением питьевой водой. В связи с этим подавляющее большинство разведанных месторождений подземных вод обнаружено вне пределов криолитозоны (см. рис. 1).

В отличие от гидрогеологических структур Севера, поиски и разведка подземных вод в юго-западной части Красноярского края, вне пределов криолитозоны, в большинстве случаев приносили положительные результаты. Перспективы этих структур неодинаковы. Наиболее благоприятными для выявления месторождений питьевых подземных вод являются Западно-Сибирский АБ и небольшие наложенные артезианские бассейны в Саяно-Алтайской ГСО. Эти структуры образованы слабо литифицированными мезозойскими породами, характеризующимися большой мощностью пластов-коллекторов и их высокой проницаемостью. Наименее благоприятными условиями характеризуются водоносные зоны трещиноватости в рифейских глинистых сланцах Енисейской ГСО. Здесь на протяжении многих лет не везде удается найти достаточно производительные источники водоснабжения для крупнейших населенных пунктов.

В своей изученной части Красноярский край обладает огромными ресурсами пресных и слабоминерализованных подземных вод, пригодных для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Потенциальные эксплуатационные ресурсы края оцениваются в 102 млн м^3/сут.

Обеспеченность прогнозными ресурсами питьевых подземных вод составляет 35,66 м^3/сут на одного человека. Общее количество утвержденных эксплуатационных запасов составляет 2086 тыс. м^3/сут, то есть на каждого жителя края приходится почти 730 л/сут. Четверть утвержденных запасов подземных вод, или 533,71 тыс. м^3/сут была поставлена на учет в период с 2010 по 2014 гг., что показывает востребованность труда гидрогеологов и их достаточно большие успехи в поисках, оценке и разведке запасов подземных вод. Только за период с 01.01.2011 г. по 01.01.2015 г. в крае утверждены запасы по 244 месторождениям и участкам подземных вод в количестве 201,680 тыс. м^3/сут, в том числе с заявленной потребностью больше 500 м^3/сут по 43 месторождениям и участкам в количестве 183,578 м^3/сут.

Однако распределены разведанные запасы питьевых подземных вод весьма неравномерно: около 26% всех утвержденных запасов подземных вод относится всего только к семи действующим водозаборам Красноярского месторождения подземных вод (МПВ), расположенным на енисейских островах в пределах Красноярска. Остальные 74% утвержденных запасов подземных вод по состоянию на 01.01.2015 г. относятся к 385 МПВ и участкам подземных вод (УПВ), причем под последними понимаются, как правило, одиночные водозаборные скважины. Подавляющее количество утвержденных запасов (94%) относится к водам хозяйственно-питьевого назначения, доли запасов технических, дренажных вод и вод поддержания пластового давления составляют около 2% каждая.

В крае эксплуатируется 348 месторождений и участков подземных вод. Распределение запасов подземных вод неравномерно не только по объектам водопользования. Оно неодинаково и по гидрогеологическим структурам. Наибольшее количество утвержденных запасов по промышленным категориям приходится на Саяно-Алтайскую ГСО и Тунгусский АБ, в пределах которых расположены самые крупные промышленные районы – Красноярский и Норильский (рис. 2). Кроме этого, Саяно-Алтайская ГСО, являющаяся, в общем, сложной и не самой благоприятной для поисков и разведки подземных вод структурой, пространственно совпадает с наиболее населенными и освоенными районами южной части края, где потребность в ресурсах питьевой воды особенно велика. С другой стороны, высоко перспективный для обнаружения питьевых МПВ Западно-Сибирский АБ в своей большей части находится в таежной зоне, где количество потребителей питьевых вод незначительно.

Рис. 2. Распределение запасов подземных вод по основным гидрогеологическим структурам (первое число – утвержденные запасы, тыс. м^3/сут; второе число – доля в процентах от общих утвержденных запасов)

Следует отметить весьма медленные темпы освоения месторождений. Эксплуатация некоторых месторождений (Байкитского, Борского и др.) так и не была начата после утверждения их запасов, поэтому для месторождений, разведанных свыше четверти века назад, требуется переоценка их запасов.

Из 98 разведанных МПВ 17 самых крупных месторождений находятся в речных долинах, 71 – в артезианских бассейнах, 8 – в трещинно-жильных гидрогеологических структурах и всего одно месторождение связано с пластово-трещинным коллектором (табл. 1).

Таблица 1. Месторождения питьевых подземных вод в различных гидрогеологических структурах

Тип месторождения питьевых подземных вод	Утвержденные запасы, тыс. м^3/сут	Коэффициенты фильтрации, м/сут
В речных долинах	1092,64	10…348
В артезианских бассейнах	525,63	0,15…15
В трещинно-жильных структурах	22,53	11,2…80,4
В пластово-трещинных структурах	15,0	11

Таким образом, основным в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения Красноярского края является водоносный четвертичный аллювиальный горизонт. За счет подземных вод этого водоносного горизонта организовано водоснабжение крупных городов территории: Красноярска, Минусинска, Железногорска, Сосновоборска. Крупнейший город севера – Норильск – обеспечивается питьевой водой за счет водоносного флювиогляциального горизонта, также приуроченного к речным долинам. Большие запасы подземных вод в месторождениях речных долин обусловлены наличием источника восполнения запасов (рек), а также высокой проницаемостью аллювиальных и флювиогляциальных коллекторов. Так, в районе Красноярска водопроводимость аллювиального горизонта, образованного крупнообломочными фациями аллювия, составляет от нескольких тысяч до первых десятков тысяч квадратных метров в сутки.

На территории края разведано 9 месторождений минеральных лечебно-столовых подземных вод. Суммарные запасы составляют 2,099 тыс. м^3/сут. Месторождения относятся к двум группам минеральных вод: углекислых дарасунского типа (Кожановское месторождение, на базе которого функционирует санаторий «Красноярское Загорье») и «без специфических компонентов» (месторождения Нанжульское, Тагарское, Учумское и др.). Всего в Красноярском крае в среднем отбирается около 62 тыс. м^3/сут. Из общего количества отбираемой воды на санаторно-курортное лечение используется 92% и только 8% идет на розлив.

Фактором, осложняющим оценку запасов подземных вод действующих водозаборов в речных долинах, является близкое взаимное расположение городов и водозаборов. При высокой скорости течения сибирских рек значительная часть городских построек попадает в расчетные второй и третий пояса зоны санитарной охраны водозабора, что делает возможность утверждения этих поясов в соответствии с действующими правилами [2] более чем проблематичной. Именно из-за этого обстоятельства в сентябре 2010 г. Роснедра утвердили запасы основных коммунальных водозаборов Красноярска как забалансовые, хотя эксплуатация этих водозаборов ведется на протяжении целого века.

МПВ в речных долинах эксплуатируются крупнейшими действующими водозаборами края. Водоотбор, превышающий 50 тыс. $м^3$/сут, производится на островных водозаборах Красноярска, а также в Шушенском районе, где добываемая вода перекачивается в г. Саяногорск, расположенный в Республике Хакасии.

Вторыми по значимости являются месторождения подземных вод в артезианских бассейнах. В этих гидрогеологических структурах разведано наибольшее количество месторождений, а их суммарные запасы уступают первое место только лишь МПВ в речных долинах. Подавляющая часть этих объектов представлена автономными эксплуатационными участками (АЭУ) одиночных водозаборных скважин. Вместе с тем в артезианских структурах обнаружены и довольно крупные месторождения.

Наиболее перспективной структурой для выявления крупных объектов является Западно-Сибирский артезианский бассейн, в пределах которого были разведаны Белоярское месторождение (47,3 тыс. $м^3$/сут) для водоснабжения Ачинска и Сухобузимское месторождение (30 тыс. $м^3$/сут) для резервного водоснабжения Красноярска. МПВ в Западно-Сибирском АБ характеризуются большой глубиной залегания продуктивных горизонтов нижнеюрских песчаников (500 – 700 м), что обусловливают ведущую роль упругих запасов. При относительно небольших значениях коэффициентов фильтрации (0,7 – 1 м/сут) продуктивные горизонты характеризуются большой мощностью (100…170 м), высокой открытой пористостью (до 30%) и пьезопроводностью в интервале от $1{,}2\times10^5$ до 8×10^5 $м^2$/сут.

Наложенные артезианские бассейны в пределах Алтае-Саянской ГСО являются вторыми по значимости гидрогеологическими структурами с точки зрения их перспективности поисков питьевых подземных вод. В 1980 – 1990-х гг. здесь был выявлен целый ряд месторождений, но эксплуатируется только одно – Южно-Шарыповское месторождение с запасами 28,6 тыс. $м^3$/сут, вода которого с расходом 18 тыс. $м^3$/сут поступает в г. Шарыпово. Формирование запасов подземных вод в наложенных артезианских бассейнах Алтае-Саянской ГСО происходит преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков, ведущая роль в формировании принадлежит трещинно-пластовым коллекторам.

При рассмотрении месторождений питьевых подземных вод определенный интерес представляют экономические показатели стоимости утверждаемых запасов. С одной стороны, знание таких показателей нужно недропользователям для планирования инвестиций в освоение месторождений, с другой – эти показатели отражают эффективность работы всех сторон, участвующих в утверждении запасов подземных вод: гидрогеологов, недропользователей и территориальных органов управления фондом недр. Длительный, почти полувековой, период разведки месторождений подземных вод в крае накладывает существенные сложности для такой оценки, так как стоимостные показатели советского и современного периодов трудно сопоставимы. Поэтому для сравнительной экономической оценки нами был выбран доллар США, при этом суммы стоимости геологической разведки в рублях, указанные в справках, приложенных к геологическим отчетам, были пересчитаны в доллары США по официальному курсу Центробанка РФ (Госбанка СССР) на год выполнения работ. Поскольку сам доллар также подвержен инфляции, все полученные суммы в долларах были приведены к среднему курсу доллара на 2014 год. К рассматриваемым показателям мы отнесли: 1) утвержденные в ГКЗ (ТКЗ) запасы одного месторождения (автономного участка), 2) стоимость разведки

(утверждения запасов) одного месторождения, 3) цену одной единицы геологической продукции (одного кубического метра утвержденных запасов (табл. 2)).

Таблица 2. Экономические показатели разведки запасов месторождений питьевых подземных вод в Красноярском крае

Группы месторождений по источникам финансирования	Запасы месторождений, тыс. $м^3$/сут	Стоимость утверждения запасов одного месторождения, тыс. $	Удельная стоимость утверждаемых запасов, $/$м^3$
Все месторождения	0,001…678,6* 8,0 (17,4)	2,59…3769 213,4 (406,6)	0,36…39306 175,1(23,5)
Месторождения, финансировавшиеся из федерального (союзного) бюджета	0,2…109,7 16,6 (12,2)	13,1…3769 887,6 (460)	1,3…886 137,6 (37,7)
Месторождения, финансировавшиеся из краевого и муниципальных бюджетов	0,1…86,7 10,4(18)	7,21…862,2 196 (254,9)	0,4…3004 288,7 (14,1)
Месторождения, финансировавшиеся из средств недропользователей (запасы более 50 $м^3$/сут)	0,054…678,6 9,4 (21,6)	7,77…1067 103 (110)	1,43…12203 4,8 (410)
Месторождения, финансировавшиеся из средств недропользователей (запасы до 50 $м^3$/сут)	0,0005…0,05 0,02	6,5…537 40,8	144…39306 5414,5

* Примечание. В числителе: минимум…максимум; в знаменателе: среднее арифметическое, в скобках – среднее арифметическое в 2010 г. [3].

Анализ этих показателей говорит о небольших средних размерах краевого месторождения питьевых подземных вод (8 тыс. $м^3$/сут), утверждение запасов которого обошлось потребителям в среднем в 171,5 $/$м^3$. При этом стоимость единицы запасов за счет государственного (федерального) бюджета близка к среднему показателю по краю, хотя абсолютные затраты на разведку одного месторождения являются самыми высокими. За последние годы существенно возросла стоимость оценки запасов подземных вод за счет краевого и муниципальных бюджетов всех уровней, что объясняется возросшей требовательностью органов управления недрами к качеству этих работ. Наиболее экономически эффективной является разведка запасов питьевых подземных вод за счет средств недропользователей, при разведке относительно крупных месторождений.

В то же время оценка запасов подземных вод отдельных небольших месторождений и одиночных скважин за счет средств недропользователей характеризуется в отдельных случаях самыми высокими ценами единицы утвержденных запасов, превышающей 500 $/$м^3$ и достигающей 39 306 $/$м^3$ (Шумихинский участок технических подземных вод). Крайне высокие единичные расценки характерны для водозаборных скважин горнорудных и нефтегазоразведочных предприятий, а также водозаборные скважины ОАО «Транснефть». В этом случае высокая удельная стоимость обусловлена, с одной стороны, небольшим количеством утверждаемых запасов при условии проведения всех требуемых гидрогеологических работ с годичным циклом мониторинга и составления «полновесного» отчета по всем требованиям ГКЗ. С другой стороны, правильность и объективность справок о стоимости работ и фактических затратах никем не контролируется, поэтому, вполне вероятно, что некоторые недропользователи вовсе не тратили средства, указанные в справке, а попросту переписали в нее сметные или нужные им самим данные.

Таким образом, полувековой опыт геологоразведочных работ на питьевые подземные воды в Красноярском крае позволил обеспечить население его наиболее крупных городов достаточными запасами этого жизненно важного сырьевого ресурса. В последние два десятилетия краевые гидрогеологи работали в основном не над решением крупных государственных

программ, а с практической целью обеспечения питьевой водой конкретных потребителей – населения, недропользователей, инвесторов. Наиболее крупными достижениями красноярских гидрогеологов являются разведка месторождений подземных вод для городов Норильска, Ачинска, Шарыпово, Железногорска, Зеленогорска, Саяногорска, а также оценка запасов подземных вод действующих водозаборов Красноярска и Минусинска. Крупным и интересным открытием, сделанным уже в наступившем веке, следует считать открытие больших ресурсов подземных вод питьевого качества в основании артезианских структур на юго-востоке Западно-Сибирского АБ. Несомненную практическую значимость имеют результаты поисковых работ на воду в сложных условиях Эвенкии, давшие нам новые гидрогеологические знания и позволившие решить социальные и экономические проблемы населения и недропользователей этого крупнейшего района.

Список литературы

1. Объяснительная записка и перечень гидрогеологических структур к карте гидрогеологического районирования территории Российской Федерации масштаба 1:2 500 000 / сост.: Л. А. Островский, Т. А. Конюхова, С. Л. Пугач, А. А. Шпак ; [науч. ред.: Г. С. Вартанян, М. В. Кочетков]. – М. : ВСЕГИНГЕО, 2001. – 35 с.

2. СанПиН 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. – М., 2002. – 11 с.

3. Иванова Т. П. Месторождения питьевых подземных вод Красноярского края / Т. П. Иванова, А. Ю. Озерский, Т. А. Фадина // Питьевые подземные воды, изучение, использование и информационные технологии : материалы междунар. научно-практ. конф. (18–22 апреля 2011 г.). – пос. Зеленый : ВСЕГИНГЕО, 2011. – Ч. 2. – С. 3–16.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В АПК

Исаева С. Д.
ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, г. Москва, isaevasofia@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена сложившаяся ситуация с состоянием и использованием поверхностных и подземных водных ресурсов в стране, особенности водообеспечения агропромышленного комплекса (АПК), его проблемы и перспективы, особенности эколого-мелиоративного мониторинга, его место в структуре государственного экологического мониторинга и роль в обеспечении эффективного управления водными ресурсами в АПК.

Ключевые слова: *поверхностные воды, подземные воды, орошение, эколого-мелиоративный мониторинг.*

Abstract. Current situation with the state and usage of surface and ground water resources in the country, peculiarities of water supply of agroindustrial complex, its problems and perspectives, peculiarities of ecological and reclamation monitoring, its place in the structure of national ecological monitoring and its role in effective water resource management are discussed.

Key words: *surface water, groundwater, irrigation, ecological and reclamation monitoring.*

Наличие водных ресурсов является одним из определяющих факторов динамичного экономического и социального развития стран. Обеспеченность России водными ресурсами по формальным мировым критериям достаточна, и, тем не менее, в ряде регионов страны ощущается их существенная нехватка, прежде всего, пригодных для хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Наиболее доступны для использования в народном хозяйстве поверхностные воды. Из общего объема водных ресурсов, извлеченных в 2012 г. (58,9 км^3), поверхностные воды

составляют 50,98 км^3, или 86,6% [1]. Ресурсы поверхностных вод неравномерно распределены по территории РФ, а величина стока весьма динамична во времени: для средних рек годовые расходы воды в многоводные годы в 2 – 4 раза больше, а в маловодные – в 6 – 20 раз меньше средних многолетних, а для малых рек эта разница возрастает. В последние годы в связи с изменениями климата отмечается значительный рост количества выпавших осадков. По данным Росгидромета, на преобладающей территории Российской Федерации количество осадков, выпавших, в частности, в 2012 г., было значительно выше нормы. Выявлена, по данным мониторинга, тенденция к росту годовых сумм осадков в целом по стране, начиная с 1961 г. Тренд изменений составляет 0,8 мм/мес. за 10 лет наблюдений при скорости роста порядка 5% за 10 лет. Несмотря на рост осадков, водность рек в 2012 г. в целом по России снизилась в сравнении с предшествующим годом на 180,8 км^3 [1], оставаясь близкой к многолетней норме. Таким образом, при наблюдаемых за обозримый период изменениях климата, существенных изменений в характеристике поверхностного стока не происходит.

Неравномерное распределение поверхностных вод по территории страны и временная изменчивость ограничивают их планомерное использование. Кроме того, на протяжении десятилетий сохраняются проблемы, связанные с ухудшением качества поверхностных вод из-за поступающих загрязнений. Сокращение, начиная с 1986 – 1990 гг., техногенной нагрузки на водные объекты не определило возврат качества воды к исходному. В настоящее время большая часть рек относятся по оценке экологического состояния к категориям «загрязненные» и «сильно загрязненные».

Подземные воды, особенно глубоких водоносных горизонтов, объективно считаются более защищенными от проникновения загрязнений с поверхности и нередко являются единственным источником обеспечения населения питьевой водой высокого качества. Прогнозные ресурсы подземных вод на территории Российской Федерации, как известно, значительны, и, по данным Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) Роснедра, составляют более 869,0 млн м^3/сут. Их распределение по территории РФ также неравномерно: более 72% приходится на Северо-Западный, Уральский, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа. Объем запасов, который представляет собой разведанную и изученную часть прогнозных ресурсов подземных вод, прошедшую государственную экспертизу, значительно меньше и составляет на 1 января 2012 г. 93,9 млн м^3/сут [1]. Основной объем запасов сосредоточен в Центральном, Приволжском и Сибирском федеральных округах. Из всего объема запасов используется для многоцелевого водоснабжения только 15%, что говорит о значительных перспективах использования подземных вод в народном хозяйстве. В то же время, начиная с 1990 г., для многих регионов страны характерно снижение объемов водопотребления. С 2010 по 2012 гг. в России отмечено снижение использования вод на питьевое и хозяйственно-бытовое водоснабжение с 41,65 до 28,98 млн м^3, на производственные нужды – с 46,3 до 43,4 млн м^3, на орошение – со 108 до 94,8 млн м^3. Тренд снижения водоотбора и до настоящего времени связан не только с динамикой народонаселения, но также с состоянием водных объектов и водохозяйственного комплекса страны, экономическими особенностями развития и др. [2].

Крупнейшим потребителем водных ресурсов в России является аргопромышленный комплекс, где вода используется, прежде всего, на орошение и обводнение земель, в меньших объемах – на сельскохозяйственное хозяйственно-питьевое водоснабжение, обеспечение перерабатывающих предприятий, животноводческих комплексов, птицеводческих и др. В настоящее время обеспеченность водными ресурсами и фактическое водопотребление в АПК существенно ниже требуемых [3]. Для обеспечения продовольственной безопасности страны и развития АПК в ближайшей перспективе очевидна необходимость повышения объемов производства продуктов питания, в том числе мясных и молочных, роста валового сбора зерновых и кормовых культур, как за счет повышения урожайности, так и увеличения посевных площадей. Очевидно, что ситуация предполагает и увеличение объемов использования воды. Предположительно к 2020 г. общая потребность агропромышленного комплекса в водных

ресурсах составит порядка 40 км^3 в год [3]. При этом, с учетом прогнозируемой динамики сельского населения и действующих норм водопотребления, общая потребность в воде для хозяйственно-питьевого водоснабжения составит 2,8 км^3/год, из которых 2,4 км^3/год может быть обеспечено подземными водами. На орошение по прогнозу потребуется 29 км^3/год, для обводнения пастбищ – более 0,8 км^3/год; на водоснабжение животноводства и птицеводства – 0,2 км^3/год; предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию, – 0,38 и [3]. Приведенные цифры не учитывают потребностей Республики Крым, которая, по данным департамента Государственной политики и регулирования в области водных ресурсов Минприроды России, составляет до 2 км^3/ год. В настоящее время суммарное водопотребление в республике составляет около 0,8 км^3/год, а водообеспеченность – 0,41 тыс. м^3/год на человека при норме, установленной Европейской Экономической комиссией ООН, – более 1,7 тыс. м^3/год [6]. Основной статьей водопотребления является орошение, на которое, в сумме с сельскохозяйственным водоснабжением, расходуется до 72% водных ресурсов. При этом планируемый объем использования поверхностных и подземных вод в сельском хозяйстве, в целом, приблизится к величине изъятия водных ресурсов, характерной для 1980 – 1992 гг. и составлявшей 37 – 41 км^3. На долю подземных вод в сельскохозяйственном водоснабжении приходилось в тот период до 3,5 км^3 в год.

Обеспечение рационального использования поверхностных и подземных вод в АПК, несмотря на меньшие, чем в промышленном секторе экономики, объемы водопотребления, предполагает решение общесистемных проблем водопользования, но с учетом специфических задач, возникающих при функционировании водохозяйственных систем в АПК [5]. Среди общесистемных очевидны проблемы, связанные с несовершенством систем управления водохозяйственным комплексом страны в целом и в АПК, состоянием водных ресурсов, с несовершенством экономического механизма обеспечения водопользования, недостаточностью нормативно-правовой и методической базы, с техническим состоянием водохозяйственных систем и другие [1, 2].

Возникновение специфических задач определяется особенностями функционирования водохозяйственного комплекса АПК, его многоцелевым назначением, что связанно с изъятием вод для сельскохозяйственного хозяйственно-питьевого водоснабжения, водообеспечением животноводческих комплексов и птицеводства, орошением и обводнением значительных территорий, а также со сбросом коллекторно-дренажных вод в водные объекты и др. В процессе водопользования в АПК происходит воздействие на поверхностные и подземные водные объекты, которые, в свою очередь, интенсивно влияют на окружающую среду. Помимо задач, связанных с изъятием вод, появляются сложности, определяемые возникающими при функционировании АПК видами и источниками загрязнений поверхностных и подземных вод, в том числе диффузными; происходит развитие процессов подпора, подтопления и засоления земель при работе магистральных каналов, причем фильтрация из каналов одновременно может рассматриваться и как источник восполнения запасов подземных вод; при работе подземных водозаборов возможно снижение степени подтопления, но также и развитие экзогенных геологических процессов под влиянием водоотбора и пр. Таким образом, водопользование в АПК оказывает интенсивное воздействие не только на динамику водных ресурсов, состояние водных объектов, но и на мелиорируемые и прилегающие сельскохозяйственные земли, а также почвы.

Для обеспечения эффективного управления водными ресурсами в АПК, которое определяет рациональное использование и охрану водных ресурсов и окружающей среды с учетом экологических, экономических и социальных аспектов, актуальной задачей является организация мониторинга [4]. В этом случае объектами мониторинга являются: подземные воды в зоне воздействия гидромелиоративных систем и водозаборных сооружений, обеспечивающих питьевое и технологическое сельскохозяйственное водоснабжение, начиная с грунтовых вод; поверхностные воды в водоисточниках, включая речные и водные объекты оросительных систем; поверхностные воды в водных объектах осушительных систем; земли в зоне воздействия

гидромелиоративных систем, а также систем сельскохозяйственного водоснабжения в пределах территории гидромелиоративных систем и прилегающие к ним, подверженные воздействию водных объектов; почвы земель сельскохозяйственного назначения на орошаемых и осушенных землях, плодородие которых в значительное степени зависит от динамики режима грунтовых вод, режимов орошения, способов полива, качества поливной воды и пр.

Сложность ведения мониторинга состояния перечисленных объектов заключается в том, что его элементы относятся к разным видам мониторинга, проводимого различными ведомствами, и формального обмена данными, особенно на объектном (локальном) уровне недостаточно. Мониторинг, эколого-мелиоративный, в этом случае должен быть самостоятельной подсистемой в структуре государственного экологического мониторинга. Ведение объектного мониторинга может осуществляться службой эксплуатации гидромелиоративных систем, при необходимости – с привлечением на договорной основе геологических предприятий, специализирующихся на решении задач мониторинга. Структура и содержание мониторинга определяются применительно к конкретному объекту с учетом природно-техногенных условий. Мониторинг должен быть направлен не только на фиксацию состояния и оценку динамики состояния водных объектов и окружающей среды, но и проведение натурных исследований по обоснованию параметров, и создание комплексных гидрогеомиграционных моделей для прогноза и управления состоянием природно-техногенных систем при комплексном использовании подземных и поверхностных вод.

Основой организации и ведения локального эколого-мелиоративного мониторинга на объектах АПК является составление и согласование программы работ, разрабатываемой для каждого объекта с учетом особенностей природно-техногенных условий. Программы также составляются работниками мелиоративной службы или привлекаемыми научными организациями гидрогеолого-мелиоративной специализации и согласуются в соответствии с ФЗ «О мелиорации земель» [7] с органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации в области мелиорации земель. Для проектируемых или расположенных на территории гидромелиоративных систем водозаборов хозяйственно-питьевого водоснабжения согласование выполняется с органами Роспотребнадзора и Роснедра (в части состояния подземных вод и состояния зон санитарной охраны).

Программа объектного мониторинга, в общем виде, должна включать обоснование постановки работ, конкретизацию цели и задач мониторинга; уточнение видов наблюдений; определение состава и структуры наблюдательной сети для установленных видов наблюдений; обоснование постоянно действующих полигонов, эталонных стационарных и иных участков, для проведения специальных исследований; уточнение состава показателей состояния водных объектов, определение периодичности наблюдений; разработку состава картографического сопровождения работ по мониторингу; определение состава необходимой ретроспективной информации для ведения мониторинга; обоснование необходимой приборно-аналитической базы ведения работ; обоснование создания и ведения картографических баз данных; разработку и ведение баз данных, обработку мониторинговой информации; оценку текущего состояния, обоснование методов и прогноз изменения состояния водных объектов и компонентов окружающей среды; определение формы и периодичности отчетности; определение схемы обмена информации с другими участниками Государственного мониторинга водных объектов, состояния недр, земель сельскохозяйственного назначения, с другими заинтересованными ведомствами и их специализированными службами; разработку предложений по предотвращению или ликвидации неблагоприятных экологических процессов на орошаемых и осушенных землях и связанных с эксплуатацией подземных вод; согласование схемы оперативного взаимодействия мониторинговой службы с органами или организациями, принимающими решение по принятию мер в случае угрозы возникновения опасной ситуации.

Для ведения эколого-мелиоративного мониторинга с учетом его особенностей должны быть разработаны методические положения с учетом современных экономических и

нормативно-правовых условий. Методические положения определяют последовательность и состав исследований для постановки работ по созданию наблюдательной сети, организации и проведению наблюдений в процессе эколого-мелиоративного мониторинга в АПК. Необходимо предусмотреть использование современных математических моделей, применимых для прогноза и обоснования мероприятий по предотвращению негативного влияния водных объектов на окружающую среду, современные компьютерные технологии и измерительные устройства для ведения мониторинга, постановку и решение оптимизационных задач по управлению использования поверхностных и подземных вод для целей АПК.

Реализация мониторинга как основы управления водохозяйственным комплексом АПК и совершенствование собственно системы управления, состояния водохозяйственных систем, экономического механизма водопользования в сочетании с другими необходимыми мерами позволит обеспечить сельское население и сельскохозяйственное производство водными ресурсами нормативного качества и в требуемых объемах, создать условия для рационального использования и охраны подземных и поверхностных вод.

Список литературы

1. Водная стратегия агропромышленного комплекса России до 2020 года. – М. : Изд-во ВНИИА, 2009. – 72 с.

2. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года. Утв. Правительством РФ 27 августа 2009 г. № 1235-р. Режим доступа : http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128717.

3. Государственный доклад о состоянии окружающей среды в 2012 г. Режим доступа : http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/cef/gosdoklad.

4. Дубенок, Н. Н. Обеспечение рационального использования подземных вод для водоснабжения / Н. Н. Дубенок, С. Д. Исаева, Н. С. Быстрицкая [и др.] // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 5-6. – С. 38–42.

5. Исаева, С. Д. Повышение степени обеспеченности подземными водами сельского населения и объектов АПК / С. Д. Исаева, Н. Н. Рыбина // Водное хозяйство России. – 2012. – № 6. – С. 78–87.

6. Кизяев, Б. М. Проблемы водоснабжения на Крымском полуострове и поиск их решения / Б. М. Кизяев, С. Д. Исаева // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 2–6.

7.ФЗ «О мелиорации земель». Режим доступа : https://ceur.ru/library/docs/federal_laws/item100964/

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗАХОРОНЕНИЯ ШЛАМОВЫХ ОТХОДОВ В ВОДОНОСНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ

Курчиков А. Р.[1], Плавник А. Г.[1], Курчиков Д. А.[1]

[1] Западно-Сибирский филиал института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Тюмень, plavnikag@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Проведен анализ данных о работе нагнетательной скважины, закачивающей шламовые отходы в отложения глубоких горизонтов, выполненный с помощью методов интерпретации исследований при гидроразрыве пласта и в рамках стандартных гидродинамических методов определения фильтрационных свойств водоносных комплексов. Показано, что полученные результаты хорошо согласуются с модельными представлениями о характере происходящих процессов и с требованиями по обеспечению необходимых условий эксплуатации. Основные изменения происходят в призабойной зоне нагнетательной скважины и приводят к значительному (практически на порядок) увеличению проницаемости коллекторов. При этом размеры трещины как по высоте, так и по длине соответствуют проектным требованиям и позволяют обеспечить необходимый объем закачки шламовых отходов.

Ключевые слов: *водоносные горизонты, гидроразрыв пласта, буровые отходы, закачка, мониторинг.*

Abstract. The analysis of exploitation of the injection well that pumps waste sludge in deep aquifers is described. There are used methods of interpreting studies at fracturing and in the framework of the standard methods for determining the filtration properties of aquifers. It is shown that the results obtained are in good agreement with the model assumptions about the nature of the processes and requirements to ensure the necessary conditions. Major changes occur in the near-wellbore of injection well, and lead to a significant (almost an order of magnitude) increasing of the reservoirs permeability. The dimensions of the fractures, both in height and length correspond to the design requirements and enable to pump the necessary volumes of waste sludge.

Key words: *aquifers, hydraulic fracturing, waste sludge, injection, monitoring.*

При бурении эксплуатационных скважин нефтяных и газовых месторождений важной задачей является организация безопасной и экономичной утилизации шламовых отходов. В настоящее время в Западной Сибири начинают активно применяться современные и эффективные методы их подземного захоронения. В этих методах используется технология гидроразрыва пласта, которая характеризуется богатым опытом реализации, отработанными техническими средствами и оборудованием, а также методическими приемами контроля за развитием трещинного пространства.

Однако использование новых технологий решения задач захоронения и новых типов закачиваемых агентов определяет новизну и важность решения специализированных вопросов по обоснованию и утверждению в контрольных органах возможности использования недр для обеспечения необходимых объемов закачки шламовых отходов. Одним из таких вопросов является отработка методов оценки воздействия процессов захоронения на гидродинамическую систему эксплуатационного объекта, в частности, оценки устойчивости работы нагнетательной скважины в течение длительного времени, воздействия этого процесса на фильтрационно-емкостные свойства эксплуатируемых водоносных отложений, а также сохранения целостности перекрывающих их флюидоупоров.

В данной работе приводится опыт решения этих вопросов при анализе результатов многомесячной (начавшейся в ноябре 2013 г.) закачки отходов бурения на одном из месторождений Западной Сибири. В качестве объекта для закачки, исходя из условий соответствия физико-механических свойств пород требованиям по созданию трещины необходимой емкости, в ходе проектных работ выбраны глубокозалегающие водоносные отложения. В течение всего периода эксплуатации осуществлялся детальный мониторинг показателей работы нагнетательной скважины с целью отслеживания динамики развития трещины.

Исходные данные для анализа представляют собой значительный массив режимных наблюдений, в которых содержатся материалы посекундной фиксации основных рабочих параметров – дебита закачки (или его отсутствие) и давления закачки. Наряду с этим, ежедневно составляется обобщающая сводка, в которой отражается информация о количестве выполненных циклов закачки, времени их включения, выключения; объеме закаченного флюида, его типе (пульпа, вязкая пачка, кислотный реагент); характерных давлениях закачки. Для отдельных циклов фиксируется процентное содержание твердой фазы в закачиваемой пульпе.

Для оценки параметров трещинообразования обработка данных наблюдений осуществляется в двух направлениях. Первое состоит в детальном анализе результатов работы отдельного цикла закачки, второе – в обобщенном анализе накапливаемых результатов динамики показателей работы поглощающей скважины. Сложность происходящих при гидроразрыве пласта процессов и ограниченность информации о физико-механических свойствах отложений определяет во многом качественный уровень такого анализа.

Кривые восстановления, наблюдаемые при эксплуатации поглощающей скважины, существенно отличаются от теоретических, и поэтому эти данные, как правило, не интерпретируются. Для анализа этапа закачки данные по давлению и времени представляются в билогарифмическом виде (график Нолте–Смита). Интерпретация полученных результатов базируется на существующих модельных представлениях о развитии трещины – модели Геертсма и де Клерка, радиальной модели и модели Перкинса и Керна.

В условиях целевой задачи по захоронению шламовых отходов использована некоторая модификация метода и выполнено построение зависимости давления закачки от объема утилизированного шлама (в билогарифмическом масштабе). С одной стороны, это оправдано тем, что закачки осуществляются достаточно равномерно во времени, и при этом графики Нолте–Смита не претерпевают принципиальных изменений (в силу логарифмического масштаба, при этом просто сдвигается нулевая отметка оси абсцисс). С другой стороны, при таком построении можно отметить целевые показатели работы поглощающей скважины – максимальное давление нагнетания и ожидаемый объем закачки в пласт твердой фазы шламовых отходов – и отслеживать соответствие динамики работы скважины условиям обеспечения требуемых показателей.

Результаты соответствующего сопоставления изменения среднего давления отдельных циклов закачки с накапливаемым объемом закачанной твердой фазы отходов в целом за период наблюдений приведены на рис. 1. С целью повышения иллюстративности на графике проведена сглаженная линия изменения давления, построенная методом скользящего среднего.

Полученные результаты за весь период наблюдений свидетельствуют о сложном характере развития трещины. Ее закономерный рост в глубь пласта, сопровождающийся ростом давления в процессе закачки, сменяется кратковременными процессами роста трещины в высоту (и падением давления закачки) с последующим достаточно длительным периодом развития вторичной трещиноватости (при этом давление закачки изменяется незначительно), переходящим в новый цикл закономерного развития трещины в длину, завершающегося скачкообразным ростом трещины в высоту.

Вместе с тем, несмотря на сложность происходящих процессов, можно отметить, что динамика наблюдаемых параметров, в целом, согласуется с целевыми проектными характеристиками – допустимым значением давления закачки (230 атм) и проектной емкостью объекта закачки (40000 м^3 твердой фазы). Об этом свидетельствуют экстраполяции трендовых линий на каждом из этапов роста давления (рис. 1). В свою очередь, согласованность результатов мониторинга с проектными показателями является подтверждением того, что параметры развития трещины, в целом, соответствуют расчетным, полученным при моделировании гидроразрыва пласта.

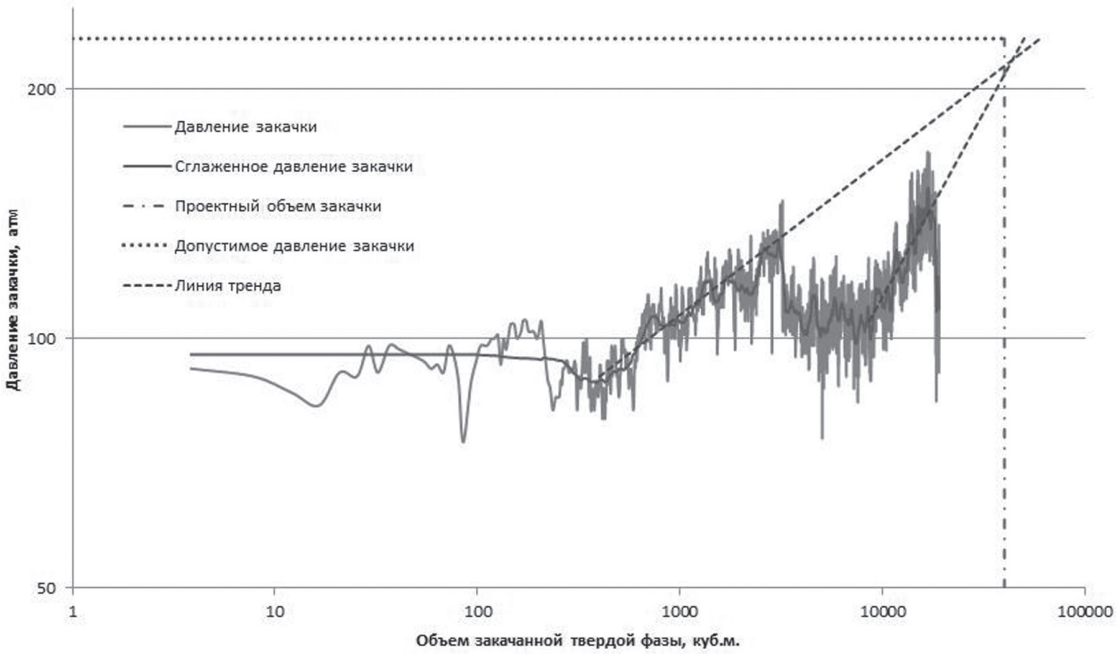


Рис. 1. Динамика работы поглощающей скважины

Большой объем информации об изменении давления и дебита при закачке предоставляет основу для анализа динамики изменения фильтрационных свойств в призабойной зоне пласта. Однако применение стандартных методов оценки коэффициента водопроводимости, по данным восстановления давления для анализа материалов гидродинамического мониторинга утилизации шламовых отходов, затруднено из-за сложности происходящих процессов, а также тем, что в процессе наблюдений осуществляется контроль давления закачки на устье скважины, связь которого с давлением в интервале поглощения может быть оценена лишь приблизительно.

В связи с этим в работе был выбран более схематичный подход, основанный на представлении о наличии общих закономерностей между фильтрационными показателями коллекторов, перепадами давления на режимах закачки и остановки, продолжительности этих режимов и дебитом скважины и возможностью их приближенного описания в рамках модели безграничного напорного пласта (модели Тейса).

Для сглаживания влияния возможных резких изменения в значениях давлений закачки P_P и восстановления P_0 в расчетах использовались их средние значения за последние минуты исследований на соответствующих режимах. Для оценки влияния неопределенности в величинах коэффициента пьезопроводности расчеты осуществлялись для трех вариантов значений этого показателя – 10^4, 10^5 и 10^6 м^2/сут.

Хотя в процессе работы поглощающей скважины осуществляется около 8 – 10 циклов закачки и восстановления в сутки, в рассматриваемом подходе не учитывается предыстория работы скважины. Это определяется тем, что фиксируемые давления после остановки практически всегда восстанавливаются до нулевого значения и, соответственно, каждый новый цикл может рассматриваться как независимый. Для более строгого моделирования, очевидно, не хватает более точных и надежных данных об изменениях давления в пласте. Вместе с тем, поскольку основная задача такого анализа гидродинамических данных заключается в оценке изменения фильтрационных свойств отложений в процессе эксплуатации, принятые для ее решения упрощения в рассмотренном подходе представляются приемлемыми.

В результате применения предложенной методики и выполненного анализа данных по изменению давления и дебита закачки в нагнетательной скважине установлено, что среднее значение водопроводимости в призабойной зоне пласта составляет около 250 м^2/сут. Это существенно выше по сравнению с водопроводимостью отложений до проведения работ по гидроразрыву пласта (около 30 м^2/сут). На протяжении всего рассматриваемого периода наблюдаются периодические скачки значений коэффициента водопроводимости, достигающие 1600 м^2/сут и более. Очевидно, это связано с развитием трещины в пласте в процессе закачки шлама.

Для оценки условий взаимодействия работы нагнетательной скважины и гидродинамической системы поглощающего горизонта в 2015 г. проведено гидропрослушивание между эксплуатационной и резервной скважинами. Интерпретация результатов гидропрослушивания с целью оценки гидродинамических параметров пласта осуществлялась в рамках модели Тейса. При расчетах учитывались история работы скважины по закачке шламовых отходов с 2013 г.

Гидродинамические параметры пласта (начальный уровень, пьезопроводность и водопроводимость) определялись исходя из условия минимизации суммы квадратов отклонений фактических и модельных значений уровня. В таблице представлены результаты оценки оптимальных значений водопроводимости и начального уровня в зависимости от предполагаемой пьезопроводности пласта, а также соответствующие различным вариантам расчетов значения стандартного отклонения фактических и расчетных значений уровня. На рис. 2 представлено графическое сопоставление фактических и расчетных данных (темная и светлая линии, соответственно) при выборе различных значений пьезопроводности.

Результаты интерпретации материалов гидропрослушивания

Пьезо-проводность ($м^2$/сут)	Водо-проводимость ($м^2$/сут)	Начальный уровень (м)	Стандартное отклонение (м)
200000	240,71	1816,37	0,07986
100000	193,49	1816,23	0,07685
50000	148,16	1816,02	0,07412
25000	98,11	1815,60	0,07175
12500	43,64	1814,15	0,06975
11500	37,62	1813,75	0,06962
11000	34,52	1813,49	0,06958
10500	31,38	1813,17	0,06958
10000	28,21	1812,78	0,06964
8000	15,72	1809,79	0,07174

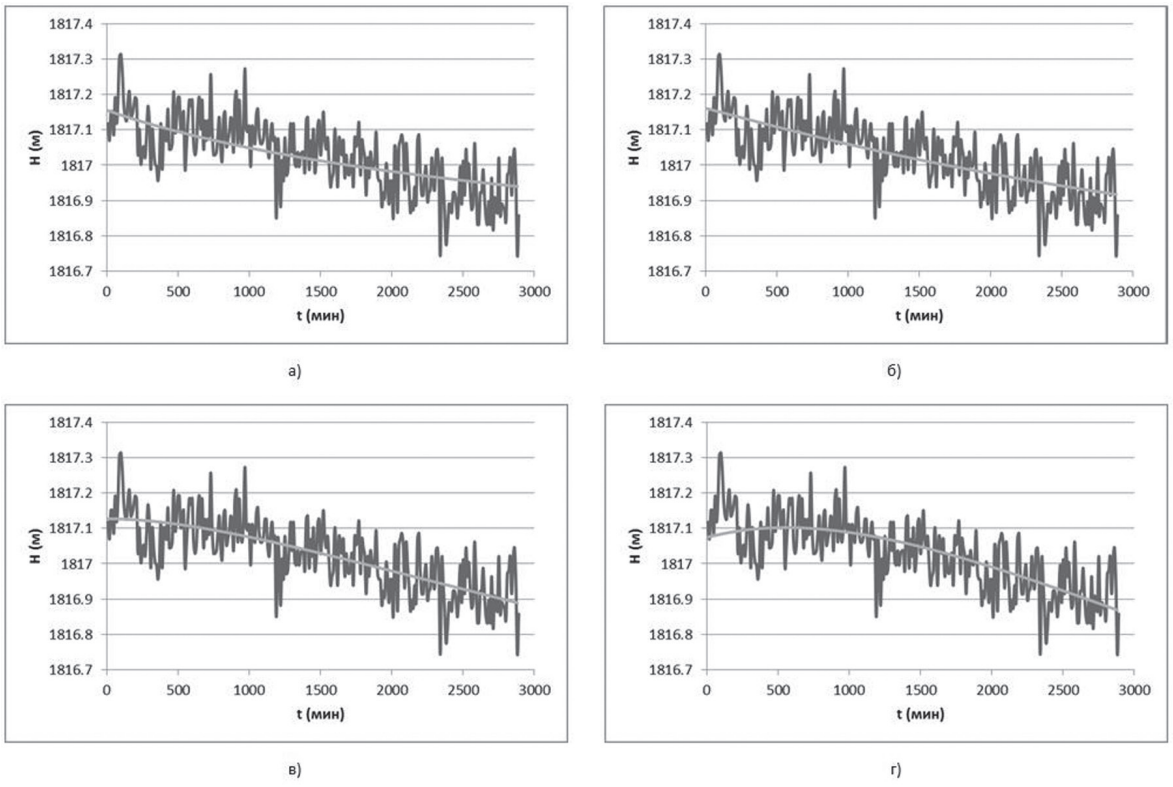


Рис. 2. Сопоставление фактических и расчетных значений понижения уровня
(при пьезопроводности а – 100 000, б – 25 000, в – 11 000, г – 8000 $м^2$/сут)

Как видно из полученных результатов, для всех вариантов расчетов стандартное отклонение фактических и модельных данных отличается не очень значительно. Но вид модельных зависимостей существенно изменяется. При этом общему характеру изменения значений уровня – относительно небольшому темпу его изменения в начале этапа восстановления и последующего увеличения скорости понижения уровня – соответствуют расчетные варианты с пониженной пьезопроводностью. Для вариантов с повышенной пьезопроводностью наблюдается обратная закономерность в поведении модельных кривых. Стандартные отклонения фактических и расчетных значений уровня для различных вариантов уменьшаются при снижении

пьезопроводности с 200 000 м^2/сут до 10 500 – 11 000 м^2/сут и затем снова увеличиваются при дальнейшем уменьшении пьезопроводности.

Как по точности приближения, так и по согласованности поведения во времени фактических и модельных данных, оптимальные гидродинамические параметры составляют 10 500 – 11 000 м^2/сут для пьезопроводности и 31,4 – 34,5 м^2/сут для водопроводимости. Отметим, что, хотя обе скважины вскрыли единые в гидродинамическом отношении отложения, интервалы перфорации в них приурочены к различным пропласткам. Между ними прослеживается достаточно мощная глинистая прослойка, которая, как показывают материалы гидропрослушивания, не препятствует гидродинамической связи между скважинами, но в определенной степени затрудняют ее. В этих условиях «эффективное фильтрационное» расстояние между скважинами не соответствует физическому расстоянию между ними и, соответственно, фактическая пьезопроводность пласта превышает (возможно, значительно, на порядок и более) полученные расчетные значения.

В целом, можно отметить, что анализ накопленных данных о работе нагнетательной скважины Усть-Тегусского месторождения, выполненный в рамках методов интерпретации исследований при гидроразрыве пласта и с помощью стандартных гидродинамических методов определения фильтрационных свойств водоносных комплексов, приводит к согласованным результатам. Основные изменения фильтрационных свойств происходят в призабойной зоне поглощающей скважины. Размеры трещины как по высоте, так и по длине соответствуют проектным и позволяют обеспечить требуемый объем закачки шламовых отходов.

Таким образом, опыт реализации представленных в данной работе подходов к оценке воздействия процессов захоронения на гидродинамическую систему эксплуатационного объекта подтвердил надежность их применения и достоверность получаемых с их помощью результатов. Сказанное свидетельствует о том, что эти методы могут быть успешно применены для решения аналогичных задач, связанных с захоронением шламовых отходов эксплуатационного бурения.

ГЛУБИННОЕ ЗАХОРОНЕНИЕ ПУЛЬПООБРАЗНЫХ БУРОВЫХ ОТХОДОВ – ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЙ ВИД НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ

Курчиков А. Р.[1], Саитов В. А.[1], Павленко О. Л.[1], Хасанов Д. А.[1]
[1]Западно-Сибирский филиал института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Тюмень, Pavlenko_Olga@tmnsc.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены основные пути ликвидации буровых отходов, приводятся данные об опыте глубинного захоронения бурового шлама на месторождениях углеводородов Западной Сибири. Показано, что захоронение буровых отходов в глубокозалегающий водоносный горизонт, являясь экологически безопасной технологией, в то же время оказывает воздействие на недра. Оценка степени негативных последствий возможна на основе гидрогеологического мониторинга недр.
Ключевые слова: *буровой шлам, буровые отходы, пульпа, поглощающий горизонт, гидроразрыв.*

Abstract. This paper describes the main ways of elimination of drilling waste, presents data on the experiences of deep disposal of drill cuttings on hydrocarbon fields in Western Siberia. The injection of drilling wastes into deep aquifer affects the bowels of the earth, but is an environmentally friendly technology. It is possible to assess the degree of negative consequences on the basis of subsurface hydrogeological monitoring.
Key words**:** *drill cuttings, drilling waste, pulp, absorbing the horizon, hydraulic fracturing.*

При разбуривании и эксплуатации месторождений углеводородов образуются значительные объемы буровых отходов, которые, как правило, накапливаются в шламовых амбарах. Строительство амбаров заключается в выемке определенного объема грунта и обваловании

полученного котлована. Избежать фильтрации жидкой фазы буровых отходов при амбарном способе захоронения практически невозможно, а это чревато экологически неблагоприятными последствиями. Вывоз буровых отходов с территории месторождений для их переработки бывает сопряжен со значительными финансовыми затратами. Из-за удаленности месторождений от заселенных территорий, сильной заболоченности инфраструктура может быть слабо развита.

При невозможности утилизации буровых отходов в производственном цикле (например, для поддержания пластового давления в разрабатываемых залежах) они могут быть выведены следующими путями:

– передача организациям, специализирующимся в области обращения с отходами, для последующей переработки;

– очистка и последующий сброс в поверхностные водоемы;

– закачка в водоносные горизонты, обеспечивающие локализацию отходов в течение неограниченного времени.

Практикуемая на отдельных предприятиях закачка в многолетнемерзлые породы в связи с глобальным потеплением климата может грозить экологической катастрофой: при растеплении ММП возникнет угроза миграции загрязняющих компонентов в пластовые воды гидродинамически связанных с ММП горизонтов пресных вод хозяйственно-питьевого значения. Также неблагоприятен для окружающей среды сброс отходов, даже очищенных, в поверхностные водоемы, так как это напрямую ведет к загрязнению почв и грунтовых вод.

Наиболее экономически выгодным и экологически приемлемым вариантом является закачка отходов и стоков в глубокозалегающие водоносные горизонты, находящиеся вне интервалов нефтегазоносности, не являющиеся источником подземных вод, пригодных для питьевого или бальнеологического использования, надежно изолированные от смежных водоносных горизонтов. Такая возможность прописана в статье 10.1 Федерального закона «О недрах».

Технология закачки жидких буровых отходов не отличается от нагнетания воды в систему поддержания пластового давления. Кроме того, именно таким образом производится глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов (благодаря этой технологии предотвращен сброс РАО в водоемы), при этом несколько международных проектов по исследованиям таких полигонов подтвердили их полную экологическую безопасность.

Закачка твердых буровых отходов требует проведения значительного объема дополнительных работ. Современные технологии предполагают закачку пульпообразных смесей. Для этого на специальной установке шлам измельчается до размеров частиц не более 300 мкм; для достижения необходимой вязкости пульпы (с целью удержания твердых частиц во взвешенном состоянии) и уменьшения коррозии труб добавляются загуститель, поглотитель кислорода и биоцид. При нагнетании пульпы под высоким давлением в пласте происходит гидроразрыв, и пульпа попадает в образованную трещину. Затем стенки трещины смыкаются, запечатывая в себе твердую фазу, а жидкая фаза пульпы отфильтровывается по поровым каналам коллектора. К настоящему времени эта технология применяется на многих месторождениях по всему миру, чаще всего – на морском шельфе, где к любой деятельности предъявляются повышенные экологические требования. В России первые такие закачки проводились на морской платформе на шельфе о. Сахалин. Имеются планы по захоронению бурового шлама на шельфе Баренцева и Каспийского морей.

Наш институт выполнял геологическое сопровождение проектов, связанных с захоронением бурового шлама на трех объектах в Западной Сибири. На двух месторождениях имеется опыт закачки бурового шлама. Одно из них является крупнейшим по запасам углеводородов, значительная часть его территории расположена в пойме рек Иртыша и Оби, их многочисленные притоки имеют сильно извилистые русла, образуют большое количество стариц и проток, пространство между которыми заболочено и покрыто сетью мелких озер. Возможности строительства амбаров здесь крайне ограничены, а транспортировка отходов за пределы месторождения требует значительных затрат. В связи с этим здесь впервые в России утилизация

отходов бурения полностью осуществлена по указанной технологии. По сравнению с другими способами описываемый метод оказался и наиболее экономически эффективным. Этот проект был признан Министерством природных ресурсов лучшим экологическим проектом 2008 г.

Другое месторождение, на котором в настоящее время заканчивается период опытно-промышленной эксплуатации полигона захоронения буровых отходов, расположено в пределах труднодоступной слабозаселенной территории юга Тюменской области, изобилующей болотами. Организация шламовых амбаров здесь также сопряжена со значительными трудностями. По независимым оценкам использование этого подхода принесет недропользователю экономию более 1 млрд рублей.

И наконец, на третьем месторождении (уникальном по запасам углеводородов, находящемся в эксплуатации более 40 лет) проведены все подготовительные работы, опытно-промышленная закачка пульпообразных буровых отходов начнется в конце 2015 г. Здесь намечена грандиозная задача – наряду с закачкой текущих отходов бурения, предполагается и ликвидация шламовых амбаров, обустроенных ранее и рассредоточенных по всей территории месторождения.

Поглощающие объекты на перечисленных участках находятся на глубинах 1200 – 1500 м, все они расположены выше нефтяных залежей. Давление закачки составляет порядка 120 – 160 атм, суточный объем закачки – 420 м^3 пульпы при среднем содержании твердой фазы 12%.

Объем буровых отходов, которые могут быть закачаны в обоснованные объекты в неокомских и апт-альб-сеноманских отложениях, варьирует в пределах 80 – 120 тыс. м^3 твердой фазы пульпы. При этом в каждой поглощающей скважине может быть 3 – 5 таких объектов, они вводятся в эксплуатацию последовательно снизу вверх.

Захоронение буровых отходов в глубокозалегающий водоносный горизонт, являясь экологически безопасной технологией, в то же время оказывает воздействие на недра. Загрязнение выражается в нарушении целостности пласта на расстоянии трещины и в попадании компонентов жидкой фазы пульпы в пластовые воды. Смешиваясь с пластовыми водами, они движутся по пласту по гидродинамическим законам данного горизонта.

Оценить степень негативных последствий возможно на основе гидрогеологического мониторинга недр, который осуществляется в соответствии с «Положением об осуществлении государственного мониторинга водных объектов» (Постановление Правительства РФ от 10 апреля 2007 г. № 219). Наиболее распространенными методами мониторинга являются контроль продвижения закачиваемых веществ по водоносному горизонту посредством отбора проб из наблюдательных скважин, регулярные замеры давлений и температур в них, проведение гидродинамических исследований. При этом в наблюдательную сеть должны войти скважины как на эксплуатируемый водоносный горизонт, так и на все вышезалегающие водоносные горизонты.

Согласно «Правилам охраны недр» (ПБ 07-601-03, утв. Постановлением Госгортехнадзора России от 06.06.2003 № 71) в пределах горного отвода должны быть обеспечены гидрогеологические наблюдения и контроль состояния подземных и поверхностных вод. Задачей гидрогеологического мониторинга является проведение систематических наблюдений за химическим составом и гидродинамическим состоянием подземных вод как непосредственно на участке закачки, так и за его пределами, прогнозирование изменения состава подземных вод и гидродинамического состояния подземного резервуара и разработка мероприятий по предотвращению негативных последствий.

Платформенный мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты представляет собой мощную толщу переслаивающихся субгоризонтально залегающих песчано-алеврито-глинистых отложений. В гидрогеологическом разрезе здесь выделяется два этажа – верхний и нижний, изолированные друг от друга региональным водоупором, – преимущественно кремнисто-глинистыми породами турон-эоценового возраста мощностью порядка 600 – 800 м. Верхний этаж является единой гидродинамически связанной водонасыщенной толщей мощностью около 300 м. Подземные воды циркулируют преимущественно в зоне активного водо-

обмена, существенное влияние на условия питания и разгрузки комплекса оказывают современные геоморфологические и климатические факторы. Нижний гидрогеологический этаж содержит высоконапорные термальные минерализованные воды, находящиеся в обстановке затрудненного водообмена. Подземный сток незначительный, в региональном плане разгрузка вод скрытая, связана, главным образом, с тектонически ослабленными зонами и восходящей фильтрацией из нижележащих комплексов в вышележащие. Питание выделенных здесь пяти водоносных комплексов происходит с краевых обрамлений бассейна.

Степень влияния закачиваемых отходов бурения на водоносные горизонты оценивалась нами в процессе проведения комплекса геохимических исследований, направленного на определение физико-химических характеристик вод, а также на присутствие ряда специфических компонентов техногенного происхождения: фенолов, ПАВ, АПАВ и других веществ согласно СП 2.1.5.1059-01 «Гигиенические требования к охране подземных вод от загрязнения», позволяющим оценить состояние и степень защищенности комплекса на данный момент.

Результаты проведенных исследований показали, что состав и свойства подземных вод, залегающих и выше, и ниже поглощающего горизонта, не претерпевают каких-либо значительных изменений под влиянием закачки буровых отходов. Связь вариаций отдельных показателей химического состава пресных подземных вод и превышения допустимых концентраций по нефтепродуктам, кадмию, общему железу, аммонию, бромидам, кремнию, а также повышенной цветности и мутности от размещения буровых отходов маловероятна, так как указанные вариации имели место и до начала работы поглощающих скважин.

Одним из методов гидрогеологического мониторинга на месторождениях Западной Сибири было проведение трассерных исследований. Данный метод заключается в закачке в нагнетательную скважину жидкости, меченой специальными индикаторами, систематическом (по заданной программе) отборе проб жидкости из добывающих скважин и анализе проб на присутствие трассера. Трассерные исследования позволяют наглядно установить и оценить наличие или отсутствие гидродинамической связи между нагнетательной и добывающими скважинами, определить преимущественное направление фильтрации.

Надо отметить, что технология подготовки пульпы подразумевает добавление в ее состав ряда водорастворимых биополимеров, которые обеспечивают поддержание твердых частиц пульпы во взвешенном состоянии в течение времени, достаточного для прохождения ствола скважины, предотвращение развития в пульпе микроорганизмов, снижение коррозионной активности пульпы, ингибирование набухания глинистых минералов пласта-коллектора. Известные физико-химические свойства реагентов, применяемых для приготовления пульпы, позволяют использовать их в качестве индикаторов и интерпретировать результаты наравне с трассерными исследованиями.

На изучаемых месторождениях отбор проб и их анализ не выявил появления индикаторов в наблюдательных скважинах. Каких-либо значительных отклонений в значениях минерализации, общей жесткости, а также в соотношении основных солеобразующих компонентов подземных вод всех контролируемых горизонтов не наблюдается.

При закачке бурового шлама ведется ежесекундный мониторинг параметров закачки (давление, температура, расход). Эти данные позволяют проследить во времени технологические показатели работы скважины (дебиты закачки, давления нагнетания, продолжительность циклов, их количество в сутки и т.д.) и, тем самым, определить, насколько стабильны эти показатели во времени. Наряду с прослеживанием технологических показателей, наличие такого рода данных обеспечивает возможность выполнения работ по оценке гидродинамическими методами фильтрационных характеристик коллекторов и их изменению во времени.

Основной характеристикой процесса закачки бурового шлама является давление нагнетания. Для недопущения разрушения целостности колонны отслеживается тренд изменения во времени достигнутых максимальных значений давлений закачки. Для оценки более деталь-

ных показателей, характеризующих показатели дренирующей системы трещин, создаваемых в процессе гидроразрыва пласта, используются материалы наблюдений за восстановлением давления в скважинах. При этом основной исследуемой характеристикой является давление и время закрытия трещин. Для оценки состояния забоя скважины учитывается качественный вид, форма кривой восстановления давления, что в ряде случаев позволяет сделать вывод о повышенном накоплении твердой фазы пульпы в прискважинной зоне трещины.

Опыт эксплуатации полигонов глубинного захоронения бурового шлама и проводимый гидрогеологический мониторинг недр показывает, что используемая технология подготовки и закачки пульпы позволяет обеспечить экологическую безопасность и профилактику чрезвычайных ситуаций. Анализ давления закачки позволили обезопасить процесс, вовремя предугадывая риски и выполняя мероприятия по их снижению. Буровой шлам остается надежно запечатанным в созданном трещинном домене, проникновению пульпы в смежные водоносные горизонты препятствуют естественные барьеры, отделяющие от них поглощающий горизонт, – глинистые водоупорные толщи. Это позволяет выполнить основное условие предоставления недр в пользование для захоронения отходов, сформулированное в законе «О недрах»: поглощающий горизонт должен обеспечивать надежную локализацию отходов.

ПРЕСНЫЕ ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СЕВЕРО-ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Минькевич И. И., Килин Ю. А., Широкова П. С.
Пермский национальный исследовательский университет, г. Пермь, iks-org@mail.ru

Аннотация. Гидрогеологические особенности территории определяются ее принадлежностью к Западно-Сибирскому сложному бассейну пластовых вод. Рассматриваемые отложения относятся к верхнему гидрогеологическому этажу, для которого характерны свободный водообмен и активная связь с поверхностными водами. В пределах рассматриваемой территории выделяются подземные воды плиоцен-четвертичных и олигоценовых отложений.

На территории г. Ханты-Мансийска в 1978 г. было разведано Северо-Ханты-Мансийское месторождение пресных подземных вод. Здесь функционируют многочисленные водозаборы (7 скважин), автономно обеспечивающие небольших водопотребителей. Утвержденные эксплуатационные запасы месторождения пресных подземных вод составляют 14 тыс. м^3/сут.

Ключевые слова: *Ханты-Мансийский административный район, запасы пресных подземных вод, автономный водозабор, атлымский и новомихайловский водоносные комплексы.*

Abstract. Hydrogeological features of the territory are defined by its belonging to the West Siberian difficult pool of reservoir waters. The considered deposits belong to the top hydrogeological floor for which free water exchange and active communication with a surface water are characteristic. Within the considered territory underground waters a Pliocene - quarternary and the oligotsenovykh of deposits are emitted.

In city boundaries of Khanty-Mansiysk in 1978 the North Khanty-Mansiyskoe field of fresh underground waters which functions numerous water intakes (7 wells) which are independently providing in water of small consumers is reconnoitered. The approved operational stocks of a field of fresh underground waters make 14 thousand m3/d.

Key words: *Khanty-Mansiyski administrative region, reserves of fresh underground waters, autonomous water intake, atlymsky and novomikhaylovsky water-bearing complexes.*

По современному геокриологическому районированию территории Ханты-Мансийского автономного округа рассматриваемый район входит в зону распространения глубокозалегающих (от десятков до 300 – 350 м) реликтовых многолетнемерзлых пород (ММП). В районе исследований, на правобережье рек Оби и Иртыша, ММП имеют сплошное распространение

в пределах водораздельной равнины (Самаровский останец), всех уровней надпойменных террас и охватывают пойменную часть между Самаровским останцом и примыкающей к нему с северо-востока II надпойменной террасы. Многолетнемерзлые породы представлены песками мелкосреднезернистыми, с прослоями глин, и относятся к отложениям атлымской и новомихайловской свит. Кровля ММП вскрывается на глубинах от 140 до 180 м, подошва – от 185 до 270 м. Мощность ММП по району изменяется от 10 до 40 – 60 м в пределах Обь-Иртышского долинного комплекса и возрастает в западно-юго-западном направлении до 90 – 95 м к поверхности водораздельной равнины (Самаровский останец). На левобережье рек Оби и Иртыша погребенная многолетняя мерзлота отсутствует. Предполагается, что ММП имеют здесь островное распространение [1, 2].

В пределах водозаборных участков Ханты-Мансийского района многолетнемерзлые породы отсутствует, что обусловливается развитием мощных сквозных таликов под руслами р. Оби и ее притоков, а также в пределах поймы и низких уровнях надпойменных террас.

Гидрогеологические условия района работ определяются принадлежностью территории к Западно-Сибирскому артезианскому бассейну. Породы мезозойско-кайнозойского возраста, как водовмещающие, так и водоупорные, имеют выдержанное региональное распространение по всей территории.

Район работ находится в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна и входит в Нижневартовско-Петропавловский бассейн напорных и субнапорных подземных вод II порядка. В соответствии с принципом оконтуривания гидрогеологических областей III порядка принадлежит двум группам бассейнов регионального стока безнапорных вод: Южно-Сибирскоувальской и Восточно-Предуральской.

По условиям формирования химического состава, водообмена и ресурсам подземных вод в Западно-Сибирском артезианском бассейне установлены два этажа, разделенные региональным водоупором эоцен-олигоценовых и верхнемеловых отложений мощностью до 900 м. В соответствии с характеристикой геологического строения верхний гидрогеологический этаж в пределах района работ включает в себя следующие (сверху вниз) стратиграфические подразделения:

1) плиоцен-четвертичный водоносный комплекс (N_2–Q);

2) верхнеолигоценовый (туртасский) слабопроницаемый горизонт (P_3 tr);

3) олигоценовый (атлым – новомихайловский) водоносный комплекс (P_3 at–nm);

4) тавдинский водоупорный комплекс (P_3 tv).

В вертикальном разрезе гидрогеосферы района выделяются четыре гидродинамические зоны.

Первая (верхняя) зона включает плиоцен-четвертичный водоносный комплекс, развитый повсеместно и испытывающий основную антропогенную нагрузку. Он достаточно тесно связан с поверхностными водами. Водные ресурсы комплекса весьма значительны, но в хозяйственно-питьевых целях используются ограниченно из-за подверженности подземных вод промышленному и бытовому загрязнению. Воды пресные, содержат повышенные концентрации железа, марганца и органических веществ.

Вторая гидродинамическая зона включает в себя пресные подземные воды нерасчлененных отложений атлымской и новомихайловской свит (атлым-новомихайловский водоносный комплекс), широко используемые для хозяйственно-питьевых целей. Разведанные и действующие групповые водозаборы имеются в г. Сургуте и Ханты-Мансийске. За счет ресурсов этой зоны обеспечивается водоснабжение практически всех населенных пунктов района. В разрезе комплекса выделяются два водоносных горизонта, примерно равные по мощности. Верхний горизонт представлен новомихайловской свитой, а нижний − атлымской. Продуктивные водоносные горизонты этой зоны хорошо защищены от антропогенного воздействия. По показателям качества подземные воды пригодны для хозяйственно-питьевого водоснабжения после их предварительного обезжелезивания.

Третья и четвертая гидродинамические зоны находятся под региональным палеоген-меловым водоупором, имеющим мощность в рассматриваемом районе более 500 м. Они включают акт-альб-сеноманский водоносный комплекс солоноватых и соленых вод, а также неоком-юрский нефтеводоносный комплекс. Их водные ресурсы для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения не пригодны.

Продуктивным на участках работ является атлым-новомихайловский водоносный комплекс (верхняя и нижняя части). Верхняя его часть, с более глинистыми осадками новомихайловской свиты, имеет мощность 70 – 90 м. Нижняя часть комплекса характеризуется значительной водообильностью и приурочена преимущественно к песчаным отложениям атлымской свиты, общей мощностью 40 – 80 м при эффективной (без глинистых слоев) около 30 м. В основании водоносного комплекса залегают пески светло-серые мелко- и среднезернистые, реже крупнозернистые, иногда с гравием и галькой кварца и кремния, с косой слоистостью руслового типа, а также с лигнитизированными растительными остатками.

Зону распространения пресных подземных вод в разрезе и по площади ограничивают глины тавдинской свиты, составляющие верхнюю часть регионального водоупора, с глубиной залегания кровли на абс. отм. −180 – −230 м.

Подсчёт запасов подземных вод произведен по действующим водозаборам, обеспечивающим хозяйственно-питьевое и производственное водоснабжение населенных пунктов Ханты-Мансийского района (пос. Кирпичный и Луговской, села. Троица, Елизарово и Селиярово). Перспективная потребность в воде составляет 1,3626 тыс. м^3/сут. Расчетный период эксплуатации водозаборов – 25 лет [3].

Водозаборы построены в 1996 – 2009 гг., имеют сложившуюся схему размещения скважин, водоприемные части которых оборудованы в верхней и нижней частях атлым-новомихайловского водоносного комплекса. Современная схема водозаборов пос. Кирпичный, пос. Луговской, с. Троица, с. Селиярово позволяет вести добычу подземных вод в объеме перспективной потребности без бурения дополнительных эксплуатационных скважин.

Качество добываемой на водозаборах подземной воды соответствует региональным данным, отдельные показатели качества (содержание Fe, Mn, NH_4, органики) не отвечают требованиям питьевого стандарта, что является природной особенностью объекта. В связи с этим перед подачей добываемой воды она должна проходить соответствующую подготовку (очистку), доводящую качество воды до питьевого стандарта.

По степени защищенности воды целевого комплекса отнесены к защищенным по требованиям СанПиН 2.1.4.1110-02.

Статья написана по материалам производственных отчетов, представленым одним из авторов П. С. Широковой, работавшей в районе исследований в период с 2012 по 2014 гг.

Список литературы

1. Зайонц, И. Л. Геологическое строение Центрального Приобья / И. Л. Зайонц, Ю. Ф. Андреев, С. Я. Выдрин [и др.] // Отчет Ханты-Мансийской геологосъемочной партии о результатах групповой геологической съемки масштаба 1:200 000 листов P–42–III–XII, XIV–XIX, 75, 76, 111, 112, XXI–XXV, XXVII и геологического доизучения листов P-42-87, 88, 99, 100, XXVIII–XXX. – Ханты-Мансийск, 1984.

3. Палкин, С. С. Отчёт ЗАО «ГИДЭК» о результатах работ с подсчетом запасов пресных подземных вод. Реконструкция водозабора «Северный» 2-я очередь. Переоценка запасов подземных вод Северо-Ханты-Мансийского месторождения по состоянию на 01.09.2009 г.

2. Москвина, Н. Н. и др. Отчёт ООО «НПЦ Мониторинг» о результатах работ по объекту: Оценка запасов пресных вод для водоснабжения объектов, расположенных на территории сельских поселений Ханты-Мансийского района по состоянию на 01.05.2013 г. – Ханты-Мансийск, 2013.

ОЦЕНКА СХОДИМОСТИ ПРОГНОЗНЫХ РАСЧЕТОВ И РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕЙСТВУЮЩЕГО СУРГУТСКОГО ВОДОЗАБОРА ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Олиферова О. А.
ЗАО «ГИДЭК», г. Москва, info@hydec.ru

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы оценки достоверности гидрогеологических прогнозов, выполненных при оценке эксплуатационных запасов подземных вод на примере эксплуатируемого Сургутского месторождения подземных вод. Показана эффективность выполнения оценки сходимости прогнозных и фактических условий эксплуатации водозабора методом численного математического моделирования реальной схемы водоотбора с использованием расчетных геофильтрационных схем, принятых на разных этапах изучения месторождения.

Ключевые слова: *эксплуатационные запасы подземных вод, достоверность гидродинамических прогнозов, численное математическое моделирование, фактический водоотбор.*

Abstract. The article covers the problems of reliability of hydrodynamic forecasts carrying-out during estimation of underground-water supply, illustrated by Surgut ground-wate basin. The most effective calculation of similarity between forecast and real conditions of water intake may be carry out by numerical mathematical modeling of actual water intake using hydrodynamic circuits developed on different stages of ground-wate basin study.

Key words: underground-wate supply, reliability of hydrodynamic forecasts, numerical mathematical modeling, actual water intake.

Одним из аспектов проблемы достоверности гидрогеологических прогнозов является оценка сходимости данных разведки и эксплуатации действующих водозаборов. В настоящее время, когда накоплен обширный материал по опыту эксплуатации крупных водозаборов подземных вод и имеется разработанный инструмент для выполнения анализа данных эксплуатации подземных вод (численное математическое моделирование), сопоставление фактических результатов эксплуатации с ранее выполненными прогнозными расчетами позволяет получить новую информацию и повысить достоверность прогнозных расчетов для следующих этапов освоения месторождений. Значительные расхождения наблюдаемых фактических уровней с прогнозными связаны, с одной стороны, с несоответствием принятой при оценке запасов расчетной схемы и природных условий, а с другой стороны, с несоответствием прогнозной и фактической схем водозаборов. Поэтому целесообразно проводить анализ достоверности ранее выполненных прогнозов применительно к реальной схеме расположения скважин с их фактическими расходами по расчетным схемам, принятым при оценке запасов [1]. Одним из примеров такого анализа являются результаты меделирования современного водоотбора, выполненного при переоценке запасов подземных вод Сургутского месторождения пресных подземных вод (МППВ).

Сургутское МППВ приурочено к верхнему гидрогеологическому этажу Среднеобского артезианского бассейна. Гидрогеологический разрез верхней гидродинамической зоны артезианского бассейна представлен тремя водоносными горизонтами – четвертичным, новомихайловским ($P_3^2 nm$) и атлымским ($P_3^1 at$), которые разделены между собой туртасско-новомихайловским ($P_3^2 nm - P_3^2 trt$) и новомихайловско-атлымским ($P_3^1 at - P_3^2 nm$) слабопроницаемыми горизонтами (рис. 1). Сургутское месторождение представляет собой участок недр, в пределах которого атлымский и новомихайловский продуктивные водоносные горизонты содержат пресные подземные воды и происходит интенсивная эксплуатация этих горизонтов групповыми и одиночными водозаборами для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения г. Сургута.

Развитие Сургута связано с началом освоения в 1960 – 1970 гг. в районе нефтяных месторождений. Водоснабжение строящегося города до середины 1970 г. осуществлялось путем

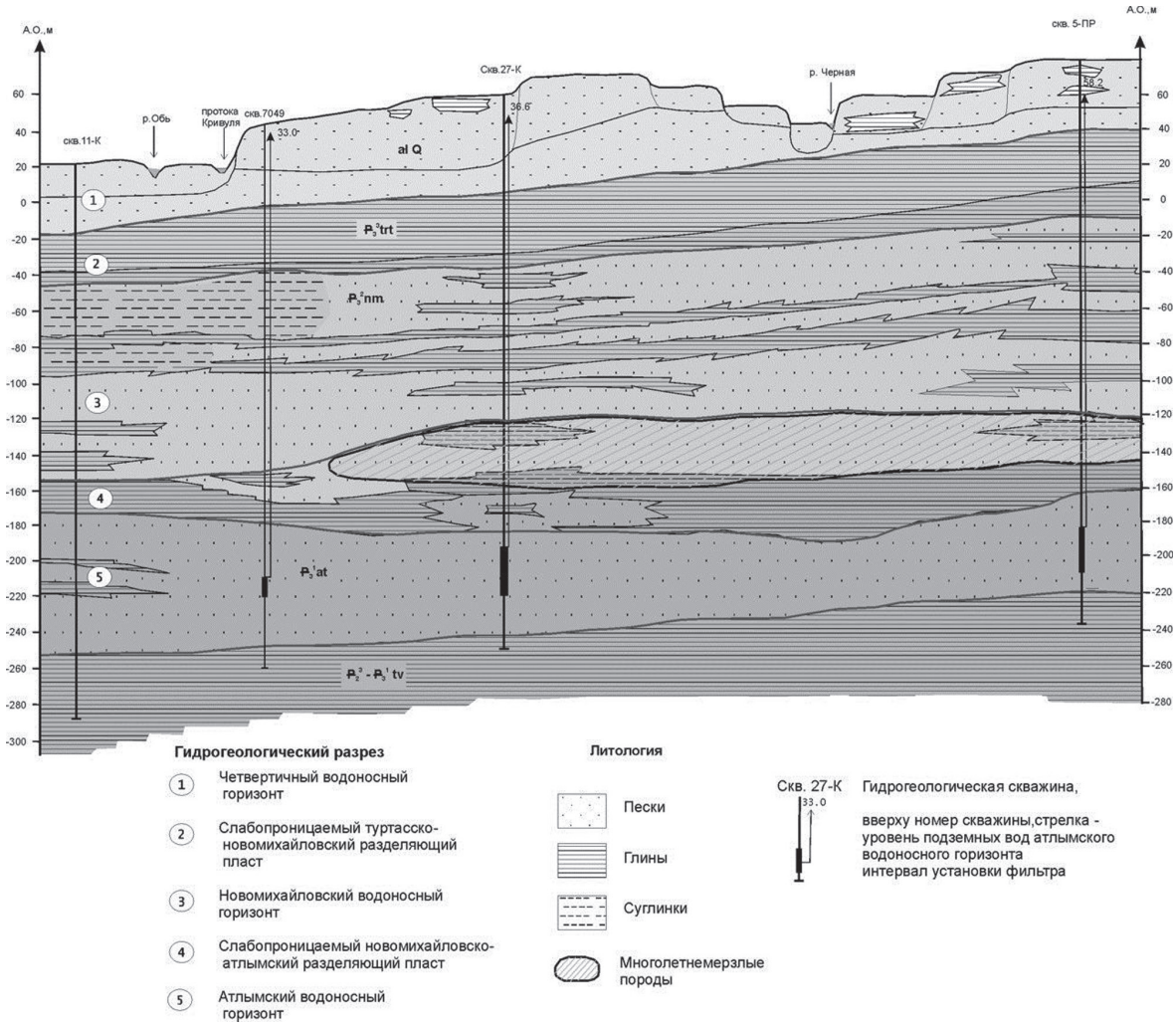


Рис. 1. Гидрогеологический разрез Сургутского МППВ

эксплуатации одиночных скважин или небольших групповых водозаборов. В 1970 г. было начато строительство общегородского водозабора. Эксплуатационные запасы подземных вод (ЭЗПВ) Сургутского МППВ для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения г. Сургута были утверждены ГКЗ СССР в 1976 г. в количестве 221,2 тыс. м^3/сут.

В процессе проведения оценки эксплуатационных запасов подземных вод на Сургутском месторождении основной целевой атлымский водоносный горизонт схематизировался как напорный, изолированный и неограниченный в плане пласт. В качестве расчетных величин параметров атлымского горизонта были приняты величины проводимости T = 1180 м^2/сут и коэффициента пьезопроводности a = 1,3×10^6 м^2/сут.

Прогнозные расчеты проводились аналитически применительно к схеме линейного водозабора длиной 11,3 км с разрывом в центре ряда 1,8 км (на участке существующей застройки города). На западном крыле водозабора было запроектировано 115 скважин, на восточной части линии – 77 скважин. Дебит эксплуатационных скважин принимался равным 1000 м^3/сут (эта величина была подтверждена средним фактическим дебитом, полученным при опробовании скважин в процессе проведения разведки подземных вод). В итоге проектный дебит линейного ряда из 192 скважин составил 192 тыс. м^3/сут. К этой величине были добавлены суммарные запасы по участкам ведомственных водозаборов – 11,5 тыс. м^3/сут, в результате чего общий проектный дебит составил 221,2 тыс. м^3/сут. Расчетное прогнозное понижение, полученное по аналитическим расчетам, составило 117 м (при принятом допустимом

понижении 210 м). Результаты этих расчетов приведены на рис. 2 в виде депрессионной воронки 1.

В настоящее время водоотбор на участках месторождения, по которым были оценены ЭЗПВ, составляет около 50% (104 тыс. м^3/сут) от величины оцененных в 1976 г. запасов. Эта эксплуатационная нагрузка, в основном, сосредоточена на семи водозаборных участках централизованного водоснабжения г. Сургута. Эксплуатация подземных вод осуществляется не только на участках, по которым оценены ЭЗПВ, но и по всей территории месторождения автономными водозаборами. Суммарная величина этого рассредоточенного водоотбора составляет 24 тыс. м^3/сут. В результате эксплуатации водозаборов централизованного водоснабжения, принадлежащих Водоканалу г. Сургута и водозаборов других недропользователей, в конце расчетного срока после 25 лет эксплуатации в целевом атлымском водоносном горизонте сформировалась депрессионная воронка, значительно отличающаяся от прогнозной и по форме, и по величинам понижений. На рис. 2 депрессионной воронка 4 соответствует сложившейся схеме эксплуатации Сургутского МППВ и отличается от прогнозной воронки, рассчитанной при оценке запасов в 1976 г. в наиболее нагруженной части водозабора на 65 м.

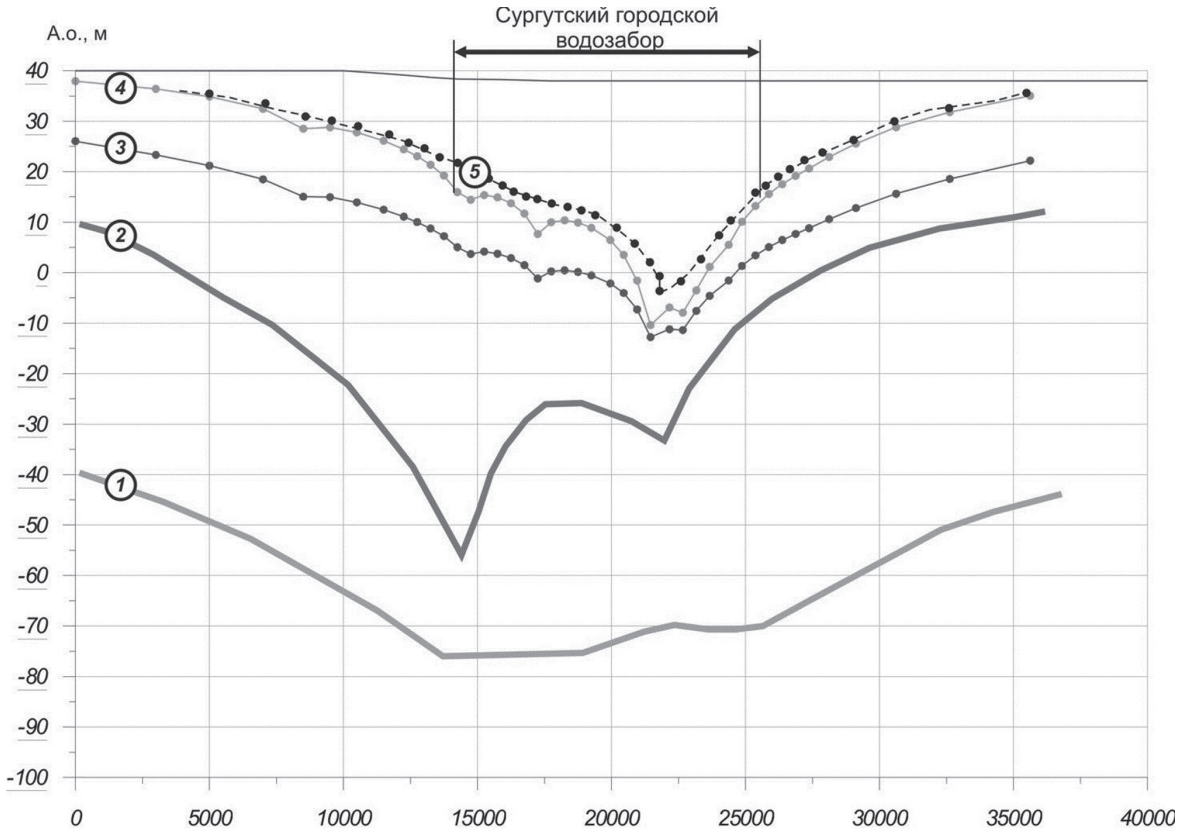


Рис. 2. Расчетные депрессионные воронки в атлымском водоносном гонизонте, полученные при моделировании современного и прогнозного водоотбора:

1 – прогноз 1975 г. (аналитические расчеты – Qпр = 196 тыс. м^2/сут); 2 – прогноз 2004 г. (моделирование Qпр = 262 тыс. м^3/сут); 3 – моделирование современного водоотбора по схеме изолированного пласта (Qпр = 104 тыс. м^3/сут); 4 – то же, по пятипластовой схеме (Qпр = 104 тыс. м^3/сут); 5 – то же, без учета автономных водозаборов (Qпр = 80 тыс. м^3/сут)

В 2000 г. срок утверждения запасов истек, что, в соответствии с лицензией на добычу подземных вод, потребовало их переоценки. Для выполнения переоценки ЭЗПВ Сургутского месторождения в 1999 – 2002 гг. Мегионской гидрогеологической экспедицией совместно с компанией «ГИДЭК» была проведена эксплуатационная разведка месторождения, которая, по

сути, заключалась в разработке, создании и ведении системы мониторинга подземных вод месторождения. Специализированная наблюдательная сеть мониторинга включала 15 скважин, пробуренных на стадии разведки и эксплуатации месторождения и 21 скважины (ярусные кусты скважин), пробуренные и оборудованные для наблюдений при создании системы мониторинга подземных вод в рамках эксплуатационной разведки [2]. Полученная в результате ведения мониторинга подземных вод информация позволила охарактеризовать современное состояние потока подземных вод Сургутского месторождения: размеры и глубину депрессионных воронок, сформировавшихся в результате эксплуатации подземных вод в атлымском и новомихайловском водоносных горизонтах и изменение по площади месторождения соотношения напоров трех водоносных горизонтов, определяющее направление и величину перетекания в водоносной системе.

В результате интенсивной эксплуатации подземных вод Сургутского МППВ в течение 25 лет структура потока подземных вод, приуроченного к многопластовой водоносной системе, претерпела значительные изменения.

1. В атлымском водоносном горизонте, в результате увеличения отбора подземных вод с 20 тыс. м^3/сут в 1975 г. до 104 тыс. м^3/сут в 2000 г., сформировалась обширная депрессионная воронка с понижением в центре до 44 м. Атлымский водоносный горизонт представляет собой неограниченный в плане и относительно изолированный в разрезе пласт – сверху он перекрыт толщей многолетнемерзлых пород (в таликовой зоне слоем атлымских глин), а снизу – плотными глинами тавдинской свиты. Поэтому сформировавшаяся в процессе длительной эксплуатации депрессионная воронка имеет значительные размеры и распространяется за пределы месторождения. Воронка ассиметрична, поскольку в пойме р. Оби существует обширный талик, в пределах которого происходит более интенсивное перетекание, чем на остальной территории месторождения.

2. В новомихайловском водоносном горизонте в центральной части месторождения также сформировалась депрессионная воронка с понижением в центральной части воронки 6 – 8 м. Это связано, в основном, с интенсивной эксплуатации смежного атлымского водоносного горизонта. Поскольку новомихайловский водоносный горизонт является буфером между четвертичным и атлымским водоносными горизонтами, в нем произошла перестройка структуры потока и изменились условия питания и разгрузки (интенсификация перетекания из вышележащего четвертичного горизонта и интенсификация перетекания вниз в атлымский водоносный горизонт в пределах его депрессионной воронки).

3. Анализ карт гидроизогипс четвертичного водоносного горизонта в естественных и нарушенных условиях свидетельствует о том, что за время эксплуатации месторождения снижения уровня подземных вод четвертичного горизонта не произошло.

В сочетании с материалами поисково-разведочных работ, охарактеризовавших слабонарушенные гидрогеологические условия месторождения в 1970 – 1975 гг., данные мониторинга послужили информационным обеспечением при проведении переоценки эксплуатационных запасов подземных вод Сургутского МППВ.

Переоценка запасов подземных вод Сургутского месторождения была выполнена методом численного математического моделирования на специально разработанной пятипластовой геофильтрационной модели, которая учитывала условия перетекания между пластами и изменение питания и разгрузки пластов в процессе эксплуатации. Оцененные эксплуатационные запасы подземных вод палеогеновых отложений Сургутского месторождения по состоянию на 01.01.2004 г. составили 262 тыс. м^3/сут. Расчетная депрессионная воронка, соответствующая прогнозному варианту, применительно к которому были оценены запасы, приведена на рис. 2 (воронка 2). Расчетные понижения, полученные при прогнозных расчетах 1975 г. (192 тыс. м^3/сут) и 2004 г. (262 тыс. м^3/сут), отличаются на периферии месторождения на 60 м, а на водозаборных участках – на 20 – 40 м. Еще сильнее отличаются результаты прогноза, выполненного при оценке запасов в 1975 г., с фактическим опытом эксплуатации сургутских

водозаборов (депрессионная воронка 4 на рис. 2). Прямое сопоставление этих депрессионных воронок не имеет смысла, поскольку расчетная гидродинамическая схема, принятая при оценке запасов, не в полной мере соответствует природным условиям месторождения, а кроме того, современная фактическая схема водоотбора не соответствует принятой при прогнозных расчетах. В связи с этим для выполнения корректного сопоставления фактических и полученных при оценке запасов 1976 г. расчетных понижений был использован прием, предложенный Л. С. Язвиным в его работе «Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод» [3], который был сформулирован следующим образом: «…при принятых при подсчете запасов параметрах и граничных условиях выполняется расчет водозабора применительно к реальной схеме расположения скважин и с их фактическими расходами».

Для сопоставления фактических результатов эксплуатации с результатами прогнозных расчетов, выполненных при оценке запасов, было проведено моделирование по воспроизведению современного водоотбора всех сургутских водозаборов на основе двух фильтрационных схем.

1. Однопластовая схема, принятая при прогнозных расчетах по оценке запасов подземных вод на 1975 г. (напорный, изолированный, неограниченный в плане пласт).

2. Пятипластовая схема, разработанная в 2004 г. на этапе переоценки эксплуатационных запасов подземных вод Сургутского МППВ.

Сравнение результатов моделирования показало, что наблюдается разница между фактическими понижениями (соответствующих понижениям, рассчитанным по пятипластовой схеме – воронка 4 на рис. 2) и расчетными понижениями при современном водоотборе, полученными при моделировании по схеме изолированного пласта (воронка 3 на рис. 2). Эта разница составляет 20 – 30% от существующего понижения.

Депрессионная воронка, рассчитанная по пятипластовой схеме и совпадающая с натурной воронкой, отражающей современные гидродинамические условия, имеет меньшие понижения и размеры, что определяется влиянием перетекания. Следует отметить, что близкие значения расчетных понижений, полученные для двух вариантов в наиболее нагруженной части водозабора, связаны с тем, что в расчетной схеме, принятой при оценке запасов (1976 г.), в качестве расчетной величины коэффициента фильтрации атлымского горизонта был принят $К_5 = 20$ м/сут, а при переоценке запасов в результате калибровке пятипластовой фильтрационной схемы была получена величина $К_5 = 12$ м/сут.

Такое соотношение фактических понижений и понижений, рассчитанных по схеме, принятой при ОЭЗПВ 1976 г., свидетельствует о том, что кроме емкостной составляющей эксплуатационных запасов подземных вод атлымского горизонта, значимую роль в балансовой структуре запасов имеют и другие источники их формирования. Эксплуатируемый атлымский водоносный горизонт перекрыт многолетнемерзлыми породами новомихайловской и атлымской свит (рис. 1) и формально является изолированным в разрезе от вышележащих отложений, что и было принято при проведении геофильтрационной схематизации на этапе оценки запасов. Однако отложения, перекрывающие атлымский горизонт, представляют собой древнюю реликтовую толщу мерзлых пород, состоящую из чередующихся участков мерзлых, охлажденных и талых пород. Мощность этих отложений в северной части месторождения составляет 40 – 60 м, к югу происходит выклинивание мерзлых пород, а в пойме р. Оби мерзлота отсутствует, здесь слабопроницаемые отложения представлены глинистым прослоем, относящимся к верхней части атлымской свиты. Следовательно, целевой водоносный горизонт перекрыт слабопроницаемыми отложениями и работает по схеме пласта с перетеканием из вышележащего смежного горизонта с изменяющимся напором. При таком строении разделяющего пласта основными источниками формирования эксплуатационных запасов подземных вод при длительной эксплуатации являются перетекание через мерзлотную толщу и инверсия разгрузки подземных вод атлымского горизонта через талик в долине р. Оби. Обоснованная на

этапе переоценки запасов подземных вод пятипластовая модель позволила учесть эти балансовые составляющие при прогнозных расчетах в процессе переоценки запасов Сургутского месторождения подземных вод.

Список литературы

1. Боревский, Б. В. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод. Мифы и реальность / Б. В. Боревский, В. А. Грабовников // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 10. – С. 3–8.

2. Боревский, Б. В. Постановка и результаты ведения мониторинга эксплуатируемого Сургутского месторождения подземных вод / Б. В. Боревский, О. А. Олиферова, С. С. Палкин [и др.] // Проблемы гидрогеологии XXI века: наука и образование : сб. докл. конф., посвященной 50-летию кафедры гидрогеологии МГУ им. Ломоносова. – М., 2003. – С. 239–251.

3. Язвин, Л. С. Достоверность гидрогеологических прогнозов при оценке эксплуатационных запасов подземных вод / Л. С. Язвин. – М. : Мингео СССР, ВСЕГИНГЕО, 1972. – 149 с.

РЕАЛЬНЫЕ И МОДЕЛЬНЫЕ СОСТАВЫ АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД

Павлов С. Х.[1], Чудненко К. В.[2]
[1]Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, spavlov@crust.irk.ru;
[2]Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск, chudnenko@igc.irk.ru

Аннотация. На основе анализа временного ряда состава гидротерм показано влияние на их формирование метеогенных факторов. Сопоставление составов природных гидротерм и модельных растворов, формирующихся в результате взаимодействия воды с породой, содержащей некоторые летучие выше их средних значений, выявило возможность формирования гидротерм кульдурского типа в рамках системы «вода – порода». Состав модельных растворов в глубинных и поверхностных условиях объясняет различное соотношение гидрокарбонатных и карбонатных ионов, а также гидросиликатных ионов и недиссоциированных молекул кремниевой кислоты в разных анализах одних и тех же гидротерм.

Ключевые слова: *азотные термы, термодинамическое моделирование, процессы физико-химических взаимодействий, состав растворов.*

Abstract. Meteogenic influence factors on the composition of the fluid is shown by analyzing the changes of the time series. A comparison of the composition of natural fluids and model solutions formed by the interaction of water and rock containing some volatile above their average values, revealed the possibility of formation fluids Kuldur type within the «water-rock». The composition of the model solutions in deep and surface conditions explains the different ratio of bicarbonate and carbonate ions and hydrosilicate ions and undissociated molecules of silicic acid in the different analyzes of the same fluid.

Key words: *nitrogen_rich hot springs, thermodynamic modeling, physicochemical interaction, solution composition.*

Исследование минеральных вод – одно из наиболее проблемных направлений не только современной гидрогеологии и гидрогеохимии, но и геологии в целом, поскольку на нем основано решение представительного ряда вопросов, в том числе связанных с нефте-, газо- и рудообразованием. Несмотря на заметные достижения в этой области, многие вопросы, связанные с происхождением химического и газового состава не только метановых и углекислых, но и азотных термальных вод, спорны и активно обсуждаются.

Формированию азотных терм в зарубежной печати ежегодно посвящаются многие десятки публикаций. При этом, как и среди отечественных исследователей, четко выделяются два направления: наиболее многочисленное – традиционное, связанное с аддитивным накоплением фактического материала, полученного с помощью современных химико-аналитических,

физико-химических и изотопных методов исследования, и более редкое – изучение физико-химических взаимодействий в системе «вода – порода» с помощью компьютерных технологий. В данном исследовании вопросы формирования азотных терм рассматриваются на основе синтеза двух направлений: анализа реальных определений компонентов состава природных терм и результатов изучения физико-химического моделирования взаимодействий воды с породой.

Процессы формирования состава модельных растворов, в результате физико-химических взаимодействий воды с гранитом среднего состава, содержащим анионогенные летучие в кларковых концентрациях, достаточно детально рассмотрены в работе [1]. Показано, что растворы гранита с кларковыми концентрациями летучих с минерализацией, соответствующей минерализации широко распространенных типов азотных терм, имеют силикатный натриевый состав. Это соответствует составу азотных термальных вод в некоторых природных гидрогеохимических системах [2–4], установленному при нестандартном методическом подходе к их изучению. Концентрация гидрокарбонатных, сульфатных и хлоридных ионов в растворах, соответствующая их содержанию в природных термах, появляется лишь при высокой, редко встречающейся величине минерализации азотных термальных вод [1]. Поэтому природные термы формируются, в основном, в породах, содержащих летучие в концентрациях, превышающих их средние значения.

Дальнейшее исследование физико-химических процессов в системе «вода – гранитоиды» в условиях формирования азотных терм требует использование образцов пород с повышенными концентрациями летучих. Однако найти реальный образец, в котором были бы определены все летучие одновременно, – задача достаточно трудная. Тем не менее такой редкий образец из дайковых образований регионального распространения в гранитном массиве, представленный альбитизированным плагиоклазовым порфиритом, был найден [5]. Он имеет следующий состав (масс. %): SiO_2 – 48,4; TiO_2 – 1,4; Al_2O_3 – 15,75; Fe_2O_3 – 2,53; FeO – 5,91; CaO – 8,22; MgO – 4,41; K_2O – 2,01; Na_2O – 2,59; MnO – 0,69; P_2O_5 – 0,71; CO_2 – 3,6; S – 0,17; Cl – 0,02; F – 0,57; H_2O – 1,88; Сумма – 100,86. Исследование проводилось методом минимизации термодинамических потенциалов с помощью программного комплекса «Селектор» [6, 7] в рамках системы Al–Ar–C–Ca–Cl–Mn–F–Fe–K–Mg–Na–P–S–Si–Ti–H–O, на основе модели, учитывающей все возможные в реальных условиях компоненты водного раствора, газы и твердые фазы, обеспеченные достаточно надежными термодинамическими данными [1].

Поскольку исследуемый образец имеет высокое содержание фтора, для сопоставления состава модельных растворов с составом природных гидротерм были взяты азотные термальные воды Байкальской рифтовой зоны кульдурского типа (таблица). В отличие от терм пиренейского типа, имеющих высокую степень зарегулированности стоковых характеристик и стабильность температуры и химического состава, приведших Э. Зюсса к выводу об их ювенильном происхождении, данные термы имеют достаточно определенную связь с метеогенными факторами.

Наиболее сильный размах колебания температуры отмечается на Котельниковском источнике, который находится в непосредственной близости от берега Байкала. Гидрогеодинамические условия этого термопроявления подверглись изменению из-за подъема уровня Байкала на 1,3 м в результате строительства Иркутской ГЭС и постоянно изменяются в процессе годовых его колебаний, превышающих 1 м. Изменяется не только температура, но и концентрация компонентов состава терм. Природа этих изменений имеет различный характер. С одной стороны, это обусловлено процессами смешения термальных и грунтовых вод, протекающих с различной интенсивностью при различном положении (высокое–низкое) уровня воды в озере и направлении (подъем–спад) его изменения. С другой стороны, большое значение имеют такие факторы в жизни термальных вод, как: прекращение контакта воды с породой; различие температуры и давления аналитических образцов в условиях «in situ» и «in vitro»; время от момента выхода воды на поверхность до проведения химического анализа; дегазация водного раствора; выпадение осадков; крайне редкое определение форм кремнекислоты.

Основные гидрохимические характеристики и температура азотных терм Байкальской рифтовой зоны кульдурского типа и модельных растворов

Компоненты, мг/л	Котельниковский, родник							Котельниковский, скважина					Солнечный, скважина					Модельные растворы	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
K^+	31,3	–	2,6	4,7	3,7	3,8	3,5	3,5	3,5	3,1	3,5	3,3	4	4	3,9	3,9	0,3	10,9	10,8
Na^+	85,8	107	47,8	50,3	111	72,8	75	76,7	77,5	80	79	75	98,3	100	88,7	94,1	144	107	106
Ca^{2+}	3	7,8	5,1	5,2	4,2	1,8	3,2	1,5	2	1,8	1,8	2	1,6	1,8	2	2	0,5	0,4	0,4
Mg^{2+}	0,6	0,01	1,3	0,38	2,2	1,5	0,4	0,7	0	0,1	0	0	0	0,1	0	0	0,3	0	0
F^-	–	–	1,6	–	20,1	40	11,3	25	21	20,6	19	18	18,4	16	15,2	15,2	46,8	15,9	15,9
Cl^-	16,2	56,8	9,1	12,3	14,2	5,9	11,7	14,3	2,1	2,1	2,1	2,8	21,3	19,9	20,6	20,2	19,9	0,6	0,6
SO^{2-}_4	36,2	83,9	32,1	31,1	40,3	21,8	18	18	20	28,5	14	25	42,8	45,3	48,6	54,3	44,6	15,6	15,6
HCO_3^-	76,3	86,7	97,6	97,6	73,2	6,1	15,9	14,6	6,1	3,7	0	3,7	2,4	6,1	100	0,01	56,4	127	80,6
CO_3^{2-}	21	–	–	–	54	30	42	50,4	54	51,6	57,6	55,2	64,8	48	6	60	79,5	10,6	55,9
$HSiO_3^-$	59,7	–	0	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	63,6	26,0
SiO_2^0	64	–	60	61,7	86,6	72	88,8	77,5	71,6	108	74	79	93,6	125	88,3	85,6	105	54,1	60,0
Минерализация	394	406	257	263	408	256	270	287	275	318	261	281	347	366	373	335	505	410	326
pH	–	–	6,57	7,4	7,4	9,0	9,1	9,42	9,05	8,95	9,3	9,45	9,55	9,55	8,15	9,6	10,1	8,78	10,1
T_{H2O}, °C	71	62	36	50	64	48,5	64	81	81	81	81	81	48	49,5	50	48,5	51,6	100	25

«–» – не определялось; 1 – [9]; 2 – [10]; 3 – [11]; 4 – [8] – 27.08.63; 5 – [8] – 23.07.65; 6 – [8] – 31.08.71; 7 – ИЗК СО РАН, М. Н. Васина, 18.09.88; 8-12, ИЗК СО РАН, М. Н. Васина: 8 – 30.09.87; 9 – 29.06.88; 10 – 18.09.88; 11 – 05.03.89; 12 - 14.06.89; 13 – 16 ИЗК СО РАН, В. М. Вострецов: 13 – 17.02.90; 14 – 26.07.90; 15 – 18.09.90; 16 – 06.03.91; 17 – [12]; 18 – 19 – модельные растворы взаимодействия воды с порфиритом: 18 – T = 100° C, P = 250 бар; 19 – T = 25° C, P = 1 бар.

Важно также учитывать метастабильность водного раствора, особенно по отношению реакций окисления-восстановления. Эти и другие, неупомянутые здесь «помехи», связанные с отбором проб и их аналитическим исследованием, затрудняют прямую, «только по химическому анализу», физико-химическую интерпретацию процессов в системе «газ – водный раствор – минералы – органическое вещество». Целенаправленное использование термодинамического моделирования позволяет учесть и устранить вышеназванные помехи.

Содержание фтора в Котельниковском источнике изменяется от 1,6 до 40 мг/л. Первое аномальное значение обусловлено не ошибкой определения фтора, как считают некоторые исследователи, а изменением гидрогеодинамических, а следовательно, и гидрогеохимических условий, в связи с устойчивым многолетним подъемом уровня воды в озере в результате наполнения Иркутского водохранилища. Значение 40 мг/л, заимствованное из работ [8] из другого источника, ошибочно и не соответствует результату первоисточника. Сейчас трудно установить, на каком этапе возникла эта ошибка, но достоверно известно то, что автор не придавал этой величине реального значения. При характеристике терм кульдурского типа максимальная величина фтора им оценивается в 26,4 мг/л для Ципинского (Могойского) источника [8]. В скважине за более короткий временной интервал этот компонент более устойчив и изменяется от 18 до 25 мг/л, а в роднике в это время содержание фтора понижалось до 11 мг/л.

Два аномальных значения фтора для терм Байкальской рифтовой зоны приведены в работе [12]. Для Котельниковского источника результат взят из работы [8], но как было показано выше, он ошибочен. Второе значение (46,8 мг/л) приводится для воды из скважины в п. Солнечная. Чтобы оценить достоверность самого высокого значения фтора в азотных термах Байкальской рифтовой зоны, о котором сообщается впервые, требуется строгое обоснование, однако в работе не оговариваются условия опробования, а также надежность полученной величины. Как видно из таблицы, достаточно представительный временной ряд ранее проведенных наблюдений свидетельствует об устойчивости содержания фтора в этом термопроявлении на уровне 15 – 18 мг/л. Поэтому данное единичное значение является, скорее всего, ошибочным, и максимальная концентрация фтора в азотных термах Байкальской рифтовой зоны, как и прежде, остается в термах Баунтовской группы на уровне 25,0 – 27,5 мг/л [13].

Интересная зависимость проявляется между гидрокарбонатными и карбонатными ионами. При колебании суммарного содержания карбонатов от высоких до значений ниже средних соотношение между гидрокарбонатными и карбонатными ионами изменяется диаметрально: от полного преобладания то одних, то других, без выраженной зависимости от их общего содержания. В большом диапазоне колеблется величина pH от слабокислых значений до высокощелочных. Хотя, в целом, повышение pH и увеличение содержания карбонатных ионов – процесс однонаправленный, но, как видно из представленных в таблице данных, он неоднозначен.

Не меньший интерес представляет содержание кремниевой кислоты. Из первого анализа видно, что общая ее концентрация превышает 120 мг/л, из которых почти половина приходится на гидросиликатный ион. В третьей пробе, которая была отобрана в период устойчивого многолетнего повышения уровня воды в Байкале, имеющей минимальную температуру и самое низкое содержание фтора, гидросиликатный ион не определен, в остальных анализах он и не определялся. Между тем, как свидетельствуют результаты детальных исследований азотных терм на курорте Кульдур [14] и на Дальнем Востоке [15], гидросиликатный ион в них присутствует, и его содержание может даже превышать концентрацию недиссоциированных молекул кремниевой кислоты. Что же касается гидрокарбонатных и карбонатных ионов, то их соотношение и общее содержание в термах Дальнего Востока сходны с результатами, представленными в таблице.

Содержание хлора и сульфатов на Котельниковском термопроявлении, как в роднике, так и в скважине, подвержены значительным изменениям. На термопроявлении Солнечная, находящемся в горной части Байкальского обрамления, поведение этих компонентов и катионов отличается достаточной стабильностью.

В таблице анализ 18 представляет раствор, полученный при взаимодействии воды с альбитизированным плагиоклазовым порфиритом при температуре 100° С и давлении 250 бар, в условиях, закрытых к атмосфере, минерализация которого несколько выше среднего значения анализируемого ряда природных терм. За исключением калия, концентрация которого в модельном растворе существенно выше, чем в природных термах, содержание остальных катионов сопоставимо или соответствует отдельным их значениям в термах.

В модельном растворе содержание фтора соответствует его значениям в реальных термах. Расчетное содержание хлора, в целом, низкое, но оно не резко контрастное по отношению к его минимальным значениям в скважине на Котельниковском термопроявлении. Сульфаты в модельном растворе даже превышают их минимальное значение в термах.

Модельный раствор имеет гидрокарбонатный состав при незначительном содержании карбонатов, и в нем преобладают диссоциированные ионы кремниевой кислоты. Общее содержание карбонатов и кремниевой кислоты сопоставимо с реальными определениями. Этот раствор, сформировавшийся в глубинных условиях, помещен в условия поверхности земли с температурой 25° С и давлением 1 бар (таблица, 19). В результате увечился pH раствора, и при постоянстве большинства компонентов резкие изменения претерпели карбонаты и силикаты. Раствор стал, главным образом, карбонатным при незначительном уменьшении общего содержания карбонатов. Небольшое увеличение недиссоциированной кремниевой кислоты сопровождается двукратным уменьшением гидросиликатного иона. Кремний выводится из раствора, в основном, в виде окиси кремния.

Таким образом, рассмотренное взаимодействие воды с порфиритом, в целом, отражает процесс формирования азотных терм кульдурского типа. Построенная модель объясняет природу различного соотношения карбонатных и гидрокарбонатных ионов в разных анализах одних и тех же гидротерм и нахождение или отсутствие в них гидросиликатных ионов, а также увеличение pH раствора.

Список литературы

1. Павлов, С. Х. Формирование азотных терм: моделирование физико-химических взаимодействий в системе «вода – гранит» / С. Х. Павлов, К. В. Чудненко // Геохимия. – 2013. – № 12. – С. 1090–1104.

2. Комлев, Л. В. Основные геохимические черты современных термальных процессов среднего Тянь-Шаня / Л. В. Комлев, Н. М. Прокопенко // Материалы компл. эксп. иссл. АН СССР по геологии и геохимии Тянь-Шаня. – 1935. – Ч. 4. – С. 155–184.

3. Крайнов, С. Р. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты / С. Р. Крайнов, Б. Н. Рыженко, В. М. Швец. – М. : Наука, 2004. – 677 с.

4. Толстихин, Н. И. Минеральные воды / Н. И. Толстихин [и др.]. – Л., 1975. – 170 с.

5. Козлова, П. С. Геологическое положение и особенности петрографического и химического составов верхнепалеозойских интрузивных комплексов среднего течения р. Ангрен (Средняя Азия) / П. С. Козлова, Э. К. Рыбалова // Геология и геохимия гранитных пород. – М. : Наука, 1965. – С. 82–143.

6. Карпов, И. К. Физико-химическое моделирование на ЭВМ в геохимии / И. К. Карпов. – Новосибирск : Наука, 1981. – 247 с.

7. Чудненко, К. В. Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения / К. В. Чудненко. – Новосибирск : Академическое издательство «Гео», 2010. – 287 с.

8. Ломоносов, И. С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны / И. С. Ломоносов ; [ред. В. Г. Ткачук]. – Новосибирск : Наука, 1974. – 166 с.

9. Франк-Каменецкий, А. Г. К гидрохимии горячих источников Восточно-Сибирского края / А. Г. Франк-Каменецкий // Труды Восточносибирского государственного университета. – Москва–Иркутск, 1934. – № 2. – С. 9–32.

10. Плюснин, А. М. Гидрогеохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны / А. М. Плюснин, Л. В. Замана, С. Л. Шварцев [и др.] // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 5. – С. 647–664.

11. Барабанов, Л. Н. Азотные термы СССР / Л. Н. Барабанов, В. Н. Дислер. – М. : Недра, 1968. – 198 с.

12. Ткачук, В. Г. Минеральные воды Бурят-Монгольской АССР / Акад. наук СССР, Вост-Сиб. филиал. ; В. Г. Ткачук, Н. В. Яснитская, Г. А. Анкудинова ; [ред. Н. А. Флоренсов]. – Иркутск, 1957. – 153 с.

13. Замана, Л. В. Фтор в азотных термах Баунтовской группы (северное Забайкалье) / Л. В. Замана, Ш. А. Аскаров // Вестник Бурятского государственного университета. – 2010. – № 3. – С. 8–12.

14. Богатков, Н. М. Кульдурские термы / Н. М. Богатков // Советская геология. – 1962. – № 8. – С. 157–161.

15. Кирюхин, В. А. Новые данные по химическому составу азотных терм юга Дальнего Востока / В. А. Кирюхин, А. А. Резников // Вопросы специальной гидрогеологии Сибири и Дальнего Востока : материалы Комиссии по изучению подземных вод Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск : Иркутское книжное изд-во, 1962. – Вып. 1. – С. 71– 83.

ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО В ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ АННЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ДАЛЬНИЙ ВОСТОК)

Потурай В. А.
Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, г. Биробиджан, poturay85@yandex.ru

Аннотация. В результате проведенного исследования в термальных водах Анненского поля были установлены 60 водорастворимых органических соединений средней летучести, принадлежащие 12 гомологическим рядам. Типичными соединениями, обнаруженными в термальных водах месторождения, являются алканы и эфиры, занимающие до 70% всех органических соединений. Преимущественно установленные органические вещества имеют биогенное происхождение, однако некоторые особенности распределения алканов предполагают их частично абиогенное образование.

Ключевые слова: *термальные воды, алканы, хлорбензол, генезис.*

Abstract. In the thermal waters of the Annensky fields were installed 60 organic compounds belonging to 12 homologous series. Typical compounds found in thermal waters deposit are alkanes and ethers, occupying up to 70% of all organic compounds. Mainly established organic substances are of biogenic origin, but some features of alkanes assume their part abiogenic education.

Key words: *thermal waters, alkanes, chlorobenzene, genesis.*

Введение. Анненское термальное поле – одно из наиболее высокотемпературных месторождений во внутриконтинентальной части юга Дальнего Востока России. Оно замыкает на севере цепочку азотных термальных вод Сихотэ-Алиня (Чистоводненские, Амгу, Тумнинские) (рис. 1). На базе Анненского поля создана и функционирует в настоящее время больница бальнеологического лечения «Анненские минеральные воды». Разведка и оценка запасов этого месторождения осуществлялась преимущественно в 30 – 60 годах прошлого столетия [1–3]. В это время были пробурены скважины, выводящие термальную воду на поверхность, оценены их дебиты и запасы и проведен первичный химический анализ.

В настоящее время существующий геохимический банк данных азотных терм Дальнего Востока значительно пополняется благодаря работам следующих авторов [4–10]. Однако изучению органических соединений, которые и в геохимическом, и в бальнеологическом плане представляют определенный интерес, а также имеют значение для региональной экологии, не уделяется достаточного внимания. В настоящей работе изложены результаты исследования водорастворимых умеренно летучих органических соединений в термальных водах Анненского поля, проведенного в 2014 г.

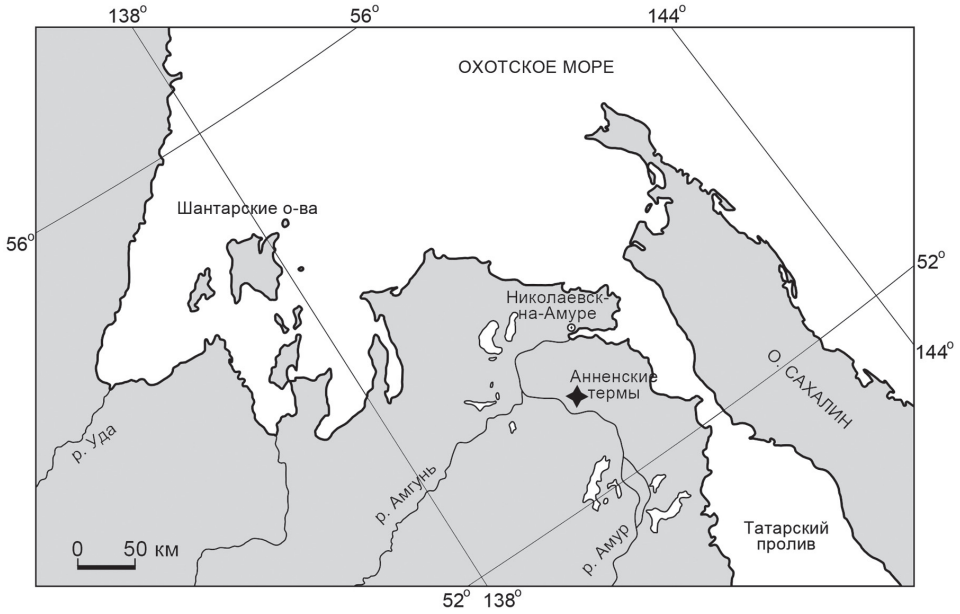


Рис. 1. Обзорная карта с местоположением Анненского геотермального месторождения

Общая характеристика. Анненское месторождение термальных вод располагается в пределах низкогорного рельефа низовьев р. Амура, у западных отрогов северной оконечности Сихотэ-Алинского хребта, в 125 км от г. Николаевска-на-Амуре и в 6,5 км от пристани Сусанино (рис. 1). Выходы терм приурочены к полю эффузивных и туфогенно-осадочных пород верхнемелового возраста (рис. 2). Рассматриваемые воды разгружаются в зоне разлома северо-восточного простирания, по которой контактируют отложения больбинской и татаркинской свит. В пределах термальной площадки было пробурено 18 скважин, наиболее стабильные характеристики из которых дали скважины № 2 и 21, которые в настоящее время эксплуатируются. Анненские термы имеют температуру воды до 54º С, воды слабоминерализованные, щелочные сульфатно-гидрокарбонатные натриевые с повышенным содержанием кремнекислоты. Среди газов преобладает азот воздушного происхождения [5, 7, 10].

Методика исследования. Пробы воды отбирались из двух эксплуатационных скважин № 2 и 21 Анненского месторождения в августе 2014 г. До анализа в лаборатории пробы хранились в холодном месте не более двух суток. Для получения концентрата органических соединений применялся метод твердофазной экстракции. Через патрон с сорбентом ODS–C18 пропускали 100 мл анализируемой воды. После высушивания патрона в токе аргона экстракт органических соединений получали путем промывки сорбента 500 мкл хлористого метилена и последующим упариванием до 50 мкл. Перед анализом в упаренные экстракты добавляли 1 мкл раствора внутренних стандартов (ISTD 1,4 дихлорбензол d4, нафталин d8, аценафтен d10, фенантрен d10, хризен d12, перилен d12, с концентрацией 0,1 мкг/мкл каждого). Твердофазная экстракция осуществлялась в лаборатории Хабаровского краевого центра экологического мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций, аналитик – В. Л. Рапопорт. Качественный анализ умеренно летучих органических соединений проводился на хроматомасс-спектрометре Shimadzu GCMS-QP2010 Ultra в лаборатории ИКАРП ДВО РАН. Разделение осуществлялось на кварцевой капиллярной колонке HP-5MS. Скорость потока газа-носителя (гелий марки 70) 1 мл/мин. Для ввода пробы в хроматограф использовался автоматический дозатор Shimadzu AOC-5000. Анализ проводился в режиме полного ионного тока, значения m/z от 50 до 350, частота сканирования 0,2 с. Температура инжектора 320º С, температура ионного источника 250º С, температура интерфейса 310º С. Начальная температура термостата колонки 400º С, выдержка в течение 2 мин с последующим подъемом температуры со скоростью

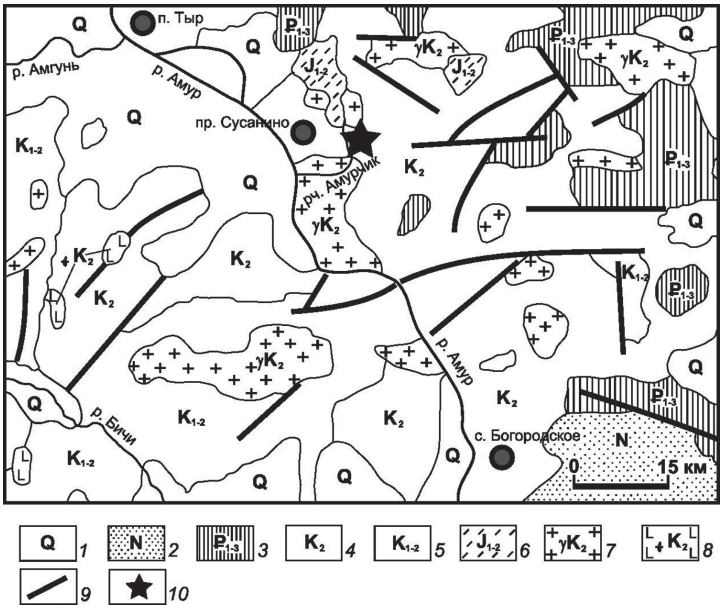


Рис. 2. Геологическая схема района Анненского месторождения термальных вод [11]:
1 – четвертичные отложения; 2 – неогеновые отложения; 3 – палеогеновые отложения (олигоценовые, эоценовые, палеоценовые); 4 – верхнемеловые отложения; 5 – нижне и верхнемеловые отложения; 6 – нижне-среднеюрские отложения; позднемеловые интрузивные образования: граниты, лейкограниты, гранодиориты, граносиениты, сиениты, монцониты, щелочные граниты, кварцевые диориты (7) и диориты, монцодиориты, кварцевые диориты, габбродиориты, монцониты (8); 9 – разломы; 10 – Анненское месторождение термальных вод

10º С/мин до 100º С, подъем температуры со скоростью 15º С/мин до 280º С, выдержка при температуре 280º С в течение 10 мин. Идентификация пиков осуществлялась по масс-спектрам и индексам удерживания (индекс Ковача). Сравнение проводилось с библиотечной (NIST, EPA) и собственной базой данных. Для более надежной идентификации спектры регистрировали в режиме селективного ионного мониторинга (СИМ) по характеристическим ионам (m/z 57; 60; 91; 128; 142; 178; 256). Для каждого соединения была рассчитана относительная доля в процентах. Сумма всех соединений, установленных в пробе, равнялась 100%.

Результаты и обсуждение. Были получены хроматограммы полного ионного тока (ПИТ), по которым удалось идентифицировать 58 соединений органической природы в воде из скважины № 2 и 60 соединений в воде из скважины № 21. Все установленные соединения были отнесены к соответствующим гомологическим рядам согласно классификации [12]. Всего обнаружено соединений 12 гомологических рядов (таблица). Наиболее типичны для скважины № 2 алканы (парафины), которые занимают до 50% всех органических соединений. Обнаруженные парафиновые углеводороды имеют длину углеродной цепи от 10 до 35 атомов углерода в молекуле. Алканы характеризуются бимодальным распределением, первый пик приходится на C_{11}, второй на C_{28}. Также в воде из этой скважины значительно распространены карбоновые кислоты и их эфиры, установлены также изо- и диоксоалканы, спирты, альдегиды, кетоны, азотсодержащие соединения, терпены и стероиды.

Обращает на себя внимание присутствие в этой воде галогенароматического углеводорода – хлорбензола. Хлорированные углеводороды не синтезируются живыми организмами, поэтому его присутствие здесь нельзя связывать с деятельностью и деструкцией микроорганизмов. Хлорбензолы могут поступать в природные объекты техногенно, в частности его источником могут служить предприятия ЦБК. Однако в районе месторождения и выше по течению руч. Амурчика, в долине которого расположены скважины Анненского поля, отсутствуют не только объекты промышленности, но и, вообще, объекты инфраструктуры, жилые массивы.

Гомологические ряды органических соединений в термальных водах Анненского месторождения

№ п/п	Гомологические ряды	Относительная распространенность, %	
		скв. № 2	скв. № 21
1	Алканы	49,8 (21)	16,4 (20)
2	Изоалканы	2,3 (8)	След (2)
3	Алкены	–	0,6 (1)
4	Диоксаалканы	2,3 (2)	3,1 (2)
5	спирты	4,5 (5)	8,7 (7)
6	Альдегиды	1,8 (2)	1,8 (4)
7	Кетоны	1,2 (1)	0,9 (1)
8	Карбоновые кислоты	6,2 (6)	4,8 (7)
9	Эфиры	25,5 (9)	59,5 (10)
10	Азотсодержащие соединения	0,2 (1)	1,3 (3)
11	Терпены	4,3(1)	0.4 (1)
12	Галогенароматические углеводороды	1,2 (1)	–
13	Стероиды	0,7 (1)	2,5 (2)
всего		100 (58)	100 (60)

Примечание: «След» – соединения установлены только на хроматограммах СИМ; «–» – соединения не установлены.

Кроме того, месторождение термальных вод располагается в санитарной зоне, поэтому риск загрязнения его представляется маловероятным. Присутствие хлорбензола также трудно связать с химическим синтезом, протекающим в специфических термобарических условиях гидротермальных систем, хотя здесь и наблюдается присутствие хлор-иона, а ароматические структуры могут поступать вследствие деструкции микроорганизмов, но наличие галогенароматического углеводорода установлено также и в холодной подземной воде этого района. Возможно, источником его поступления в исследуемые воды могут быть пластиковые трубы, по которым поступает вода от насоса к накопительному резервуару. Следует отметить также, что относительное содержание хлорбензола здесь незначительное и достигает одного процента.

В воде из скв. № 21, которая располагается в 5 м от скв. 2, установлены в значительных относительных содержаниях эфиры (занимающие здесь до 60% от всех органических соединений), алканы и спирты. Кроме того также обнаружены алкены, диоксоалканы, альдегиды, кетоны, карбоновые кислоты, азотсодержащие соединения, терпены и стероиды. В составе алканов установлены соединения с количеством атомов углерода от C_{10} до C_{31}. Преимущественно, установленные соединения широко продуцируются биосферой и имеют, вероятно, биогенный генезис [13, 14], однако некоторые особенности состава алканов, особенно в воде из скв. № 2, предполагают их частично абиогенное образование в термальных водах.

В результате проведенного исследования установлены 60 соединений, принадлежащие 12 гомологическим рядам. Типичными гомологами здесь являются алканы и эфиры. Преимущественно установленные соединения имеют биогенный генезис, однако некоторые особенности распространения алканов предполагают их частично абиогенное образование в исследуемых термальных водах. Присутствие галогенароматического углеводорода в воде из скв. № 2 заставляет и в дальнейшем проводить мониторинг органического вещества в термах Анненского поля.

Список литературы

1. Барабанов, Л. Н. Азотные термы СССР / Л. Н. Барабанов [и др.]. – М. : Геоминвод, 1968. – 119 с.

2. Богатков, Н. М. Анненские термы / Н. М. Богатков, В. В. Кулаков // Советская геология. – 1966. – № 5. – С. 153–155.

3. Гидрогеология СССР. Т. 23. Хабаровский край и Амурская область. – М. : Недра, 1971. – 514 с.

4. Архипов, Б. С. Химический состав и металлоносность термальных вод северо-восточного Сихотэ-Алиня / Б. С. Архипов // Тихоокеанская геология. – 2009. – Т. 28, № 4. – С. 116–122.

5. Брагин, И. В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня. Газовый аспект / И. В. Брагин, Г. А. Челноков // Вестник ДВО РАН. – 2009. – № 4. – С. 147–151.

6. Кулаков, В. В. Геолого-структурные и геотермальные условия формирования термальных подземных вод Приамурья / В. В. Кулаков // Тихоокеанская геология. – 2014. – Т. 33, № 5. – С. 66–79.

7. Кулаков, В. В. Геохимия подземных вод Приамурья / В. В. Кулаков. – Хабаровск : ИВЭП ДВО РАН, 2011. – 254 с.

8. Чудаев, О. В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России / О. В. Чудаев. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 216 с.

9. Чудаев, О. В. Геохимия термальных вод Сихотэ-Алиня / О. В. Чудаев, В. А. Чудаева, И. В. Брагин // Тихоокеанская геология. – 2008. – Т. 27, № 6. – С. 73–81.

10. Чудаев, О. В. Геохимия азотных терм Дальнего Востока России и Забайкалья / О. В. Чудаев, В. А. Чудаева, И. В. Брагин [и др.] // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов : материалы Третьей всерос. конф. с междунар. участием. Барнаул, 24–28 августа 2010 г. – Барнаул : Изд-во АРТ, 2010. – С. 292–295.

12. Артеменко, А. И. Органическая химия : учеб. для строит. спец. вузов. 5-е изд., испр. / А. И. Артеменко. – М. : Высшая школа, 2002. – 559 с.

11. Геологическая карта Хабаровского края и Амурской области. Масштаб 1:5 000 000 / гл. ред. Л. И. Красный. – Л., 1986.

13. Швец, В. М. Органические вещества в минеральных лечебных водах / В. М. Швец, В. К. Кирюхин // Бюл. МОИП. Отделение геологии. – 1974. – Т. 6. – С. 83–96.

14. Hunt, J. M. Petroleum geochemistry and geology/ J. M. Hunt. – San Francisco : W.H. Freeman and Company, 1979. – 617 p.

ОЦЕНКА РИСКА УТРАТЫ ПИТЬЕВЫХ ВОДОЗАБОРОВ В РАЙОНАХ ЛИКВИДИРУЕМЫХ РУДНИКОВ СРЕДНЕГО УРАЛА

Рыбникова Л. С.[1, 2], Рыбников П. А.[1]

[1]ФГБУН «Институт горного дела Уральского отделения Российской академии наук», г. Екатеринбург;

[2]ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург, luserib@mail.ru

Аннотация. Выполнен анализ источников формирования ресурсов и качества подземных вод в зоне, нарушенной горными работами. Оценены балансовые составляющие водоотбора и характер их изменения после прекращения горнодобычной деятельности и ликвидации рудника. Показано, что формирование качества подземных вод в зонах ведения горных работ зависит от типа полезного ископаемого и степени его геохимической активности. После отключения карьерных (или шахтных) водоотливов, при наличии в пределах депрессионной воронки отработанных, затопленных и рекультивированных карьеров, питьевые водозаборы могут быть утрачены, поскольку происходит неконтролируемое загрязнение подземных вод.

Ключевые слова: *подземные воды, загрязнение, горные работы.*

Abstract. It was performed the analysis of the sources of resources and groundwater quality in the area disturbed by mining operations Balance components of water consumption and the nature of their changes after the end of mining operations and the elimination of the mine have been evaluated. It is shown that the formation of groundwater quality in the areas of mining operations depends on the type of mineral and the degree of geochemical activity. After switching off the quarry (or mine) drainage, if within the depression cone are fulfilled, flooding and reclaimed pits, drinking water intakes may be lost, as there is uncontrolled pollution of groundwater.

Key words: *ground water, pollution, mining.*

На Среднем Урале в настоящее время для питьевых целей эксплуатируется несколько месторождений пресных подземных вод (МППВ), запасы которых первоначально утверждались в схеме водоотлива горнорудного предприятия как попутное полезное ископаемое. Балансовая структура водоотбора в зоне ведения горных работ изменяется как в процессе горнодобычной деятельности, так и (особенно) после завершения отработки месторождений твердых полезных ископаемых (МТПИ). Месторождения подземных вод (в отличие от МТПИ) представляют собой возобновляемый ресурс и являются динамической системой: их эксплуатация приводит к изменению существующих и образованию новых гидродинамических и гидрогеохимических условий, перераспределению балансовых составляющих системы, привлечению новых источников формирования эксплуатационных ресурсов месторождения [1].

Возможность и целесообразность использования карьерных и шахтных вод при осушении месторождений определяется в процессе разработки дренажных мероприятий при подсчете балансовых запасов МТПИ. Наиболее успешные примеры реализации такой практики – системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, организованные в районе Курской магнитной аномалии, в Казахстане, Украине, а также на ряде МТПИ Уральского региона [2–4].

Использование подземных вод для питьевых целей в зоне, нарушенной горными работами, осложняется необходимостью выполнения санитарно-эпидемиологических требований [5, 6]. Для обеспечения защиты от микробного и химического загрязнения в пределах зоны санитарной охраны запрещается размещение объектов, обусловливающих опасность загрязнения подземных вод, в том числе подземное складирование твердых отходов и разработка недр. Для выполнения этого требования в процессе отработки МТПИ необходимо управлять гидродинамическим режимом территории таким образом, чтобы формирование областей питания питьевого водозабора происходило в пределах «чистых» территорий.

Санитарно-экологическая обстановка в процессе развития горных работ в пределах дренируемой территории постоянно изменяется, в частности, в результате создания отвалов некондиционных руд, засыпки отработанных карьеров и т.п. После завершения отработки МТПИ, как правило, прекращается водоотлив, заполняется депрессионная воронка (частично или полностью). Структура эксплуатационных запасов месторождения подземных вод изменяется, что приводит к переформированию границ и площади месторождения; образованию новых объектов загрязнения или вовлечению ранее образованных в область захвата. Тем не менее многие водозаборы продолжают эксплуатироваться, что определяется сложившейся в течение десятилетий инфраструктурой, в которой водозаборы подземных вод (до консервации рудника они работали как дренажные системы) являются важной составляющей системы водоснабжения.

Для оценки риска утраты питьевых водозаборов в постэксплуатационный период проанализированы и систематизированы закономерности изменения и источники формирования подземных вод, в том числе их химического состава, на примере ряда водозаборов хозяйственно-питьевого назначения Среднего Урала.

Кальинское месторождение подземных вод представляет собой систему дренажных скважин, защищающих Северо-Уральский бокситовый рудник (СУБР) с северо-востока. Месторождение расположено в пределах Североуральской карстовой области, сложенной карбонатными и терригенно-карбонатными породами силурийской и девонской систем нижнего палеозоя. СУБР (крупнейший бокситовый рудник в России) отрабатывается с 1934 г., глубина отработки достигает 1 км, депрессионная воронка имеет площадь около 350 км^2.

Водоотлив на СУБРе составляет 353 тыс. м^3/сут, в том числе 111 тыс. м^3/сут на Кальинском месторождении, из них 30% используются для питьевых нужд г. Североуральска (население около 50 тыс. чел.). Область формирования ресурсов подземных вод находится в естественных условиях и характеризуется благоприятными санитарно-экологическими условиями, добыча ведется подземным способом, полезное ископаемое и вмещающие породы инертны. Ресурсный потенциал Сосьвинско-Шегультанского бассейна трещинно-карстовых подземных вод, в котором расположено Кальинское месторождение подземных вод,

оценивается в 600 тыс. м^3/сут. Этого количества достаточно для обеспечения водой высокого качества крупных городов Свердловской области, включая Екатеринбург, Нижний Тагил [3].

Северо-Восточный дренажный узел Карпинского месторождения дренажных подземных вод с начала 1960-х годов защищал восточный борт Богословского буроугольного карьера (разрез «Южный» глубиной более 100 м отрабатывался открытым способом с 1911 по 2001 гг.) и использовался для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Карпинска (население 30 тыс. чел.). Производительность дренажного узла составляла в среднем 7,9 тыс. м^3/сут.

Остановка карьерного водоотлива привела к образованию техногенного водоема, качество воды в котором по многим показателям не соответствует ПДК. Ухудшение качества подземных вод наблюдалось в течение всего периода эксплуатации водозабора. После затопления карьера ситуация усугубилась, вода не удовлетворяет санитарным нормам, необходимо проведение водоподготовки.

Липовское месторождение подземных вод до конца 1980-х годов являлось законтурным дренажом Липовского никелевого карьера, который в 1961 – 1991 гг. отрабатывался с водоотливом. Здесь были созданы 2 дренажных водозаборных узла (западный и восточный) из 3 – 5 скважин каждый, глубиной 200 м. С 1989 г. Липовский водозабор стал основным источником водоснабжения г. Реж (население 50 тыс. человек). После завершения отработки МТПИ произошло снижение водоотбора в 2 раза, что привело к частичному восстановлению уровня подземных вод и формированию карьерного озера глубиной 120 м в границах зоны санитарной охраны второго пояса Липовского водозабора.

После затопления карьера качество подземных вод на западном и восточном бортах карьера стало существенно отличаться: если на западном борту сохранился примерно такой же тренд, какой сформировался ранее, то на восточном начался ускоренный рост содержания ряда показателей: минерализации, сульфат-иона, никеля. Это явление нельзя объяснить просто привлечением ресурсов карьерного озера, поскольку содержание сульфатов в нем гораздо ниже (около 80 мг/дм^3 по сравнению с 120 – 160 мг/дм^3 в восточном узле).

Принципиальная геомиграционная оценка процесса формирования данного типа загрязнения может быть выполнена на основе ориентировочного балансового расчета массовых потоков по содержанию сульфат-иона как основного маркера (индикатора) изменения состояния подземных вод. Содержание сульфата в воде, поступающей со стороны карьерного озера, составляет порядка 260 мг/дм^3 (коэффициент концентрации сульфат-иона Кс = 26), что в 3,5 раза выше, чем в самом карьерном озере. Скважины Восточного узла расположены на борту карьера, который еще при отработке основной залежи был засыпан породами вскрыши и некондиционных руд с рассеянной сульфидной минерализацией. Уменьшение водоотбора после 1991 г. привело к частичному заполнению депрессионной воронки и формированию единого водоносного горизонта между карьерным озером и восточным узлом, в том числе в пределах засыпанной части карьера техногенного водоносного горизонта. Подъем уровня подземных вод в техногенном водоносном горизонте в условиях свободного доступа кислорода приводит к активному геохимическому выветриванию сульфидсодержащих минералов и обеспечивает поступление в повышенных концентрациях сульфатов, никеля и других компонентов в водозабор на восточном борту карьера.

Содержание никеля в последние годы стабильно выше допустимого: по западному узлу – 0,01 – 0,07 мг/дм^3 ($К_{ПДК}$ = 3,5), по восточному 0,04 – 0,13 мг/дм^3 ($К_{ПДК}$ = 6,5). Поскольку водозабор – единственный источник водоснабжения г. Реж, он продолжает эксплуатироваться.

Анализ трансформации химического состава подземных вод в районе Липовского карьера свидетельствует о том, что даже частичная рекультивация карьера становится ведущим фактором загрязнения при затоплении, т.е. для предотвращения формирования техногенного водоносного горизонта должна осуществляться либо полная рекультивация предварительно осушенного пространства, либо затопление собственно карьерной выемки. «Мокрая рекультивация» – затопление карьерной выемки в сочетании с частичным заполнением выработанного

пространства – наиболее неблагоприятный вариант с точки зрения стабилизации гидрогеохимических процессов.

Полдневское месторождение подземных вод приурочено к законтурному дренажу Полдневской залежи Троицко-Байновского месторождения огнеупорных глин (отрабатывается с 1944 г.), которое обеспечивает (наряду с другими средствами водоотлива) осушение продуктивной толщи глин и с 1971 г. является одним из основных источников водоснабжения г. Богдановича (население 30 тыс. чел.).

Основным требованием к гидродинамическому режиму является сохранение подземного водораздела между отрабатываемым карьером и водозаборными скважинами. Очевидно, что это условие может быть выполнено только в том случае, когда дренажный водоотлив равен или больше, чем водоотбор на питьевые цели. Это условие практически никогда не выполнялось.

В настоящее время суммарный среднегодовой водоотбор на Полдневском руднике составляет около 15 тыс. м^3/сут, из них 10 тыс. м^3/сут используются для питьевых нужд. Особенность месторождений подземных вод в Восточноуральской карстовой области – формирование техногенной зоны аэрации в толще песчано-глинистых мезо-кайнозойских отложений, которая содержит большое количество пирита и других сульфидов. Здесь происходит смена восстановительных условий на окислительные, окисление сульфидов и ухудшение качества подземных вод, которое проявляется в увеличении ряда показателей по сравнению с фоновыми. Этот механизм достаточно хорошо изучен [8]. Тем не менее при отсутствии значимой техногенной нагрузки качество воды удовлетворяет санитарным требованиям, а отмеченный рост показателей продолжается только до определенных значений (для сульфат-иона коэффициент концентрации Кс < 10) и постепенно стабилизируется.

Область формирования эксплуатационных ресурсов Полдневского водозабора характеризуется высокой техногенной нагрузкой горнодобывающего профиля: здесь расположены не только действующий (частично затопленный) карьер глубиной 30 – 40 м, но и рекультивированные карьеры, заполненные вскрышными сульфидсодержащими породами, и отвалы некондиционных руд, в которых образуются техногенные водоносные горизонты минерализованных кислых вод. Соответственно, степень изменения качества подземных вод в пределах Полдневского месторождения в каждой конкретной скважине определяется соотношением балансовых составляющих, формирующих эксплуатационный водоотбор. Процесс осушения покровных отложений приводит к формированию вод с Кс < 10 (по содержанию сульфат-иона как индикатора процесса), в пределах рекультивированного осушенного карьера поступают воды с показателями содержания сульфат-иона Кс < 20. Затопление карьера при его частичной рекультивации («мокрая рекультивация») обеспечивает поступление в водоносный горизонт вод с Кс = 50. Дальнейшая эксплуатация питьевого водозабора возможна только под защитой барражных скважин с расходом, который должен быть сопоставим с водоотбором на питьевые нужды. При этом необходимость очистки сбрасываемых подземных вод до нормативов, предъявляемых к качеству воды в водоемах рыбохозяйственного значения, и возможный отказ предприятия-недропользователя от затрат на такую очистку могут привести к прекращению эксплуатации питьевого водозабора и образованию на месте МППВ участка загрязнения.

Черемшанское месторождение подземных вод – законтурный скважинный дренаж Черемшанского карьера (отработка велась с 1930 гг.) и с 1976 г. единственный источник водоснабжения – г. Верхний Уфалей (Челябинская обл.) с населением 32 тыс. человек. Оно расположено в верховьях р. Полдневая-Чусовая, это бассейн р. Чусовой, на которой ниже по течению организовано питьевое водоснабжение Екатеринбурга. Наибольший водоотлив был в 1970 – 1975 гг. и составлял около 14 тыс. м^3/сут. Организация зоны санитарной охраны Черемшанского участка подземных вод невозможна, так как скважины располагаются в забойной части карьера. Водозабор в течение 40 лет рассматривается контролирующими органами как временный источник водоснабжения.

Анализ данных по химическому составу вод карьерных озер показал, что в большинстве из них качество воды не претерпело значительных изменений: содержание сульфат-иона – от 14 – 76 мг/дм^3 (Кс < 8), никеля – от 0,04 до 0,08 мг/дм^3 ($К_{ПДК}$ = 2 – 4). Исключение составляет карьерное озеро в затопленной Старо-Черемшанской залежи. Аномальные значения показателей объясняются тем, что в нем произошла самопроизвольная «мокрая рекультивация» карьера, что привело к формированию техногенного водоносного горизонта, являющегося источником загрязнения гидросферы.

Выводы. После завершения отработки МТПИ и уменьшения водоотлива происходит частичное заполнение депрессионной воронки, формирование карьерных озер, техногенных водоносных горизонтов в рекультивированных горных выработках. Значительную долю в балансе эксплуатационного водоотбора начинает составлять привлечение ресурсов карьерных озер и поступление воды из техногенных водоносных горизонтов, сформированных в отвалах и рекультивированных карьерах.

Месторождения твердых полезных ископаемых – аномальные в геолого-геохимическом отношении зоны. Закономерности изменения химического состава подземных вод и их эколого-геохимическое состояние здесь зависят от направленности гидродинамических и гидрогеохимических процессов на разных этапах освоения территории.

Хорошее качество подземных вод в период отработки МТПИ не может гарантировать возможность использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения на длительную перспективу. После завершения отработки месторождения, отключения карьерных (или шахтных) водоотливов, при наличии в пределах депрессионной воронки отработанных, затопленных и рекультивированных карьеров, питьевые водозаборы могут быть утрачены. На этих объектах может происходить неконтролируемое загрязнение подземных вод.

При оценке возможности использования подземных вод, эксплуатируемых дренажными системами, для питьевого водоснабжения необходимо учитывать вид полезного ископаемого, срок и технологию отработки МТПИ, конструкцию дренажной системы и, как правило, предпринимать упреждающие меры по изысканию и введению в эксплуатацию новых источников водоснабжения (таблица).

Оценка риска утраты питьевых водозаборов после прекращения горнодобычной деятельности

Показатель	Риск утраты питьевых водозаборов		
	низкий	средний	высокий
Водовмещающие породы	известняки, мрамора, метаморфические породы		
Способ рекультивации	мокрая консервация (затопление)		
Конструкция дренажной системы	вертикальный законтурный, внутрикарьерный (зумпфовой) дренаж		
Степень геохимической активности полезного ископаемого	инертное	активное	
Состояние горной выработки перед рекультивацией	Не заполнена или заполнена инертным материалом	Заполнена вскрышными породами и некондиционными рудами	Заполнена вскрышными породами и некондиционными рудами
Возможность организации второго и третьего пояса ЗСО	Есть	Есть частично	Нет
Источники формирования эксплуатационных ресурсов (массовые расходы $M_{ер}$ и $M_{пр}$)*	$M_{ер} >> M_{пр}$	$M_{ер} \sim M_{пр}$	$M_{ер} << M_{пр}$
Примеры месторождений	Кальинское	Карпиское; Липовское (западный узел)	Липовское (восточный узел); Полдневское; Черемшанское

Примечание. *$M_{ер} = C_{ер} \cdot Q_{ер}$ – массовый расход, поступающий за счет естественных ресурсов; $M_{пр} = C_{пр} \cdot Q_{пр}$ – массовый расход, поступающий за счет привлекаемых ресурсов, формирующихся в отработанных пространствах.

Список литературы

1. Боревский, Б. В. Принципы определения границ месторождений подземных вод / Б. В. Боревский, Л. В. Боревский, А. Л. Язвин // Разведка и охрана недр. – 2010. – № 10. – С. 10–18.
2. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2010 г. – М. : ООО «Геоинформмарк», 2011. – Вып. 34. – 208 с.
3. Палкин, С. В. О возможности полного водообеспечения города Екатеринбурга подземными водами / С. В. Палкин, С. С. Палкин, Л. С. Рыбникова // Водное хозяйство России. – 2011. – № 5. – 2011. – С. 75–88.
4. Плотников, Н. И. Гидрогеология рудных месторождений / Н. И. Плотников [и др.]. – М. : Недра, 1987. – 287 с.
5. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 31 октября 2001 г., регистрационный номер 3011). – М. : Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2002. – 62 с.
6. СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» (зарегистрированы в Министерстве юстиции Российской Федерации 24 апреля 2002 г., регистрационный номер 3399). – М. : Министерство здравоохранения Российской Федерации, 2003. – 18 с.
7. Фельдман, А. Л. Защита питьевых водозаборов при осушении и затоплении карьеров горно-складчатого Урала / А. Л. Фельдман, Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников // Питьевые воды. Изучение, использование и информационные технологии : матер. Междунар. научно-практ. конф. (18–22 апреля 2011 г.). – Балашиха (Московская область): ФГУ ВНИИПО МЧС России, 2011. – Ч. 4. – С. 88–98.
8. Apello, C. A. J. Geochemistry, groundwater and pollution. 2-nd edition / C. A. J. Apello [et al.]. – Rotterdam, Balkema, 2005. – 635 p.

ОСОБЕННОСТИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ОТКАЧЕК ИЗ БЕЗНАПОРНОГО ПЛАСТА В УСЛОВИЯХ ОСТРОВНОЙ МЕРЗЛОТЫ (В ЮЖНОЙ ЧАСТИ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ)

Секерина И. Н., Олиферова О. А.
ЗАО «ГИДЭК», г. Москва, info@hydec.ru

Аннотация. В настоящей статье рассмотрены основные результаты интерпретации опытных откачек из безнапорного пласта вблизи контура многолетнемерзлых пород (островная мерзлота). На примере интерпретации длительной кустовой откачки, проведенной на Восточно-Перском месторождении подземных вод в Амурской области, показана необходимость использования при обработке откачек в рассматриваемых условиях методов численно-аналитических расчетов.

Ключевые слова: *Восточно-Перское месторождение, островная мерзлота, сазанковско-белогорский безнапорный водоносный комплекс, интерпретация кустовых откачек, численно-аналитические расчеты.*

Abstract. In this paper reviews the main results interpretation of pumping tests wich was carried out in unconfined aquifer near the contour of permafrost («is land» brozen ground). According to interpretation of the long pumping-tests carried out on the Vostochno-Perskoy groundwater basin (Amur region) the main methods in this case is analytic-numerical calculation.

Key words: *Vostochno-Perskoy ground water basin, island permafrost, sazankovsko-belogorsky unconfined aquifer, interpretation sectional pumping-tests, analytic-numerical calculations.*

При откачках в безнапорном потоке размеры воронки депрессии бывают сравнительно небольшими, что обычно дает основание рассматривать ее формирование без учета границ потока, т.е. считая поток неограниченным в плане. Особенности формирования фильтрационного

потока при откачке в безнапорном пласте определяются следующими факторами [1]: изменением мощности водоносного пласта при понижении напора, проявлением влияния вертикальных сопротивлений потока при нестационарном режиме, динамикой гравитационной емкости, обусловливаемой влиянием капиллярной зоны. Эти факторы существенно осложняют закономерности снижения уровней (во времени и в пространстве). Все перечисленные особенности фильтрационной схемы безнапорного пласта могут проявляться только при длительном опробовании, в процессе которого возможно зафиксировать все этапы развития процесса: упругий, ложностационарный и гравитационный.

На примере результатов опробования безнапорного водоносного горизонта в междуречье рек Зеи и Большой Перы в Амурской области показана необходимость учета положения контуров многолетнемерзлых пород (ММП) в качестве границ пласта в плане. Откачка выполнена в рамках поисково-оценочных работ, проведенных ЗАО «ГИДЭК» для оценки запасов подземных вод Восточно-Перского месторождения (водоснабжение объектов космодрома «Восточный»).

Восточно-Перское месторождение подземных вод расположено в северной части Амуро-Зейского артезианского бассейна в зоне сочленения артезианского бассейна и Туранского гидрогеологического массива. Поток подземных вод в пределах месторождения приурочен к многопластовой системе: первым от поверхности залегает сазанковско-белогорский водоносный комплекс (основной источник водоснабжения на рассматриваемой территории), далее вниз по разрезу залегают бузулинский водоносный горизонт и локальная зона трещиноватости архейско-мезозойских гранитов [2]. Подземные воды связаны с поверхностными водами многочисленных рек и ручьев. Условия взаимосвязи поверхностных и подземных вод во многом определяются мерзлотными условиями территории. В соответствии с геокриологической картой Амурской области (А. Т. Сорокина, А. П. Сорокин, 1979) территория междуречья рек Зеи и Б. Перы относится к области развития островной мерзлоты. По данным геофизических исследований методом ВЭЗ, отдельные локальные мерзлые «пятна» мощностью от 5 до 20 м закартированы в припойменных частях долин и ручьев. Участки мерзлых пород мощностью более 10 м заверены бурением скважин в долинах р. Ора и руч. Охотничьего.

Гидродинамические расчеты для целей оценки запасов подземных вод проводились методом численного математического моделирования. Для получения величин гидродинамических параметров целевого сазанковско-белогорского водоносного комплекса в междуречье рек Зея и Б. Пера были пробурены и оборудованы четыре опытных ярусных куста скважин (на участках с максимально заявленной потребностью), на которых были проведены кустовые откачки. При постановке опытов предусматривалась необходимость определения не только коэффициента фильтрации и емкости опробуемого водоносного пласта, но и вертикальных коэффициентов фильтрации слабопроницаемых слоев.

Кустовой опытной откачкой из скважины 23РЭ был опробован сазанковско-белогорский водоносный комплекс, представляющий собой на участке безнапорный пласт мощностью 20 м (рис. 1). Водовмещающими породами являются разнозернистые пески с гравием.

Подстилается опробуемый комплекс бузулинским водоносным комплексом, имеющим слоистое строение. Опытный куст состоит из 9 скважин, расположенных по двум лучам. Центральная скважина – 23 РЭ и шесть наблюдательных – 231н, 233н, 235н, 236н, 24р, 25 РЭ – оборудованы на сазанско-белогорский водоносный комплекс, а две наблюдательные скважины – 232н и 234н – на нижележащий бузулинский комплекс.

Откачка из скважины 23 РЭ выполнялась в течение 20 суток с постоянным дебитом 17 л/с (1480 м^3/сут). Понижения в конце опыта составили: в центральной скважине – 4,04 м, по первому лучу в скважинах 233н – 0,42 м, 231н – 0,65 м, 24 р и 25 РЭ – 0,19 м, по второму лучу в скважинах 235н и 236н – 0,71 м и 0,55 м соответственно. Скважины, оборудованные на бузулинский водоносный комплекс, на возмущение не реагировали.

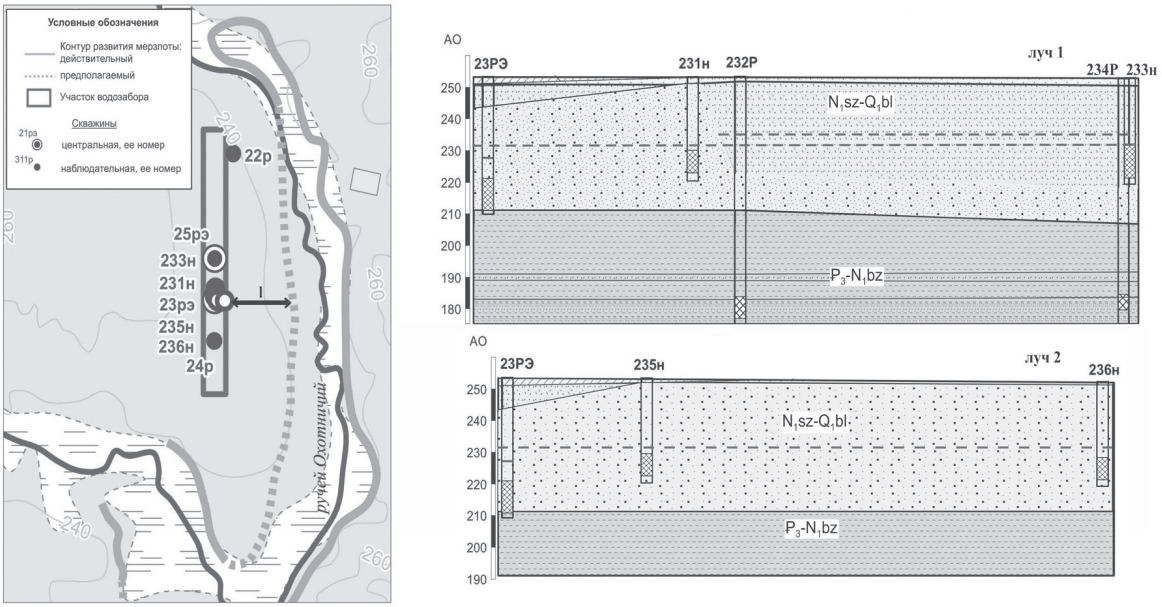


Рис. 1. Схема расположения скважин и гидрогеологические разрезы опытного куста 23 РЭ

На начальном этапе интерпретации результатов откачки был выполнен анализ индикаторных кривых S-lgt, S-lgt/r^2, который показал, что изменение уровней происходит согласно расчетной схеме безнапорного, однородного в плане, анизотропного (по вертикали) пласта (рис. 2). Согласно этой расчетной схеме на графиках должны выделяться следующие этапы: упругий, ложностационарный и этап гравитационного режима. Соотношение параметров пласта таково, что этап упругого режима очень короткий, этап ложностационарного режима не достаточно четко выражен и поэтому кривые S-lgt имеют длительный переходный этап от упругого режима к гравитационному. Уклоны графиков для всех скважин на этапе гравитационного режима совпадают.

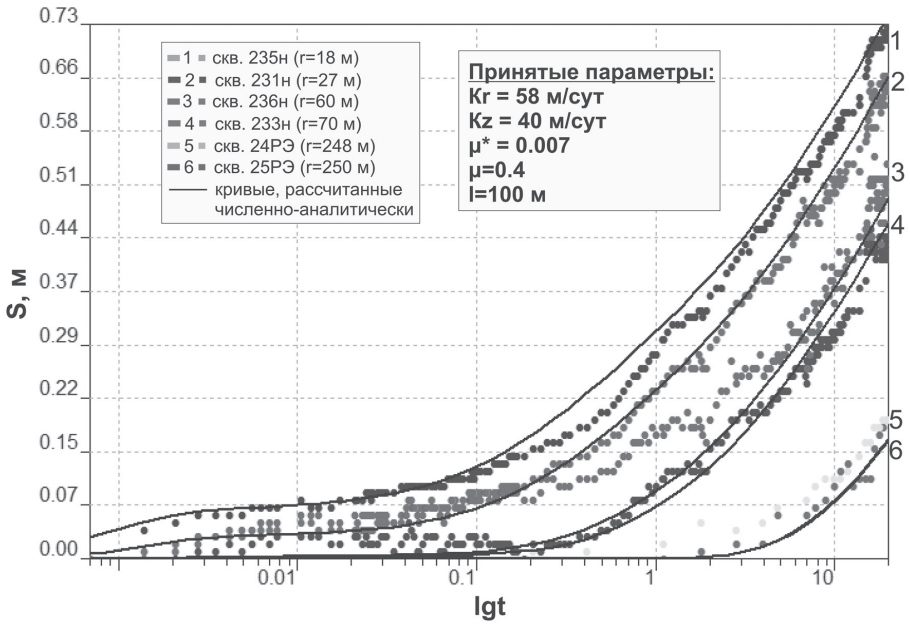


Рис. 2. Результаты интерпретации откачки из сазанковско-белогорского водоносного комплекса (опытный куст 23 РЭ)

Интерпретация результатов кустовых откачек выполнялась численно-аналитически с использованием программного комплекса ANSDIMAT, который разработан в Санкт-Петербургском государственном университете [3]. Расчеты выполнялись на базе решения Ньюмана для понижения уровня в безнапорном анизотропном пласте.

Параметры пласта, определённые численно-аналитически для всего периода откачки t = 20 сут, следующие: коэффициент фильтрации по горизонтали Kr = 58 м/сут, коэффициент фильтрации по вертикали Kz = 40 м/сут, упругая водоотдача μ* = 0,007. Полученная при интерпретации конечных участков кривых величина гравитационной водоотдачи значительно превысила реально возможные величины этого параметра, что может быть связано с влиянием естественного режима или существованием в долине руч. Охотничьего ММП (непроницаемая граница).

Влияние возможного изменения уровней подземных вод за счет климатических факторов в период проведения откачки (15 марта – 4 апреля 2012 г.) было исключено в результате анализа изменений уровней в этот период в скважинах-аналогах.

Опытный куст расположен в долине руч. Охотничьего, где, по данным геофизических исследований, откартирован участок ММП мощностью от 15 до 20 м. Достоверная граница ММП в левом борту долины проведена по контуру развития болотных отложений, со стороны площадки опытного куста граница островной мерзлоты проведена условно. В связи с этим, для обоснования расчетной схемы, учитывающей границу ММП, были выполнены повариантные расчеты, в которых рассматривалось различное расстояние от скважин до непроницаемой границы. В расчетных вариантах задавалось изменение расстояния от луча скважин до границы мерзлоты в интервале l = 100 – 700 м. Удовлетворительное соотношение расчётных и природных кривых на этапе гравитационного режима было получено при μ = 0,4 и l = 100 м.

Таким образом, влияние отдельных участков ММП, выявленных на территории Восточно-Перского месторождения, сказывается на формировании депрессионной воронки в процессе откачек из безнапорных пластов. Учет этого фактора дает возможность определить не только фильтрационные характеристики опробуемого пласта, но и получить достоверные величины гравитационной водоотдачи. Следует отметить, что поскольку при интерпретации подобных опытов используются сложные расчетные схемы, то для ее проведения целесообразно применять численно-аналитические расчеты или численное моделирование.

Список литературы

1. Мироненко, В. А. Теория и методы интерпретации опытно-фильтрационных работ / В. А. Мироненко [и др.] – М. : Недра, 1978. – 325 с.

2. Дорохина, Ю. А. Гидрогеологическая модель формирования эксплуатационных запасов подземных вод на территории космодрома «Восточный» в Амурской области / Ю. А. Дорохина, О. А. Олиферова // Подземная гидросфера : материалы Всерос. совещ. по подземным водам востока России. – Иркутск : ООО Географ, 2012. – С. 323–326.

3. Синдаловский, Л. Н. Аналитическое моделирование опытных опробований водоносных пластов и скважинных водозаборов (программный комплекс ANSDIMAT) / Л. Н. Синдаловский. – СПб. : Наука, 2014. – 521 с.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТАЛИКОВЫХ ЗОН ДЛЯ ВОСПОЛНЕНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Сычевский А. В.
Государственный комитет Республики Саха (Якутия) по геологии и недропользованию, г. Якутск, andreys061@rambler.ru

Аннотация. Метод магазинирования подземных вод является наиболее перспективным в решении проблемы водоснабжения населенных пунктов. В статье приводится опытное подтверждение возможности использования вышеуказанного метода для восполнения запасов подземных вод таликовых зон Центральной Якутии. В качестве примера приводятся результаты опытно-фильтрационных работ по участку «Буор-Дие». Статья может быть полезна студентам вузов, аспирантам и специалистам, занимающимся гидрогеологией и инженерным мерзлотоведением.
Ключевые слова: *подземные воды, таликовая зона, магазинирование подземных вод.*

Abstract. The method of artificial groundwater storage is the most promising in solving the problem of water supply of settlements. The article presents an experimental verification capabilities using the above method to replenish groundwater thawed zones of Central Yakutia. As an example, the results prividitsya experimental filtration works on the site «Buor-Dieu». The article can be useful to students, graduate students and professionals involved in Hydrogeology and Engineering Permafrost.
Key words: *groundwater, thawed zone, groundwater storage.*

Территория Центральной Якутии относится по климатическим условиям к области с недостаточным увлажнением. Данное обстоятельство, а также повсеместное распространение многолетнемерзлых пород значительной мощности обусловливают крайне неблагоприятное положение с водоснабжением населенных пунктов.

Одним из перспективных направлений в решении этой проблемы является искусственное восполнение запасов подземных вод таликовых зон путем закачки в них качественных поверхностных вод. Применяемый в настоящее время метод магазинирования воды р. Лены в открытых водохранилищах малоэффективен из-за их глубокого промерзания в зимнее время и ухудшения за счет этого качественного состава воды. Магазинирование путем закачки поверхностных вод в непромерзающие таликовые зоны позволит создавать запасы питьевых вод высокого качества на весь зимний период в необходимых объемах.

Последние работы по изучению возможности использования подземных резервуаров для магазинирования поверхностных вод и восполнения эксплуатационных запасов подозерных таликовых зон были проведены в Чупчинском улусе в ходе поисков подземных вод для водоснабжения с. Чурапча.

Одним из ключевых участков была озерная котловина Буор-Дие. По результатам наземных геофизических исследований и бурения скважин № 2, 6, 7 глубиной 100 м установлено наличие таликовой зоны на рассматриваемом участке. До глубин 15,2 – 16,3 м вскрыт козырек многолетнемерзлых пород. Водовмещающие породы залегают ниже пачки глин сартанского горизонта и представлены четвертичными песками, а также трещиноватыми песчаниками и алевролитами средней юры. Интервал залегания кровли водоносного комплекса изменяется от 19,5 (скв. 6) до 21,7 м (скв. 7). Интервал залегания подошвы многолетнемерзлых пород изменяется от 48,2 м (скв. 2) до 50 м. Средняя мощность водоносного комплекса 29 м.

Опытное нагнетание воды в скважину 6 проводилось с целью определения приемистости водоносного пласта в статическом и динамическом режимах. Нагнетание выполнялось буровым насосом НБ-32 непрерывно в течение трех суток с постоянным дебитом 2,1 л/с. Повышение уровня подземных вод в нагнетательной скважине 6 составило 9,63 м при постоянном дебите 2,1 л/с (181,44 м^3/сут), в наблюдательных скважинах 2 и 7 соответственно подъем уровней составил 0,44 и 0,46 м.

В ходе опытных откачек дебиты скважин № 2, 6, 7 составили 1,32 – 6,45 л/с при понижениях уровня 6,92 – 10,64 м. Удельные дебиты составили – 0,17 – 0,93 л/с×м. Значение коэффициента водопроводимости в среднем по участку 197 м^2/сут, коэффициент уровнепроводности – 2,54×10^3 – 2,54×10^4 м^2/сут.

По химическому составу подземные воды таликовой зоны пресные хлоридно-гидрокарбонатные магниево-натриевые нейтральные с минерализацией 1,23 – 1,28 г/л. Подземные воды не соответствуют требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 по органолептическим показателям, перманганатной окисляемости, содержанию железа, нитратов, аммиака и сухого остатка. При использовании подземных вод в питьевых целях необходимо проводить водоподготовку.

Естественные ресурсы подземных вод криогенно-таликовой зоны оз. Буор-Дие формируются за счет инфильтрации атмосферных осадков и озерных вод в криогенно-таликовую зону. Прогнозные ресурсы подземных вод криогенно-таликовой зоны оз. Буор-Дие в объеме 2804 тыс. м^3 не могут служить гарантированным источником обеспечения потребности в воде с. Чурапча – 1500 м^3/сут – на срок эксплуатации проектного водозабора 25 лет. Результаты опытно-фильтрационных работ и расчеты емкостных ресурсов подземных вод таликовой зоны свидетельствуют, что выявленные запасы подземных вод локально-водоносного горизонта составляют 130 м^3/сут по категории C_1.

По результатам проведенных работ установлена природная модель криогенно-таликовой зоны, представляющая собой локальный водоносный гидрогеологический объект, сформировавшийся за счет теплового воздействия радиационно-тепловых потоков, ограниченный в пространстве и разрезе мерзлыми породами, перекрытый сверху регионально-выдержанными глинами (суглинками) сартанского горизонта. Установлена возможность искусственного восполнения запасов подземных вод, что доказано опытным путем в процессе поисковых работ на участке «Буор-Дие».

Следует отметить, что с. Чурапча испытывает острый дефицит в качественной питьевой воде. Поверхностные воды р. Татта и оз. Имитте не могут рассматриваться как источник централизованного водоснабжения населенного пункта из-за низкого ресурсного потенциала и несоответствия качества воды требованиям хозяйственно-питьевого водоснабжения. В природно-климатических условиях Якутии выявленная таликовая зона оз. Буор-Дие является перспективным природным резервуаром для создания искусственного резервуара подземных вод. Источником восполнения запасов могут рассматриваться пресные воды р. Татта в паводок, когда уровень воды достаточно высок, а также использоваться поверхностные воды р. Амги в районе с. Мандыгай. Создание искусственных резервуаров подземных вод в таликовой подозерной зоне является единственным перспективным направлением в решении обеспечения населенного пункта водой.

Дальнейшее геологическое изучение таликовой зоны озер Буор-Дие и Хангас-Эбе должно заключаться в детальном изучении граничных условий таликовых зон, технологии восполнения запасов подземных вод таликовой зоны за счет поверхностных вод в весенне-летний период.

Таким образом, проведенные опытные работы показали, что проблема восполнения запасов небольших по объему таликовых зон Центральной Якутии вполне разрешима на практике. Кроме того, магазинирование поверхностных вод в подземных коллекторах позволяет решить и еще одну важную задачу – улучшить качество питьевых вод в критический зимний период.

ОТКАЧКИ В ПЛАСТАХ С ПЕРЕТЕКАНИЕМ НА ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Тагильцев С. Н.[1], Тагильцев В. С.,[2] Лукьянов А. Е.[3]
[1,2]ФБГОУ Уральский горный университет, г. Екатеринбург, tagiltsev@k66.ru, vikul@list.ru;
[3]ОАО НИИ горной геомеханики и маркшейдерского дела «ВНИМИ»,
г. Санкт-Петербург, luk_alex@inbox.ru

Аннотация. Методика определения параметров в условиях пластов с перетеканием имеет очень существенные отличия от методических приемов расчета параметров в условиях схемы безграничного пласта. Данное обстоятельство обычно не учитывается в практике гидрогеологических работ, что приводит к значительным погрешностям в определении гидродинамических параметров.
Ключевые слова: *водоносный пласт с перетеканием, гидродинамические параметры пласта.*

Abstract. Methodology of determination of hydrodynamic reservoir characteristics in the conditions of aquifers with leakage has significant differences from the approaches to calculate them in conditions of unbounded aquifer scheme. Given fact is not usually accounted for in a practice of hydrogeological surveys, that brings to considerable uncertainty in assessment of hydrodynamic characteristics.
Key words: *aquifers with leakage, hydrodynamic reservoir characteristics*

На территории основных нефтедобывающих районов Западной Сибири эксплуатируется большое количество водозаборов питьевых и технических вод. При анализе данных эксплуатации и разведки водозаборов выявилась очень серьезная проблема, которая заключается в частом несоответствии прогнозной расчетной гидродинамической схемы и реальных условий эксплуатации гидрогеологических объектов. Оценка эксплуатационных запасов по многим ныне действующим водозаборам была выполнена на основе гидродинамической схемы безграничного однородного изолированного пласта. Многолетняя эксплуатация показала, что подавляющее большинство водозаборов эксплуатируется в стационарном режиме, т.е. при постоянном дебите и постоянном уровне, причем стационарный режим наступает, как правило, за несколько суток. Одной из главных причин несоответствия прогнозных расчётов и реальных условий эксплуатации является неверный выбор исходной расчётной гидродинамической схемы водоносного пласта.

В последние годы начался процесс признания ситуации, что большинство водозаборов эксплуатируются в условиях реализации схемы водоносных пластов с перетеканием. При использовании схемы пласта с перетеканием на первый план выходит задача качественного определения расчётных гидродинамических параметров. Следует отметить, что методика определения параметров в условиях пластов с перетеканием имеет существенные отличия от методических приемов расчета параметров в условиях схемы безграничного пласта. Данное обстоятельство обычно не учитывается в практике гидрогеологических работ, что приводит к значительным погрешностям в определении гидродинамических параметров. Значения параметра водопроводимости нередко завышаются в два-три раза, коэффициента пьезопроводности – примерно на порядок, значения параметра перетекания – в десятки раз [1–3].

Основные теоретические решения и методические рекомендации по определению гидродинамических параметров пластов в условиях перетекания были разработаны и опубликованы в 60-е – начале 70-х годов прошлого века [4–6]. В последующие годы основы расчётов откачек в пластах с перетеканием рассматривались в учебниках и методических рекомендациях [7]. Важный вклад в развитие и обобщение современных методических приёмов обработки откачек в пластах с перетеканием внесла последняя монография В. М. Шестакова с соавторами [8].

К сожалению, указанные разработки, и, соответственно, отличительные особенности методических подходов к определению параметров не получили широкого распространения при проведении и обработке откачек. Необходимо отметить несколько основных характерных

особенностей получения расчетных параметров. Основные отличительные особенности можно обозначить с помощью нескольких основных понятий. К важным понятиям, отражающим особенности обработки откачек, относятся: квазистационарный режим, коэффициенты наклона касательных прямых в точках перегиба расчётных участков графиков, неоднородность пласта, ложная стабилизация.

Основные, наиболее часто применяемые расчетные приемы разработаны для части депрессионной воронки, в которой развивается квазистационарный режим. В зоне квазистационарного режима форма депрессионной воронки не меняется. Это связано с тем, что в этой части депрессии расход потока, который движется к скважине, практически можно принимать равным дебиту откачки. В безграничных изолированных пластах радиус зоны квазистационарного режима составляет 10 – 20% от размеров депрессионной воронки. В пластах с перетеканием эта величина значительно меньше. Радиус зоны квазистационарного режима, как правило, не превышает нескольких процентов от размеров депрессионной воронки. Согласно теоритическим решениям, в пределах допустимой погрешности, радиус зоны квазистационарного режима составляет десятую часть от параметра перетекания (0,1 В). Радиус депрессионной воронки для большинства водозаборов в условиях перетекания составляет 4-5 В.

Обычная методика определения параметров, основанная на применении формулы Джейкоба, может применяться только в зоне квазистационарного режима. Если принимать, что условное среднее значение параметра перетекания составляет примерно 300 м, то получается, что обычные расчетные приемы применимы для наблюдательных скважин, которые находятся на расстоянии не более 30 м от центральной скважины. Нередко параметр перетекания составляет первые сотни метров, а иногда и меньше 100 м. В этих случаях обычные расчетные методики, применяемые к скважинам, удалённым от центральной на несколько десятков и сотен метров, приводят к значительным погрешностям в определении параметров пласта.

Для временных графиков, полученных в условиях перетекания, характерна соответствующая форма с наличием точки перегиба [4–6]. Гидродинамический смысл точки перегиба заключается в том, что до точки перегиба реализуется схема безграничного пласта, а после точки перегиба график отражает развитие перетекания. Развитие перетекания выражается в постепенном уменьшении наклона (выполаживании) графика. Для скважин, которые находятся в зоне квазистационарного режима, точка перегиба выражена очень слабо и может диагностироваться по выполаживанию графика и дальнейшей стабилизации.

На графиках, построенных по скважинам, расположенным вне зоны квазистационарного режима, точка перегиба и выполаживание графика происходит в условиях неквазистационарного режима. Уклоны касательных, проведенных в точке перегиба, значительно меньше, чем в условиях квазистационарного режима. Методика расчета параметров на основании характеристик, определенных по точке перегиба, была предложена Хантушем. Методика расчетов опубликована в переводных и отечественных изданиях [4–6]. Смысл методики состоит в том, что по специальному алгоритму рассчитывается поправка, учитывающая уменьшение наклона касательной к графику в точке перегиба. Обычным источником ошибок в определении параметров является не учет существенного, в 2-3 раза, уменьшения наклона касательной прямой в точке перегиба графика.

В ряде публикаций содержатся рекомендации по использованию в условиях перетекания графиков комбинированного прослеживания понижения ($S – \lg t/r^2$). Следует учитывать, что даже в условиях однородного пласта графики комбинированного прослеживания, построенные для разных скважин, могут совпадать только до точки перегиба. После точки перегиба графики расходятся в виде своеобразного «веера», причем расхождение графиков для разно удалённых скважин может быть значительным. Для обработки в комбинированных координатах пригоден только участок графика до точки перегиба, причем этот участок чаще всего необходимо обрабатывать с помощью эталонной кривой, так как в большинстве скважин квазистационарный режим не наступает.

Существенным источником ошибок в определении параметров является применение площадных графиков прослеживания понижения (S – lg r). Обычный график, построенный в координатах S – lg r, применим только в условиях квазистационарного режима. Если учитывать, что зона квазистационарного режима в пластах с перетеканием имеет небольшие размеры, то даже при значительном количестве наблюдательных скважин в эту зону попадают единицы скважин. В условиях однородного пласта можно эффективно применять метод эталонной кривой для условий площадного прослеживания (координаты lg S – lg r). Несмотря на хорошие теоритические предпосылки, этот метод имеет существенные ограничения. График строится по участкам полной стабилизации уровней или по точкам перегиба временных графиков. Соответственно, возникает довольно строгое требование по достоверному определению положения точек перегиба.

Основным ограничением для применения площадных методов прослеживания понижения являются очень жесткие требования (с теоретических позиций) к условию однородности пласта. Даже относительно умеренная неоднородность пласта в плане (изменение фильтрационных свойств в 2–3 раза) приводит к существенным погрешностям в результатах расчетов с помощью площадных графиков. Поэтому в большинстве случаев площадные методы расчетов могут иметь только вспомогательное значение и применяться после установления, с помощью временных или комбинированных графиков, однородности пласта.

Однородность основного пласта (в плане) играет очень важную роль для точного определения гидродинамических параметров. Пласты, однородные в плане, которые можно считать пригодными для расчетов по схеме однородного пласта, встречаются довольно редко. Во многих случаях, в пределах депрессионной воронки, водопроводимость основного пласта изменяется в несколько раз [3]. Диагностика степени однородности пласта выполняется на основании временных и комбинированных графиков. Расхождение всех участков графиков по рассматриваемым скважинам визуально отражается на графиках комбинированного прослеживания. При обработке графиков временного прослеживания значения параметра водопроводимости, при умеренной неоднородности, должны получаться одинаковыми. Постоянство значения водопроводимости по разным наблюдательным скважинам является критерием правильности расчетов. Неоднородность проявляется в различных значениях коэффициента пьезопроводности и параметра перетекания. Таким образом, на основании результатов обработки временных графиков можно выполнить диагностику правильности расчетов и оценить степень однородности пласта.

При перетекании значительная часть опытных работ проходит в условиях изменения водоотдачи. Изменение водоотдачи наблюдается в двухслойных пластах, гетерогенных пластах с двойной пористостью и при перетекании из водоносных горизонтов с изменяющимся напором. В тех случаях, когда рассматриваются перечисленные схемы, обычно принимается, что изменение водоотдачи происходит более чем на два порядка (больше 100). Практика расчетов показывает, что во многих случаях изменение водоотдачи происходит в десятки раз (10 – 70). Если изменение водоотдачи происходит более чем в сто раз, уклон в точке перегиба на участке графика, отражающего изменение водоотдачи, близок к нулю [4, 5]. Именно этот случай полностью подходит под понятие «ложная стабилизация».

Гидродинамическая схема «с двойной пористостью» очень часто практически соответствует схеме двухслойного пласта [5]. Двухслойная система строения является достаточно типичной для верхней части гидрогеологического разреза. Обычно принимается, что особенностью этой схемы является то, что свободная поверхность подземных вод находится в слабопроницаемом слое, перекрывающем водоносный горизонт. При откачке в начальный период времени происходит сработка упругих запасов и в водоносном горизонте, и в слабопроницаемом слое. Этот этап откачки (упругого режима) завершается стабилизацией напоров (ложная стабилизация). Стабилизация связана с тем, что гравитационная водоотдача, как правило, примерно на два порядка выше упругой водоотдачи основного водоносного горизонта. Опи-

санный этап откачки подобен откачке с перетеканием из водоносного горизонта с постоянным напором. В связи с этим для обработки данного (первого) этапа откачки могут быть использованы все приемы, которые применимы для расчетов в условиях схемы с постоянным напором. Как показывает практика, при откачке из системы слоистых пластов с близкими фильтрационными и емкостными свойствами очень часто реализуется схема двухслойного пласта.

Второй этап откачки (условно – ложной стабилизации) характеризуется некоторым замедлением темпов снижения уровней в основном водоносном горизонте. В этот период наблюдается развитие депрессии в верхнем безнапорном водоносном горизонте. Как правило, при наличии этажных пьезометров фиксируется заметное снижение свободной поверхности. Этот этап откачки (ложностационарного режима, переходного режима) отражает переход от упругой к суммарной водоотдаче. С минимальной погрешностью можно принимать, что последний (третий) этап откачки происходит в условиях гравитационной водоотдачи.

В тех случаях, когда значение водоотдачи изменяется в десятки раз, уклон кривой в точке перегиба определяется только соотношением коэффициентов водоотдачи [5]. Практически, переходный этап графика имеет уклон, который отличается от уклона расчетного участка графика не более чем в 2-3 раза. В ряде случаев нужен специальный анализ для выделения участка графика, отражающего изменение водоотдачи. Это связано с тем, что изменение наклона графика является очень небольшим. В этих случаях понятие «ложная стабилизация» является на самом деле ложным, так как не соответствует фактической форме временных графиков.

Обычно перетекание из пласта с постоянным напором и перетекание из водоносного горизонта с изменяющимся напором рассматривается как различные расчетные схемы. Можно считать, что существенные различия между этими схемами отсутствуют. Во многих случаях при развитии депрессии в верхнем водоносном горизонте часто происходит окончательная стабилизация уровней как в верхнем, так и в основном водоносном горизонте. Стабилизация происходит за счет развития депрессии до питающих границ (рек, озер, болот). В этих случаях реализуется гидродинамическая схема, которую можно назвать «перетекание из водоносного горизонта с переменно-постоянным напором». С практических позиций эта схема при эксплуатации водозаборов не имеет существенных отличий от схемы перетекания из пласта с постоянным напором.

При определении параметров в условиях безграничного пласта, на этапе неквазистационарного режима, хорошие результаты дает применение метода эталонной кривой. Для условий пластов с перетеканием построены (или могут быть построены) эталонные кривые для основных гидродинамических схем. Авторы, которые рассматривали применение эталонных кривых, отмечают [4, 5], что при определении параметров по одной наблюдательной скважине очень трудно выбрать эталонную кривую, которая надёжно соответствовала точкам графика. Во многих случаях, которые зависят от длительности откачки, качества наблюдений и расстояния до наблюдательной скважины, выбрать необходимую кривую и применять метод эталонных кривых практически невозможно. Обычно в литературе содержатся рекомендации о целесообразности предварительного использования временных и площадных графиков. Результаты обработки этих графиков позволяют, опираясь на значения водопроводимости или отношения r/B, выбрать эталонную кривую. Следует отметить, что в условиях неоднородного пласта применение площадных графиков приводит к неверным результатам, поэтому во многих случаях применение метода эталонных кривых нецелесообразно. Практически основным методом определения параметров в условиях перетекания является интерпретация графиков временного прослеживания понижения.

При планировании и проведении откачек необходимо представлять, что достоверные данные можно получить только по наблюдательным скважинам, которые расположены относительно близко от центральной (опытной) скважины. Хотя бы одна наблюдательная скважина должна попадать в интервал 0,1 B. Результаты наблюдений по этой скважине позволяют использовать наиболее простые методы обработки. Данные скважин, расположенных на расстоянии больше, чем значение параметра B, практически не поддаются интерпретации. Удовлетворительные ре-

зультаты можно получить по скважинам, которые располагаются в пределах от 0,1 В до 0,5 В. В этих случаях применима методика обработки, предложенная Хантушем (по точкам перегиба). Желательно иметь этажные пьезометры, т.е. наблюдательные скважины, вскрывающие верхний водоносный горизонт. Данные по этим скважинам позволяют практически однозначно выявить этап «ложной стабилизации» и развитие процесса перетекания.

Выводы.

1. Методика обработки данных откачек, проведенных в пластах с перетеканием, имеет существенные отличия от методики обработки откачек в безграничных пластах. Игнорирование этих особенностей приводит к существенным ошибкам в определении гидродинамических параметров и неверной оценке общей гидродинамической ситуации.

2. При интерпретации данных откачек следует опираться на графоаналитические методы обработки временных графиков прослеживания понижения. Использование эталонных кривых в большинстве случаев не дает хороших результатов. Применение графиков площадного прослеживания понижения обычно приводит к существенным ошибкам.

3. При планировании и проведении откачек необходимо учитывать, что качество получаемой информации зависит от расположения наблюдательной скважины относительно центральной. Наиболее надежные результаты могут быть получены по наблюдательным скважинам, которые располагаются относительно близко от центральной (опытной) скважины.

Список литературы

1. Тагильцев, В. С. Гидродинамические особенности разведки и эксплуатации водозаборов в нефтегазодобывающих районах Западной Сибири / В. С. Тагильцев, С. Н. Тагильцев // Подземная гидросфера : мат-лы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России. – Иркутск : Изд-во ИрГТУ, 2006. – С. 298 – 301.

2. Тагильцев, С. Н. Особенности и недостатки оценки эксплуатационных запасов пресных подземных вод на территории Западной Сибири / С. Н. Тагильцев, В. С. Тагильцев, А. Е. Лукьянов // Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии : мат-лы международ. научно-практ. конф. – Моск. обл., пос. Зелёный, 2011. – Т. 2. – С. 25–38.

3. Тагильцев, С. Н. Определение гидродинамических параметров слоистых неоднородных пластов на территории Западной Сибири / С. Н. Тагильцев, В. С. Тагильцев, А. Е. Лукьянов // Подземная гидросфера : мат-лы Всерос. совещ. по подземным водам востока России. – Иркутск : Изд-во ООО «Географ», 2012. – С. 391–396.

4. Моркос, Н. З. Методика определения гидрогеологических параметров двухслойной среды по данным опытных работ / Н. З. Моркос, Д. А. Манукьян // Разведка и охрана недр. – 1968. – № 10. – С. 38–43.

5. Опытно-фильтрационные работы / [под ред. В. М. Шестакова, Д. Н. Башкатова]. – М. : Недра, 1974. – 204 с.

6. Хантуш, М. С. Анализ опытных откачек из скважин в водоносных горизонтах с перетеканием / М. С. Хантуш // Вопросы гидрогеологических расчётов. – М. : Мир, 1964. – С. 27–42.

7. Шестаков, В. М. Гидрогеодинамика : учебник / В. М. Шестакова. – М. : Изд-во КДУ, 2009. – 368 с.

8. Шестаков, В. М. Методы расчётов опытных откачек в водоносных пластах с перетеканием / В. М. Шестаков [и др.]. – М. : Научный мир, 2011. – 144 с.

ПЕРСПЕКТИВЫ УТИЛИЗАЦИИ ПОПУТНО ИЗВЛЕЧЕННЫХ И СТОЧНЫХ ВОД ПРИ ОСВОЕНИИ ЮРУБЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МЕТОДАМИ ЧИСЛЕННОГО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Трифонов Н. С.[1,2]

[1] Томский политехнический университет, г. Томск; [2] Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, Томский филиал, г. Томск, Trifonovnik@mail.ru

Аннотация. Применение методики численного физико-химического моделирования гидрогеохимических процессов с помощью 3D-модели фильтрации, протекающей между нагнетательной скважиной и пластом-коллектором, позволило на количественном уровне оценить последствия закачки промышленных стоков. Установлено, что наиболее сильное техногенное изменение минералогического состава пород пласта-коллектора и его фильтрационно-емкостных свойств будет проявляться при захоронении очищенных сточных вод. Зона техногенного метасоматоза, развивающаяся в пласте-коллекторе под действием закачки сточных вод, к концу пятого года эксплуатации полигона захоронения будет составлять до 800 – 840 м.

Ключевые слова: *захоронение стоков, моделирование, подземные воды.*

Abstract. Physicochemical numerical simulation of hydrochemistry using a 3D-model of filtration between injection (disposal) well and reservoir was used to estimate the contribution of the industrial effluent injection. It is established that the highest industrial change of the mineralogical composition and porosity-permeability of reservoir will be manifested during treated effluent disposal. A zone of industrial metasomatism, evolving in reservoir due to the wastewater injection, was calculated to be up to 800-840 m by the end of fifth year of landfill operation.

Key words: *disposal of wastewater, simulation, groundwater.*

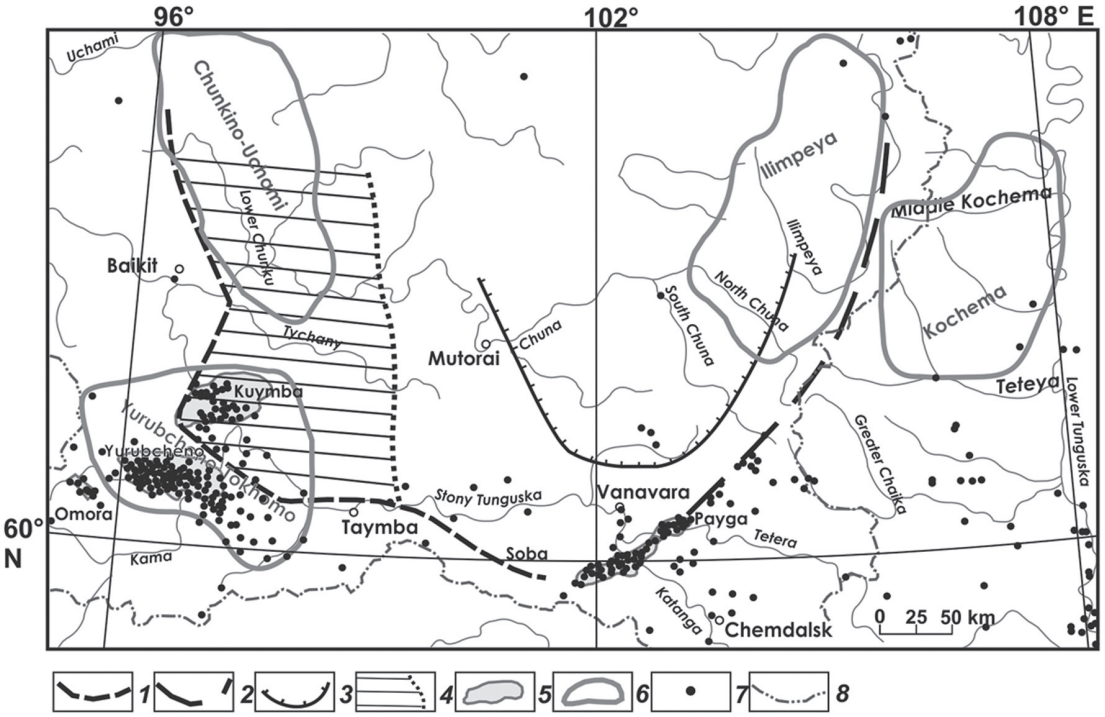
В современной обстановке практически повсеместного загрязнения окружающей среды особо актуальными при разведке и разработке месторождений нефти и газа становятся вопросы обеспечения экологической безопасности [1–6].

В связи со строительством нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» большие надежды по увеличению объемов нефте- и газодобычи связаны с Восточной Сибирью и, в частности, с группой месторождений Юрубчено-Тохомской зоны нефтегазонакопления (рисунок). Одна из главных задач, которую необходимо решить до ввода месторождений в эксплуатацию, – утилизация больших объемов промышленных стоков.

На месторождениях, разработка которых ведется уже долгое время, эта задача легко решается путем закачки накапливающихся вод в систему поддержания пластового давления (ППД), но на тех месторождениях, которые только вводят в эксплуатацию и на которых система ППД отсутствует, их утилизация превращается в серьезную проблему для недропользователя. В этой связи представляет интерес ликвидация подтоварных и сточных вод путем их подземного захоронения в глубокие поглощающие горизонты. Метод подземного захоронения промышленных стоков в поглощающие водоносные горизонты используют в целях оптимизации процесса обращения с отходами.

Для целей захоронения промышленных стоков могут использоваться глубокие водоносные горизонты или пласты-коллекторы, искусственно созданные посредством разрыва сплошности горных пород в скважинах на значительных глубинах. Особое внимание следует уделить химической и биологической совместимости закачиваемых вод с пластовыми водами и породой для прогнозирования процессов растворения/отложения солей в призабойной зоне нагнетательных скважин, влияющих на их приемистость.

Из опыта выполнения подобных исследований с уверенностью можно утверждать, что основным геохимическим процессом, сопровождающим захоронение сточных вод в соленосных горизонтах на территории Сибирской платформы, является растворение солей, масштабы которого зависят от объемов закачиваемого раствора, его состава (минерализации) и



Местоположение ЮТЗ в пределах Чуньского рифей-вендского осадочного бассейна (согласно [7]).
1 – западный борт бассейна; 2 – восточный борт бассейна; 3 – зона максимального прогибания днища бассейна; 4 – зона блокового строения; 5 – месторождения; 6 – зоны нефтегазонакопления; 7 – скважины глубокие; 8 – административная граница

продолжительности закачки. Процессы, протекающие в пласте-коллекторе, носят при этом необратимый характер, поэтому их детальное изучение должно стать первостепенным при проектировании утилизации отходов подтоварных и сточных вод.

В отношении биологической совместимости, закачка сточных вод в пласт-коллектор может способствовать развитию микробиологических процессов и, как следствие, заражению пласта аэробными и анаэробными бактериями. Пластовая вода, которая будет поступать в составе сырья при добыче нефти, содержит диоксид углерода, хлориды и другие соли, поэтому ее необходимо отнести к среде, обладающей высокой коррозионной агрессивностью. Кроме того, процессы обезвоживания нефти и очистки воды будут производиться при повышенной температуре (до 50° С), что ещё более повышает её коррозионную агрессивность. Наибольшую опасность в связи с высокой коррозийной активностью представляют сульфатвосстанавливающие, нитрофицирующие, тионовые и железобактерии. Среди разнообразных групп микроорганизмов, обнаруженных в попутных водах, содержание сульфатвосстанавливающих бактерий может достигать нескольких миллионов клеток в 1 мл воды. Оптимальные условия для жизнедеятельности этого типа бактерий обусловливают процесс восстановления сульфатов и усиление коррозии нефтепромыслового оборудования. Скорость коррозии металла может достигать 3,46 мм/г. Для защиты оборудования и коммуникаций от коррозии необходимо использовать ингибирование всей добываемой жидкости и закачиваемой в пласт воды.

Ожидаемые объемы подтоварных вод каждый год увеличиваются: 198,5, 500,4, 510,8, 538,9 и 624,6 тыс. м^3/год. Объем сточных вод, подлежащих утилизации, постоянен на весь период пробной эксплуатации и составляет 815,5 тыс. м^3/год.

Состав попутно извлеченных (подтоварных) и сточных вод приведен в табл. 1.

Для определения состава раствора, получающегося при смешении попутно извлеченных и сточных вод, использовалась функция «Смешение/Испарение» модуля «Гидрогеохимия» многоцелевого ПК HG [8]. Состав смеси, полученный при расчетах, приведен в табл. 2.

Таблица 1. Компонентный состав нагнетаемых растворов, г/дм³

Компонент	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	$(SO_4)^{2-}$	$(HCO_3)^-$	pH	М (г/дм³)	Плотн. (кг/м³)
Подтоварные воды	48,32	4	17,99	12,20	144,8	0,92	0,18	6	228,4	1159,0
Сточные воды	0,5	0,08	0,26	0,032	0,65	0,85	0,21	7	2,6	1000,1

Таблица 2. Результаты смешения разных типов вод

Год разработки	Пропорция смешения подтоварных (А) и сточных вод (В), формула солевого состава
1	Смесь (A:B= 0,1958:0,8042) 46,8 $\frac{Cl^-97{,}4(SO_4)^{2-}2{,}2(HCO_3)^-0{,}4}{Na^+51{,}3Mg^{2+}23{,}8Ca^{2+}22{,}3K^+2{,}6}$
2	Смесь (A:B= 0,3803:0,6197) 88,5 $\frac{Cl^-98{,}6(SO_4)^{2-}1{,}2(HCO_3)^-0{,}2}{Na^+51{,}2Mg^{2+}24{,}2Ca^{2+}22{,}1K^+2{,}5}$
3	Смесь (A:B= 0,3850:0,6150) 89,5 $\frac{Cl^-98{,}7(SO_4)^{2-}1{,}1(HCO_3)^-0{,}2}{Na^+51{,}2Mg^{2+}24{,}2Ca^{2+}22{,}1K^+2{,}5}$
4	Смесь (A:B= 0,3979:0,6021) 92,4 $\frac{Cl^-98{,}7(SO_4)^{2-}1{,}1(HCO_3)^-0{,}2}{Na^+51{,}2Mg^{2+}24{,}2Ca^{2+}22{,}0K^+2{,}6}$
5	Смесь (A:B= 0,4337:0,5663) 100,5 $\frac{Cl^-98{,}8(SO_4)^{2-}1{,}8(HCO_3)^-0{,}2}{Na^+51{,}2Mg^{2+}24{,}2Ca^{2+}22{,}0K^+2{,}6}$

На основе анализа геолого-гидрогеологической информации в качестве объекта, предполагаемого под закачку, был выбран осинский горизонт ($Є_1$ os) [9]. Результаты аналитических расчетов возможности утилизации промышленных стоков указали на то, что захоронение попутноизвлеченных и сточных вод можно реализовать без гидроразрыва пласта, используя одну нагнетательную скважину. Для утилизации смеси подтоварных и сточных вод согласно расчетам необходимы уже две нагнетательные скважины на расстоянии 160 м друг от друга.

Убедившись в принципиальной возможности закачки всех типов стоков, на следующем этапе исследований была создана 3D-модель полигона захоронения, и проведено численное физико-химическое моделирование, имитирующее закачку этих растворов в продуктивный пласт. Во всех случаях модель была представлена в виде одного изолированного сверху и снизу напорного пласта мощностью 9 м. Общие размеры модели приняты равными X×Y×Z = 2000×2000×19 м или, 100×100×3 = 30 000 блоков (при размерах расчетных блоков в плане 20×20 м, а в разрезе от 5 до 9 м). В модель включены базовые ионы (n = 10): H^+, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, OH^-, Cl^-, $(SO_4)^{2-}$, $(HCO_3)^-$, H_2O, ассоциаты (n = 2): $(CO_3)^2$, CO_2 и минералы (n = 5): галит, кальцит, ангидрит, доломит и магнезит. Подземные рассолы осинского горизонта имеют хлоридный кальциево-натриевый состав и величину общей минерализации 355,7 г/дм³ (Na^+ – 73,48 г/дм³; Ca^{2+} – 6069 г/дм³; Mg^{2+} – 0,14 г/дм³; Cl^- – 220,59 г/дм³; $(SO_4)^{2-}$ – 0,33 г/дм³; $(HCO_3)^-$ – 0,49 г/дм³; pH – 3,9; плотность – 1034,3 кг/м³).

Исходя из имеющихся материалов, литературных данных и общих представлений о геологическом строении и литологии изучаемого района, в расчетах использовался состав пород, примерно отвечающий среднему по основным породообразующим минералам: галит (NaCl) 1%, ангидрит ($CaSO_4$) 5%, кальцит ($CaCO_3$) 10%, доломит ($CaMg(CO_3)_2$) 84%.

Закачка больших объемов слабоминерализованных сточных вод в отложения осинского горизонта нижнего кембрия приводит к растворению больших объемов галита. Уже в первый месяц работы нагнетательной скважины галит полностью растворяется во всех блоках модели в радиусе 60 – 70 м от скважины. Растворение галита происходит на протяжении всего предполагаемого срока эксплуатации полигона захоронения, и к концу пятого года радиус зоны

полного растворения галита составляет 820 – 840 м. Менее интенсивно, но, тем не менее, в значительных количествах происходит растворение ангидрита. К концу пятого года закачки в радиусе 60 м от нагнетательной скважины растворяется до 7,56 кг ангидрита, что составляет 0,28% от объема 1 км^3 породы.

В отличие от галита и ангидрита, минералы карбонатной группы при закачке сточных вод высаживаются из раствора, при этом главная роль во вторичном минералообразовании принадлежит кальциту. За пять лет утилизации сточных вод в отложениях осинского горизонта в блоке, в котором расположена нагнетательная скважина, и в соседних блоках образуется до 34,52 кг и 33,41 кг соответственно вторичного (техногенного) кальцита. Вторичный доломит начинает образовываться только через год после начала работы полигона захоронения, а масштабы его образования значительно меньше, чем у кальцита. В конце пятого года содержание доломита в призабойной зоне пласта радиусом 40 м увеличивается на 200 – 300 г в каждом кубометре породы.

Результатом техногенного метасоматоза, развивающегося в пласте-коллекторе под действием закачки сточных вод, является изменение фильтрационно-емкостных свойств коллектора. Растворение галита приводит к значительному увеличению открытой пористости (на 1,135%) в радиусе 800 – 840 м от нагнетательной скважины, дополнительно к этому на 0,244% увеличивает пористость растворение ангидрита в радиусе 100 – 120 м, а осаждение кальцита и доломита в призабойной зоне ее уменьшают на 0,103%. В соответствии с изменением открытой пористости на определенном расстоянии от нагнетательной скважины изменяется и значение коэффициента фильтрации.

Утилизация смеси подтоварных и сточных вод. Анализ результатов, полученных при моделировании закачки, свидетельствует о том, что характер взаимодействия смеси закачиваемых вод с пластовыми водами и породой идентичен предыдущему (растворяются галит и ангидрит, высаживаются кальцит и доломит) и отличается лишь степенью воздействия этой смеси на породу коллектора. Минерализация утилизируемой смеси меняется от 46,8 г/л в первом году до 100,5 г/л на пятом году работы полигона захоронения, за счет этого смесь закачиваемых вод становится менее агрессивной по отношению к отложениям осинского горизонта и быстрее достигает равновесия с ними.

Максимальное расстояние от каждой нагнетательной скважины, на котором к концу срока эксплуатации полигона захоронения растворяется весь галит, составляет 330 – 340 м, т.е. в плане область полного отсутствия галита вытянута по линии нагнетательных скважин в форме эллипса и имеет размеры 820×330 м. Ангидрита через пять лет утилизации смеси подтоварных и сточных вод в призабойной зоне растворяется до 7,5 кг из каждого кубометра горной породы. В плане область растворения ангидрита также вытянута вдоль линии нагнетательных скважин и имеет размеры 640×240 м. Относительно кальцита смесь закачиваемых вод сначала ведет себя агрессивно, растворяя его (до 370 г в призабойной зоне), но быстро насыщаясь уже в соседнем блоке, т.е. на расстоянии 20 м, становится перенасыщенной и начинает в незначительных количествах (порядка 100 – 200 г) его высаживать. Доломит высаживается только в блоках, в которые производится закачка, и к концу пятого года количество новообразованного доломита достигает 5 кг.

В соответствии с изменениями, происходящими в составе водовмещающих пород, происходит изменение их ФЕС; постепенно увеличиваются открытая пористость и коэффициент фильтрации. В области полного растворения галита открытая пористость увеличивается более чем на 1%, и только в блоках, в которых находятся нагнетательные скважины, она снижается за счет высаживания здесь вторичного доломита. В целом же при утилизации смеси подтоварных и сточных вод в отложения осинского горизонта фильтрационные свойства коллектора улучшаются.

Утилизация подтоварных вод. Интересными оказались результаты изменения содержания соли в составе водовмещающего горизонта, полученные в ходе моделирования. В околоскважинной зоне галита растворяется меньше, что объясняется малым временем

взаимодействия закачиваемых подтоварных вод с вмещающей породой из-за больших объемов закачиваемого раствора и, как следствие, высокой скорости его движения. По мере удаления от нагнетательной скважины раствор «растекается» по коллектору, скорость его движения снижается, а время взаимодействия с породой, наоборот, увеличивается, и начинается процесс интенсивного растворения солей на расстоянии 110 – 130 м от нагнетательной скважины. Второй по растворимости минерал ангидрит в данном случае практически не растворяется и поэтому не играет какой-либо существенной роли в изменении фильтрационных свойств водовмещающего горизонта. Помимо растворения солей, в пласте происходят и обратные процессы, а именно – осаждение вторичного доломита, вызванное высоким содержанием иона Mg^{2+} в попутно извлеченных водах (12,2 г/дм^3) по сравнению с пластовыми водами осинского горизонта (143,2 мг/дм^3) и дополнительным привносом ионов Ca^{2+}.

Осаждение в призабойной зоне пласта вторичного доломита в количестве 1,8 кг на каждый кубометр вмещающей породы (на конец 5-го года закачки) влияет на уменьшение открытой пористости и, как следствие, коэффициента фильтрации. Менее значительное увеличение коэффициента фильтрации в околоскважинной зоне связано с более медленной деградацией здесь вмещающих пород. Ухудшение фильтрационных свойств непосредственно в нагнетаемом блоке объясняется вторичным образованием доломита.

Таким образом, при закачке подтоварных вод в породы осинского горизонта нижнего кембрия на расстоянии 140 м от нагнетательной скважины формируется область, где значения коэффициента фильтрации превышают исходные. Ширина этой области к концу пятого года закачки составляет ≈ 240 – 260 м.

Выводы Использование водоносных горизонтов надсолевой гидрогеологической формации в качестве коллекторов для закачки в них подтоварных и сточных вод нежелательно ввиду опасности загрязнения вод питьевого качества. С отложениями рифея и венда связана основная продуктивность Камовского нефтегазоносного района, поэтому закачка промышленных стоков в горизонты подсолевой гидрогеологической формации тоже может иметь негативные последствия, связанные с нарушением гидродинамических условий залежей нефти и газа. Детальный анализ геолого-гидрогеологических условий ЮТЗ показал, что наибольший интерес при решении вопроса по утилизации больших объемов подтоварных и сточных вод представляет осинский горизонт нижнего кембрия. Его коллекторы обладают удовлетворительными фильтрационно-емкостными свойствами.

Применение методики численного моделирования гидрогеохимических процессов с помощью 3D-модели фильтрации, протекающей между нагнетательной скважиной и пластом-коллектором, позволило на количественном уровне оценить последствия закачки промышленных стоков. Установлено, что наибольшее последствие для пласта-коллектора будет иметь захоронение очищенных сточных вод, а наименьшее – попутно извлеченных (подтоварных) вод. При этом, в первом случае, зона, в которой наблюдается техногенное изменение минералогического состава пород коллектора и его фильтрационных свойств, составляет до 800 – 840 м, а в последнем – до 380 – 400 м.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-05-01075, 14-05-00868).

Список литературы

1. Букаты, М. Б. Гидрогеологическое строение западной части Сибирской платформы (в связи с поисками, разведкой и разработкой месторождений нефти и газа) / М. Б. Букаты // Геология и геофизика. – 2009. – Т. 50, № 11. – С. 1201–1217.

2. Букаты, М. Б. Моделирование геомиграции. Возможности практического решения гидрогеохимических задач. Проблемы качества численных моделей системы вода–порода / М. Б. Буаты ; [гл. ред. С. Л. Шварцев] // Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода – порода. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2005. – Т. 1. – С. 243–332.

3. Гришагин, А. В. Геолого-гидрогеологические особенности закачки сточных вод в глубокие поглощающие горизонты на территории Самарской области / А. В. Гришагин, Л. А. Акифьева, Г. И. Долганова [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2010. – № 6. – С. 48–51.

4. Мельников, Н. В. Перспективы нефтегазоносности Чуньского рифей-вендского осадочного бассейна на западе Сибирской платформы / Н. В. Мельников, Ю. А. Филипцов, В. И. Вальчак [и др.] // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 3. – С. 235–243.

5. Севастьянов, О. М. Геолого-гидрогеологические условия подземного захоронения промстоков нефтяной и газовой промышленности России / О. М. Севастьянов, Е. Е. Захарова // Актуальные проблемы нефтегазовой геологии : сб. матер. Междунар. научно-практ. конф. – СПб. : ВНИГРИ, 2007. – С. 380–388.

6. Agwa, A. Fate of drilling waste discharges and ecological risk assessment in the Egyptian Red Sea / A. Agwa, H. Leheta, A. Salem [et al.] // An aquivalence-based fuzzy analysis Stochastic Environmental Research and Risk Assessment 27. – 2013. – P. 169–181.

7. Brower, R. D. Evaluation of underground injection of industrial waste in Illinois Final Report ENR Contracts AD-94 and UI-8501 (Champaign Illinois: Illinois State Geological Survey) / R. D. Brower, A. P. Visocky, I. G. Krapac. [et al.]. – 1989.

8. Hayes, T. Overview of emerging produced water treatment technologies / T. Hayes and D. Arthur // The 11th Annual International Petroleum Environmental Conference (Albuquerque). – 2004.

9. Warner, D. L. Industrial Wastewater-Injection Wells in the USA / D. L. Warner, D. H. Orcutt // Status of Use and Regulation Underground waste management and Artificial Recharge. – 1973. – P. 687–697.

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ В СЕЙСМОАКТИВНЫХ РАЙОНАХ КЫРГЫЗСТАНА И АЛМАТИНСКОМ ПРОГНОСТИЧЕСКОМ ПОЛИГОНЕ (АПП) КАЗАХСТАНА

Тукешева Г. Е.[1], Гребенникова В. В.[2], Кендирбаева Дж. Ж.[2]

[1] Институт сейсмологии МОН РК, Казахстан, г. Алматы, tgulziza@mail.ru;

[2] Институт сейсмологии НАН КР, Кыргызстан, г. Бишкек, grvalentina@mail.ru

Аннотация. В настоящей статье представлены результаты гидрогеологического мониторинга на территории Кыргызстана и Южного Казахстана, в периоды подготовки и свершения сильных сейсмических событий, произошедших в 2013 – 2014 гг.

Ключевые слова: *прогноз, предвестники, подземные воды, динамика, полигон.*

Abstrakt. This article presents the results of hydrogeological monitoring in Kyrgyzstan and southern Kazakhstan, during the preparation and accomplishment of strong seismic events occurred in 2013 – 2014 years.

Key words: *forecast, herald, groundwater, dynamics, polygon.*

Сведения о гидрогеодинамических (ГГД) и гидрогеохимических (ГГХ) параметрах для прогноза сильных землетрясений приводятся во многих работах [1–7], согласно которым в этих полях содержится богатая информация о процессах, происходящих в земной коре. Выявлено, что динамика их перестройки в период подготовки и после свершения землетрясений определяется характером геодинамического развития структур. Например, на Северном Кавказе коллизионным, в Байкальском регионе – рифтовым, на Камчатке и Курильских островах – субдукционным режимом, сформировавшим неоднородности в геологическом строении и гидрогеологических условиях, а также проявления современных движений различной интенсивности.

В этом плане многолетними наблюдениями за подземными водами, циркулирующими на глубинах от 120 до 1500 м, установлено, что ход временных ГГД и ГГХ рядов изменчив и по Р-Т условиям в водоносных горизонтах выделены режимообразующие факторы: фазовые

различия лунно-солнечных приливов и сезонность источника питания, техническая регулировка режима эксплуатации скважин и активизация сейсмичности [5]. Режимообразующие факторы затрудняют надежно прогнозировать сильные землетрясения, несмотря на выявленную согласованность с ними не только изменения гидродинамических условий, но и содержаний газов, особенно, гелия, углерода и радона, а также изотопов некоторых элементов.

Как показывают данные гидрогеохимического опробования, полученные в процессе бурения глубоких скважин на нефть в Северном Тянь-Шане, по вертикали состав газов достаточно устойчив при индифферентности концентрационных уровней по отношению к типам водопунктов (источники, скважины) и стратиграфо-литологическим разностям вмещающих образований, а также к глубинам циркуляции. Например, максимальные концентрации радона зафиксированы по родникам и скважинам ТМВ «Джеты-Огуз», «Аксу» (Теплоключенка), а гелия и аргона – в источниках «Алтын-Арашан», расположенных в восточной части Терскейского гидрогеологического массива, а также «Барбулак», где они выведены ТМВ из карбоновых образований на побережье Иссык-Кульского артезианского бассейна. Это дает основание полагать о существовании их латеральной циркуляции по разломам Северного Тянь-Шаня, которые проникая в глубокие части земной коры и обладая высокими гидрогеотермическими полями, являются зонами разрядки упругих напряжений, сопровождающейся сильными землетрясениями.

Поскольку объекты наблюдений ТМВ в различных геоструктурах отличаются многообразием физико-химических показателей – сложным химическим составом, различной газонасыщенностью и неоднородными гидродинамическими характеристиками, то перед землетрясениями с $K \geq 13{,}0$ соответственно проявляется различный набор предвестниковых аномалий, отличающихся формой и длительностью проявления (рис. 1, А).

Из рис. 1, А видно, что основная сеть ГГХ и ГГД станций и объектов расположена в Северном Тянь-Шане, где произошло значительное количество сильных и разрушительных землетрясений интенсивностью от 6 до 11 баллов. В Иссык-Кульской впадине сейсмогидрогеологический мониторинг действует на базе четырех участков, из которых один – «Джеты-Огуз» – расположен в горной части, а «Кара-Ой», «Каракол» и «Каджи-Сай» – по акватории одноименного озера. Выбор местоположения каждого из них обусловлен особенностями тектоники структур, глубиной циркуляции (от 120 до 1400 – 1500 м) и литологической представленностью вмещающей среды – метаморфическими породами и терригенными образованиями, реально позволяющими сопоставить их временные ряды с интенсивностью землетрясений.

Иссык-Кульская впадина представляет собой межгорную депрессию со взбросо-сдвиговыми и надвиговыми тектоническими границами с Кунгейским и Терскейским гидрогеологическими массивами. Фундамент в западной ее части максимально приближается к поверхности земли, а на востоке – в эпицентральной зоне 8-9-балльного Сары-Камышского (1970, $K = 15{,}6$) землетрясения, его кровля залегает на глубине 10 – 15 км.

Наиболее сильным сейсмическим событием 2013 г. на территории Казахстана было 8-балльное Сары-Джазское (Кокпакское) землетрясение с $K = 14{,}7$ ($MPVA = 6{,}5$), приуроченное к зоне Предвосточно-Тескейского активного разлома северо-восточного простирания с южным падением. Плейстосейстовая область землетрясения охватывает приграничную зону Иссык-Кульской области и восточную часть плейстосейстовой области Сарыкамышского землетрясения (1970 г.). Сары-Джазское (Кокпакское) землетрясение сопровождалось как предвестниковыми, так и постсейсмическими отрицательными, положительными и знакопеременными импульсными вариациями по ряду ГГХ и ГГД показателей ТМВ Иссык-Кульского артезианского бассейна и ГГД Алматинского прогностического полигона (рис. 1, Б).

За месяц до события в 98 км от эпицентра, на ГГД скв. «Каракол», пробуренной в миоцен-плиоценовых отложениях, наблюдалось резкое понижение температуры воды, более чем на 2,5° С. В 120 км от эпицентра, на ТМВ «Джеты-Огуз» по скважинам 6 (глубина 163 м, водовмещающие породы – известняк, C_2) и 20 (глубина 520 м, водовмещающие породы –

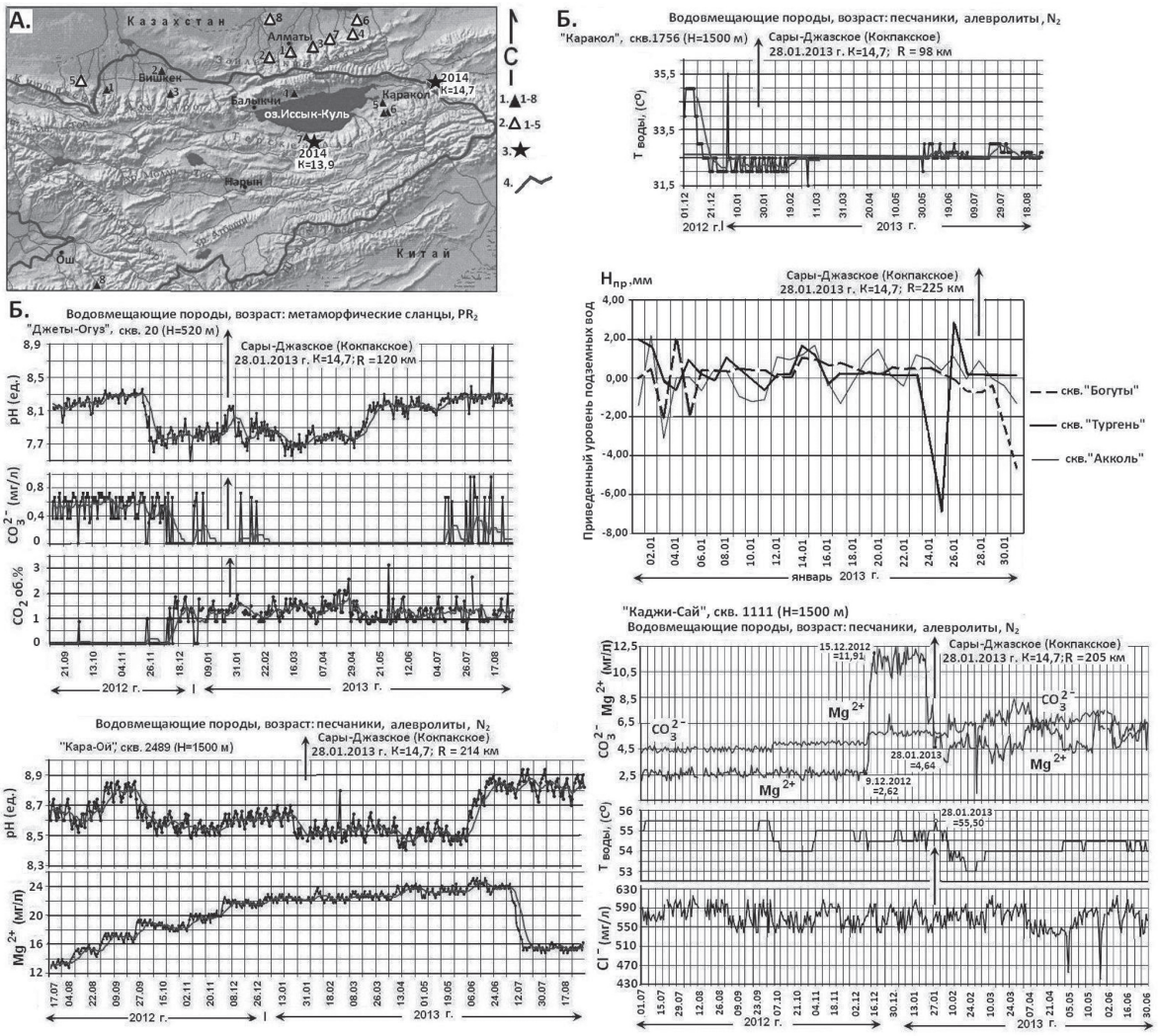


Рис. 1.

А – схема сейсмогидрогеологического мониторинга Кыргызской Республики и Республики Казахстан. 1. Сеть ИС НАН КР: 1 – Эркин-Сай, 2 – Бишкек, 3 – Аламедин, 4 – Кара-Ой, 5 – Каракол, 6 – Джети-Огуз, 7 – Каджи-Сай, 8 – Сопу-Коргон; 2. Сеть (АПП) Казахстана: 1 – Алма-Арасан, 2 – Нижняя-Каменка, 3 – Тау-Тургень, 4 – Курам, 5 – Мерке, 6 – Богуты, 7 – Тургень, 8 – Акколь; 3. Эпицентры землетрясений, произошедших в 2013 – 2014 гг. на территории Казахстана и Кыргызстана; 4. Государственная граница Кыргызстана. Б – вариации значений pH, CO_3^{-2}, CO^-_2, Mg^{+2}, Cl^-, T^o C воды и уровня воды перед Сары-Джазским (Кокпакским) землетрясением 2013 г., К = 14,7

метаморфические сланцы, PR_2), наблюдался противофазный характер дегазации CO^-_2 в течение 2012 г. За два месяца до землетрясения в воде скв. 20 отмечались синхронные изменения pH, CO_3^{-2} и CO^-_2.

Предвестниковые аномалии наблюдались и на более удаленных ГГХ и ГГД станциях и объектах: в 205 км от эпицентра в воде скв. 1111 «Каджи-Сай» глубиной 1500 м отмечались значительные изменения Mg^{+2}; в 214 км – в воде скв. 2489 «Кара-Ой» глубиной 1500 м – вариации значений pH и Mg^{+2}.

На Алматинском прогностическом полигоне (АПП) действуют 22 станции ГГХ и ГГД наблюдений, где с 1980 г. непрерывно осуществляется многопараметрический комплексный гидрогеохимический мониторинг за более чем 25 параметрами подземных вод и приземной атмосферы. На рис. 2, В-А и 2, В-Б показаны Алматинский прогностический полигон и схематическое расположение станции.

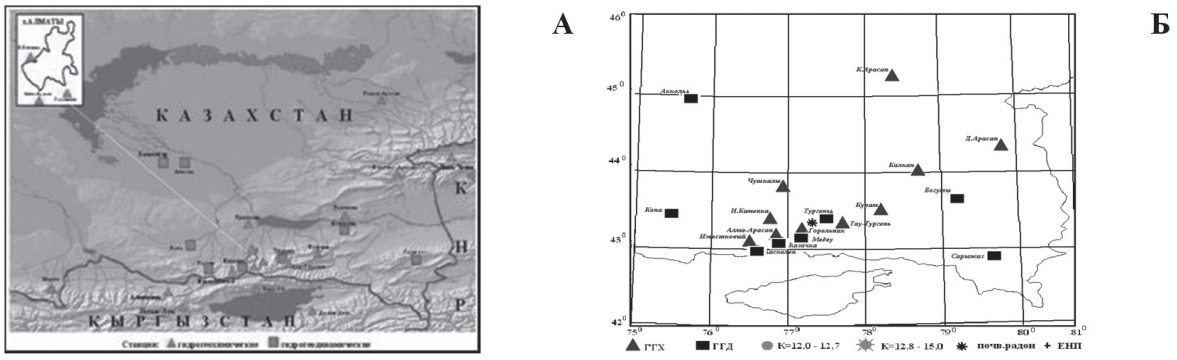


Рис. 2.
А – Алматинский прогностический полигон Казахстан; Б – схематическое расположение АПП Казахстан

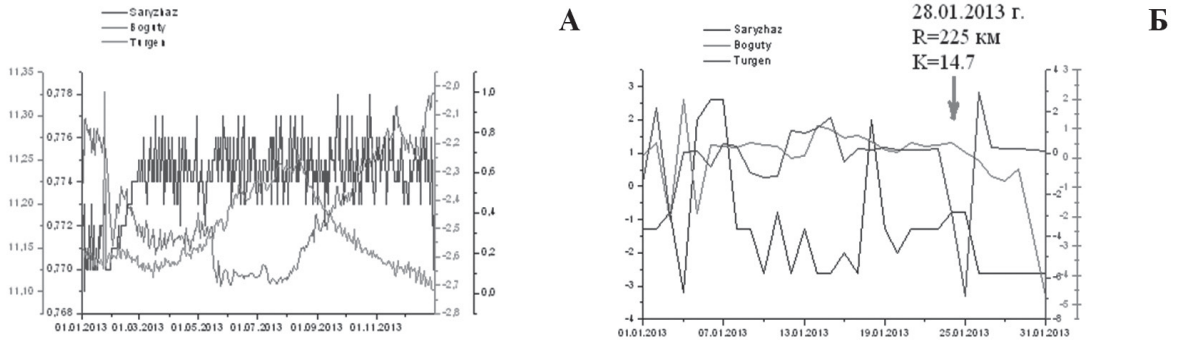


Рис. 3.
А – исходный ряд уровня подземных вод; Б – обработанный по программе – приведенный уровень подземных вод ($H_{пр}$)

28.01.2013 г. на расстоянии 225 км от города Алматы с К = 14,7 – на ГГД станциях Сарыджаз (R = 79 км), Богуты (R = 162 км) и Тургень (R = 177 км) АПП Казахстана отмечались предвестниковые изменения по уровню подземных вод. Перед применением программы необходимо определить величину запаздывания изменения уровня подземных вод от атмосферного давления ($P_{атм}$). Это делается путем расчета взаимно корреляционной функции (ВКФ) временных рядов уровня ПВ и $P_{атм}$. Для повышения точности расчета величины Dt (величина лага ВКФ, при котором коэффициент корреляции максимальный) необходимо исключить длиннопериодные тренды во временных рядах h и P использованием высокочастотной фильтрации с окном 31 точка. На рис. 2, Г показан (А) исходный ряд по станциям Сарыжаз, Богуты и Тургень, а также обработанный ряд по программе – приведенный уровень подземных вод.

14 ноября 2014 г. на территории Южного Прииссыккулья в Тонском сейсмоактивном блоке (центральная часть Джумгало-Терскейской сейсмогенерирующей зоны Северного Тянь-Шаня) произошло 7-балльное Каджисайское землетрясение с К = 13,9 (рис. 1, А; 2, А). Эпицентр землетрясения расположен на юго-западном склоне гор Тегерек в 2,0 км к юго-востоку от пос. Каджи-Сай. Ощутимые сотрясения охватили значительную площадь Северного Кыргызстана: от города Каракол на востоке до города Бишкек на западе; от города Нарын на юге, до города Алматы на севере.

В связи с отсутствием макросейсмических данных по этому землетрясению была построена экспериментально-теоретическая карта изосейст на базе макросейсмического массива данных Каджисайских и Барскаунских землетрясений, произошедших с 1965 по 1983 гг. в Тонском сейсмоактивном блоке (рис. 2, Б). Перед землетрясением, в 5 км от эпицентра на ТМВ «Каджи-Сай» по скв. 1111, наблюдались среднесрочные аномальные изменения в форме бухт по Cl^- и Mg^{+2} (рис. 2, В).

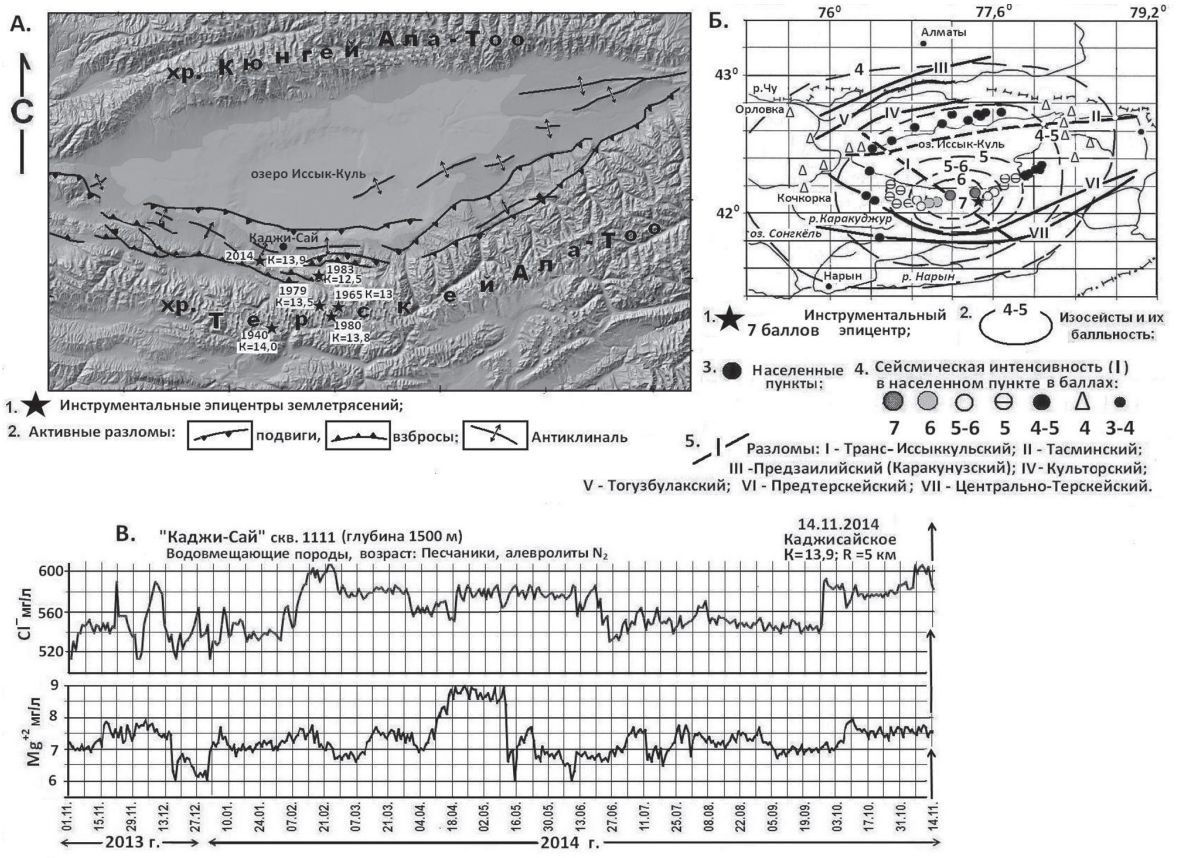


Рис. 4.

А – карта активных структур Южного Прииссыкулья [8] и эпицентров Каджисайских и центральная часть Джумгало-Терскейской сейсмогенерирующей зоны Северного Тянь-Шаня [9]. Б – экспериментально-теоретическая карта изосейст Каджисайского землетрясения 2014 г. (Mpv = 6,1; M_{LH} = 5,5; K = 13,9; H = 19; I_o = 7), инструментальный эпицентр (*) j = 42,12° N, l = 77,22°E). Построена В. В. Гребенниковой на основе уравнения макросейсмического поля [10] и работы [11]). В – вариации значений pH, CO_3^{-2}, Cl^-, Mg^{+2} и T^o C воды по скв. 1111 «Каджи-Сай» перед Каджисайским землетрясением 14.11.2014 г. K = 13,9

Работа выполнена при финансовой поддержке МНТЦ (грант КР-2011).

Список литературы

1. Киссин, И. Г. Гидрогеологический мониторинг земной коры / И. Г. Кисин // Физика Земли. – 1993. – № 8. – С. 59–69.

2. Гидрогеодинамические предвестники землетрясений. – М. : Наука, 1984. – С. 50–64.

3. Оролбаев, Э. Э. Гидрогеологическая скважина как объемный деформограф / Э. Э. Оролбаев // Мат-лы IX конф. молодых ученых. – Фрунзе, 1988. – С. 138–139.

4. Абдуллаев, А. У. О связи химического состава самоизливающихся подземных вод с режимом эксплуатации скважин в сейсмоактивных районах / А. У. Абдуллаев, Ю. А. Кайев, В. В. Гребенникова // Inland Earthquake. – Urumqi. – 1991. – Vol. 18, № 4.

5. Тукешова, Г. Е. Соотношение между температурой воздуха и температурой воды самоизливающихся скважин на Алматинском прогностическом полигоне / Г. Е. Тукешова // ҚР ҰҒА–ның Хабарлары. Геологиялық сериясы. – Алматы. – 2010. – № 4. – С. 82–86.

6. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46, № 11. – С. 1176–1190.

7. Кендирбаева, Дж. Ж. Основные результаты гидрогеологических исследований для прогноза сильных землетрясений на территории Северного Тянь-Шаня / Дж. Ж. Кендирбаева, В. В. Гребенникова // Вестник ИС НАН КР. – 2013. – № 2. – С. 33–43.

8. Burgette, R. Constraining fault geometry and kinematics with terraces: southeastern Issyk-Kul basin, Kyrgyz Tien Shan / R. Burgette, R. Weldon, K. Ye. Abdrakhmatov [et al.] // Geological Society of America Abstracts with Programs. – 2005. – Vol. 37, № 7. – P. 477.

9. Карта сейсмического районирования территории Кыргызской Республики масштаба 1: 1 000 000 / К. Е. Абдрахматов, К. Д. Джанузаков, А. Г. Фролова, В. Н. Погребной. – Бишкек, 2011.

10. Шебалин, Н. В. Об оценке сейсмической интенсивности / Н. В. Шебалин // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. – М. : Наука, 1975. – С. 87–109.

11. Чедия, О. К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня / О. К. Чедия. – Фрунзе : Изд-во Илим, 1986. – С. 196–197.

ИЗУЧЕННОСТЬ КАЧЕСТВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАБОТ ПО ОЦЕНКЕ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ВЕДЕНИЮ ОБЪЕКТНОГО МОНИТОРИНГА НА ДЕЙСТВУЮЩИХ ВОДОЗАБОРАХ ОАО «РЖД» В ПРЕДЕЛАХ ТЕРРИТОРИИ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

Фадина Т. А.

МП ЭМР «ТЦ«Эвенкиягеомониторинг», г. Красноярск, evgm@evgm.ru

Аннотация. Приводится обобщение результатов изучения качества подземных вод в соответствии с требованиями СанПиН 2.1.4.1074-01 по действующим водозаборам ОАО «РЖД», расположенным на территории Красноярского края.

Дана характеристика качества подземных вод водоносных комплексов в пределах артезианских бассейнов и гидрогеологических складчатых областях в сезонном разрезе. Оценено изменение гидрохимической обстановки при длительной эксплуатации водозаборов.

Ключевые слова: *подземные воды, месторождения, Красноярский край.*

Abstract. Summarization of groundwater quality research results in accordance with the requirements of SanPiN 2.1.4.1074-01 from current water intakes JSC «Russian Railways», located in the Krasnoyarsk area.

The article characterizes groundwater aquifer systems' quality within the artesian basins and hydrogeological folded regions in the seasonal section. The article goes on to estimate the hydrochemical condition change in continuous operation intakes

Key words: *groundwater, deposits, Krasnoyarsk area.*

В период с 2010 по 2013 гг. Муниципальное предприятие «Территориальный центр «Эвенкиягеомониторинг» по заказу ОАО «РЖД» выполнило работы по подсчету запасов подземных вод действующих водозаборов в пределах 13 административных районов Красноярского края.

Участки работ располагались в пределах гидрогеологических структур 2-го порядка: Иртыш-Обский, Ангаро-Ленский АБ, Восточно-Саянская, Сангиленская и Саяно-Тувинская ГСО [1] (рис. 1).

Водозаборы сооружались в различное время, с конца 50-х годов прошлого столетия, и предназначались для хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения предприятий железнодорожных станций и населения пристанционных поселков. Следует отметить, что, несмотря на длительный период эксплуатации большинства водозаборов, техническое состояние их удовлетворительное.

По итогам работ утверждены запасы по 60 участкам, из них 2 отнесены к месторождениям подземных вод. Суммарно утвержденные запасы составили 19 154 тыс. м^3/сут. До 100 м^3/сут запасы утверждены по 38 участкам (734 м^3/сут); от 100 до 500 м^3/сут – 15 участков (3010 м^3/сут); свыше 500 м^3/сут – 7 участков с суммарными запасами 15 410 м^3/сут [2] (рис. 2). Глубина изучения подземных вод – от 50 до 450 – 650 м. По 48 участкам запасы

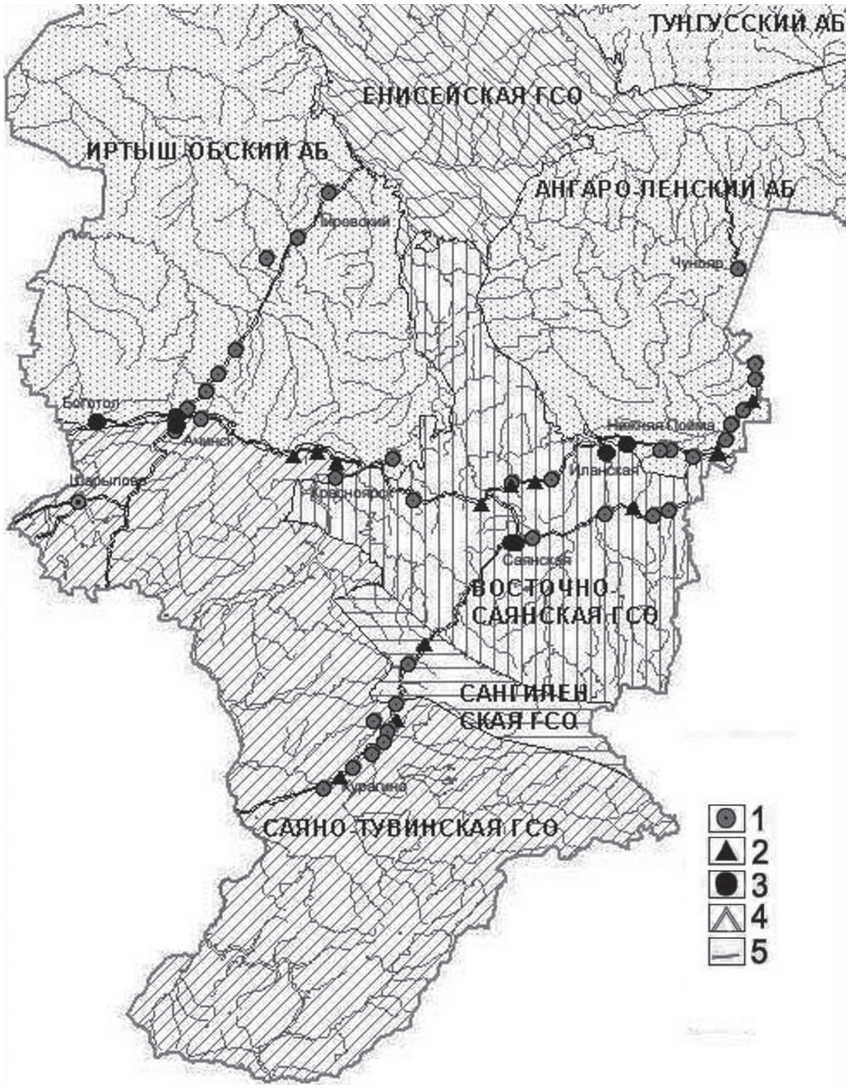


Рис. 1. Участки с утвержденными запасами подземных вод по водозаборам ОАО «РЖД» на территории Красноярского края.

Запасы подземных вод в месторождениях: 1 – до 100 м³/сут; 2 – 100 – 500 м³/сут; 3 – свыше 500 м³/сут; 4 – железнодорожная линия; 5 – границы гидрогеологических структур

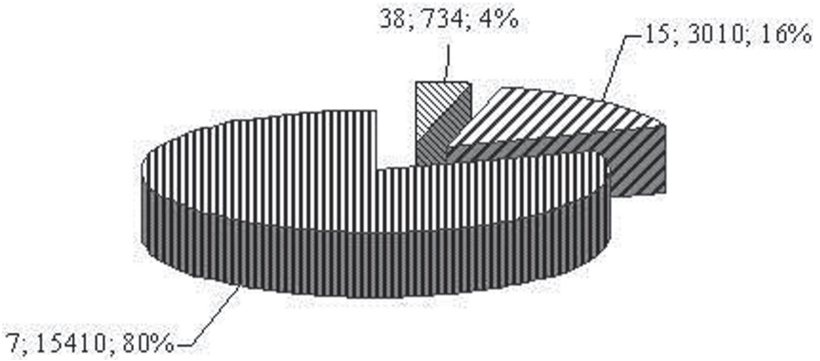


Рис. 2. Распределение участков с запасами подземных вод.

Первое число – количество участков по категориям: 38 – до 100 м³/сут; 15 – 100 – 500 м³/сут, 7 – свыше 500 м³/сут; второе – утвержденные суммарные запасы и доля (%)

утверждены для питьевого и технологического водоснабжения, по 12 участкам из-за несоответствия качества воды, отсутствия водоподготовки и невозможности организовать зону строгого режима запасы – для технологического водоснабжения.

По целевому назначению большее количество запасов принято для хозяйственно-питьевого и технологического водоснабжения (таблица).

Количество участков с утвержденными запасами по целевому назначению в пределах гидрогеологических структур (первая цифра – для ХПВ, вторая – для ПТВ)

Возраст ВК	Гидрогеологическая структура II порядка			
	Иртыш-Обский АБ	Ангаро-Ленский АБ	Восточно-Саянская ГСО	Саяно-Тувинская ГСО
Q_{IV}	–	–	1/–	–/1
K	5/1	–	–	
J	1/5	6/2	5/–	
C1	–	6/–	1/–	
C+Q	–	–	1/–	
C+J	–	–	3/–	
D+Q	–	–	–	1/–
D+J	–	–	1/–	–
D	–	–	3/1	1/1
O	–	–/1	–	2/–
Є	–	–	–	4/–
PR-R	–	–	2/–	6/–
Всего	12	15	17	16

В результате мониторинга объектов было изучено сезонное изменение качества подземных вод четвертичных, меловых, юрских, каменноугольных, девонских, ордовикских, кембрийских, протерозойских отложений по 54 компонентам; выполнен анализ полученных данных на соответствие качества воды требованиям СанПиН 2.1.4.1074-01 для централизованного питьевого водоснабжения [3].

Исследования показали, что несоответствие качества подземных вод нормативным требованиям в большей степени характерно для участков, расположенных в пределах Западно-Сибирского и Ангаро-Ленского АБ, носит природный характер.

Для подземных вод мелового и юрского комплекса по 13 изученным участкам в пределах Западно-Сибирского артезианского бассейна было отмечено несоответствие качества по мутности, содержанию железа и марганца.

В подземных водах нижне- и среднеюрских отложений макаровской и иланской свит превышение кремния – до 1,1 – 1,5 ПДК. На ряде водозаборов после применения водоподготовки вода соответствует нормативным требованиям, что позволило утвердить запасы для питьевого водоснабжения.

По водозаборам, расположенным в юго-восточной части **Ангаро-Ленского** бассейна изучение качества подземных вод юрских, нижнекаменноугольных отложений в столь большом объеме выполнено впервые, так как на территории некоторых листов государственные гидрогеологические съемки масштаба 1:200 000 не проводились. По химическому составу подземные воды юрских, нижнекаменноугольных отложений пресные, гидрокарбонатные от кальциевых до кальциево-магниевых, с минерализацией до 1 г/дм^3. Особенности химического состава подземных вод, а именно: повышенные значения цветности, мутности, железа общего, – имеют природное происхождение. В отобранных пробах воды наблюдаются повышенные содержания (по отношению к требованиям СанПиН) по железу (до 8,7 ПДК), марганцу (7,9 ПДК), цветности (до 2,5 ПДК), мутности (до 10 ПДК).

Интересно отметить, что для данной территории практически повсеместно наблюдается превышение норматива СанПиН 2.1.4.1074-01 содержания бария (средние значения по водозаборам от 0,3 до 0,72 мг/дм^3 при норме 0,1 мг/дм^3), что связано с низким содержанием сульфатов в воде (от <2 до 4 мг/дм^3). Подземные воды источников по содержанию бария соответствуют гигиеническим нормативам, так как принятые гигиеническими нормативами (ГН 2.2.5.1315-03) предельно допустимые концентрации бария (0,7 мг/дм^3) соответствуют нормам Всемирной организации здравоохранения.

В пределах **Саяно-Тувинской и Восточно-Саянской ГСО** изучено качество подземных вод четвертичного, юрского, каменноугольного, девонского, кембрийского водоносных комплексов, водоносных зон рифея и протерозоя на 33 участках. Качество подземных вод в единичных случаях не соответствует нормативу по жесткости и железу. На отдельных участках, вблизи селитебной застройки, наблюдается превышение норматива по нитратам.

Общие выводы по всем гидрогеологическим структурам.

– Изучение макрокомпонентного состава подземных вод показало, что изменения гидрохимической обстановки в процессе эксплуатации не наблюдается, что обусловлено прерывистой работой водозаборов, относительно небольшим водоотбором.

– Содержание микрокомпонентов в подземных водах впервые определено по всем нормируемым показателям. Практически все элементы находятся в количествах значительно ниже предельно-допустимых концентраций.

– Радиологические показатели не превышают допустимых значений. Выполненный развернутый анализ на отдельных участках с повышенным показателем общей альфа-радиоактивности показал, что содержание радионуклидов не превышает допустимый уровень, вода признается соответствующей требованиям радиационной безопасности при обязательном установлении производственного контроля за содержанием основных радионуклидов в воде. Повышенный показатель общей альфа радиоактивности связан большей частью с повышенным содержанием радона-222 в подземной воде (природное происхождение, связанное с тектоническим строением района).

– На водозаборах с превышением нормативных содержаний доведение качества воды до требований, предъявляемых к подземным водам хозяйственно-питьевого назначения, возможно при использовании соответствующей водоподготовки.

Полученные результаты позволяют внести корректировки в рабочие программы производственного контроля качества, больше внимание сосредоточить на контроле микробиологических, радиологических показателей, загрязняющих элементов, таких как азотистые, железо, мутность, цветность, что значительно может снизить затраты производства на выполнение лабораторных работ.

Список литературы

1. Гидрогеологическое районирование территории РФ масштаба 1:2 500 000 для ведения государственного мониторинга состояния недр. – М. : ФГУП «Гидроспецгеология», 2011.

2. Протоколы ТКЗ по месторождениям и участкам месторождений подземных вод ОАО «РЖД» за 2011 – 2013 гг.

3. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. – М. : Минздрав РФ, 2001.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ХОЛОДНЫХ УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД МЕСТОРОЖДЕНИЯ МАЛКИНСКОЕ (КАМЧАТКА)

Харитонова Н. А. [1,2], Челноков Г. А.[1], Баркар А. В.[1], Вах Е. А.[1]
[1]Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, tchenat@mail.ru;
[2]Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва

Аннотация. В работе представлены результаты исследования холодных углекислых минеральных вод месторождения Малкинское. Установлено, что Малкинское месторождение относится к типу трещинно-жильных вод, а все исследованные воды являются метеорными. Химический состав вод формируется в результате сложных химических реакций в системе «вода – водовмещающие породы углекислый газ». Высокая газонасыщенноть минеральных вод увеличивает скорость и интенсивность реакций растворения водовмещающих пород и в ряде случаев способствует самоизливу газоводяной смеси.

Ключевые слова: *углекислые минеральные воды, изотопы, генезис.*

Abstract. This study presents the investigation results of high pCO_2 groundwater from Malkinskoe spa. It is established that Malkinskoe spa belongs to fracture-vein deposit and all studied waters are meteoric ones. The chemical composition of waters is the result of complicate chemical reactions in the water-bedrock-CO_2 system. The high content CO_2 in mineral groundwater enhances the rate of the dissolution reaction in bedrock and sometimes leads to spouting high pCO_2 groundwater.

Key words: *high pCO_2 groundwater, isotope, genesis.*

Минеральные воды широко распространены в пределах Камчатки. В настоящее время на территории полуострова обнаружено около 115 групп термальных и 37 холодных минеральных источников [1]. Источники холодных углекислых вод локализованы, в основном, по периферии Малкинского гидрогеологического массива. Одним из наиболее крупных месторождений холодных минеральных вод на Камчатке является Малкинское месторождение минеральных вод. Месторождение было открыто в 60-х годах прошлого века, и в настоящее время воды месторождения активно бутилируются и широко используются не только в качестве столовых вод, но и для лечения группы хронических заболеваний органов пищеварения. В данной работе представлена схема формирования холодных углекислых минеральных вод месторождения на основе детального изучения геолого-гидрогеологических условий территории, а также данных по геохимии и изотопии вод.

Объект и методы исследования. Малкинское месторождение углекислых минеральных вод локализуется в Елизовском административном районе Камчатского края РФ в долине р. Быстрой. Естественные выходы (источники Малкинской группы) вод выявлены в основании восточного склона г. Зеркальце. Буровыми скважинами углекислые воды вскрыты в долинах рек Быстрая и Ключевка под чехлом аллювиальных отложений. Площадь месторождения составляет 7 км^2 и по норме контура близка к облику треугольника, опирающегося длинной стороной (≈ 4,2 км) в основание восточного склона г. Зеркальце и обращенного противолежащей вершиной в долину р. Ключевки (удаление порядка 2,5 км). В орографическом отношении район исследования представляет собой горную местность, а основным водотоком района является р. Быстрая.

Полевые работы по отбору проб воды и их дальнейшему исследованию проводились в течение пяти лет. Нестабильные параметры измерялись непосредственно на месте отбора проб, также происходила фильтрация водных проб через целлюлозный фильтр (0,45 мкм) для удаления взвеси. Для определения химических элементов и компонентов в водах использовались различные аналитические методы. Основные катионы и анионы определялись методом жидкостной ионной хроматографии (HPLC-10AVp, SHIMADZU), а микро- и рассеянные элементы анализировались с использованием плазменно-оптической эмиссионной

спектрометрии (ICP-AES, Plasmaquant-110) и индуктивной плазменной масс-спектроскопии (ICP-MS, Agilent 7500c) в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН.

Определение стабильных изотопов проводилось в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН в лаборатории стабильных изотопов. Подготовка проб воды для изотопного анализа проведена стандартным методом высокотемпературного пиролиза воды на углероде. Погрешность определения δD и $\delta^{18}O$ (1σ) составляла 0,8‰ и 0,2‰ (n = 5) соответственно. Измерения изотопных отношений проведены относительно лабораторного стандарта, калиброванного по по международным стандартам: V_{SMOW} (Vienna Standard Mean Ocean Water) $\delta^{18}O$ = (0,0)‰ ; $\delta^{2}H$ = (0,0)‰ SLAP (Standard Light Antarctic Precipitation) $\delta^{18}O$ = (–55,50)‰ ; $\delta^{2}H$ = (–427,5)‰ GISP (Greenland Ice Sheet Precipitation) $\delta^{18}O$ = (–24,76) ‰ ; $\delta^{2}H$ = (–189,5)‰. Для сравнительных оценок использовано соотношение $^{18}O/^{16}O$ относительно водного стандарта SMOW – среднего значения в морской воде.

Результаты исследования. Малкинское месторождение минеральных углекислых вод в региональном структурно-тектоническом плане приурочено к западному крылу крупной грабен-синклинальной структуры (рис. 1). Это предопределяет моноклинальный характер залегания верхнемеловых пород с крутыми углами падения слоев (45 – 65°) и субмеридиональным простиранием. Основным коллектором для минеральных вод месторождения являются интенсивно дислоцированные верхнемеловые терригенно-осадочные породы Кихчинской серии (K_2kh) мощностью примерно 2000 – 3000 м.

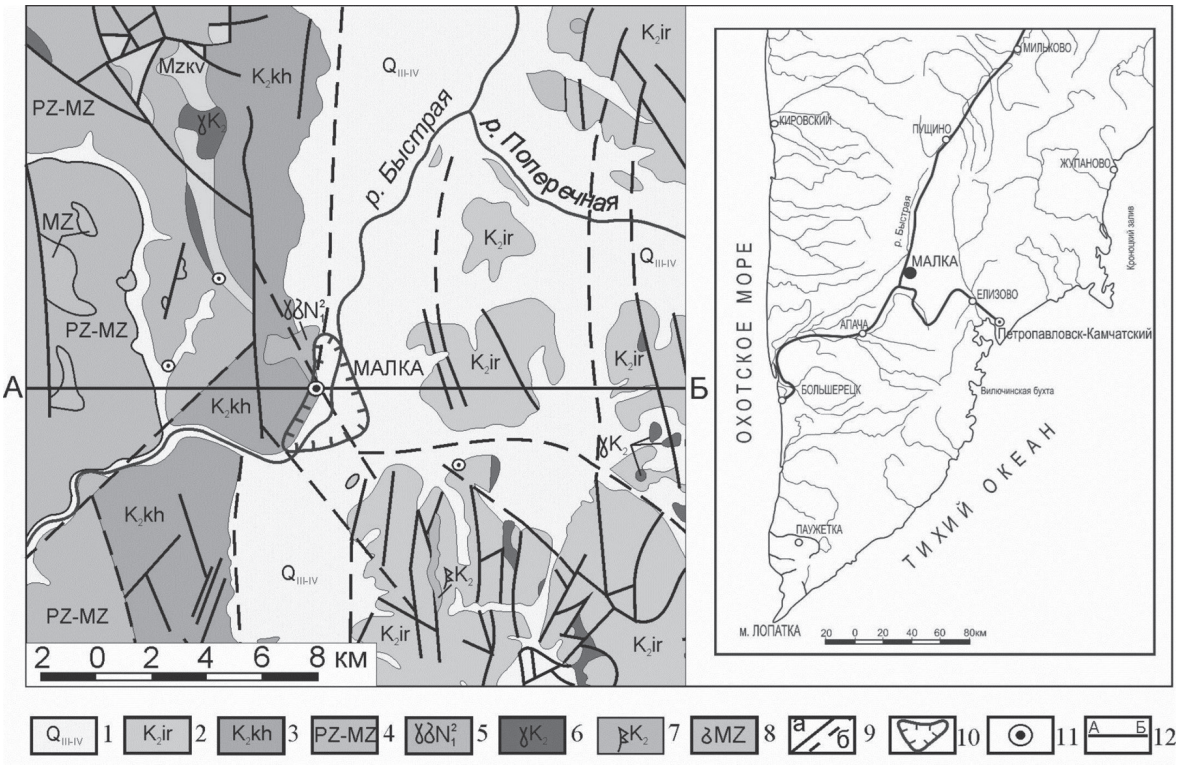


Рис. 1. Геологическая карта района Малкинского месторождения углекислых минеральных вод [2] с изменениями:

1 – четвертичные отложения; 2 – кремнисто-вулканогенные образования ирунейской свиты верхнего мела; 3 – терригенные отложения кихчинской серии верхнего мела; 4 – метаморфические породы палеозойско-мезозойского возраста; 5 – позднемиоценовый гранитоидный массив; 6 – позднемеловые интрузии гранитов; 7 – позднемеловые интрузии и дайки диабазов, диабазовых и базальтовых порфиров; 8 – мезозойские интрузии метабазитов и метаультрабазитов; 9 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 9 – участок Малкинского месторождения; 11 – гидрогеологические скважины; 12 – линия разреза

Терригенно-осадочные отложения прорваны многочисленными интрузиями и дайками различного состава и возраста. Наиболее древними на участке являются дайки интенсивно измененных метаморфизованных базальтовых порфиритов (βK_2). Также на площади месторождения широко распространенны позднемиоценовые интрузии: гранодиориты, диориты, кварцевые диориты, диоритовые порфириты и гранит-порфиры. Интрузивные тела прослеживаются как по скважинам, так и по данным магнитной съемки, которые позволяют предположить, что интрузивные тела имеют общую основу [2]. Вероятно, на территории месторождения локализован глубинный гранитоидный массив, который круто воздымается с востока на запад по напластованию вмещающей толщи. В плане интрузия имеет неправильную форму и прорывает по контакту отложения кихчикской и ирунейской свит. Интрузивные породы, как правило, интенсивно изменены, а вмещающие породы метаморфизованы и гидротермально переработаны.

В местах циркуляции минеральных вод водовмещающие породы сильно карбонатизированы и серицитизированы. На участках разгрузки минеральных углекислых вод в водоносные горизонты и комплексы рыхлых четвертичных образований верхнемеловые и неогеновые породы практически нацело изменены и превращены в кварц-серицит-карбонатный рыхлосвязанный агрегат. В местах естественных выходов углекислых вод на поверхность образуются железистые травертины.

По данным бурения и геофизических работ, установлен глубинный разлом субмеридионального направления (проходит по долине р. Быстрой), который является частью Главного Камчатского разлома [3]. Также на участке месторождения хорошо прослеживается серия разрывных нарушений глубокого заложения северо-западного простирания, с зонами которых, по всей вероятности, связано поступление с больших глубин наиболее минерализованных вод. Разрывы сопровождаются, как правило, мощными (до 100 и более метров) зонами трещиноватости и дробления. Очевидно, разломы северо-западного направления, секущие Главный Камчатский разлом, нарушают его сплошность как экрана для регионального потока подземных вод.

Тектоническими нарушениями район месторождения разбит на многочисленные мелкие блоки с различными амплитудами смещения. Породы в зонах нарушений интенсивно раздроблены, милонитизированы, часто представляют собой тектонические брекчии, сильно изменены, иногда нацело переработаны в кварц-карбонатные, кварц-серицит-глинистые породы. Зоны дробления практически повсеместно имеют субмеридиональное и северо-западное направление, совпадающее с простиранием верхнемеловых пород.

Формирование и циркуляция холодных углекислых минеральных вод Малкинского месторождения происходят преимущественно в водоносных комплексах образований неогенового и верхнемелового возраста. Водовмещающие породы представлены в разной степени трещиноватыми, разбитыми многочисленными тектоническими нарушениями на блоки осадочными и туфогенно-осадочными отложениями, прорванными интрузивными телами различного состава и возраста. В зонах нарушений отложения, как правило, раздроблены и обладают повышенной (по сравнению с блоками) проницаемостью, что предопределяет преимущественно трещинно-жильный характер циркуляции подземных вод.

На участке месторождения выделяются две хорошо изолированные тектонические зоны: северо-западного и субмеридионального простирания. По первой зоне происходит движение (разгрузка) почти неразбавленных высокоминерализованных глубинных растворов. Для скважин этой зоны характерны минимальные удельные дебиты – меньше 0,004 л/с м. Вторая зона прослеживается лишь частично, видимо, ее изоляция нарушена тектоническими нарушениями. Также в пределах месторождения выделяются системы более проницаемых, взаимно пересекающихся трещин, в которых происходит смешение вод различного генезиса – минерализованных глубинных (углекислых и безуглекислых) и маломинерализованных вод зоны свободного водообмена. Чем более проницаемую систему вскрывает окважина, тем меньше минерализация воды при откачке. С глубиной происходит затухание активной трещиноватости (особенно в блоках) и формируется зона затрудненного водообмена, о чем

свидетельствуют данные откачек, а также результаты изучения геохимии и изотопии природных вод района.

Некоторые отклонения в величинах напоров вскрытой скважинами водонапорной системи (напоры по скважинам меняются от 57 до 250 м) могут быть объяснены характером циркуляции подземных вод месторождения. Благодаря высокому содержанию углекислого газа в воде (до 46 г/л) ряд скважин может быть принудительно переведен в режим самоизлива.

Температура воды на скважинах месторождения колеблется от 7,5 до 12,0° С на изливе. По химическому составу воды относятся к Na-Ca – HCO_3-C1 типу. Воды высокой минерализации. Величина pH изменяется от нейтральных до слабокислых. За счет высокой солености вод уровень остальных элементов также достаточно высок. Обращают на себя внимание значительные концентрации железа (до 44,1 мг/л), Cr (до 20,8 мкг/л), Ni (до 19,9 мкг/л), Zn (до 56,9 мкг/л), Pb (до 5,7 мкг/л), Bi (до 6,1 мкг/л), Ge (до 28,1 мкг/л), Li (до 11,7 мг/л), Cs (до 40,8 мкг/л) и Sb (до 13,1 мкг/л). Кроме того, можно отметить повышенные содержания Sr (до 11 мг/л) и Ba (до 5,3 мг/л).

Анализ данных по химическому составу показывает, что в пределах месторождения водоносные горизонты с различной минерализацией распространены на разных глубинах. В интервале глубин 215 – 652 м вскрыты углекислые воды с минерализацией от 4,5 до 32,5 г/л, причем на нижних горизонтах, воды имеют более высокую минерализацию. Максимальный водоприток отмечается на глубинах 200 – 227 м и 245 – 385 м для скважины 14, а для скважины 15 на глубинах 235 – 290 м и 310 – 380 м. Наиболее интенсивный водоприток приурочен к контакту гранодиоритов с туффами и туффитами. За счет газлифта более высокоминерализованные воды нижних горизонтов смешиваются на верхних горизонтах с менее минерализованными, и, таким образом, на выходе скважин получается усредненный состав вод. Содержание углекислого газа очень высокое: рассчитанное нами парциальное давление углекислого газа составило 1,5 атм. Дебит углекислого газа – около 1,7 т/сут – активно используется для технических нужд. Судя по данным водопритока в скважинах и температуре вод, циркуляция вод осуществляется в пределах первой сотни метров.

Детальный анализ гидрогеологических условий района, а также геохимия и изотопия водной и газовой фаз позволяет составить схему формирования Малкинского месторождения углекислых минеральных вод (рис. 2). В пределах месторождения выделяются две зоны: 1 – зона свободного водообмена с маломинерализованными (до 0,1 г/л) преимущественно гидрокарбонатными кальциевыми натриевыми водами и 2 – зона затрудненного водообмена с высокоминерализованными (до 20 г/л) преимущественно хлоридными натриевыми водами. Нельзя выделить строгой границы между зонами – существует постепенный переход с переходными по химическому составу водами.

Общее направление движения подземных вод – от Ганальского и Срединного хребтов к долине р. Быстрой. Здесь, в зоне главного камчатского разлома, осуществляется частичная разгрузка высокиминерализованных растворов зоны затрудненного водообмена.

На участке Малкинского месторождения подземные воды обогащаются углекислым газом глубинного происхождения. В газовом составе существенно преобладает CO_2, объем которого составляет 98-99%, в то время как другие газы (CH_4, N_2, O_2, Ar, He) присутствуют в незначительном количестве [2]. Присутсвие углекислого газа способствует активному протеканию процессов растворения водовмещающих пород. Растворы обогащаются гидрокарбонатами натрия (магния, кальция). В результате минерализация подземных вод возрастает (более 32 г/л), а состав растворов становится хлоридно-гидрокарбонатным натриевым (магниево-натриевым, кальциево-натриевым). Увеличивается содержание кремнекислоты, бора, ионов железа. При движении к поверхности земли происходит смешение высокоминерализованных газонасыщенных растворов с водами зоны свободного водообмена.

Выводы. Таким образом, полученные данные показывают, что Малкинское месторождение углекислых минеральных вод относится к типу трещинно-жильных в вод. Холодные

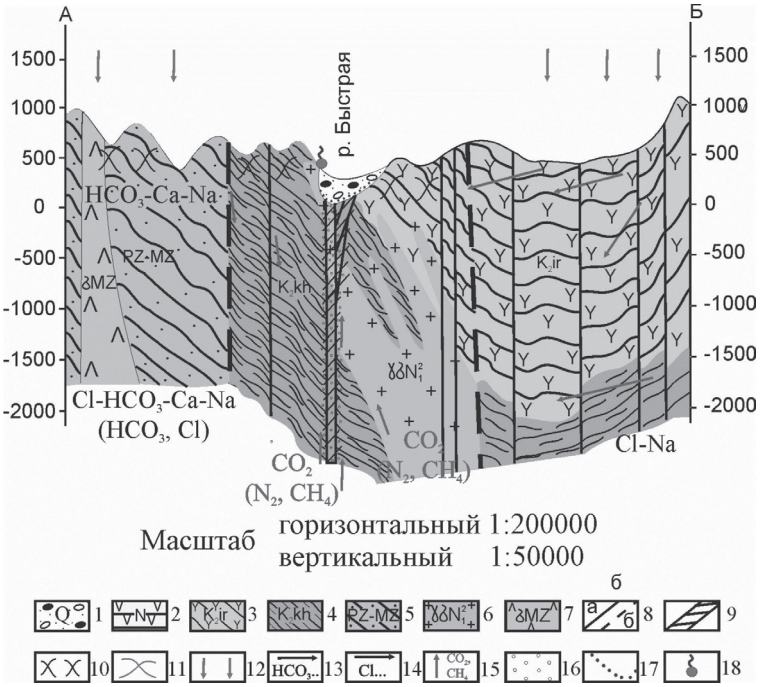


Рис. 2. Схема формирования углекислых минеральных вод Малкинского месторождения: *1 – рыхлые четвертичные отложения; 2 – неогеновые эффузивно-пирокластические и осадочные образования; 3 – кремнисто-вулканогенные образования ирунейской свиты верхнего мела; 4 – терригенные отложения кихчинской серии верхнего мела; 5 – метаморфические породы палеозойско-мезозойского возраста; 6– позднемиоценовый гранитоидный массив; 7 – мезозойские интрузии метабазитов и метаультрабазитов; 8 – тектонические нарушения: а – достоверные, б – предполагаемые; 9 – зона пересечения глубинных разломов субмеридионального и северо-западного простирания; 10 – зона свободного водообмена; 11 – зона затрудненного водообмена; 12 – области создания напоров; 13 – направления движения пресных метеорных вод с приведенным преобладающим составом; 14 – направление движения минерализованных вод замедленного водообмена, преобладающий химический состав; 15 – предполагаемые участки интенсивного поступления углекислого газа термометаморфического и, частично, мантийного происхождения; 16 – зона углекислотного выщелачивания пород – увеличение минерализации раствора за счет обогащения ионами HCO_3, Na, Mg, Fe; 17 – скрытая разгрузка минеральных вод; 18 – малкинские источники углекислых минеральных вод*

минеральные воды являются метеорными, а их химический состав формируется в результате сложных химических реакций в системе «вода – водовмещающие породы – углекислый газ». Высокая газонасыщенноть минеральных вод увеличивает скорость и интенсивность реакций растворения водовмещающих пород и в ряде случаев способствует самоизливу газоводяной смеси. В процессе эксплуатации месторождения гидрохимические границы вод могут подвергаться изменениям, возможно поступление в водозабор некондиционных вод.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 14-05-00171 А.

Список литературы

1. Демченко, А. А. Отчет о результатах предварительной разведки Малкинского месторождения углекислых минеральных вод с подсчетом эксплуатационных запасов по состоянию на декабрь 1986 г. (в двух томах). П. Термальный. Камчатская область / А. А. Демченко, М. А. Петров. – 1986. – 194 с.

2. Харитонова, Н. А. Углекислые минеральные воды северо-востока Азии: происхождение и эволюция : автореф. дисс. … д. геол.-минералог. наук / Н. А. Харитонова. – Томск, 2013. – 46 с.

3. Чудаев, О. В. Состав и условия образования современных гидротермальных систем Дальнего Востока России / О. В. Чудаев. – Владивосток : Дальнаука, 2003. – 203 с.

МИНЕРАЛЬНЫЕ ВОДЫ СЕЛЕНГИНСКОЙ ДАУРИИ

Хахинов В. В., Ульзетуева И. Д. [1]
[1]Байкальский институт природопользования, г. Улан-Удэ, idulz@mail.ru

Аннотация. На основе комплексного анализа гидрохимических исследований минеральных источников и озер дана оценка современного состояния гидроминеральных объектов Селенгинской Даурии.

Ключевые слова: *минеральные источники, Селенгинская Даурия.*

Abstract. On the basis of the complex analysis of hydrochemical researches of mineral sources and lakes an estimation of a modern condition of hydromineral objects of Selenginskaya Dauria is given.

Key words: *mineral springs, Selenginskaya Dauria.*

Байкальский регион представляет обширную зону распространения гидроминеральных ресурсов. Здесь сосредоточены огромные запасы пресной воды, многочисленные выходы минеральных вод, обладающих различными бальнеологическими свойствами. Степень их изученности несравненно ниже, чем изученность природных вод европейской части России.

Цель работы состоит в изучении гидрохимического состава вод минеральных источников Байкальского региона, их качества и экологического состояния, в определении направления их использования в бальнеологических и рекреационных целях. В работе изложены результаты гидрохимических исследований минеральных источников Байкальского региона (на примере Селенгинской Даурии).

Исследованные нами минеральные источники по своим физическим свойствам, химическим и газовым составом относятся к Селенгинскому гидроминеральному району холодных негазирующих радоновых вод Даурской (Забайкальской) гидроминеральной области.

Холодные негазирующие радоновые воды имеют различный химический состав и известны среди местного населения как «глазные», «желудочные» аршаны и т.п. Но до настоящего времени физико-химические свойства, ионный состав этих вод были практически не изучены, а разнообразие и лечебные свойства минеральных вод предопределены их физическими свойствами и химическим составом, температурой воды, минералами и солями, содержащимися в них, наличием газов и органических веществ.

Исследования физико-химических параметров показали, что воды источников являются холодными, слабоминерализованными, слабощелочными. Значения минерализации исследованных вод составляли от 0,13 до 0,36 г/дм^3. Окислительно-восстановительный потенциал был равен +34 + 358 мВ, что свидетельствует об окисленных условиях среды.

По анионному составу воды этих источников относятся к гидрокарбонатным, по катионному – к натриевым. По показателям общей жесткости вода варьирует от «мягкой» до «средней» жесткости. Вода исследованных источников содержит невысокие концентрации сульфат – (от 0 до 39,8 мг/дм^3) и хлорид – ионов (от 3 до 11,4 мг/дм^3), что улучшает вкусовые качества этих вод. Вода источников имеет специфические компоненты – радон, кремниевую кислоту, фтор. Радоновые воды используются для лечения желудочных, кожных, ревматических заболеваний, болезней нервной, костно-мышечной, мочеполовой систем и др. [2].

По результатам исследований дана сравнительная характеристика сезонных изменений физико-химических параметров воды минерального источника Ута-Булаг. Источник расположен в Иволгинской межгорной котловине и занимает северную окраину Селенгинского среднегорья. На северо-западе впадина ограничена низкогорными отрогами хребта Хамар-Дабан, на юге – Ганзуринским хребтом, на юге-западе – поперечным водоразделом р. Кундулин. Воды источника разгружаются на высоте 10 – 15 м над дном долины. Имеется 16 выходов с общим дебитом 1,3 дм^3/с. Температура на выходе от 1,6° С зимой до 8,3° С летом. По органолептическим показателям вода с пресным вкусом, прозрачная, без цвета, без

осадка. Преобладающими анионами, определяющими состав воды, являются гидрокарбонат-ионы в концентрации 248,5 – 292,5 мг/дм^3, сульфат-ионы в концентрации 16,5 – 21,5 мг/дм^3 и хлорид-ионы 4,6 – 21,5 мг/дм^3. Из катионов в воде содержатся ионы кальция и магния в количестве 35,8 – 39,8 мг/дм^3 и 19,4 – 24,4 мг/дм^3, соответственно. Ионы натрия (суммарно с калием) присутствуют в количестве 19,1 – 22,0 мг/дм^3. Минерализация воды на уровне 350 – 420 мг/дм^3, pH 7,65 – 7,95. Согласно классификации Минздрава РФ из биологически активных компонентов, достигающих бальнеологически значимой нормы, в воде источника выявлена метакремниевая кислота в количестве 9,0 – 15,2 мг/дм^3 (кондиция для минеральных кремнистых вод 50,0 мг/дм^3) [4]. В воде источника выявлены ионы радона в количестве 5,04 нКu/дм^3 (186 Бк/дм^3) при кондиции для минеральных радоновых вод от 5,0 нКu/дм^3 (185 Бк/дм^3). В соответствии с критериями оценки минеральных вод, установленными Минздравом РФ, подземная вода источника является минеральной слаборадоновой водой для наружного применения и относится к 3 группе бальнеологических вод. Воды данного типа используются наружно (в виде ванн) при болезнях системы кровообращения, нервной системы, костно-мышечной системы, органов пищеварения, болезни эндокринной системы расстройства питания и нарушения обмена веществ, мочеполовой системы, болезнях кожи [3].

Ранее на основе проведенных исследований было получено бальнеологическое заключение о составе и качестве воды минерального источника Халюты, согласно которому вода источника относится к 3 бальнеологической группе лечебных минеральных вод (Липовский тип) и может применяться в соответствии с показаниями для данной группы вод.

Исследования гидрохимического состава Енгорбойских источников показали, что воды всех источников (кроме двух) являются слабоминерализованными, слабощелочными. По температуре воды вся нижняя группа родников и несколько родников верхней группы относятся к холодным источникам с температурой до 20º С. Самый холодный источник имеет температуру 2–3º С. К теплым термальным водам с температурой до 37º С отнесены четыре источника верхней группы и к горячим с температурой 38,5º С – один источник. Значения минерализации исследованных вод составляли от 0,34 г/дм^{3}до 0,96 г/дм^3. По анионно-катионному составу воды источников являются гидрокарбонатно-сульфатными, сульфатно-гидрокарбонатными, кальциево-натриевыми, натриево-кальциевыми, натриевыми. Из основных ионов присутствуют сульфат-ионы – от 33,3 до 447 мг/дм^3, гидрокарбонат-ионы от 80,9 до 116 мг/дм^3, хлорид-ионы от 3,0 до 83,8 мг/дм^3. Основные катионы представлены ионами натрия (суммарно с калием) – от 13 до 370 мг/дм^3, кальция – от 10 до 34,1 мг/дм^3. По наличию фтора во всех источниках, кроме одного, отмечено его высокое содержание – от 7,7 до 15,0 мг/дм^3. По данным исследователей, наиболее высокие включения характерны для гидрокарбонатных и сульфатно-гидрокарбонатных терм. Максимальное количество фтора может достигать 20 – 26 мг/л в гидрокарбонатных и гидрокарбонатно-сульфатных термах, сульфатных –12,8 мг/л. При минимальном нарушении равновесия может выпадать в осадок флюорит. По выводам К. В. Замана, обогащение фтором происходит за счет вмещающих пород при особо благоприятных геохимических условиях, а не за счет привноса фтора из глубин Земли. К благоприятным геохимическим условиям он относит наличие щелочной среды, повышенное содержание гидрокарбоната (карбоната) и низкая концентрация кальция. Определенное влияние оказывает и высокая температура вод [1].

Другим привлекающим внимание элементом Енгорбойских источников является наличие в них радона. По его содержанию источники относятся к слаборадиоактивным, концентрация которого достигает 110 Бк. Источником радона, вод осадочных образований, является уран или радий, сорбированные осадками в период накопления.

Сравнение результатов показывает, что на протяжении более 60 лет химический состав вод остается постоянным по большинству источников. Кремнистые радоновые термы имеют большую лечебную ценность. Их аналогами являются курорты Цхалтубо (Кавказ), Белокурихи (Алтай).

Таким образом, слабоминерализованные слабощелочные гидрокарбонатно-натриевые воды минеральных источников могут быть использованы в профилактических и лечебных целях как для внутреннего потребления, так и для водолечения. Живописные окрестности, чистый воздух, аромат лесных трав делает их идеальными местами отдыха.

Список литературы

1. Борисенко, И. М. Минеральные воды Бурятской АССР / И. М. Борисенко [и др.]. – Улан-удэ : Бур. кн. изд-во. – 162 с.

2. Власов, Н. А. Гидрохимическая характеристика бессточных озер Боргойской степи и прилегающих к ней районов / Н. А. Власов, В. П. Белик, А. В. Иванов [и др.] // Сборник тезисов к I научному совещанию по климату и гидрографии Забайкалья. Выпуск 1. Климат и гидрография Забайкалья. – Чита : Забайкальский филиал Географического общества СССР, 1972. – С. 43–44.

3. Классификация минеральных вод и лечебных грязей для целей их сертификации : методические указания № 2000/34 / сост.: В. Б. Адилов, Е. С. Бережнов, И. П. Бобровницкий [и др.]. – М. : Российский научн. центр восстановит. медицины и курортологии Минздрава России, 2000. – 76 с.

4. Михайлов, М. П. Минеральные источники и грязевые озера Восточной Сибири, их гидрология, бальнеохимия и курортологическое значение / М. П. Михайлов [и др.]. – Иркутск, 1946. – 61 с.

РАДОНОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ФЛЮИДОВ ЮЖНО-САХАЛИНСКОГО ГРЯЗЕВОГО ВУЛКАНА

Челноков Г. А.[1], Брагин И. В.[1], Жарков Р. В.[2], Харитонова Н. А.[1]
[1]Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр. 100 лет Владивостоку, 159, г. Владивосток, 690022, geowater@mail.ru;
[2]ИМГиГ ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Науки 2-Б

Аннотация. Исследования флюидов южной части Центрально-Сахалинского разлома (Синегорские минеральные воды и Южно-Сахалинский грязевой вулкан) показали, что значения объемной активности (ОА) радона, выделяющегося из воды с сопутствующими газами, варьируют от 1000 до 18000 Бк/м^3 для Rn-222 и 50 – 400 Бк/м^3 для Tn-220, в то время как эманации подпочвенного радона не превышают 65 Бк/м^3. Установлено, что повышение ОА Rn-222 в скважинах связано с периодами повышенной дегазации, что, в свою очередь, приводит к значительному повышению уровня воды в скважинах. Исследования геохимии флюидов Южно-Сахалинского грязевого вулкана позволяют предположить связь эруптивных каналов с водоносными горизонтами Синегорского месторождения минеральных вод.

Ключевые слова: *природные воды, стабильные изотопы, тритий, о. Сахалин, Дальний Восток.*

Abstract. Researches of fluids of the southern part of the Central Sakhalin foult (Sinegorsky mineral waters and the Southern Sakhalin mud volcano) showed that values of the volume activity of the radon which is allocated from water with the accompanying gases vary from 1000 to 18000 Bq/m^3 for Rn-222 and 50 – 400 Bq/m^3 for Tn-220. While the emanation of subsoil radon isn't exceeded by 65 Bq/m^3. It is established that increase of activity of Rn-222 on well is connected with the periods of the increased decontamination that in turn leads to substantial increase of water level in wells. Researches of geochemistry of fluids of the Southern Sakhalin mud volcano allow to assume communication the eruptive channels with the water-bearing horizons of the Sinegorsky spa.

Key words: *natural waters, stable isotopes, tritium, Sakhalin Island, Far East.*

Введение. Ограниченная информативность радона, обусловленная периодом полураспада (3,82 сут), делает его ценным показателем проявлений тектонической активности in situ. Проявления грязевого вулканизма на о. Сахалин ученые склонны связывать с сейсмическими

событиями в регионе. Так, последнее извержение Южно-Сахалинского грязевого вулкана 2011 г. связывается с «Великим землетрясением» в Японии. До этого О. А. Мельниковым были получены данные, позволяющие связать извержение 2001 г. с землетрясениями на острове. Однако ограниченность параметров (температура изливающейся массы, увеличение дебита газа, изменение размеров грифонов) не позволяет использовать их для надежной связи с сейсмическими событиями. Размещение наблюдательных станций на грязевом вулкане также не представляется возможным в силу ряда причин. Ранее несколько дорогостоящих температурных датчиков были безвозвратно потеряны в чреве грязевого вулкана. Генетическая связь грязевого вулканизма и минеральных вод районов Кавказа была убедительно обоснована В. Ю. Лаврушиным (2012). Для Южно-Сахалинского грязевого вулкана подобных исследований не проводилось. В нашей работе впервые сделана попытка установить связь между извержениями грязевого вулкана и изменением гидрохимических и гидродинамических характеристик Синегорских минеральных вод. Для решения поставленной задачи были проведены гидрогеохимические исследования флюидов Южно-Сахалинского грязевого вулкана и Синегорских минеральных вод и установлена генетическая связь флюидов грязевого вулкана и минеральных вод, что дало возможность регистрации широкого спектра гидрогеохимических параметров, одним из которых является радон. В результате исследований по скважине Синегорского месторождения был оборудован наблюдательный пункт, позволяющий непрерывно фиксировать изменения объемной активности радона-222, а также гидрогеохимические и физические характеристики водоносных горизонтов минеральных вод.

Методы и подходы. Фундаментом для работ послужили: личные результаты полевых исследований (2010 – 2013 гг.), фондовые материалы [4], опубликованные материалы других авторов [2–4]. Площадное картирование объемной активности подпочвенного радона-222 проводилось с помощью радиометров радона Sirad MR-106N, ПОУ-04, регистрация эманаций радона в скважинах с помощью радоновой сейсмической станции СРС-05. Минерализация, температура и уровень воды в скважинах регистрировались с помощью автоматических датчиков-регистраторов фирмы Solinst (Канада). Время экспозиции составляло от 5 минут до 1 часа. Водные пробы были проанализированы на макро- и микроэлементы в сертифицированных лабораториях: «Центр коллективного пользования Приморский Центр локального, элементного и изотопного анализа» ДВГИ ДВО РАН и Центральной химической лаборатории «Приморгеологии». Анализ проб методом ионной хроматографии выполнен на хроматографе LC-20 (Shimadzu, Япония) Г. А. Бахаревой и О. В. Сухановой. Определение микроэлементов выполнено методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500Duo (Thermo Scientific Corporation, США), аналитики: Г. И. Горбач, Е. А. Ткалина, Н. В. Хуркало. Определение стабильных изотопов проводилось в аналитическом центре ДВГИ ДВО РАН. Для сравнительных оценок использовано соотношение $^{18}O/^{16}O$ относительно водного стандарта SMOW. Измерение содержания радиоактивного изотопа (тритий) было выполнено в Тихоокеанском океанологическом институте ДВО РАН. Для измерения трития использовался альфа-счет на низкофоновом жидкосцинтилляционном спектрометре QUANTULUS – 1220 с предварительным электролитическим обогащением. Пробирки для отбора газа были трижды промыты гелием и вакуумизированы в лаборатории. Образцы газа были отобраны непосредственно на проявлениях из напущенного поверх воды газа. Анализ концентраций метана производился на газовом хроматографе с детектором ионизации пламени (GC FID). Изотопные определения были выполнены И. В. Брагиным на масс-спектрометре MAT-253 без преконцентрирования с использованием газового хроматографа Trace-GC в университете г. Саппоро (Япония). Погрешность в определении ^{13}C составила менее 0,5‰, и для ^{2}H – менее 1‰.

Результаты исследований. Основными объектами изучения в пределах Центрально-Сахалинского разлома являлись скважины Синегорского месторождения углекислых вод и центральные грифоны Южно-Сахалинского грязевого вулкана (рис. 1). По морфологическим

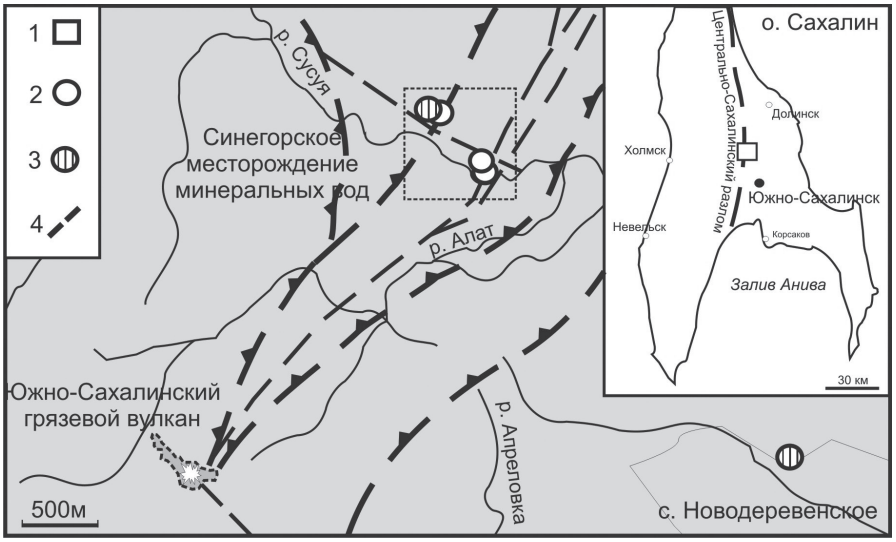


Рис. 1. Обзорная карта района исследований:

1 – Синегорское месторождение углекислых вод; 2 – скважины, вскрывающие минеральную воду; 3 – скважины, вскрывающие пресную воду; 4 – Центрально-Сахалинский разлом

типам разгрузки можно выделить две группы: минеральные источники и грязевые вулканы. Также были опробованы скважины, находящиеся за пределами водосбора этих объектов. Минеральные воды Синегорского месторождения были изучены по скважинам № 8С, 16, 17, 22 и 33. Минеральные воды залегают на глубинах 100 – 600 м в областях аномально высоких пластовых давлений, обусловленных стрессовыми нагрузками во фронтальных частях крупных надвигов. Минерализация вод 15 – 25 г/дм^3, по химическому составу воды являются гидрокарбонатно-хлоридными натриевыми либо хлоридными натриевыми, часто обогащены мышьяковистой и кремнистой кислотами. Газовый состав сопутствующих газов изменяется от углекислого до метанового. Выходы грязей фиксируются на абсолютной отметке 300 м, в области пологой вершины сдвоенного холма, вытянутого в субмеридиональном направлении, ограниченного с запада и востока небольшими долинами [1, 5]. Грязевой раствор (отжим) является высокоминерализованным – 15,8 г/дм^3, хлоридно-гидрокарбонатным натриевым, H_3BO_3 – 1454 мг/дм^3. Состав свободного газа CO_2-CH_4 (81% CO_2).

Нанесенные на диаграмму Гиггенбаха [6] данные (рис. 2) показывают, что все подземные флюиды, за исключением грунтовых вод скважины № 8П, находятся в равновесии с водовмещающими породами. При этом углекислые воды Синегорского месторождения и флюид ЮСГВ имеют одинаковые характеристики и температуры формирования. Измеренные значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh) позволили установить существование трех типов геохимических обстановок. Восстановительная обстановка (Eh < 0 мВ) характерна для месторождения углекислых минеральных вод и флюидов Южно-Сахалинского грязевого вулкана. Окислительная (Eh > 150 мВ) характерна для поверхностных вод, в то время как метановые минеральные воды и пресные подземные воды характеризуются переходной зоной (Eh = 0 – 150 мВ). На основании изучения редкоземельных элементов удалось установить, что основным процессом формирования углекислых вод Синегорского месторождения является взаимодействие воды с породами морского генезиса. В то время как флюиды грязевого вулкана, а также метановых минеральных вод подвержены смешению с пресными подземными водами. Результаты определения содержаний дейтерия и ^{18}O приведены относительно международного стандарта SMOW (среднего значения в морской воде) и показывают, что подземные воды, распространенные по направлению от Южно-Сахалинского грязевого вулкана до месторождения минеральных вод Синегорское, представлены метаморфическими водами и водами, формирующимися в результате смешения. К водам, формирующимся в результате смешения

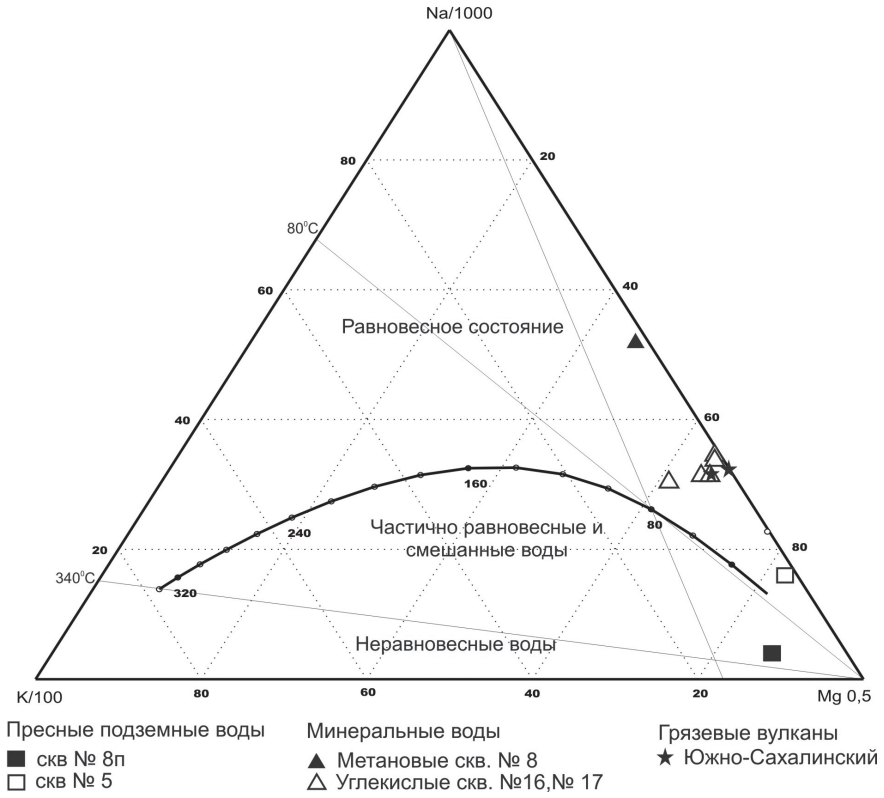


Рис. 2. K-Na-Mg диаграмма Гигенбаха [7] с нанесенными данными по изученным объектам

вод атмосферного генезиса с метаморфизованными водами нижележащих напорных горизонтов, относятся пресные подземные воды скважин № 8, что также отражается на изотопном составе этих вод. Метаморфическими водами, участвующими в этом процессе, являются азотно-метановые минеральные воды скважины № 8С. На смешение пресных и минеральных вод указывают не только изотопные данные и присутствие азота в составе сопутствующих газов, но и содержания трития, характерные для поверхностных вод – 11,1 ТЕ, (р. Сусуя – 8,3 ТЕ).

Для определения генезиса метана впервые для данного месторождения были определены $\delta^{13}C$ и $\delta^{2}H$, содержащиеся в нём. По полученным данным исследованные нами воды несут в себе метан термогенного происхождения. Согласно данным [7], метан с подобными, достаточно высокими значениями изотопов $\delta^{13}C$ и $\delta^{2}H$ может свидетельствовать о наличии месторождений природного газа.

Для организации наблюдений за изменениями подпочвенной и глубинной составляющих радона была выбрана скважина № 8С Синегорского месторождения. Основные параметры скважины: глубина 500 м, температура +10,2° С, pH = 8,3, минерализация 15 г/л, уровень +0,5 м самоизлив, в газовом составе преобладает метан 87%. Базовым принципом для проведения подобных исследований является то, что величина выхода радона и характер её изменения определяются геологическими условиями района.

Следовательно, глубинные флюиды (подземные воды и газы) – индикаторы изменений, происходящих в геологической среде (землетрясений, извержений вулканов). Физическими маркерами при этом являются температура и уровень подземных вод, изменение минерализации воды, изменение дебита воды и газа, эманация радиоактивных газов. Так как перечисленные параметры взаимосвязаны (пример: с увеличением температуры и минерализации воды растворимость радона в воде уменьшается), необходимо получение как можно большего объема информации по каждому параметру.

Для наблюдения корреляционных связей между этими параметрами была собрана полевая лаборатория, состоящая из автономных датчиков-регистраторов: двух датчиков температуры и давления (уровня воды и атмосферного давления), датчика-регистратора электропроводимости воды, а также автоматической сейсмической радоновой станции СРС-05. Площадь месторождения ограничена выходами активных частей разломов в приповерхностную зону и, по геологическим данным, имеет размеры 800х300 м. Площадное измерение объемной активности подпочвенного радона было проведено по сетке 100х100 м. Эманации подпочвенного радона не превышают 65 Бк/м^3. Анализ полученных данных за период с 25.06.2014 по 1.10.2014 показал, что в стационарном режиме каких-либо значительных колебаний температуры и проводимости не происходило, значения объемной активности (ОА) радона, выделяющегося из воды с сопутствующими газами, варьируют от 1000 до 18 000 Бк/м^3 для Rn-222 и от 50 до 400 Бк/м^3 для Tn-220. Изменения уровня воды в скважине подвержены ежедневным колебаниям и составляют 2 – 5 см, повышение ОА Rn-222 на скважинах связано с периодами повышенной дегазации, что, в свою очередь, приводит к повышению уровня воды в скважине. За период регистрации геохимических параметров в скважинах, а также тестирования и настройки оборудования землетрясений магнитудой более двух баллов в исследуемых районах не наблюдалось (данные Службы срочных донесений Геофизической службы РАН), извержений грязевого вулканизма также отмечено не было. Наиболее близкое тектоническое событие произошло 16 сентября в 05:14 в 23 км С-З г. Невельска, но на опорном пункте Синегорского месторождения воздействие не зарегистрировано.

Для установления корреляций между ОА Rn-222 в водах Синегорского месторождения и тектоническими событиями необходим больший материал аналитических данных и данных измерений, который планируется получить в ходе дальнейших работ.

Исследования проведены при поддержке грантов: РФФИ 14-05-00243А, ДВО 15-I-2-097 и Российского научного фонда № 14-17-00415.

Список литературы

1. Мельников, О. А. О характере дислоцированности в зоне активного разлома на границе между Сусунайской депрессией и предгорьями Западно-Сахалинского хребта / О. А. Мельников // Тектоника, геология, магматизм, металлогения и сейсмичность Тихоокеанского сегмента Земли : сб. статей. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ СНЦ ДВО РАН, 2002. – С. 38–49.

2. Жарков, Р. В. Типы термальных вод Южных Курил и севера Сахалина и их влияние на ландшафты : автореф. дис. … канд. геогр. наук / Р. В. Жарков. – Хабаровск, 2008. – 26 с.

3. Селецкий, Ю. Б. Аномальный изотопный состав минеральных вод Синегорского месторождения / Ю. Б. Селецкий // Советская геология. – 1992. – № 12. – С. 73–77.

4. Челнокова, Б. И. Минеральные воды Дальнего Востока : справочник / Б. И. Челнокова. – Владивосток : Изд-во Дальневост. ун-та, 2006. – 108 с.

5. Гурьева, З. И. Изучение грязевых вулканов о. Сахалин по материалам аэрофотосъемки / З. И. Гурьева, В. В. Шарков // Тихоокеанская геология. – 1987. – Т. 4. – С. 58–65.

6. Giggenbach, W. F. Geothermal solute equilibria. Derivation of Na-K-Mg-Ca geoindicators / W. F. Giggenbach // Geochim. Cosmochim. Acta, – 1988. – 52. – Pp. 2749–2765.

7. Schoell, M. Multiple origins of methane in the Earth / M. Schoell, M. Schoell (Guest-Editor), Origins of Methane in the Earth // Chem. Geol. – 1988. – 71. – P. 1–10.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА АНАЛОГИИ ПРИ ОПЕРАТИВНЫХ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТАХ НА ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ.

Черняк А. Г., Нахапетян А. К.
ЗАО «ГИДЭК», г. Москва, chernyak@hydec.ru, info@hydec.ru

Аннотация. В настоящей статье рассматривается использование метода аналогий при оперативной оценке запасов подземных вод.
Ключевые слова: *оценка запасов подземных вод, метод аналогий.*

Abstract. In this article use of an analog approach at an operational assessment of groundwater storage is considered.
Key words: *assessment of groundwater storage, analog approach.*

Одной из особенностей гидрогеологических изысканий при поиске источников водоснабжения объектов инфраструктуры магистральных нефтепроводов и газопроводов являются крайне сжатые сроки. Типовые сроки работ, включающие в себя получение лицензии на право пользования недрами, получение полевых материалов, необходимых для обоснования запасов подземных вод, камеральную обработку полученных данных, оформление экспертных и санитарно-эпидемиологических заключений, составление отчета с подсчетом запасов и его сопровождение вплоть до получения протокола ГКЗ редко превышают 8-9 календарных месяцев. Таким образом, становится очевидным, что на проведение собственно полевых работ остается 3 – 4 месяца, что совершенно недостаточно для получения представительных данных по режиму уровней и химического состава подземных вод. При этом соблюдение ГОСТ 2761-84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора» диктует наличие трехлетнего ряда химических анализов воды для получения экспертных заключений о соответствии качества подземных вод нормативам хозяйственно-питьевого водоснабжения.

Другой особенностью является географически растянутое положение различных объектов инфраструктуры, расположенных на значительном (~100 км) удалении друг от друга и их размещение на возвышенных участках водоразделов. Обычно схематизация гидрогеологических условий участков расположения таких объектов укладывается в схему Мятиева-Гиринского для водораздельных областей, представляющую собой систему водоносных горизонтов и комплексов с нисходящей фильтрацией.

В таких условиях единственным способом охарактеризовать гидрогеологический режим является выбор и предоставление данных по объекту-аналогу.

Основными критериями при выборе объекта-аналога в специфических условиях расположения исследуемых объектов становятся:

1) схожесть климатических и метеорологических условий их расположения, включающих в себя тип климата, величину осадков, температуру воздуха, продолжительность сезонов, величину снежного покрова и т.д.;

2) схожесть гидрогеологических и гидрогеохимических условий расположения объектов, включающих в себя глубину залегания подземных вод, схему их питания и разгрузки, химический состав подземных вод и литологический состав водовмещающих пород;

3) отсутствие или схожесть техногенных факторов, способных повлиять на гидрогеологический или гидрогеохимический режим (режим эксплуатации водозаборов, потенциальные источники загрязнения).

При этом следует отметить, что обычно основной и логичный фактор близости расположения объекта-аналога приобретает второстепенный характер. Это объясняется тем, что водозаборы населенных пунктов находятся преимущественно в долинах рек или вблизи них,

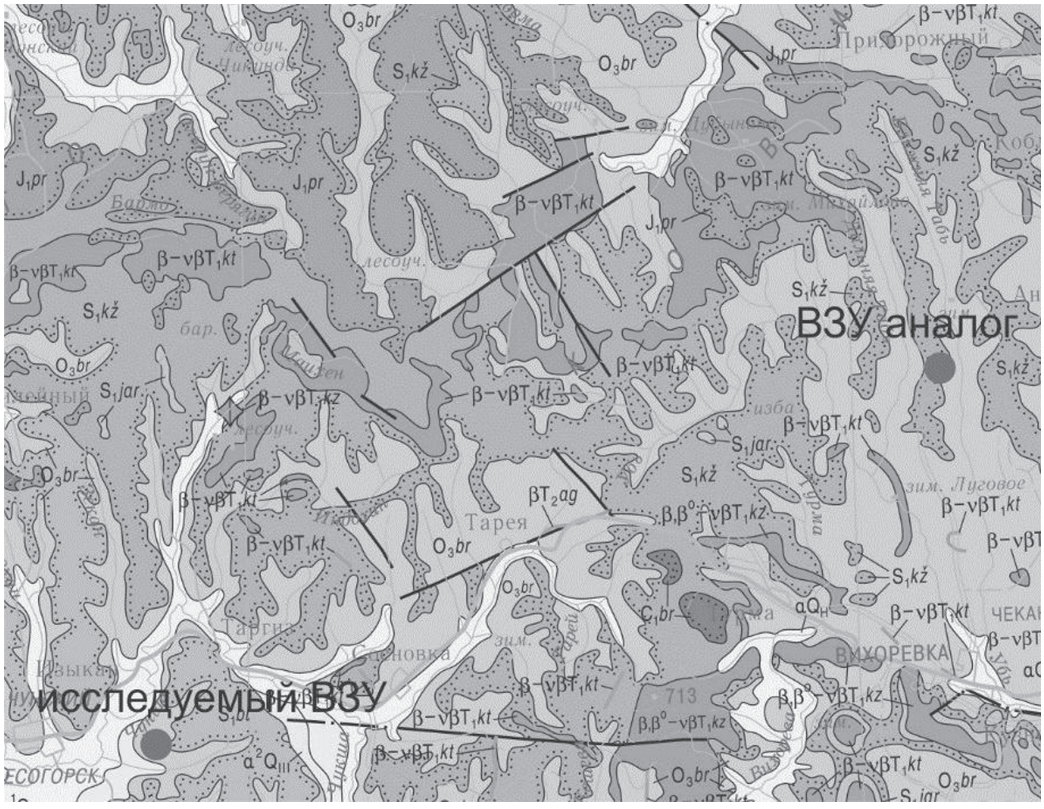
и гидрогеологические условия участков их расположения относятся к приречному типу, существенно отличному от рассматриваемого.

Семилетний опыт работы ЗАО «ГИДЭК» по изысканиям источников водоснабжения для объектов магистральных трубопроводов в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке показывает, что наиболее достоверными оказываются режимные данные по объектам той же инфраструктуры магистральных трубопроводов, несмотря на значительное удаление их друг от друга.

В качестве примера успешного применения объекта-аналога при гидрогеологических исследованиях на магистральных трубопроводах можно привести результаты поисково-оценочных работ на подземные воды для водоснабжения объектов в Иркутской области.

Работы по поискам и оценке запасов подземных вод для хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения на исследуемом ВЗУ были проведены в период с января по март 2014 г. В процессе работ были пробурены 3 скважины, оборудованные на подземные воды водоносного комплекса братской свиты ордовика. Водоносный комплекс приурочен к интенсивно трещиноватым прослоям песчаников и алевролитов, горизонты локально разделены между собой прослоями плотных алевролитов и аргиллитов.

Комплекс геологоразведочных работ, выполненных на исследуемом ВЗУ, позволил обосновать схему и режим работы водозабора, обеспеченность запасов ресурсами подземных вод. В то же время для оценки запасов подземных вод и прогноза изменения качества добываемых подземных вод не хватало данных по уровенному и гидрогеохимическому режиму. Недостающие данные были получены по объекту-аналогу. В качестве объекта-аналога по совокупности вышеперечисленных критериев был выбран такой же ВЗУ, расположенный на расстоянии 96 км и эксплуатирующийся с 2011 г. Обе площадки имеют во многом схожие параметры (тот же водоносный комплекс, схожая литология пород, гидрологические и климатические параметры) (рисунок).



Фрагмент геологической карты с расположением исследуемого ВЗУ и ВЗУ аналога

Уровень подземных вод на ВЗУ аналоге в течение года варьирует в пределах 4 м и незначительно меняется в разные годы. Эти данные позволяют уточнить допустимое понижение уровня при эксплуатации исследуемого ВЗУ.

По химическому составу подземные воды в том и другом ВЗУ гидрокарбонатные кальциево-магниевые, магниево-кальциевые с минерализацией 0,3-0,4 г/дм^3, по своему макро- и микрокомпонентному составу, органолептическим, токсикологическим, бактериологическим и радиологическим показателям полностью удовлетворяют санитарным нормам для хозяйственно-питьевого водоснабжения. Химический состав подземных вод на ВЗУ-аналоге в течение трех лет меняется несущественно, качество подземных вод стабильно в разные сезоны года и в годы разной водности.

Полученные по объекту-аналогу данные позволили обосновать стабильность химического состава подземных вод, выполнить прогноз изменения качества подземных вод и уточнить допустимое понижение уровня при эксплуатации. Использование данных по объекту-аналогу позволило выполнить оценку запасов подземных вод по промышленной категории В, то есть отнести запасы к категории «разведанных», а также получить экспертное и Санитарно-эпидемиологическое заключения по качеству подземных вод, необходимые для экспертизы проектной документации строительства водозаборных сооружений.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В КАЧЕСТВЕ АВТОНОМНОГО ИСТОЧНИКА ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Шолохов П. А.
Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, Sholokhov@crust.irk.ru

Аннотация. Рассмотрена проблема водоснабжения крупного города на примере Иркутска, где как действующий источник центрального забора воды для потребителей используется поверхностный водоем искусственного происхождения. Предложен альтернативный источник водоснабжения для города за счет подземных вод – Ушаковское месторождение. Обоснована схема эксплуатации водоносного комплекса и необходимые реанимационные мероприятия для приведения источника в соответствие с требованиями современных стандартов качества, предъявляемыми к питьевым водам.
***Ключевые слова*:** *водоснабжение, подземные воды, Ушаковское месторождение.*

Abstract. This text discusses about water supply problem of the large city on example of the Irkutsk state, where the central operating source of water intake for consumers uses a storage pool of an artificial origin. The alternative source of water supply for the city at the expense of groundwaters is offered by using the Ushakovskoe groundwater deposit. It is proved water-bearing complex operation scheme and necessary resuscitation actions for source reduction in compliance to requirements of the modern quality standards due to the drinking waters.
***Key words*:** *Water supply, ground water, Ushakovskoe groundwater deposit.*

Проблемой крупных городских агломераций все чаще становятся поиски источников питьевого водоснабжения населения, что вызвано нехваткой ресурсов этих источников. Фактически это связано с производственной и хозяйственной деятельностью на городском пространстве, при которой неизбежны прямые контакты с водной и геологической средой, не всегда должным образом продуманные и осуществляемые. Примером в этом отношении может послужить г. Иркутск, крупный город, являющийся одним из наиболее водообеспеченных по сравнению с другими городами регионов страны. Централизованное водоснабжение города основано целиком на поверхностном источнике – водохранилище Иркутской ГЭС. Быстрое и плотное слабо контролируемое освоение прибрежной полосы водоема, вплоть до уреза воды, настолько ухудшило санитарную обстановку, что в периоды весеннего снеготаяния и летних дождей при подаче населению воды приходится прибегать к гипохлорированию. Повышенная уязвимость единственного открытого

источника водоснабжения в такой ситуации вполне очевидна, что требует привлечения альтернативного и резервного источников водоснабжения – за счет подземных вод.

Альтернативой поверхностным водам являются подземные воды, обладающие надежной естественной защищенностью от источников загрязнения, свойственных урбанизированным территориям. Для города Иркутска такого рода подземные воды связаны исключительно с породами коренной основы. Опыт использования подземных вод в городе, особенно в периферической полосе, говорит о приемлемой ресурсной обеспеченности децентрализованного водоснабжения. Более того, в черте города находятся месторождения с защищенными ранее в Государственной комиссии запасами, количество которых способно обеспечить современную и перспективную потребность в воде. В настоящее время доля использования подземных вод в хозяйственно-питьевом водоснабжении населения очень мала и составляет в среднем по Иркутску менее 5%. Стоит отметить, что среди разведанных запасов три четверти составляют незащищенные в геологическом отношении ресурсы, привлекаемые из поверхностных водоемов и водотоков. На случай чрезвычайной ситуации в городе не имеется организованных резервных водозаборов.

Поиски подземных источников резервного и альтернативного централизованного водоснабжения для г. Иркутска начинались еще в прошлом столетии. В процессе выполнения поисковых работ были обнаружены два перспективных под детальную разведку участка – Ушаковский и Иркутский (рис. 1). Впоследствии они были разведаны, а эксплуатационные запасы утверждены в ГКЗ и приняты на баланс. Ресурсы пресных подземных вод участков сосредоточены, главным образом, в зоне интенсивного водообмена, мощность которой не превышает первых сотен метров. Для хозяйственно-питьевого водоснабжения при опытных работах использовались в основном не защищенные или условно защищенные первые от поверхности водоносные комплексы – четвертичный и юрский. Если защищенность четвертичного комплекса и качество вод вызывают обоснованные сомнения, подземные воды пород коренной основы, в целом, не испытывают сколько-нибудь заметного антропогенного влияния по сей день. Однако на потребительскую ценность эксплуатируемого водоносного горизонта могут воздействовать смежные гидрогеологические подразделения, содержащие воды с естественной некондиционностью.

На рассматриваемой территории некондиционность, как правило, связана с высоким содержанием железа и марганца, которые фиксировались при выполнении опытных работ на Ушаковском месторождении [1]. По результатам поисковых работ была оконтурена своеобразная зона пресных вод, имеющая изменчивую мощность. На склонах и междуречьях р. Ангары и Ушаковки она достигает 100 м, в основании склонов и в днищах долин снижается до 30 – 15 м (рис. 2). Вырождение зоны в днищах происходит, главным образом, за счет выпуклости нижней границы, образованной энергичной восходящей разгрузкой подземных вод со всех горизонтов осадочного чехла. Детальное исследование пресной зоны показало, что первый грунтовый водоносный горизонт мощностью до 20 м содержит воды с растворенным кислородом, в которых железо отсутствует. Ниже зоны окисления распространены так называемые глеевые воды, главной особенностью химического состава которых является высокое (до 100 мг/л) содержание закисного железа (Fe^{2+}), отсутствие кислорода, повышенная концентрация диоксида углерода, характерна и преобладает восстановительная обстановка. Поэтому в условиях нарушенного режима, особенно при переуглублении эксплуатационных скважин, к водоприемной части сразу подтягиваются пресные гидрокарбонатные щелочноземельные некондиционные по железу, а также по марганцу глеевые воды, имеющие зачастую весьма высокие фильтрационные характеристики.

Отсутствие ясного представления о реальной гидрогеохимической зональности пояса пресных вод в свое время нанесло большой ущерб альтернативному источнику централизованного водоснабжения – Ушаковскому месторождению. Причиной отказа от освоения утвержденных в ГКЗ эксплуатационных запасов послужило появление в воде железа в количестве 3 мг/л, а также превышение концентрации марганца. Не возникало сомнений, что некондиционность воды была обусловлена переуглублением пройденных скважин, т.е. скважины вскрывали

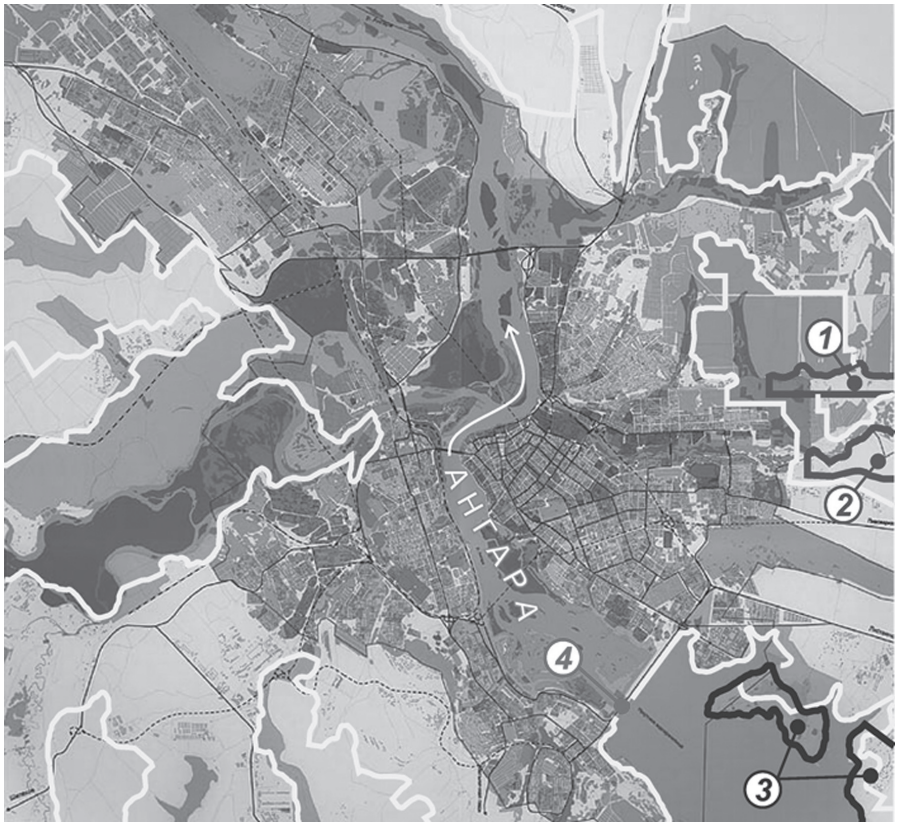


Рис. 1. Обзорная схема использования территории г. Иркутска (фрагмент).
Цифрами обозначены: 1 – правобережный участок месторождения «Ушаковского»; 2 – левобережный участок месторождения «Ушаковского»; 3 – участки «Иркутского» техногенного месторождения; 4 – действующий поверхностный водозабор г. Иркутска; желтыми линиями обозначена используемая территория г. Иркутска и пригородов

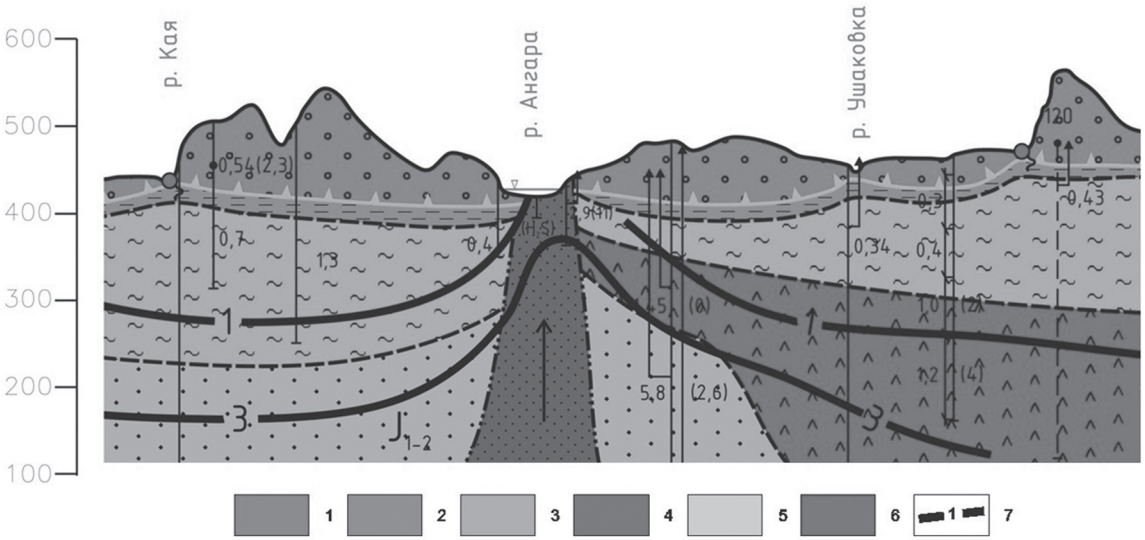


Рис. 2. Фрагмент гидрогеохимического разреза территории г. Иркутска (по материалам Б. М. Шенькман, Л. А. Сироткина, Б. Л. Шурыгина и др., 1969 – 2014 г.).
Химический состав воды: 1 – HCO_3 Ca-Mg; 2 – HCO_3 Ca-Mg (железистые); 3 – HCO_3 Na (содовые); 4 – Cl Na (безсульфатные); 5 – SO_4 Cl (сероводородные); 6 – SO_4 Cl Na; 7 – изогалины, 1 г/л и 3 г/л. Линиями с прерываниями выделены элементы гидрогеохимической стратификации в разрезе

вышеупомянутые глеевые воды. Позднее для оценки истинной мощности слоя пресных кондиционных вод в одной из трех скважин водозабора на Ушаковском участке был проведен дискретный гидрохимический каротаж в режиме общего покоя и возбуждения двух выработок [1]. Результаты каротажа совершенно определенно показали, что мощность слоя кислородосодержащих вод не превышает 15 м. При откачке эпюры кислорода и железа изменяются коренным образом за счет значительного притока из глеевого горизонта. Пояс пресных вод завершается напорным горизонтом содовых вод, не содержащих кислорода, железа и марганца. Поскольку при эксплуатационном режиме пройденных скважин кислородные, глеевые и подстилающие их содовые воды гидравлически взаимодействуют, то освобождение от железа и марганца возможно, если водоотбор осуществлять через напорный горизонт содовых вод.

Наиболее перспективное в целях водоснабжения города Ушаковское месторождение в настоящее время может вполне рассматриваться как альтернатива поверхностному водозабору Иркутской ГЭС, запасы которого в 1972 г. составили 20 000 м^3/сут, а в авторском варианте и вовсе оценены в 32 000 м^3/сут. Месторождение характеризуется двумя этажно расположенными в ненарушенных условиях гидравлически автономными напорно-безнапорными водоносными горизонтами. Они различны по условиям залегания, распространения, питания, стока, разгрузки, по химическому составу и температуре. Выделенный при подсчете запасов участок месторождения приурочен к двум линейным зонам высокой водообильности, ориентированным параллельно долине р. Ушаковки: одна – вдоль основания правого коренного склона долины, другая – на левобережной пойме (см. рис. 1). Обе зоны обладают обширными областями питания и стока, обеспечивающими ресурсное восполнение эксплуатационных запасов. Разведанное ранее месторождение остается не освоенным. Из-за длительного времени невостребованности оконтуренные водозаборные участки его выходят из строя: застраиваются зоны санитарной охраны, изменяются эколого-гидрогеологические условия формирования запасов и др. Основной причиной изменения экологической обстановки может вполне считаться нерациональное использование земель органами местной власти.

Возможность привлечения подземных вод вышеназванных источников в систему существующего городского водоснабжения ограничивается некоторыми факторами. Так, по оцененным месторождениям с утвержденными запасами истек 25-летний балансовый срок постановки на учет, из-за чего возникает необходимость в актуальной их переоценке. В границах зон санитарной охраны проектных водозаборов произошли существенные изменения, вследствие чего невозможно использовать эту территорию под прежние цели. Принятые при подсчете эксплуатационных запасов ранее схемы водозаборов подземных вод не отвечают современным техническим стандартам и возможностям. Перечисленные обстоятельства накладывают ограничения на использование эксплуатационных запасов: необходимо их предварительное количественное и качественное подтверждение. Кроме того, в городской черте имеется большое количество разнообразных источников загрязнения подземных вод. Современное совокупное влияние подобных источников ограничивается локальностью размещения, незначительным ареалом рассеивания и слабой либо отсутствующей взаимосвязью с основным эксплуатационным водоносным горизонтом. С увеличением техногенной нагрузки вообще, а на наиболее уязвимых участках в особенности, потенциал природной защищенности может быть исчерпан. Для предотвращения негативных изменений необходимо детализировать гидрогеологические условия застроенной и застраиваемой территории, ограничить развивающуюся застройку и хозяйственное освоение земель, установить жесткий контроль над ценными в отношении водоснабжения площадями.

Список литературы

1. Шенькман, Б. М. Железо и марганец в пресных подземных водах Иркутска / Б. М. Шенькман, П. А. Шолохов, И. Б. Шенькман // Вестник ИрГТУ. – 2011. – № 8 (55). – С. 76–83.

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОМЧАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МАГАДАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Шубин И. С., Ершов Г. Е.
ЗАО «ГИДЭК», г. Москва, ivan.shubin@gmail.com, ershov@hydec.ru

Аннотация. В статье рассмотрены особенности формирования запасов подземных вод месторождений в таликах речных долин в области развития многолетнемерзлых пород на примере Омчакского месторождения. Рассмотрен внутригодовой режим эксплуатации водозабора в таликовой зоне, методом численного математического моделирования воспроизведена работа Омчакского водозабора. Показано, что основными факторами, определяющими проектную схему водозабора, являются режим поверхностного стока, площадь таликовой зоны и характер изменения емкости водовмещающих пород.
Ключевые слова: *вечная мерзлота, талик, эксплуатационные запасы подземных вод, численное математическое моделирование.*

Abstract. The article covers the problems of ground water resources maturation in the talik area of the permafrost fields, illustrated by Omchak field of groundwater. Intrageneric regime operation of water intake in talik was viewed. Using the method of numerical mathematical modeling the work of Omchak water intake was reproduced. It is shown that the main factors determining the design of the intake scheme are the surface drain regime, the area of talik zone and storage behavior.
Key words: *permafrost, talik, underground-water supply, numerical mathematical modeling.*

В настоящее время, в связи с развитием золотодобывающей промышленности на северо-востоке России, актуальна проблема поиска пресных подземных вод в условиях вечной мерзлоты.

Согласно типизации месторождений подземных вод, разработанной Л. С. Язвиным и Б. В. Боревским [1], в области распространения многолетнемерзлых пород (ММП) водоснабжение базируется, как правило, на месторождениях в таликах речных долин. В зависимости от условий формирования эксплуатационных запасов здесь могут быть выделены месторождения под крупными, полностью не промерзающими зимой равнинными реками и месторождения под полностью промерзающими зимой реками горных и предгорных областей. Для первой группы месторождений основным источником формирования эксплуатационных запасов являются привлекаемые ресурсы – поверхностный сток; в месторождениях второй группы в период отрицательных температур при полном промерзании реки эксплуатационные запасы обеспечиваются сработкой естественных емкостных запасов, в период наличия стока к водозаборам привлекаются поверхностные воды.

Особенности формирования эксплуатационных запасов подземных вод месторождений в таликах речных долин второй группы рассмотрим на примере Омчакского месторождения подземных вод в Магаданской области.

Первое месторождение золота в долине р. Омчак – Наталкинское – было разведано в 1932 г., а в 1945 г. была построена обогатительная фабрика. В процессе изучения мерзлотно-геологических условий дражной отработки россыпного месторождения Омчакской гидрогеологической партией Верхнеколымского РГРУ в 1954 г. был разведан надмерзлотный устойчивый слабо обводнённый талик, к которому приурочено Омчакское месторождение пресных подземных вод (МППВ). Эксплуатационные запасы месторождения были впервые оценены в 1986 г. гидрогеологической экспедицией «Севвостгеология» в количестве 4,4 тыс. м^3/сут для водоснабжения промышленных объектов и населенных пунктов рудника им. Матросова. Прогнозные расчеты производились на конец зимнего (бессточного) периода с обеспеченным возобновлением в летний период сработанных за зиму запасов, применительно к линейному водозабору из пяти скважин.

В настоящее время на новом этапе освоения Наталкинского золоторудного месторождения начинается его разработка закрытым способом и строится новый горно-обогатительный

комбинат. Ввод в эксплуатацию новых производственных мощностей увеличил перспективную потребность в воде до 5,8 тыс. м^3/сут (на 2047 г.). Для обоснования возможности такого водоотбора в ограниченном по площади талике в 2014 г. ЗАО «ГИДЭК» была выполнена переоценка запасов подземных вод Омчакского месторождения.

Омчакское месторождение подземных вод приурочено к таликовой зоне в долине р. Омчак, русло которой совпадает с зоной одноименного разлома северо-западного простирания. Повышенные фильтрационные свойства пермских отложений в зоне дробления разлома обеспечили условия для их глубокого размыва и формирования достаточно широкой долины р. Омчак с образованием в пойме реки 4 – 10-метровой толщи аллювиальных отложений, а также возникновения сквозной таликовой зоны, обеспечивающей гидравлическую взаимосвязь поверхностных вод и подземных вод подмерзлотных пермских отложений. Талик простирается на 8 км вверх по течению реки от широтного Геологического разлома (рис. 1).

Река Омчак является самым крупным водотоком в исследуемом районе, длина 55 км, ширина долины у посёлка Омчак достигает 800 – 1200 м. Среднегодовой модуль стока составляет 8,61 м^3/с, минимальный расход отмечается в октябре (0,13 м^3/с), максимальный – в июне – августе (52,3 м^3/с). Зимой поверхностный сток по р. Омчак и её притокам отсутствует. Русла рек и ручьёв освобождаются ото льда в конце мая, когда наблюдаются снеговые паводки. Среднемноголетняя продолжительность бессточного периода составила 192 сут, максимальная наблюдавшаяся продолжительность – 215 сут.

Гидрогеологический разрез Омчакского месторождения представлен следующими подразделениями (рис. 1).

1. Таликовый горизонт современных аллювиальных отложений (четвертичный водоносный горизонт) сложен гравийно-галечниками с включениями валунов с песчаным и суглинистым заполнителем. Мощность четвертичных отложений 5-6 м, коэффициент фильтрации аллювиальных отложений изменяются от 6 до 400 м^2/сут. Питание водоносного горизонта происходит в теплый период за счет инфильтрации атмосферных осадков и за счет разгрузки вод сезонноталого слоя. Разгрузка осуществляется в реку и частично в нижележащий водоносный горизонт. Уровень подземных вод в летнее время находится на глубине 0,4 – 0,8 м от поверхности земли. В зимнее время в связи с отсутствием питания к концу критического периода уровень подземных вод опускается до глубины 5 – 7 м и водоносный горизонт осушается.

2. Таликовая водоносная зона трещиноватости верхнепермских отложений (ВЗТ) распространена в пределах сквозного талика в долине реки Омчак и ее левых притоков – ручьев Ытырган и Оротукан. Водоносная зона сложена неравномерно трещиноватыми глинистыми сланцами, мощностью 130 – 160 м. Неравномерность трещиноватости определяет фильтрационную неоднородность верхнепермских отложений в таликовой зоне. По результатам расходометрии в разрезе водоносной зоны выделены два интервала активной трещиноватости: в верхней части разреза – до глубин 30 – 60 м и в нижней части разреза – на глубинах 135 – 160 м. Питание водоносного горизонта таликовой зоны происходит за счет перетекания из четвертичного водоносного горизонта. Уровни подземных вод таликовой зоны трещиноватости в летнее время находятся на глубине 1,1 – 10,8 м от поверхности земли, в осенне-зимний период в естественных условиях происходит снижение уровня подземных вод на 7-8 м.

3. Локально-водоносная зона трещиноватости верхнепермских отложений (ЛВЗТ) распространена повсеместно, залегает под толщей ММП и ВЗТ. Водомещающие породы представлены однообразной толщей слаботрещиноватых песчано-глинистых и туфогенных сланцев, алевролитов и песчаников. Фильтрационные свойства пород этой зоны низкие, удельные дебиты изменяются от 0,002 до 0,07 л/с, проводимость по данным одиночных опробований 1 – 10 м^2/сут. Глубина залегания уровня подземных вод ЛВЗТ на водоразделах составляет 70 – 150 м, а в долине реки – 2 – 10 м.

4. Многолетнемерзлые породы, представленные нацело промороженными четвертичные отложениями и частично промороженными верхнепермскими отложениями, распространены практически на всей рассматриваемой территории, за исключением контура сквозного

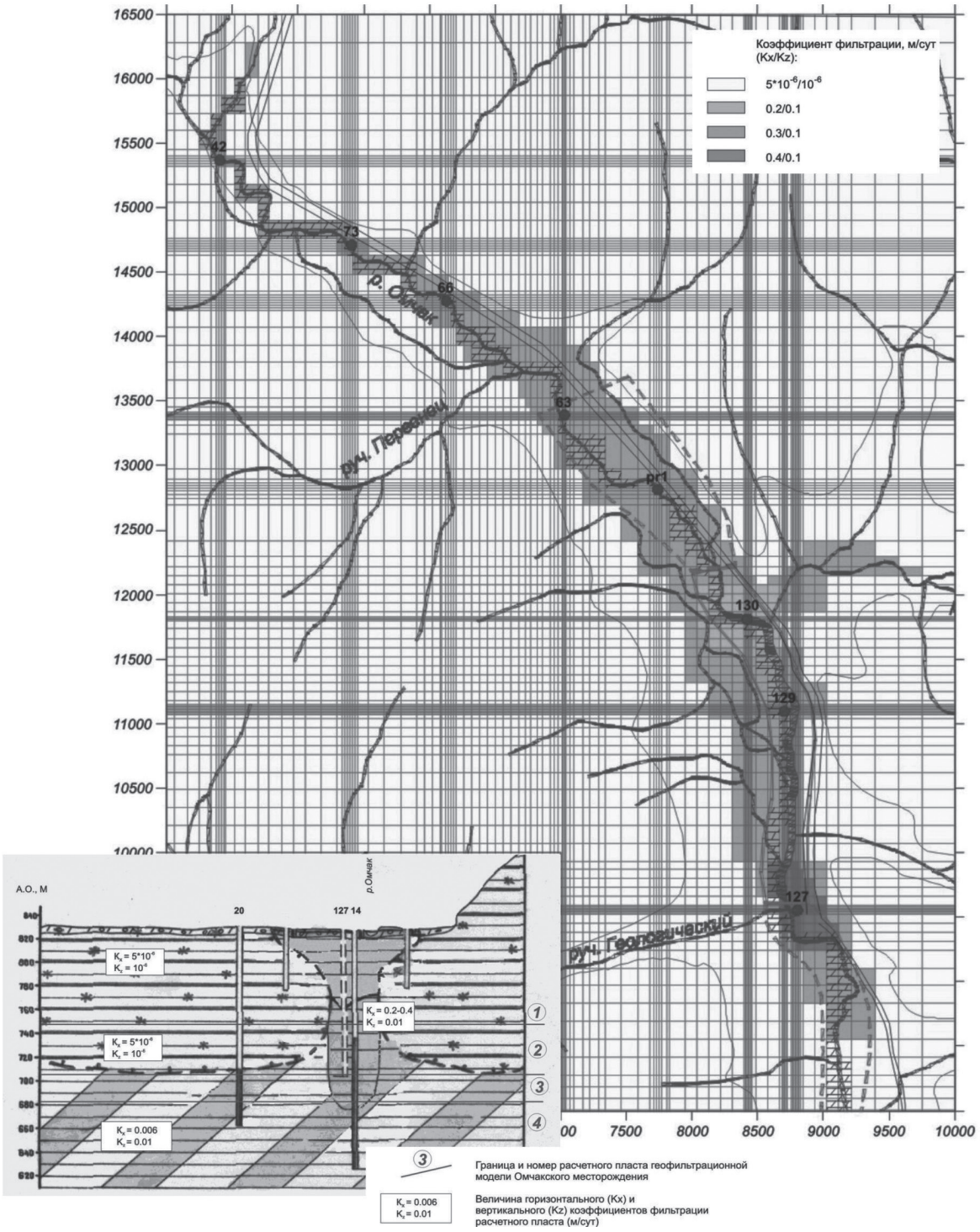


Рис. 1. Геофильтрационная схема Омчакского месторождения

талика в долине р. Омчак. Мощность ММП в долине реки составляет 50 – 120 м, на склонах долины и на водоразделах достигает 180 – 300 м.

Целевым водоносным горизонтом Омчакского месторождения, на базе которого организовано хозяйственно-питьевое и техническое водоснабжение, является водоносная зона трещиноватости верхнепермских пород, развитая в пределах талика в долине р. Омчак. Целевой водоносный горизонт представляет собой, таким образом, пласт-полосу шириной 100 – 500 м

и мощностью 130 – 160 м, вложенную в многолетнемерзлые породы. Нижней границей пласта являются слабопроницаемые отложения ЛВЗТ (P_2). Верхней границей пласта в летнее время является свободная поверхность, связанная с рекой, а в зимнее время в кровле пласта образуется преимущественно непроницаемый промороженный пласт четвертичных отложений. Однако при этом подрусловой поток в четвертичных отложениях, направленный вниз по долине р. Омчак, сохраняется ещё достаточно длительный период.

До 2005 г. водоснабжение потребителей базировалось на работе компенсационного водозабора со следующим режимом работы:

– в летнее время (с середины мая до середины октября) для водоснабжения использовались поверхностные воды р. Омчак из каптажной галереи;

– в зимнее время водоснабжение осуществлялось за счет подземных вод зоны трещиноватости верхнепермских отложений, эксплуатируемых тремя скважинами с суммарным водоотбором в зимний период 2,4 – 3,6 тыс. $м^3$/сут. Водозаборные скважины включались в работу последовательно, по мере необходимости покрытия появляющегося в октябре дефицита в воде, в связи с уменьшением (до полного прекращения) водоотбора из каптажной галереи. Понижения на конец меженного периода составляли 40 – 80 м.

В настоящее время месторождение в течение всего года эксплуатируется скважинным водозабором из трех скважин с суммарным дебитом 0,5 – 2,1 $м^3$/сут. В летний период попеременно работают скважины 127 и 124, в зимний период подключается скважина 129-2-бис. Понижения на конец меженного периода составляют порядка 40 м.

Переоценка эксплуатационных запасов Омчакского месторождения подземных вод была выполнена методом численного математического моделирования с использованием программного комплекса Visual Modflow на специально разработанной геофильтрационной модели месторождения. Основой для разработки модели Омчакского МППВ послужили материалы работ по поискам и предварительной разведке подземных вод Омчакского МППВ для целей хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения ЗИФ рудника им. Матросова 1986 г.

В пределах Омчакского месторождения поток подземных вод приурочен к многопластовой фильтрационной среде, представленной тремя водоносными пластами:

– пласт 1 включает в себя верхний интервал активной трещиноватости ВЗТ (P_2), объединенный с четвертичным водоносным горизонтом;

– пласт 2 – средний интервал ВЗТ (P_2);

– пласт 3 состоит из нижнего интервала активной трещиноватости ВЗТ (P_2).

Границы расчетных пластов в разрезе выделены не по возрастным геологическим границам, а на основе особенностей литологического строения и мерзлотных условий разреза (см. рис. 1) и заданы наклонно согласно природному залеганию.

Внешние границы модели заданы по местным водоразделам в областях питания потока подземных вод (непроницаемые границы). На верхнюю границу первого от поверхности водоносного пласта задавалось питание подземных вод за счет инфильтрации атмосферных осадков в теплое время года и граница III рода (р. Омчак).

Калибровка модели Омчакского месторождения выполнялась в два этапа. В процессе решения обратной стационарной задачи на модели воспроизводились гидрогеологические условия летнего периода, соответствующие естественным условиям взаимосвязи подземных вод с р. Омчак при неработающих эксплуатационных скважинах. Нестационарная задача по воспроизведению опыта эксплуатации юго-восточной части Омчакского водозабора (скв. 127, 129 и 130) решалась для периода, соответствующего одному году (октябрь 1985 г. – октябрь 1986 г.), в течение которого водозабор работает 210 суток, и за это время срабатывается половина мощности пласта, а затем при отключении водозабора быстро происходит полное восстановление уровней. Восстановление уровня идет быстрее (первые недели), чем снижение уровней после прекращения стока (4–5 месяцев), что связано с высокими емкостными параметрами таликовой зоны р. Омчак.

В процессе решения обратной нестационарной задачи уточнялись фильтрационные и емкостные параметры эксплуатируемого пласта ВЗТ. Обратная задача решалась подбором, на рис. 2 приведены совмещенные натурные и расчетные графики изменения уровня подземных вод в эксплуатационных скважинах Омчакского водозабора. Некоторые отклонения расчетных и натурных уровней в эксплуатационных скважинах связаны с тем, что в процессе водоотбора происходило незафиксированное изменение дебитов скважин.

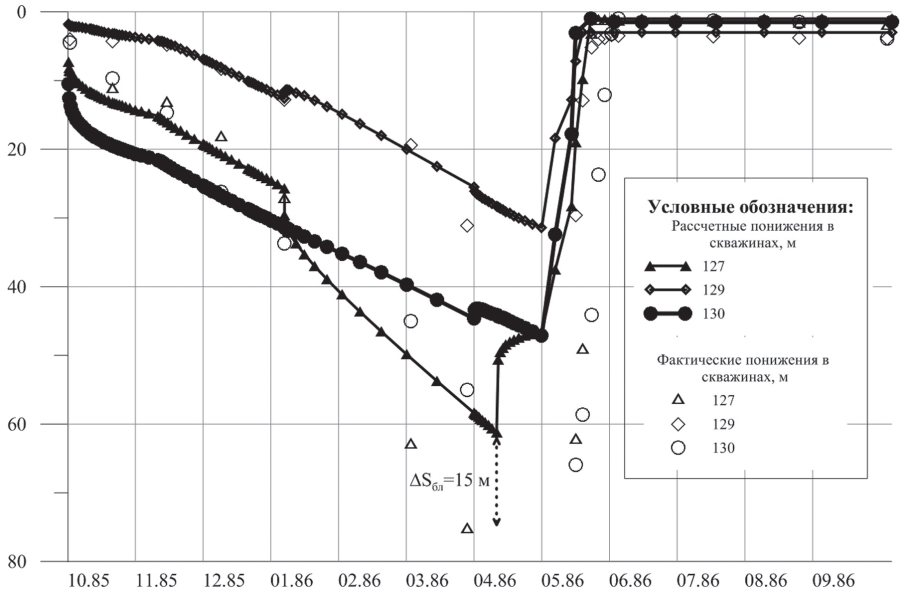


Рис. 2. Сопоставление натурных и расчетных понижений уровня в скважинах Омчакского водозабора (1985 – 1986 гг.)

Для перехода от расчетного уровня в блоке, полученного в результате моделирования, к уровню в водозаборной скважине рассчитывалась поправка $\Delta S_{бл}$, связанная с несоответствием между реальной структурой радиального притока к скважине и линейной структурой течения на модели. С учетом поправок $\Delta S_{бл}$ полученные при моделировании величины понижений на конец критического периода соответствуют натурным (см. рис. 2). Скорость восстановления уровня после остановки водозабора также соответствует натурной.

В качестве расчетных величин параметров эксплуатируемого пласта по результатам калибровки модели были приняты величины, при которых получены расчетные понижения в конце критического периода, и скорость восстановления уровня соответствуют натурным: K_x = 0,3 м/сут на большей территории талика, область с K_x = 0,4 м/сут выделена в районе скважины 127, область с K_x = 0,2 м/сут – в районе скважины 130; вертикальный коэффициент фильтрации K_z = 0,01 м/сут; коэффициент гравитационной водоотдачи – μ = 0,01.

В процессе решения обратной задачи было установлено, что уровни подземных вод в таликовой зоне наиболее чувствительны к изменению уровня в реке, площади таликовой зоны и характеру изменения емкости водовмещающих отложений (уменьшение емкостных параметров с глубиной разреза и с отдалением от русла реки к границам талика).

В течение года балансовая структура водоотбора на Омчакском месторождении обеспечивается разными источниками формирования: в летний период – естественные ресурсы (инверсия разгрузки подземных вод в реки) и привлекаемые ресурсы (привлечение речных вод), а в бессточный зимний период – только емкостные запасы трещиноватых пород в таликовой зоне.

Список литературы

1. Боревский, Б. В. Оценка запасов подземных вод / Б. В. Боревский [и др.]. – Киев. – 1989. – 407 с.

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ГИДРОГЕОЛОГИИ

Материалы Всероссийского совещания по подземным водам Востока России
(XXI Совещание по подземным водам Сибири и Дальнего Востока
с международным участием)

г. Якутск, 22 – 28 июня 2015 г.

Утверждено к печати ученым советом
Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН

Редакторы Н. А. Устюжина, Л. А. Максименко
Компьютерная верстка А. А. Федорова

ИД 05324 от 09 июля 2001 г. Подписано в печать 11.06.2015. Формат 60×84 1/8.
Усл. печ. л. 48,6. Уч.-изд. л. 50,0. Тираж 500 экз. Заказ № 25.

Издательство и типография Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН.
677010, г. Якутск, ул. Мерзлотная, д. 36, ИМЗ СО РАН.