

изменению электропроводности и размеров проводящих объектов у них выше;

при малом аддитивном шуме моделируемая глубина выделяемого хорошо проводящего коллектора по h_F (СТЕМ-1) составляет 4000 м, а по $H(t)_T$ — 2000 м (Цикл-7).

Таким образом, новый метод СТЕМ и экспериментальный образец комплекса СТЕМ-1 обладают существенно большей потенциальной глубиной и разрешающей способностью по сравнению с традиционными методом и аппаратурой. Поэтому можно ожидать, что внедрение в практику геологоразведочных работ новой конкурентоспособной и экономичной технологии электромагнитного зондирования недр на основе промышленных образцов комплекса СТЕМ-1 значительно повысит эффективность проводимых геологоразведочных работ на нефть, газ и другие виды полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. — М.: Радио и связь, 1985. — 384 с.
2. Великин А.Б. Способ электроразведки и устройство для его осуществления (варианты): патент 2354999 РФ: МПК G01V3/08; заявл. 04.07.07; опубл. 10.05.09. Бюл. № 13.

3. Дубицкий С.Д. Программный комплекс Elcut, <http://elcut.ru/publications/dubitsky2.pdf>. (05.04.2015).
4. Жданов М.С. Сто лет электромагнитной геофизике: заметки о прошлом и дорога в будущее. / Матер. 5-й всерос. школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям земли ЭМЗ. Кн. 1. — СПб.: СПбГУ, 2011. — С. 54–87.
5. Ильичев П.В., Бобровский В.В. Применение шумоподобных сигналов в системах активной геоэлектроразведки (результаты математического моделирования и полевого эксперимента) // Сейсмические приборы. — 2014. — Т. 50. — № 2. — С. 5–9.
6. Светов Б.С., Алексеев Д.А. и др. Применение шумоподобных сигналов в зондированиях становлением поля // Геофизика. — 2012. — № 1. — С. 52–60.
7. Duncan P.M. et al. The development and applications of a wide band electromagnetic sounding system using a pseudo-noise source // Geophysics. — Vol. 45. — No. 8. — 1980. — P. 1276–1296.
8. Velikin A.B., Bulgakov Ju.I. Transient electromagnetic method (One loop version), Proceedings of the UNO International Seminar. — Moscow, 1967.
9. Kamenetsky F.M., Stettler E.H., Trigubovich G.M. Transient geo-electromagnetics. Ludwig-Maximilian-University. — Munich, 2010.
10. Ziolkowski A., Wright D., Shallow water Multi-Transient EM Surveys in the North Sea, 3rd International Oil and Gas Symposium in Western Newfoundland. — 2008.

© Великин А.Б., Великин А.А., 2016

Великин Александр Борисович // avelikin@mail.ru
Великин Алексей Александрович // aavelikin@mail.ru

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.334.52:551.2

Манукьян В.А. (Росгидрогео)

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В МЕЖГОРНЫХ ВПАДИНАХ ЮГО-ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

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 привело к заметному загрязнению подземных 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.

Manukyan V.A. (Rosgidrogeo)

THE INFLUENCE OF THE PERMANENT NATURAL FACTORS AND FAULTY TECHNOLOGY ON THE EXPLOITATION OF UNDERGROUND WATERS IN THE INTERMOUNTAIN AREAS OF SOUTH-EASTERN ZABAYKALYE

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 wa-

ter 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. (В.А. Манукьян, В.С. Сорокина, Н.А. Григорьев, А.М. Таболина) расположено на юго-востоке Забайкалья в межгорной впадине, которая 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 $Q_0 = 1,99 \text{ м}^3/\text{с}$. Река, текущая преимущественно на многолетнемерзлых породах мощностью от 15–20 до 38 м, прорезает с севера на юг Кличкинский хребет, поворачивает на восток при входе в Восточно-Урулюнгуйскую депрессию и достигает р. Аргунь. При дефиците воды в регионе такое крупное месторождение было признано уникальным в 1968 г. на совместном заседании представителей Минсредмаша и Мингео СССР и отмечена недопустимость строительства отстойников и хвостохранилищ гидрометаллургического производства урана в верховьях долины. Позд-

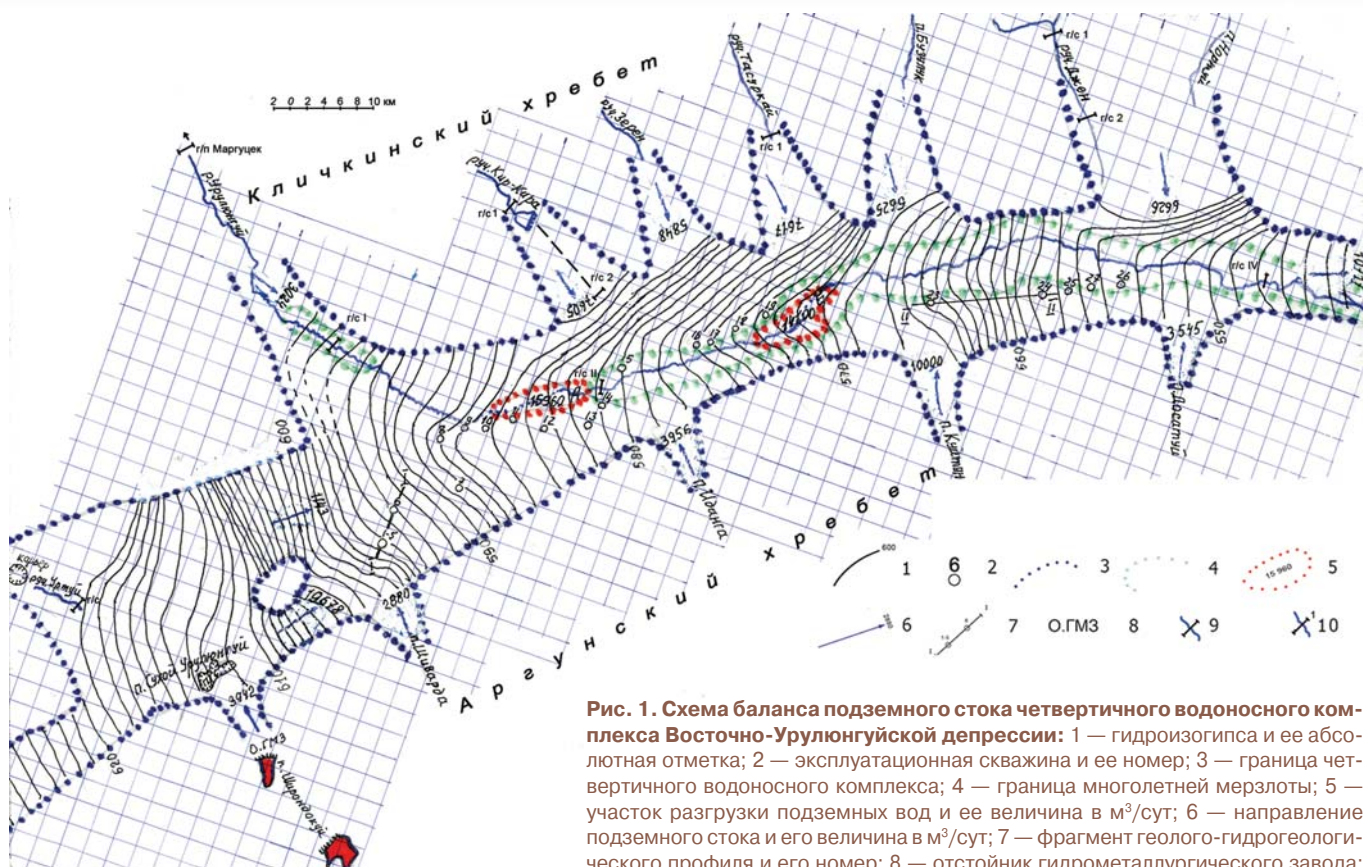


Рис. 1. Схема баланса подземного стока четвертичного водоносного комплекса Восточно-Урулунгуйской депрессии: 1 — гидроизогипса и ее абсолютная отметка; 2 — эксплуатационная скважина и ее номер; 3 — граница четвертичного водоносного комплекса; 4 — граница многолетней мерзлоты; 5 — участок разгрузки подземных вод и ее величина в м³/сут; 6 — направление подземного стока и его величина в м³/сут; 7 — фрагмент геолого-гидрогеологического профиля и его номер; 8 — отстойник гидрометаллургического завода; 9 — г/п Маргучек гидропост государственный; 10 — гидроствор временный

нее такие сооружения были созданы в непосредственной близости от головного водозабора.

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. Урулунгуй. 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 ее инверсия привела к отсутствию сколько-нибудь заметной сработки запасов за 45 лет эксплуатации месторождения.

За период эксплуатационной разведки (1972–2012 гг.) происходил процесс создания достоверной фильтрационной схемы, включая распределение проводимости и водоотдачи в плане уточнения баланса подземного и поверхностного стоков и динамики химического состава. Четвертичный водоносный комплекс (Q_{I-IV}) озерно-аллювиального генезиса мощностью до 60 м 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 всем ее 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 про-

ницаемость ($K_f = 400–1500$ м/сут). Проводимость комплекса по данным образцовых откачек из кустов № 1 и 3 [1] составила 3500–4000 м²/сут, а ее колебания в пределах всей депрессии — от 500 до 9000 м²/сут.

Способ разглинизации скважин, предложенный автором в 1967 г., обеспечил для центральных совершенных скважин достижения дебитов Q , равных 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. В 1972–1975 гг. была опубликована серия статей В.А. Мироненко, Л.С. Язвина и др. о невозможности получения истинной проводимости одиночных скважин, пробуренных с применением глинистого раствора. Эффективность применения нашего способа разглинизации получила подтверждение в 1986 г. в экспериментах ГКЗ (Н.К. Гавич, Л.С. Язвин).

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 пря-

молинейный 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 снижения уровня в каждом горизонте [2]. Для скв. 21 (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 $\lg a_2$ — определенный по начальному отрезку графика прослеживания, равен 6,52 (при $a_2 = 3,3 \times 10^6$ м²/сут) [1].

Предварительно по второму отрезку графика (рис. 3) вычисляем логарифм $a_{cp} = 5,66$ и $a_{cp} = 457088$ м²/сут. Отсюда при $km = 3480$ м²/сут [1] водоотдача $\mu_{эф} = 3480/457088 = 7,6 \times 10^{-3} = 0,76$ %. При этом упругая водоотдача $\mu_{упр} = km/a_{нап} = 3480/3,3 \times 10^6 = 10^{-3} = 0,1$ %, т.е. на порядок меньше эффективной водоотдачи. Начальная мощность обоих напорных пластов Σm равна 26,5 м, средний коэффициент фильтрации $k_{cp} = 3480/26,5 = 131$ м/сут.

В соответствии с вышеприведенной формулой для a_{cp} рассчитаем коэффициент уровня проводимости a_1 при

известном по начальному отрезку коэффициенте пьезопроводности $a_2 = 3,3 \times 10^6$ м²/сут [1] при $m_1 = 9,5$ м и $m_2 = 17$ м — $km_1 = 1250$ м²/сут и $km_2 = 2230$ м²/сут.

Отсюда

$$\frac{km_1}{\Sigma km} = 0,359 \quad \text{и} \quad \frac{km_2}{\Sigma km} = 0,641.$$

Далее записываем для

$$\lg a_{cp} = 0,359 \times \lg a_1 + 0,641 \times \lg 3,3 \times 10^6$$

При $\lg a_{cp} = 5,66$ (см. выше) $\lg a_1 = 4,12$ и $a_1 = 1,326 \times 10^4$ м²/сут.

Отсюда водоотдача верхнего слоя при его частичном осушении $\mu_{грав} = 1250/13260 = 0,095 = 9,5$ %. Был рассмотрен частный случай вычисления водоотдачи комплекса, приведенного в начале опыта к трехслойному напорному комплексу. Для оценки водоотдачи на восточном участке долины, обладающем высокой проводимостью, была проведена кустовая откачка с максимально возможным возмущением ($Q_0 = 250$ л/с). Условный радиус откачки оказался равным 9 км. В результате решения обратной задачи на модели (Б.М. Зильберштейн) при существенной вертикальной анизотропии комплекса рассчитанная водоотдача оказалась равной $\mu = 0,04 = 4$ %, а проводимость $km = 8000$ м²/сут. Графоаналитический расчет водо-

отдачи по данным опробования куста № 5 показал $\mu = 0,07 = 7$ %.

Для дифференциации водоотдачи в плане всего месторождения, включая Сухой Урулунгуй, 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 [3]. Рассчитав пьезопроводность каждой пары скважин, легко получить водоотдачу, зная среднюю проводимость между этими скважинами. К 1993 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. Уровень знаний о гидрогеологических условиях месторожде-

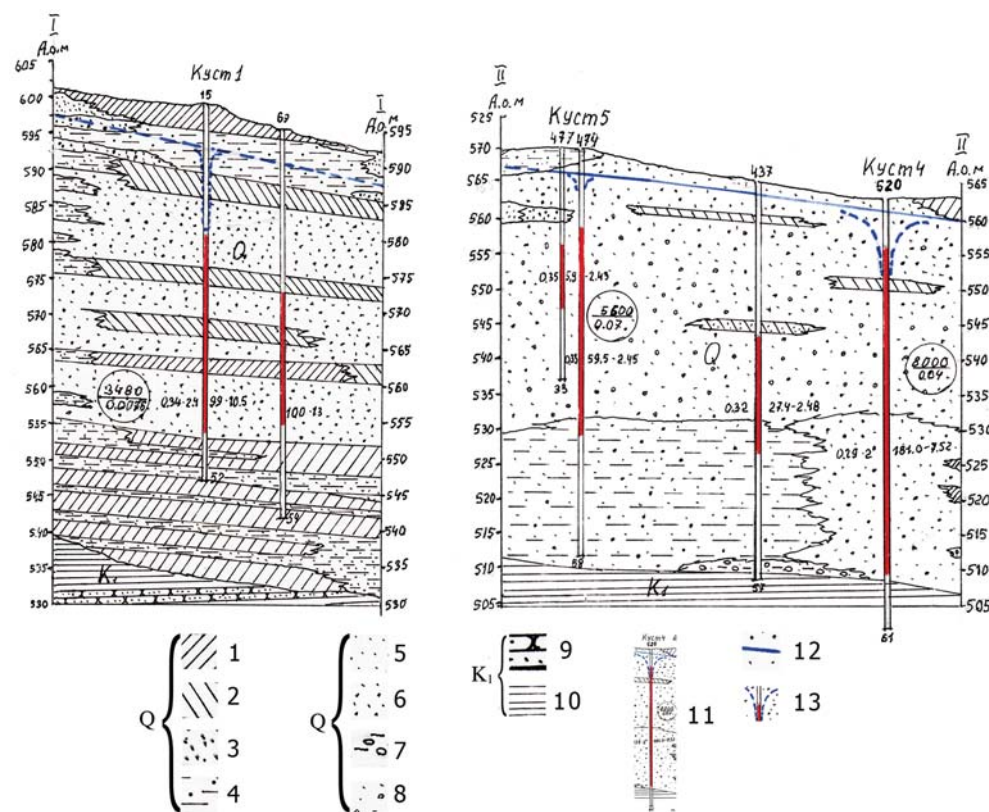


Рис. 2. Гидрогеологические разрезы: 1 — суглинок; 2 — глина; 3 — песок к/з; 4 — песок гравелистый с супесчаным заполнителем; 5 — песок м/з; 6 — песок гравелистый; 7 — галечник с глинистым заполнителем; 8 — песок с мелким галечником; 9 — песчаник; 10 — глина; 11 — скважина: (сверху — номер; снизу — глубина, м; красным цветом — интервал фильтра; справа — дебит, л/с и понижение, м; слева — минерализация, г/л и температура, °С; справа в круге: в числителе — проводимость, м²/сут; в знаменателе: водоотдача); 12 — уровень подземных вод; 13 — депрессионная воронка

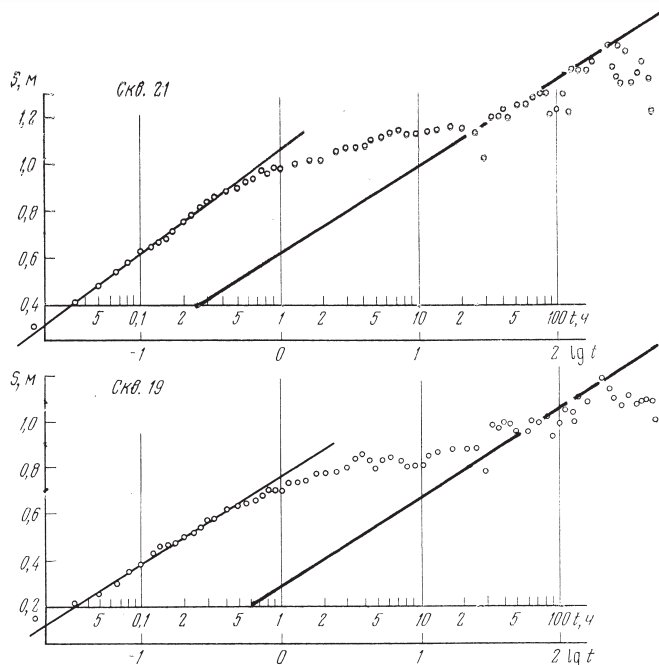


Рис. 3. Куст № 1. Графики прослеживания слежения уровня

ния был признан ведущими учеными-гидрогеологами РФ (В.А. Мироненко, В.М. Шестаков и др.) наивысшим в условиях длительной эксплуатации в зоне влияния уранового горно-химического комбината. В 1992 г. была составлена методика мониторинга федерального полигона 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 и в табл. 1 представлены результаты решения стационарной задачи, отражающие баланс подземного стока на 30 октября 1991 г. (60 сут без осадков) в год высокой водности. Баланс учитывает приток из пади Сухой Урулюнгуй, из долины р. Урулюнгуй, а также из 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 Ширококуй), фильтрацию из водохранилища пади Тулукуй (верховье Сухого Уру-

люнгуя) 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 постоянно питания месторождения из пади Сухой Урулюнгуй. В отрицательные элементы баланса входят разгрузка подземного потока из двух таликов (А и Б), 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 (или) пьезометрическую поверхность комплекса с высокой точностью на момент прекращения осадков, внешние и внутренние границы основаны на использовании площадных электроразведочных работ методом ВЭЗ.

В табл. 1 указан общий приток подземных вод, равный 76947 м³/сут, отток на восточной границе, равный 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 20821 м³/сут ($q = 0,20$ л/с·км²) из

Таблица 1
Таблица модулей подземного стока Восточно-Урулюнгуйской депрессии

Бассейн-падь	Площадь, км ²	Сток, м ³ /сут	Сток, л/с	Модуль стока, л/с·км ²	Средний по правому и левому борту долины
Сухой Урулюнгуй и Уртуй	1229	20821	241	0,20	
Р. Урулюнгуй	—	3024	35		
Руч. Кир-Кира	136	7605	88	0,647	Левый Борт 0,66
Руч. Зерен	41	5248	61	(1,49)	
Руч. Тасуркай + падь Бузулук	201	13242	153	0,76	
Руч. Джен + падь Нортуй	135	6626	77	0,57	
Падь Досатуй	75	3545	41	0,55	Правый Борт 0,5
Падь Куйтун	172	10000	116	0,67	
Пади Иданга и Широкая	104	3956	46	0,44	
Падь Шиварда	92	2888	33	0,36	
Итого приток		76947	890,6		
Отток		107717	124		
Разгрузка А		15960	184,7		
Разгрузка Б		14100	163,2		
Водоотбор эксплуатационный		36170	418,6		
Падь Ширококуй (в бассейне Сух. Урулюнгуй)	58	3942	44,1	0,76	Инфильтрация из отстойников

Таблица 2
Результаты вычисления стока р. Урулюнгуи и ее притоков

Вод-ность	Единица измерения	г/п Маргуцек	г/с I	ΔQ	г/с II	ΔQ	г/с IV	ΔQ	г/с 1 руч. Кир-Кира	г/с 2 руч. Кир-Кира	ΔQ	г/с 1 руч. Тасур-кай	Руч. Уртуй	Падь Сухой Урулюнгуи	Примечание
НИЗКАЯ	м³/с	0,350	0,183	-0,167	0,325	0,142							0,045	(0,1/0,6)	F Зап. Ур. = 3540 км²
	л/с	350	183	-167	325	142							45	(110,6)	
	м³/сут	30240	15811	-14429	28080	12269							3888	(9557)	
	л/с·км²	0,099	—	—	—	—							0,09	(0,099)	F С. Ур. = 1229 км²
50% обеспеченность	м³/с	1,03	0,935	-0,095	0,741/0,722	0,194	/0,874	0,152	0,1166					(0,3576)	
	л/с	1030	935	-95	741/722	194	/874	152	116,6					(357,6)	
	м³/сут	88992	80784	-8208	64022/62381	16762	/75514	13133	10074					(30900)	
	л/с·км²	0,291	—	—	—	—	—	—	0,857					(0,291)	
ВЫСОКАЯ	м³/с	6,30	6,13	-0,17	6,205/6,179	0,075	/6,216	/0,037	/0,42	0,311	-0,109	0,169			Qг/с 2 = 0,420
	л/с	6300	6130	-170	6205/6179	75	/6216	/37	/420	311	-109	169			
	м³/сут	544320	529632	-14688	536112/533866	6480	/537062	/3214	/36988	26870	-9418	14515			F Тас. = 168 км²
	л/с·км²	1,78	—	—	—	—	—	—	1,309		-0,838	1,0			F Кир-Кира = 136 км²

левых падей долины — 32721 м³/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.

Рассмотрим баланс поверхностного стока для сопоставления с подземным. По данным табл. 2 возможно оценить сток р. Урулюнгуи при входе в Восточно-Урулюнгуйскую депрессию в годы различной водности, а также приближенно определить величину подземного стока левых притоков и пади Сухой Урулюнгуи. Для этого была построена кривая обеспеченности стока р. Урулюнгуи по г/п Маргуцек за 28 лет наблюдений.

Среднегодовой расход $Q_0 = 1,99$ м³/с, коэффициент вариации $Cv_1 = 1,19$, $Cv_2 = 1,17$, коэффициент асимметрии $Cs = 3,22$; 50 % обеспеченность стока р. Урулюнгуи равна 1,03 м³/с, обеспеченность стока низкой водности 0,35 м³/с, высокой водности — 6,3 м³/с. Сток р. Урулюнгуи продолжается 7 месяцев — с апреля по октябрь. При площади бассейна р. Урулюнгуи у г/п Маргуцек (Западно-Урулюнгуйская депрессия), равной $F = 3540$ км² и годам низкой водности ($Q = 0,35$ м³/с) модуль стока равен $q = 0,099$ л/с·км², для годов средней водности (50 % обеспеченность) модуль стока $q = 1030:3540 = 0,29$ л/с·км². Ручей Уртуй, сформированный в котловине Кличкинского хребта и

впадающий в падь Сухой Урулюнгуи (рис. 1) при многолетнем (1970–1983 гг.) среднем расходе $Q_0 = 45$ л/с имеет модуль стока $q = 45:500 = 0,09$ л/с·км².

Для оценки закономерностей формирования стока на р. Урулюнгуи и ее левых притоках установлен ряд гидростворов, наблюдения за которыми охватили годы разной водности — низкой (1966–1967 гг.), средней (1972–1974 гг.) и высокой (1988–1991 гг.). Полученные результаты наблюдений позволили связать их путем множества последовательных корреляций с данными государственных гидропостов (рис. 1). Наибольший интерес представляет корреляция I и II гидростворов р. Урулюнгуи, расположенных на бесприточном отрезке реки в пределах Восточно-Урулюнгуйской депрессии. В период низкой водности уравнение корреляции $y = 1,19x + 0,107$, где y — II ств., x — I ств. Используем уравнение предыдущей корреляции г/п Маргуцек — I ств. Низкой водности: $y = 0,54x - 0,006$, где x — г/п Маргуцек, y — I г/с. При $x = 0,35$ $y = 0,183$ м³/сут. Этот расход вставляем в первое уравнение: $y = 1,19 \cdot 0,183 + 0,107 = 0,325$ м³/с, откуда $\Delta Q_{I-II} = 0,325 - 0,183 = 0,142$ м³/с = 12269 м³/сут.

Таблица 3
Результаты вычисления стока руч. Джен

Водность	Единица измерения	г/с 1 руч. Джен	г/с 2 руч. Джен	ΔQ	Примечания
Высокая	м³/с	0,290	0,240	-0,050	
	л/с	290	240	-50	
	м³/сут	25056	20736	-4320	
	л/с·км²			0,55	F Дж = 91 км²

В низководный период прибавка руслового стока р. Урулунгуй связана с частичной разгрузкой подземного потока из пади Сухой Урулунгуй при отсутствии эксплуатации комплекса. Натурные замеры расхода реки 1966–1967 гг. по этим створам ($\Delta Q = 120$ л/с) подтверждают расчет.

В период водности 50 % обеспеченности стока рассчитаем поступление воды в г/с I по формуле $y = 0,97x - 0,064$, где $x = 1,03$ м³/с г/п Маргуцек, $y = 0,97 \cdot 1,03 - 0,064 = 0,935$ м³/с. Далее по связи между г/с I и г/с II находим $y = 0,84x - 0,044 = 0,84 \cdot 0,935 - 0,044 = 0,741$ м³/с, откуда $\Delta Q = 0,741 - 0,935 = -0,194$ м³/с = -16762 м³/сут. Полученная цифра связана с потерей стока на испарение и инверсией разгрузки за счет начала работы водозабора (1970 г.). В период высокой водности ($Q = 6,3$ м³/с) отмечается некоторое прибавление стока между I и II г/с — $Q = 6,205 - 6,13 = 0,075$ м³/с = 6480 м³/сут, т.е. сток возрастает, несмотря на высокое испарение и инверсию разгрузки. В соответствии с табл. 1 общая разгрузка подземных вод на участке А составляет 15960 м³/сут, соответственно, на испарение приходится расход $Q = 15960 - 6480 = 9480$ м³/сут. Аналогично рассчитаны приращения расхода между II и IV г/с (табл. 2). При полностью работающем водозаборе на 1991 г. в условиях года высокой водности в пределах Восточно-Урулунгуйской депрессии поверхностный сток реки не снижается, водозабор работает целиком за счет инверсии разгрузки, не снимая ее полностью. В этом случае разгрузка проявляется в основном в виде испарения в таликах. В табл. 2, 3 приведены результаты расчетов связи между г/п Маргуцек и ручьями левого борта долины р. Урулунгуй в период высокой водности. Модули подземного стока по руч. Кир-Кира $q = 0,838$ л/с · км², по руч. Джен $q = 0,55$ л/с · км². Эти цифры относительно близки с приведенными в табл. 1 подземным стоком по этим же ручьям (0,647 л/с и 0,57 л/с). Таким образом, баланс подземного стока Восточно-Урулунгуйской депрессии (рис. 1, табл. 1) подтверждается анализом поверхностного стока р. Урулунгуй, данного выше и представленного в табл. 2. При подсчете эксплуатационных запасов подземных вод месторождения следует учитывать вероятность наступления пяти лет подряд низкой водности (1965–1969 гг.) со среднегодовым расходом, равным $0,308$ м³/с = 26611 м³/сут = 308 л/с.

Исходный химический состав месторождения подземных вод — сульфатно-гидрокарбонатный с переменным катионным составом — от магниевого-натриевого-кальциевого до кальциевого-магниевого-натриевого. Сухой остаток равен $0,2-0,4$ г/л.

В процессе длительной эксплуатации в устье пади Сухой Урулунгуй появляется все увеличивающийся по площади ореол сульфатных вод. В начале эксплуатации в микрокомпонентном составе в качестве вредных примесей преобладали фтор, марганец, свинец. Нынешний состав микроэлементов определяется загрязненным фильтрационным потоком из пади Сухой Урулунгуй. 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 растворенном виде содержатся кадмий (1 мг/л), молибден, литий и уран.

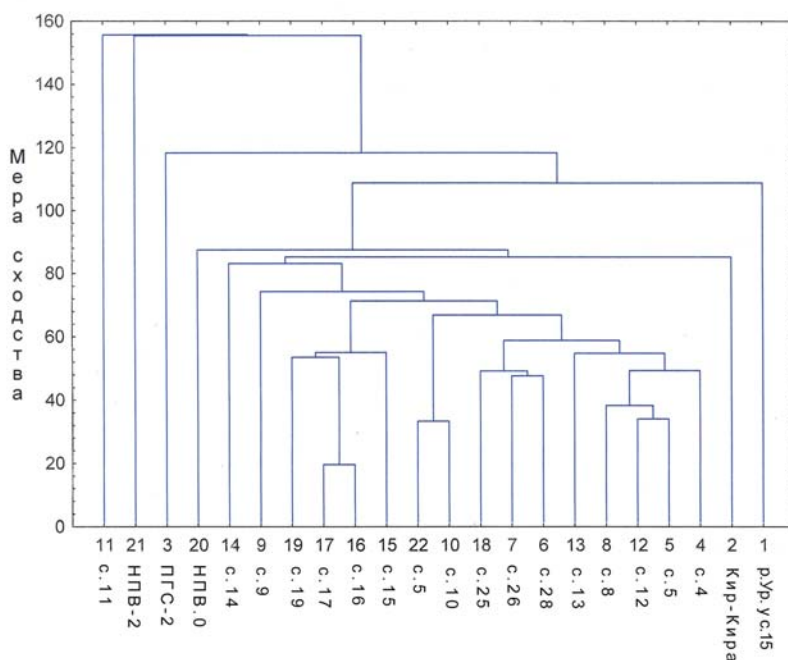


Рис. 4. Макро матрица

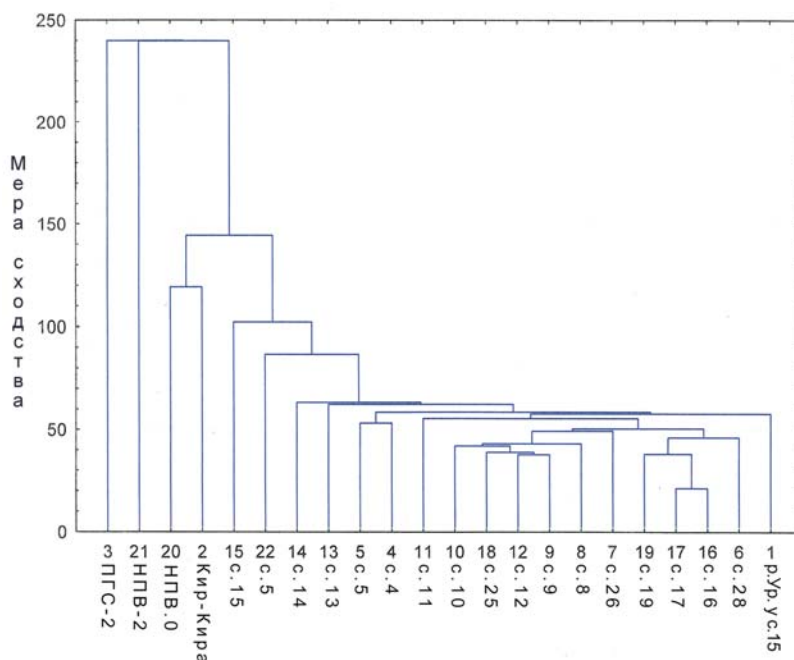


Рис. 5. Микро матрица

В цепочке ПДК вод питьевой кондиции уран претерпел значительные колебания. Его концентрация возросла от 0,050 мг/л в 1960 г. до 1 мг/л, далее 0,1 мг/л (2003 г.) и 15 мкг/л в 2007 г. (ГН 2.1.5.1315-03) в связи с последними исследованиями, определяющими особую опасность этого элемента. По данным микро- и макроисследований состава воды эксплуатационных скважин р. Урулунгуй и руч. Кир-Кира (всего 22 объекта), проведенных в 2011–2012 гг. по 70 элементам силами Аналитического сертификационного испытательного центра Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых 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 элементов в каждом может использоваться для выделения отдельных групп скважин, химический состав которых формируется на определенных участках поля фильтрации и отличается друг от друга. Применение этого метода изложено в статье [4]. Результаты кластерной обработки объектов представлены на рис. 4, 5. На рис. 4 выделяется кластер со скв. 15, 16, 17, 19; на рис. 5 выделяется кластер со скв. 16, 17, 19 и 28. Концентрация урана в этих скважинах минимальна по сравнению с другими и изменяется в пределах 6–26 мкг/л ($\bar{C}_p = 18,2$ мкг/л), что всего на 20 % больше ПДК. По данным режимных гидрохимических исследований 1983–1991 гг. эти скважины расположены в зоне с содержанием фтора, не превышающим 1,5 мг/л. Основное поле фильтрации, формирующее состав воды этих скважин — подземный сток из падей Кир-Кира и Зерен, а также инверсия разгрузки из талика Б (рис. 1).

Наши исследования месторождения, проведенные в 1983–1993 гг. (В.А. Манукьян, Е.Ф. Гаркушин, Б.М. Зильберштейн, В.С. Орлова) позволили смоделировать работу двух водозаборов. Первый, предназначенный для технического водоснабжения, охватывает весь Сухой Урулунгуй и выходит в долину Восточного Урулунгуя, ликвидируя подтопление Сухого Урулунгуя, перехватывая весь загрязненный поток и снимая разгрузку на участке А. Второй водозабор к востоку от скв. 15 предлагался использовать для питьевых целей. Однако последние исследования химического состава водозабора показали, что для питьевых целей возможно 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 Тулкуевского водохранилища, поскольку Китай проектирует повернуть р. Аргунь в сторону оз. Далай-Нор.

Выводы:

Крупное месторождение пресных подземных вод в межгорной депрессии с временным водотоком на веч-

номерзлых породах эксплуатируется 45 лет без заметной сработки запасов.

Эффективная разглинизация скважин позволила получить высокие дебиты центральных и разведочных скважин (до 99–250 л/с), соответствующие исключительно высоким значениям проводимости (до 5000–9000 м²/сут), а ОФР были признаны образцовыми для слоистых комплексов.

Пересмотрена величина эффективной водоотдачи высокопроницаемых обломочных пород в условиях многослойной толщи или вертикальной анизотропии комплекса (уменьшение до 1–4 %).

За период эксплуатационной разведки (1973–1993 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.

Решение серии обратных задач на основе подготовленной фильтрационной схемы позволило создать достоверную гидродинамическую модель месторождения и численно оценить все составляющие баланса.

Полученная фильтрационная схема подтверждается комплексом детальных гидрометрических исследований с привязкой к государственным гидропостам.

Эксплуатация месторождения происходит за счет инверсии части разгрузки и напрямую не связана с паводковым стоком.

Расширение запасов возможно за счет полного снятия разгрузки и обеспечения периодической инфильтрации речного стока.

Функционирование уранового горно-химического комбината в области питания водоносного комплекса привело к постепенному загрязнению подземных вод ураном и другими токсичными элементами.

Применение кластерного анализа позволило выделить участки водозабора, наименее подверженные загрязнению.

Необходимо расширить выделенный участок для использования его в качестве источника питьевого водоснабжения.

В пади Сухой Урулунгуй и западной части Восточно-Урулунгуйской депрессии предлагается создание водозабора для технического водоснабжения комбината, который полностью снимет разгрузку подземных вод на участке А, перехватывая загрязненный поток.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Боровский Б.В., Самсонов Б.Г., Язвин Л.С. Методика определения параметров водоносных горизонтов по данным откачек. — М.: Недра, 1979. — С. 151–159.
2. Манукьян В.А. Решение задачи о притоке подземных вод к скважине в 2-х пластах, разделенных непроницаемым слоем // Тр. Ин-та ВОДГЕО. Гидрогеология и инженерная геология. — 1972. — С. 20–23.
3. Лебедев А.В., Ярцева Е.Н. Оценка питания и баланса грунтовых вод. — М.: Недра, 1967. — С. 16, 35–37.
4. Манукьян В.А. Опыт применения кластерного анализа для оценки масштаба взаимодействия артезианских горизонтов Северо-Запада Подмосковья // Разведка и охрана недр. — 2012. — № 6. — С. 53–57.

© Манукьян В.А., 2016

Манукьян Валентин Ашикович // manval36@gmail.com