

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 622.012.2:556.3:51

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОДЗЕМНЫХ ВОД, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ДРЕНАЖНЫМИ СИСТЕМАМИ НА ГОРНО-СКЛАДЧАТОМ УРАЛЕ

© 2015 г. Л. С. Рыбникова^{*,**}, П. А. Рыбников^{*}

** Институт горного дела УрО РАН, ул. Мамина-Сибиряка, 58, Екатеринбург, 620219 Россия.*

E-mail: luserib@mail.ru

*** ФГУП “Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов”, ул. Мира, 23, Екатеринбург, 620049 Россия.*

E-mail: ribnikoff@yandex.ru

Поступила в редакцию 1.03.2014 г.

Рассмотрены особенности формирования месторождений питьевых подземных вод в зоне, нарушенной горными работами. На характерных примерах проанализированы и систематизированы закономерности изменения химического состава подземных вод. Показано, что после завершения горнодобычной деятельности возможность использования подземных вод определяется как природными, так и горно-эксплуатационными факторами, в том числе типом полезного ископаемого, способом рекультивации нарушенной территории, конструкцией водозабора.

Ключевые слова: *питьевые подземные воды, качество, месторождение, водный объект, добыча, полезные ископаемые, горные работы.*

ВВЕДЕНИЕ

Месторождения подземных вод в отличие от месторождений твердых полезных ископаемых (МТПИ) представляют собой возобновляемый ресурс и являются динамической системой: эксплуатация месторождений подземных вод приводит к изменению существующих и образованию новых гидродинамических и гидрогеохимических условий, перераспределению балансовых составляющих системы, привлечению новых источников формирования эксплуатационных ресурсов месторождения [2, 3, 14].

Месторождения пресных подземных вод (МППВ) в зоне ведения горных работ постоянно существуют в условиях значительной перестройки балансовой структуры водоотбора: как в процессе горнодобычной деятельности, так и особенно после завершения отработки МТПИ. Для оценки возможности использования подземных вод 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 горно-складчатого Урала.

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ПРИ ДОБЫЧЕ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Подземные воды, поступающие в горные выработки при разработке месторождений твердых полезных ископаемых, – попутное полезное ископаемое, которое может использоваться для водоснабжения, орошения, извлечения ценных компонентов, в бальнеологических целях [10, 15].

Возможность и целесообразность использования дренажных¹ (карьерных и шахтных) вод при осушении месторождений определяется в процессе разработки дренажных мероприятий при подсчете балансовых запасов МТПИ. Наиболее успешный пример реализации такой практики – системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, организованные в районе Курской магнитной аномалии, в Казахстане, Украине, а также на ряде МТПИ Уральского региона [8, 13, 15].

¹ “Подземные дренажные воды” или “дренажные воды” – подземные воды, участвующие в обводнении месторождений твердых полезных ископаемых [10].

Возможность использования дренажных подземных вод для питьевых целей определяется санитарно-эпидемиологическими требованиями, которые предъявляются к источникам водоснабжения питьевого назначения санитарными нормами и правилами [5, 17, 18]. При этом вводится одно из существенных ограничений – необходимость организации зоны санитарной охраны (ЗСО) водозабора в составе трех поясов для обеспечения защиты от микробного и химического загрязнения на весь период его эксплуатации, причем в пределах ЗСО запрещено размещение объектов, обуславливающих опасность микробного и химического загрязнения подземных вод, в том числе закачка отработанных вод в подземные горизонты, подземное складирование твердых отходов и разработка недр [18]. Для выполнения этого требования в процессе отработки МТПИ необходимо обеспечить управление гидродинамическим режимом территории таким образом, чтобы формирование областей питания питьевого водозабора происходило в пределах “чистых” территорий. Этого можно достичь при использовании внешних систем осушения, расположенных вне горных выработок шахт и карьеров (законтурные водопонижительные системы скважин с поверхности или подземные дренажные устройства); автономных каптажей в подземных горных выработках, не связанных с внутришахтным водоотливом. При этом формирование подземных вод происходит за пределами возможного влияния источников загрязнения, в том числе без взаимодействия подземных вод с осушенной частью рудной толщи, что позволяет избежать значительного ухудшения качества дренажных вод, например, в результате окисления тяжелых металлов в условиях свободного доступа кислорода.

Схема осушения в процессе отработки МТПИ изменяется вслед за развитием горных работ так же, как и санитарно-экологическая обстановка в пределах дренируемой территории, в частности, в результате создания отвалов некондиционных руд, засыпки отработанных карьеров и т.п. Наиболее значительные изменения горнотехнических условий происходят каждые 12–15 лет [13], продолжительность эксплуатации МТПИ обычно значительно превышает этот срок, поэтому необходим мониторинг подземных вод для переоценки эксплуатационных запасов дренажных подземных вод.

На постэксплуатационном этапе, после завершения отработки МТПИ, как правило, осуществляется мокрая консервация горнорудного объекта, что приводит к принципиальному перераспределению источников формирования эксплуатационных запасов месторождения под-

земных вод (их видов, количественного и качественного состава); изменению 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 месторождения подземных вод (до консервации рудника – дренажных) являются важной составляющей системы водоснабжения. Для обоснования возможности их использования в качестве источника питьевого водоснабжения должны выполняться специальные работы, в результате которых перераспределяются или сокращаются нагрузки, создаются системы водоподготовки и барражного (защитного) водоотлива.

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ДЛЯ ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ПРИ ОТРАБОТКЕ И КОНСЕРВАЦИИ МТПИ

Большая часть месторождений полезных ископаемых Среднего Урала расположена в пределах горно-складчатого Урала. Оработка месторождений практически всегда происходит под защитой водопонижительных систем. Объемы извлечения подземных вод, сопровождающие добычу полезных ископаемых на горно-складчатом Урале, весьма значительны. Так, извлечение подземных вод (доля дренажного водоотлива) на территории Свердловской и Челябинской областей составляет около 20% от суммарного по России, при этом добыча подземных вод – меньше 4% от суммарной. При осушении МТПИ на территории Свердловской обл. извлекается в 2 раза больше подземных вод, чем добывается для хозяйственно-питьевых нужд, при этом практически вся дренажная вода (больше 90%) сбрасывается без использования [8].

Несмотря на это, дренажные подземные воды – это важная часть водохозяйственного баланса Свердловской обл., их использование более широко распространено для производственно-технического водоснабжения, поскольку в этом случае особые требования к качеству воды обычно не предъявляются. В Свердловской обл. эксплуатируется около 60 водопонижительных систем, из них 12 месторождений дренажных подземных вод с утвержденными запасами около 80 тыс.м³/сут. Наибольшее количество подземных вод при ведении горнодобывающих работ извлекается в Свердловской обл. на Североуральском бокситовом руднике (353 тыс.м³/сут), Березовском золоторудном месторождении (41 тыс.м³/сут), Высокогорском железорудном месторождении (34 тыс.м³/сут), Галкинском карьере известняков (30 тыс.м³/сут)

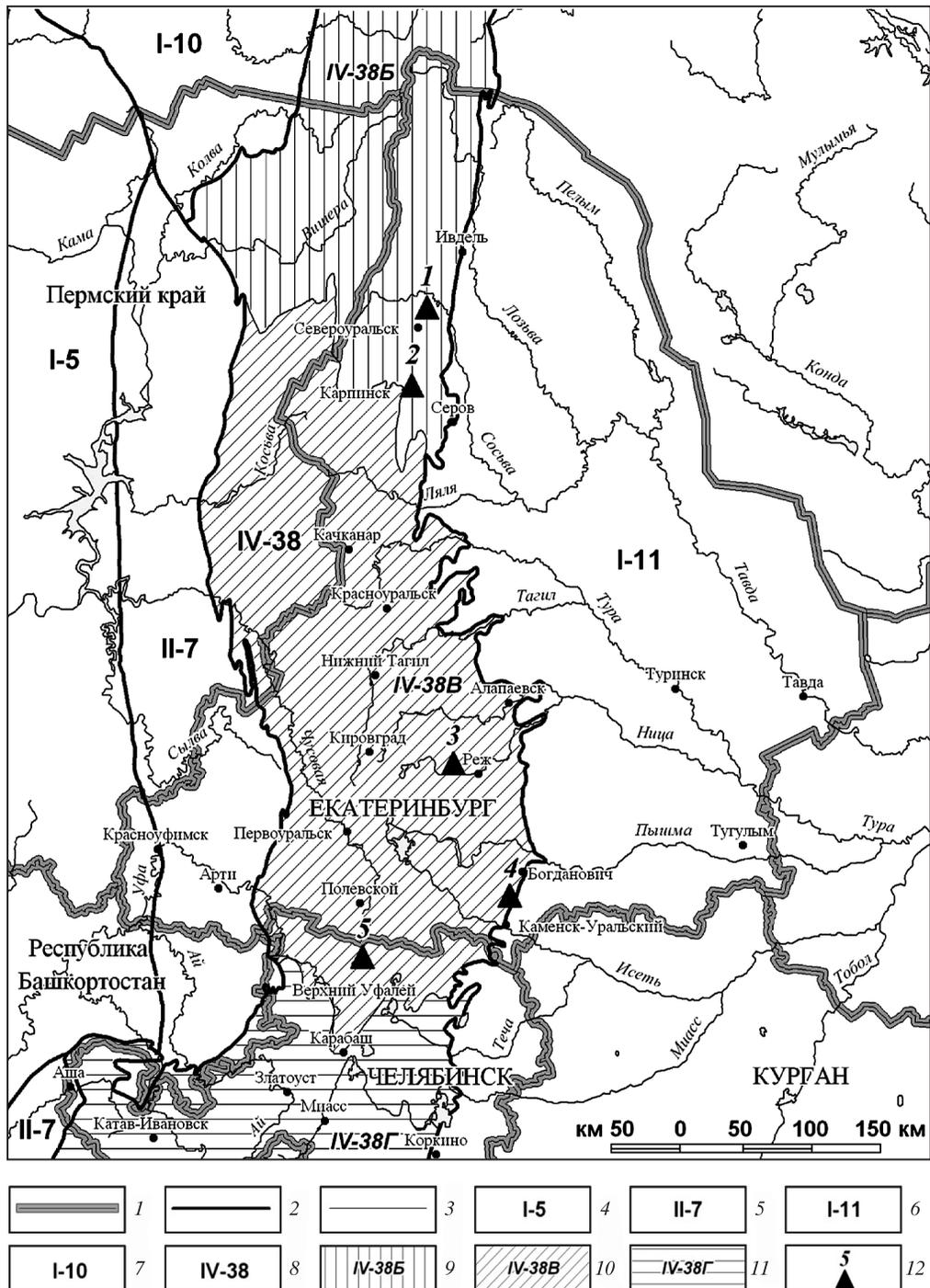


Рис. 1. Схема размещения месторождений питьевых подземных вод, запасы которых первоначально утверждались как попутное полезное ископаемое: 1 – границы субъектов РФ; 2–3 – границы бассейнов подземных вод (2 – первого, 3 – второго порядка); 4–8 – бассейны подземных вод первого порядка и их индексы (4 – Восточно-Русский артезианский бассейн, 5 – Предуральский предгорный артезианский бассейн, 6 – Западно-Сибирский артезианский бассейн, 7 – Тимано-Печерский артезианский бассейн, 8 – Большеуральская гидрогеологическая складчатая область); 9–11 – бассейны подземных вод второго порядка и их индексы (гидрогеологические складчатые области: 9 – Северо-Уральская, 10 – Среднеуральская, 11 – Южно-Уральская); 12 – месторождение (номер в соответствии с табл. 1).

Таблица 1. Месторождения питьевых подземных вод, запасы которых первоначально утверждались как попутное полезное ископаемое

№ пп	Наименование МППВ	Наименование МТПИ	Запасы			Фактическое использование для ХПВ****, тыс.м ³ /сут	Примечание
			количество, тыс.м ³ /сут	категория	инстанция и дата утверждения (в скобках – срок утверждения)		
1	Кальинское	Северо-Уральские бокситовые	50.0	A	ТКЗ* 20.11.2001	36.2	Ранее утверждены ГКЗ** 15.09.78 Ранее утверждены ГКЗ 18.02.1971
2	Карпинское	Богословское	11.0	A	НТС*** 17.12.1962	4.8	
3	Липовское	Липовское никелевое	13.8	A	ТКЗ 11.03.2002	9.3	
4	Полдневское	Троицко-Байновское огнеупорных глин	12.6	A	ТКЗ 12.11.2002 (12 лет)	11.3	
5	Черемшанское	Черемшанское никелевое	8.2	A	НТС 1977	9.3	

Примечание. *ТКЗ – территориальная комиссия по запасам; **ГКЗ – государственная комиссия по запасам, ***НТС – научно-технический совет; ****ХПВ – хозяйственно-питьевое водоснабжение.

и на Агаповском карьере известняков в Челябинской обл. (64 тыс.м³/сут).

Для питьевых целей в настоящее время эксплуатируется несколько МППВ, запасы которых первоначально утверждались в схеме водоотлива горнорудного предприятия как попутное полезное ископаемое (рис. 1, табл. 1).

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ И КАЧЕСТВА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДРЕНАЖНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ГОРНО-СКЛАДЧАТОМ УРАЛЕ

Кальинское месторождение подземных вод представляет собой систему дренажных скважин (Северо-восточный дренажный узел), 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, и характеризуется высокой закарстованностью карбонатных разностей пород. СУБР (крупнейший бокситовый рудник в России) обрабатывается с 1934 г., глубина отработки достигает 1 км, депрессионная

воронка площадью около 350 км² вытянута в меридиональном направлении на 70 км от р. Вагран на юге до р. Шегультан на севере.

Суммарный водоотлив на СУБРе составляет 353 тыс.м³/сут, в том числе 111 тыс.м³/сут на Кальинском месторождении, из них 36.2 тыс.м³/сут используются для питьевых нужд г. Североуральск с населением около 50 тыс. чел. Область формирования ресурсов подземных вод, каптируемых дренажными скважинами, находится в естественных условиях (за пределами зоны ведения горнодобывающих работ), характеризуется благоприятными санитарно-экологическими условиями, добыча ведется подземным способом, полезное ископаемое и вмещающие породы инертны. Качество воды стабильно хорошее, общая минерализация подземных вод составляет 0.2–0.3 г/дм³, жесткость воды не превышает 3–4 ммоль/дм³, содержание неорганических веществ – меньше ПДК по всему перечню СанПиН 2.1.4.1074–01, вода здоровая в санитарно-микробиологическом отношении и безопасная по радиологическим показателям.

Ресурсный потенциал Сосьвинско-Шегультанского бассейна трещинно-карстовых подземных вод, в котором расположено Кальинское место-

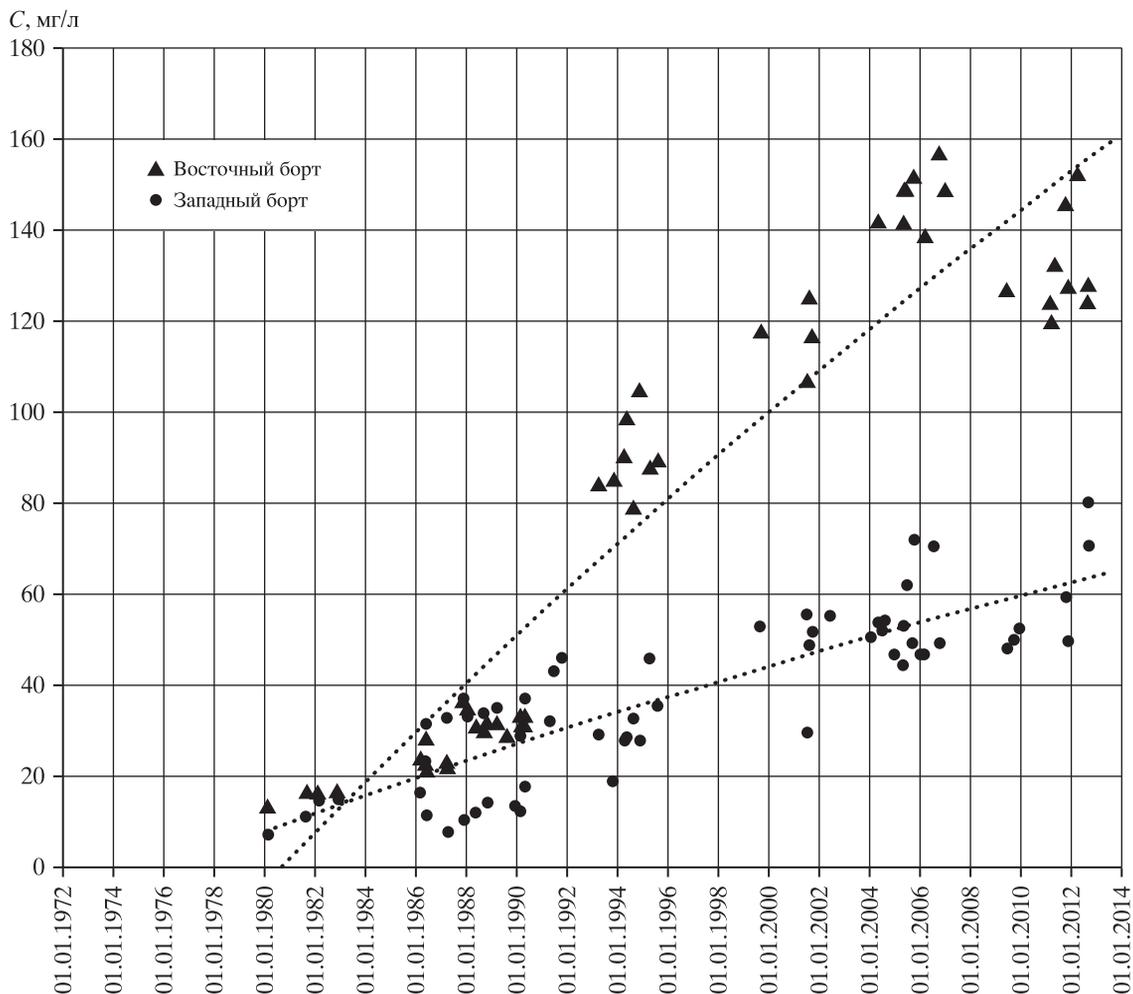


Рис. 2. График изменения содержания сульфат-иона в скважинах Липовского месторождения пресных подземных вод.

рождение подземных вод, оценивается величиной 600 тыс.м³/сут, этого количества достаточно для обеспечения водой высокого качества крупных городов Свердловской обл., включая Екатеринбург, Нижний Тагил [12].

Северо-Восточный дренажный узел Карпинского месторождения дренажных подземных вод с начала 1960-х годов защищал восточный борт Богословского карьера (разрез “Южный” глубиной более 100 м) и использовался (совместно с Лапчинским и Северо-Лапчинским участками) для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Карпинск (население 30 тыс. чел.). Производительность дренажного узла составляла в среднем 7.9 тыс.м³/сут. Карпинское месторождение подземных вод приурочено к трещинно-карстовой зоне карбонатного массива, вмещающего Богословское бурогольное месторождение. Оработка Богословского бурогольного месторождения велась открытым способом с 1911 по 2001 гг.

Первоначально подземные воды имели гидрокарбонатный натриево-кальциевый состав с минерализацией 0.15–0.20 мг/дм³, жесткость 2–3 ммоль/дм³; постепенно произошла смена состава воды на сульфатно-гидрокарбонатный кальциевый с минерализацией до 0.55 мг/дм³, концентрацией сульфатов до 90–100 мг/дм³, общая жесткость воды выросла до 6–8 ммоль/дм³.

Остановка карьерного водоотлива привела к образованию техногенного водоема, качество воды в котором по величине общей жёсткости (до 15–18 ммоль/дм³) и сухому остатку (до 1.1 мг/дм³) превышает нормируемые показатели для питьевых целей; концентрация сульфатов в водах водоема достигает 400–500 мг/дм³. В концентрациях, превышающих ПДК для питьевых целей, в карьерных водах обнаружены железо, марганец, селен, висмут, ниобий, вольфрам. Ухудшение качества подземных вод наблюдалось в течение всего периода эксплуатации водозабора, после затопления карьера ситуация усугубилась, вода не

Таблица 2. Характеристика водных объектов района Липовского МППВ (Липовского никелевого месторождения)

Этап (период опробования)	Объект (скважина, карьер, река), его местоположение и назначение	Сульфат-ион, мг/дм ³ (в скобках К _с [*])	Никель, мг/дм ³ (в скобках К _{ПДК} ^{**})	Формула Курлова
Начало эксплуатации, до прекращения водоотлива (1980–1988 гг.)	Река Липовка	5	н.с.***	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 91 SO_4^{2-} 5}{Ca^{2+} 65 Mg^{2+} 26 Na^+ 9}$
	Река Мостовка	7	н.с.	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 84 SO_4^{2-} 8 Cl^- 8}{Ca^{2+} 68 Mg^{2+} 22 Na^+ 10}$
	Скв. №19н (наблюдательная)	14 (1)	0.008	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 85 SO_4^{2-} 10 Cl^- 5}{Mg^{2+} 51 Ca^{2+} 40 Na^+ 9}$
	Западный узел (скв. № 3)	16 (2)	0.002	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 89 SO_4^{2-} 9}{Ca^{2+} 67 Mg^{2+} 25 Na^+ 8}$
	Восточный узел (скв. № 4)	22 (2)	0.004	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 87 SO_4^{2-} 10}{Ca^{2+} 62 Mg^{2+} 26 Na^+ 12}$
Прекращение водоотлива, затопление карьеров (2003–2012 гг.)	Западный узел (скв. № 3)	62 (6)	0.03 (1.5)	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 70 SO_4^{2-} 27}{Ca^{2+} 68 Mg^{2+} 27}$
	Восточный узел (скв. № 4)	138 (14)	0.10 (5)	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 60 SO_4^{2-} 35}{Ca^{2+} 75 Mg^{2+} 22}$
	Затопленный карьер залежи 4–5, глубина 10 м	79 (8)	0.19 (10)	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 68 SO_4^{2-} 30}{Ca^{2+} 65 Mg^{2+} 31}$

Примечание. * К_с – коэффициент концентрации, отношение текущего содержания компонента (С) к его фоновому значению С_{фон}, К_с = С/С_{фон} [7, 19], С_{фон} = 10 мг/дм³; ** К_{ПДК} – кратность ПДК, отношение содержания элемента в исследуемом объекте (С) к величине его предельно допустимой концентрации С_{ПДК}, К_{ПДК} = С/С_{ПДК}, С_{ПДК} = 0.02 мг-экв/дм³ [5]; *** н.с. – нет сведений.

удовлетворяет санитарным нормам, необходимо проведение водоподготовки [9].

Липовское месторождение подземных вод до конца 1980-х годов было законтурным дренажом Липовского никелевого карьера, который с 1961 г. 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), для чего был построен водовод длиной около 20 км.

Наиболее обводнены карбонатные породы – известняки и мрамора. К 1991 г., когда была прекращена добыча полезного ископаемого, понижение достигло 127 м от статического (абс. отм. +93 м) при среднегодовом расходе 21.6 тыс.м³/сут). Горно-эксплуатационные работы сопровождались за-

сыпкой отработанных карьеров породами вскрыши и некондиционных руд. 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 на месте залежи 4–5 в границах зоны санитарной охраны второго пояса Липовского водозабора.

В естественных условиях подземные воды гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-магнелиевые с минерализацией до 0.2 г/дм³, содержанием сульфатов и хлоридов не более 10–15 и 5–7 мг/дм³ соответственно. За 30 лет водоотлива (до 1991 г.) содержание большинства показателей выросло в 1.5–2 раза по сравнению с естественными условиями (рис. 2, табл. 2).

После затопления карьера качество подземных вод на западном и восточном бортах карьера

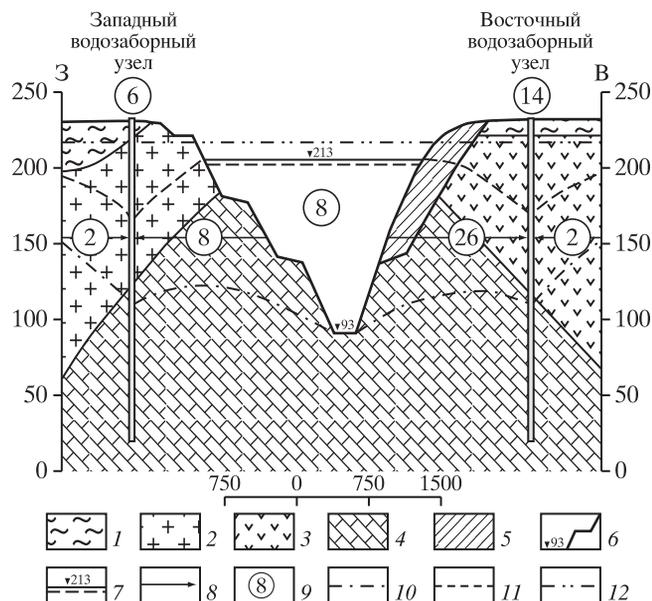


Рис. 3. Концептуальная гидрогеохимическая модель формирования качества подземных вод Липовского месторождения (геологическая основа принята по [11]): 1 – глинистая кора выветривания; водоносные зоны: 2 – интрузивных пород (граниты), 3 – рифейско-палеозойских метаморфических пород (сланцы, серпентиниты, кремнистые породы), 4 – палеозойских карбонатных пород (мрамора, известняки); 5 – внутренний отвал вскрышных пород и некондиционных руд; 6 – контур карьера и отметка его дна; 7 – уровень воды в карьере после его затопления; 8 – направление потока подземных вод в настоящее время; 9 – коэффициент концентрации сульфат-иона (K_c); 10–12 уровень подземных вод по этапам: 10 – при отработке карьера, 11 – в настоящее время, 12 – в естественных условиях.

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 $120\text{--}160 \text{ мг/дм}^3$ 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. Доля привлекаемых из карьерного озера ресурсов ($Q_{\text{пр}}/Q_{\text{вз}}$) может быть оценена с использованием балансового уравнения вида:

$$Q_{\text{вз}} \cdot C_{\text{вз}} = Q_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пр}} + Q_{\text{ер}} \cdot C_{\text{ер}},$$

где $Q_{\text{вз}}$, $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{ер}}$ – расход водоотбора западного узла, привлекаемые из озера и естественные

ресурсы, с соответствующими концентрациями $C_{\text{вз}}$, $C_{\text{пр}}$, $C_{\text{ер}}$ – в водозаборе, карьерном озере и водоносном горизонте в области формирования ресурсов. Тогда $Q_{\text{пр}}/Q_{\text{вз}} \sim 2/3$ при $C_{\text{вз}} = 60$, $C_{\text{пр}} = 80$ и $C_{\text{ер}} = 20 \text{ мг/дм}^3$ (табл. 2)².

Если предположить, что расход водоотбора восточного узла $Q_{\text{вв}}$ также формируется за счет привлечения вод карьерного озера (не менее чем на половину $Q_{\text{оз}} = Q_{\text{ер}} = 0.5Q_{\text{вв}}$), то в этом случае:

$$Q_{\text{вв}} \cdot C_{\text{вв}} = Q_{\text{пр}} \cdot C_{\text{пр}} + Q_{\text{ер}} \cdot C_{\text{ер}};$$

$$C_{\text{вв}} = 0.5C_{\text{пр}} + 0.5C_{\text{ер}}; C_{\text{пр}} = 2C_{\text{вв}} - C_{\text{ер}},$$

и при $C_{\text{вв}} = 140$; $C_{\text{ер}} = 20$ содержание сульфата в воде, поступающей со стороны карьерного озера, составит порядка 260 мг/дм^3 ($K_c = 26$), что в 3.5 раза выше, чем в самом карьерном озере. Скважины восточного узла расположены на борту карьера № 1, который был засыпан породами вскрыши и некондиционных руд с рассеянной сульфидной минерализацией еще при отработке основной залежи (рис. 3). Уменьшение водоотбора после 1991 г. привело к частичному заполнению депрессионной воронки, затоплению карьера, подъему уровня воды в карьерном озере и, как следствие – к формированию единого водоносного горизонта между карьерным озером и восточным узлом, в том числе техногенного водоносного горизонта в пределах засыпанной части карьера. 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.

Таким образом, в настоящее время принципиально изменились источники формирования эксплуатационного водоотбора Липовского водозабора. Так, для западного узла это на $2/3$ привлекаемые ресурсы карьерного озера, вода в котором характеризуется коэффициентом концентрации сульфат-иона $K_c = 8$. В процессе формирования качества воды восточного узла привлекаемые ресурсы карьерного озера обогащаются при фильтрации через техногенный водоносный горизонт, где коэффициент концентрации сульфат-иона в воде достигает $K_c = 26$. Основной процесс обогащения воды сульфатами, никелем и другими веществами – химическое выветривание сульфид-

² Авторы работы по переоценке эксплуатационных запасов [11] принимали $C_{\text{ер}} = 5 \text{ мг/дм}^3$; такие значения характерны скорее для поверхностных вод (см. табл. 2), однако это не приводит к заметному изменению результата.

ных минералов, оставшихся в невыбранной руде в карьере, породах вскрыши и некондиционных руд, которые использовались для засыпки восточной части карьера.

Содержание никеля в последние годы стабильно выше допустимого: по западному узлу $0.01\text{--}0.07\text{ мг/дм}^3$ ($K_{\text{ПДК}} = 3.5$), по восточному $0.04\text{--}0.13\text{ мг/дм}^3$ ($K_{\text{ПДК}} = 6.5$). Поскольку водозабор – единственный источник водоснабжения г. Реж, он продолжает эксплуатироваться.

Не отрицая значимости гидрогеохимической активности коры выветривания (особенно в карстовых воронках) в формировании состава подземных вод [1], следует отметить, что этот фактор, по-видимому, играл основную роль в тот период, пока действовал водоотлив, формировалась техногенная зона аэрации, активизировались процессы окисления в условиях доступа кислорода. После 1991 г. более значимыми причинами перераспределения химических элементов стали образование карьерного озера и формирование техногенного водоносного горизонта в рекультивированной части затопленного карьера. Хотя ряд исследователей считает, что к настоящему времени основные процессы гидрогеохимической трансформации Липовской геотехногенной системы завершились [1, 11], обстановка далека от стабильной, что подтверждается графиками изменения содержания сульфат-иона в скважинах восточного и западного бортов (см. рис. 2). 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 осушенного пространства, либо затопление собственно карьерной выемки. “Мокрая рекультивация” – затопление карьерной выемки в сочетании 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, который (наряду с другими средствами водоотлива) обеспечивает осушение продуктивной толщи глин и с 1971 г. является одним из основных источников водоснабжения г. Богданович (население 30 тыс. чел.). Месторождение расположено в пределах Восточноуральской карстовой области, здесь раз-

вит трещинно-карстовый водоносный комплекс, представленный известняками нижнего карбона и верхнего девона и перекрытый мощной толщей мезо-кайнозойских пород (до 35–40 м). Полдневской рудник обрабатывается с 1944 г. рядом карьеров глубиной до 40 м, большая часть из которых к настоящему времени рекультивирована (в частности, Северный карьер после затопления был осушен и засыпан породами вскрыши).

При утверждении эксплуатационных запасов подземных вод Полдневского месторождения основным требованием к гидродинамическому режиму его эксплуатации было сохранение подземного водораздела между обрабатываемым 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.м³/сут, из них 10 тыс.м³/сут используются для питьевых нужд г. Богданович. Одна из эксплуатационных скважин работает как барражная, защищая питьевой водозабор от загрязнения, при этом вода сбрасывается в поверхностные водотоки без очистки [9]. Подземные воды в естественных условиях и в первые годы эксплуатации имели гидрокарбонатный магниевый-кальциевый состав, сухой остаток $0.3\text{--}0.4\text{ мг/дм}^3$, жесткость менее 7 ммоль/дм^3 , сульфаты до 10 мг/дм^3 . С конца 1970-х годов отмечается активный рост отдельных компонентов и показателей химического состава (табл. 3, рис. 4).

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 концентрации сульфат-иона, росте минерализации, жесткости и других показателей по сравнению с фоновыми. Этот механизм достаточно хорошо изучен [7, 21]. 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 $K_c < 10$) и постепенно стабилизируется: такие условия наблюдаются на

Таблица 3. Характеристика водных объектов района Полдневского и Каменск-Уральского месторождения подземных вод

Этап (период опробования)	Объект (скважина, карьер, река), его местоположение и назначение	Сульфат-ион, мг/дм ³ (в скобках K_c^*)	Жесткость, ммоль/дм ³ (в скобках $K_{пдк}^{**}$)	Формула Курлова
Полдневское месторождение подземных вод (объект расположен в области, нарушенной горными работами)				
Начальный этап эксплуатации (1968–1976 гг.)	Скв.11 (наблюдательная, возле скв. 13э)	11 (1)	4.7	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 92 SO_4^{2-} 4}{Ca^{2+} 68 Mg^{2+} 29}$
	Скв. №13э (эксплуатационная)	17 (2)	6.9 (1.0)	$M_{0.4} \frac{HCO_3^- 92 SO_4^{2-} 5}{Ca^{2+} 63 Mg^{2+} 33}$
Настоящее время (2003–2012 гг.)	Скв. №14э (эксплуатационная)	95 (10)	9.4 (1.3)	$M_{0.7} \frac{HCO_3^- 77 SO_4^{2-} 19}{Ca^{2+} 65 Mg^{2+} 31}$
	Скв. №15э (эксплуатационная)	108 (11)	9,4 (1.3)	$M_{0.6} \frac{HCO_3^- 75 SO_4^{2-} 22}{Ca^{2+} 68 Mg^{2+} 28}$
	Скв. №12 (наблюдательная)	105 (11)	9.1 (1.3)	$M_{0.7} \frac{HCO_3^- 73 SO_4^{2-} 23}{Ca^{2+} 68 Mg^{2+} 31}$
	Скв. №10тн (под рекультивированным карьером)	102 (10)	9.5 (1.4)	$M_{0.3} \frac{HCO_3^- 75 SO_4^{2-} 21}{Ca^{2+} 68 Mg^{2+} 31}$
	Скв. №9тн (под рекультивированным карьером)	175 (18)	10.0 (1.4)	$M_{0.3} \frac{HCO_3^- 63 SO_4^{2-} 34}{Ca^{2+} 70 Mg^{2+} 29}$
	Скв. №13э (барражная, ранее эксплуатационная)	296 (30)	12.4 (1.8)	$M_{1.0} \frac{HCO_3^- 51 SO_4^{2-} 46}{Ca^{2+} 65 Mg^{2+} 33}$
	Скв. №2в (дренажная)	362 (36)	12.8 (1.8)	$M_{1.0} \frac{SO_3^{2-} 54 HCO_3^- 45}{Ca^{2+} 70 Mg^{2+} 26}$
	Скв. №6тн (рекультивированный карьер, техногенный водоносный горизонт)	1111 (111)	23.6 (3.4)	$M_{1.9} \frac{SO_4^{2-} 100}{Ca^{2+} 70 Mg^{2+} 28}$
	Затопленная часть отработанного карьера	1459 (146)	25.1 (3.6)	$M_{1.6} \frac{SO_4^{2-} 93}{Ca^{2+} 65 Mg^{2+} 35}$
Каменск-Уральское месторождение подземных вод, Северо-Мазулинский водозабор (объект расположен вне зон техногенной нагрузки)				
Начало эксплуатации (1972 г.)	Скв. 1э (эксплуатационная)	10 (1)	6.3 (0.9)	$M_{0.2} \frac{HCO_3^- 92 SO_4^{2-} 5}{Ca^{2+} 63 Mg^{2+} 33}$
Настоящее время (2003–2012 гг.)	Скв. 1э (эксплуатационная)	93 (9)	8.8 (1.3)	$M_{0.5} \frac{HCO_3^- 72 SO_4^{2-} 25}{Ca^{2+} 61 Mg^{2+} 34}$

Примечание. * K_c – коэффициент концентрации, отношение текущего содержания компонента (С) к его фоновому значению $C_{фон}$, $K_c = C/C_{фон}$ [7, 19], $C_{фон} = 10$ мг/дм³; ** $K_{пдк}$ – кратность ПДК, отношение содержания элемента в исследуемом объекте (С) к величине его предельно допустимой концентрации $C_{пдк}$, $K_{пдк} = C/C_{пдк}$, ** $C_{пдк} = 7$ ммоль/дм³ [17].

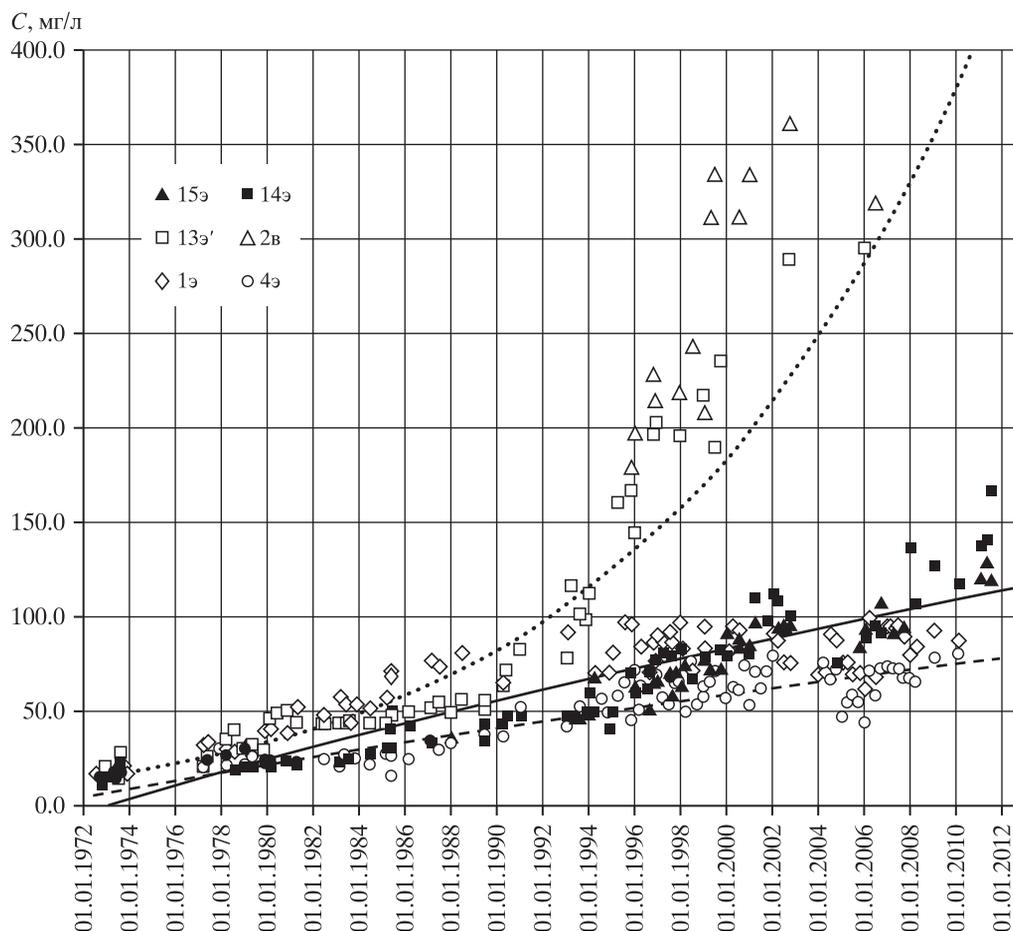


Рис. 4. График изменения содержания сульфат-иона в скважинах Полдневого и Каменск-Уральского месторождений пресных подземных вод. Скважины: 14э, 15э – эксплуатационные Полдневого водозабора; 13э' – барражная, 2в – дренажная; 1э, 4э – эксплуатационные Северо-Мазулинского водозабора.

расположенном южнее Северо-Мазулинском месторождении подземных вод (см. табл. 3, рис. 4).

Область формирования эксплуатационных ресурсов Полдневого 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 (рис. 5). Соответственно степень изменения качества подземных вод в пределах Полдневого месторождения в каждой конкретной скважине определяется соотношением балансовых составляющих, формирующих эксплуатационный водоотбор. Так, расход скважины 13э, которая в настоящее время работает как барражная, складывается из двух потоков (примерно одинаковых): один формируется под северным карьером, второй – под южным,

частично рекультивированным и затопленным. Содержание сульфат-иона в скважине 13э характеризуется коэффициентом концентрации $K_c = 30$ (т.е. в 30 раз превышает фоновые показатели, см. табл. 3). Поскольку со стороны северного карьера поступает вода с показателем $K_c < 18$ (в скважинах 11 и 9тн непосредственно под карьером $K_c = 11 \div 18$), то как следует из балансовых расчетов в районе южного карьера в карбонатном водоносном горизонте формируются подземные воды с коэффициентом концентрации сульфат-иона $K_c = 42 \div 49$.

Таким образом, процесс осушения покровных отложений в области формирования ресурсов приводит к формированию вод с $K_c < 10$ (по содержанию сульфат-иона как индикатора процесса), в пределах рекультивированного осушенного карьера поступают воды с показателями содержания сульфат-иона $K_c < 20$. Затопление карьера при его частичной рекультивации (“мокрая рекультивация”) обеспечивает поступление в водоносный

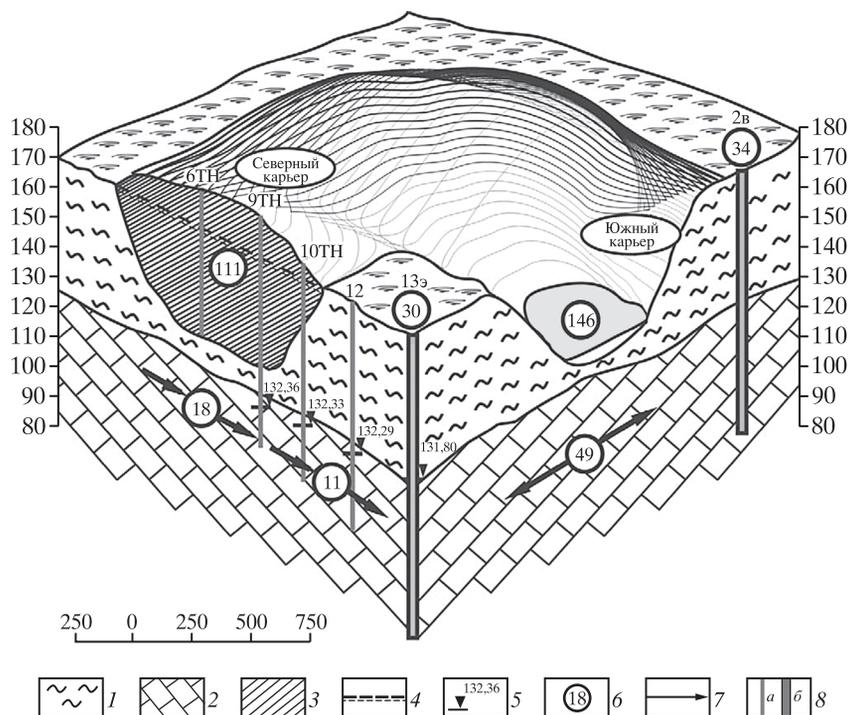


Рис. 5. Концептуальная гидрогеохимическая модель формирования качества подземных вод Полдневского месторождения подземных вод (геологическая основа принята по [4]): 1 – водопроницаемый локально-водоносный комплекс пород верхнего и нижнего мела (огнеупорные глины, глинистые и глауконитовые пески); 2 – водоносная зона нижнекаменноугольных карбонатных пород (известняки закарстованные); 3 – рекультивированная часть карьера (вскрышные породы и некондиционные руды); 4 – техногенный водоносный горизонт в теле рекультивированного карьера; 5 – уровень подземных вод; 6 – коэффициент концентрации сульфат-иона (K_c); 7 – направление потока подземных вод; 8 – скважина (а – наблюдательная, б – эксплуатационная).

горизонт вод с $K_c = 50$. Дальнейшая эксплуатация питьевого водозабора возможна только под защитой барражных скважин с расходом, который должен быть сопоставим с водоотбором на питьевые нужды: об этом свидетельствует продолжающийся рост содержания сульфатов в эксплуатационных скважинах до значений $K_c > 10$ после снижения величины дренажного защитного водоотлива в последние годы (см. рис. 4). При этом необходимость очистки сбрасываемых подземных вод до нормативов, предъявляемых к качеству воды в водоемах рыбохозяйственного назначения, 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 и с 1976 г. единственный источник водоснабжения г. Верхний Уфалей (Челябинская обл.) с населением 32 тыс. человек.

Обработка открытым способом Черемшанского месторождения силикатно-никелевых руд

началась в 1930-х годах, обработка Старо-Черемшанской залежи закончена в 1983 г., Ново-Черемшанской в 1990-х годах, Чусовской в 2005 г. С середины 1970-х годов обрабатывается карьер флюсовых мраморов, расположенный в пределах контура Черемшанского карьера.

Черемшанское месторождение 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. м³/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.

Химический состав дренажных вод, используемых для водоснабжения, изменился по сравнению с 1960–1970-ми годами: произошел рост минерализации в два раза (до 0.5 мг/дм³), жесткости в 1.7 раза (до 7.5 мг-экв/дм³), железа в 1.5 раза (до 0.15 мг/дм³), сульфатов в 3 раза (до 160 мг/дм³);

Таблица 4. Характеристика водных объектов района Черемшанского месторождения подземных вод (Уфалейских никелевых месторождений)

Этап (период опробования)	Объект (скважина, карьер, река), его местоположение и назначение	Сульфат-ион, мг/дм ³ (в скобках К _с [*])	Никель, мг/дм ³ (в скобках К _{пдк} ^{**})	Формула Курлова
Прекращение водоотлива, затопление карьеров (2006 г.)	Скв. №32 (эксплуатационная)	159 (16)	0.03 (1.5)	$M_{0.5} \frac{HCO_3^- 56 SO_4^{2-} 41}{Ca^{2+} 74 Mg^{2+} 20 Na^+ 6}$
	Черемшанский карьер, затопленный	153 (15)	0.10 (5.0)	$M_{0.4} \frac{HCO_3^- 63 SO_4^{2-} 34}{Mg^{2+} 82 Ca^{2+} 14}$
	Старочеремшанский карьер, затопленный	278 (28)	3.31 (165.5)	$M_{0.5} \frac{SO_4^{2-} 89 HCO_3^- 8}{Ca^{2+} 58 Mg^{2+} 29 Na^+ 13}$

Примечание. *, ** см. примечание к таблице 2.

концентрации никеля в дренажных водах (по скважине 32) выросли в 20 раз – с 0.0015 до 0.03 мг/дм³ (см. табл. 4).

В непосредственной близости от Черемшанского водозабора и одноименного карьера расположено несколько отработанных никелевых карьеров, которые были затоплены и превратились в карьерные озера. 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/дм³ (К_с < 8), никеля от 0.04 до 0.08 мг/дм³ (К_{пдк} = 2 ÷ 4). Исключение составляет карьерное озеро в затопленной Старо-Черемшанской залежи. Воды здесь относятся к гидрокарбонатно-сульфатному магниевому-кальциевому типу с минерализацией 0.2–0.4 г/дм³ и характеризуются повышенными содержаниями марганца – до 1.2 мг/дм³ (К_{пдк} = 12), железа общего – до 0.56 мг/дм³ (К_{пдк} = 2); кобальта – до 0.16 мг/дм³ (К_{пдк} = 1.5); никеля – до 3.3 мг/дм³ (К_{пдк} = 33); кадмия – до 0.045 мг/дм³ (К_{пдк} = 45) [16, 20]. Аномальные значения этих показателей может иметь следующее объяснение: прекращение отработки Старо-Черемшанской залежи произошло после формирования в карьере оползня в коре выветривания. Последующее затопление привело к активизации процессов сернокислотного выщелачивания продуктивной толщи при неполной выемке полезного ископаемого, т.е. самопроизвольная “мокрая рекультивация” карьера при его затоплении способствовала образованию техногенного водоносного горизонта, являющегося источником загрязнения гидросферы.

Сложившаяся в последние годы гидрогеологическая обстановка будет претерпевать значитель-

ные изменения не только в связи с затоплением Черемшанского никелевого карьера. Одновременно планируется увеличение глубины отработки карьера флюсовых мраморов, расположенного в единой депрессионной воронке, что приведет к изменению водно-балансовых составляющих, уровня и гидрохимического режима подземных и поверхностных вод. В перспективе эксплуатация Черемшанского водозабора для хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Верхний Уфалей нецелесообразна. Качество подземных вод не соответствует нормативным требованиям и будет ухудшаться при затоплении карьера. Для водообеспечения населения города необходимо освоение разведанного Уфалейского участка подземных вод (с утвержденными запасами 8.6 тыс.м³/сут), что позволит полностью восполнить потерю Черемшанского водозабора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными источниками формирования эксплуатационных запасов подземных вод в районе ведения горных работ на Среднем Урале являются сокращение разгрузки в поверхностные дрены, осушение пород, увеличение инфильтрационного питания, привлечение поверхностного стока. Формирование качества подземных вод происходит в результате процессов сернокислотного выщелачивания техногенной зоны аэрации и характеризуется повышением содержания ряда компонентов по сравнению с фоном: в частности, сульфат-иона в 5–10 раз.

После завершения отработки МТПИ и уменьшения водоотлива происходит частичное заполнение депрессионной воронки, формирование карьерных озер, техногенных водоносных гори-

Таблица 5. Оценка эколого-гидрогеохимического состояния подземных вод в зоне ведения горных работ

Источник, объект	Гидродинамический процесс	Гидрогеохимический процесс	Состояние подземных вод	
			K_c^*	Уровень загрязнения по [6, 19]
Техногенная зона аэрации	Водопонижение (карьерный водоотлив, законтурный дренаж, эксплуатационный водоотбор). Инfiltrация атмосферных осадков	Сернокислотное выветривание пород осушенной части (техногенной зоны аэрации)	2–10	Низкий
Карьерное озеро	Сокращение водоотлива. Подъем уровня подземных вод. Заполнение депрессионной воронки, формирование карьерного озера. Фильтрация вод карьерного озера	Сернокислотное выветривание невыбранной руды	5–15	Низкий
Рекультивированный карьер, отвал вскрышных пород и некондиционных руд	Инfiltrация атмосферных осадков. Формирование локального маломощного техногенного водоносного горизонта в массиве вскрышных пород и некондиционных руд	Сернокислотное выветривание вскрышных пород и некондиционных руд	10–20	Средний
Карьерное озеро в рекультивированном карьере (вскрышные породы и некондиционные руды обводнены)	Подъем уровня подземных вод (заполнение депрессионной воронки, формирование карьерного озера). Фильтрация вод карьерного озера. Формирование техногенного водоносного горизонта мощностью, равной глубине карьера	Сернокислотное выветривание невыбранной руды, вскрышных пород и некондиционных руд	>25–50	Высокий и очень высокий

Примечание. * Коэффициент концентрации содержания сульфатов в водоносном горизонте.

зонтов 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. Качество вод карьерных озер зависит от состояния карьерной выемки. Сернокислотное выщелачивание невыбранной руды приводит к формированию вод с коэффициентом концентрации по сульфат-иону не более 15.

Значимость поступления в продуктивный водоносный горизонт вод техногенного водоносного горизонта, сформировавшегося в отвалах и рекультивированных карьерах (при условии их предварительного осушения), оценивается как незначительная. Коэффициент концентрации по сульфат-иону в водоносном горизонте составляет менее 20. Техногенный горизонт в массиве вскрышных пород и некондиционных руд рекультивированного карьера – локальный и маломощ-

ный, хотя и имеет очень высокий коэффициент концентрации по сульфат-иону (до 110).

Мокрая рекультивация (частичное заполнение выработанного пространства отработанных карьеров породами вскрыши, некондиционных руд) – причина формирования вод с очень высоким уровнем загрязнения: здесь отмечается более чем 25–50 – кратное повышение содержания компонентов по сравнению с фоновым. Это вызвано формированием техногенного водоносного горизонта мощностью, равной глубине карьера, который, находясь в непосредственном контакте с насыщенной кислородом водой, становится источником постоянного поступления продуктов сернокислотного выщелачивания.

Формирование месторождений питьевых подземных вод в зоне, нарушенной горными работами, определяется несколькими факторами, в том числе типом полезного ископаемого, способом рекультивации нарушенной территории, конструкцией водозабора. Закономерности изменения химического состава подземных вод и их эко-

Таблица 6. Оценка возможности использования подземных вод после прекращения горнодобывающей деятельности

Показатель	Возможность использования подземных вод		
	можно	проблематично	нельзя
Водовмещающие породы	известняки		
Способ рекультивации	мокрая консервация (затопление)		
Конструкция дренажной системы	вертикальный законтурный дренаж		
Геохимическая активность полезного ископаемого	низкая	средняя, высокая	высокая
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_{cp} и M_{np})*	$M_{cp} \gg M_{np}$	$M_{cp} \sim M_{np}$	$M_{cp} \ll M_{np}$
Примеры месторождений	Кальинское	Карпинское; Липовское, западный узел	Липовское, восточный узел; Полдневское; Черемшанское

Примечание. * $M_{cp} = C_{cp} \cdot Q_{cp}$ – массовый расход, поступающий за счет естественных ресурсов; $M_{np} = C_{np} \cdot Q_{np}$ – массовый расход, поступающий за счет привлекаемых ресурсов, формирующихся в отработанных пространствах.

го-геохимическое состояние здесь зависят от направленности гидродинамических и гидрогеохимических процессов на разных этапах освоения территории (табл. 5).

Месторождения твердых полезных ископаемых – аномальные в геолого-геохимическом отношении зоны. Формирование качества подземных вод в зонах ведения горных работ в значительной мере зависит от типа полезного ископаемого и степени его геохимической активности.

Хорошее качество дренажных вод в начальный период их отработки 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 дренажных вод для питьевого водоснабжения необ-

ходимо 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 (табл. 6).

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 13-05-96038 “Исследование и прогноз динамики техногенной трансформации экосистем в районах функционирования горно-металлургического комплекса Урала” и в рамках проекта 12-М-23457-2041 “Освоение недр Земли: перспективы расширения и комплексного освоения рудной минерально-сырьевой базы горно-металлургического комплекса Урала”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бизяев Н.А. Гидрогеохимическая трансформация Липовской геотехногенной системы// Автореф. дис....канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург: УГГУ, 2012. 18 с.
2. Боровский Б.В., Дробноход Н.И., Язвин Л.С. Оценка запасов подземных вод. Киев: Вища школа, 1989. 407 с.

3. *Боревский Б.В., Боревский Л.В., Язвин А.Л.* Принципы определения границ месторождений подземных вод //Разведка и охрана недр. 2010. № 10. С. 10–18.
4. *Вострокнутов А.Г.* Мониторинг подземных вод Полдневского месторождения. Екатеринбург: Уралнедра, 2006. 160 с.
5. ГН 2.1.5.1315-03 “Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования” (зарегистрированы Министерством юстиции Российской Федерации 19 мая 2003 г., регистрационный № 4550). М.: Министерство здравоохранения РФ, 2003. 94 с.
6. *Гуляева Н.Г.* Методические рекомендации по эколого-геохимической оценке территорий при проведении многоцелевого геохимического картирования масштабов 1:1000000 и 1:200000. М.: ИМГРЭ, 2002. 70 с.
7. *Емлин Э.Ф.* Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд-во Урал. ун-та, 1991. 256 с.
8. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2010 г. Вып. 34. М.: ООО “Геоинформмарк”, 2011. 208 с.
9. Информационный бюллетень о состоянии геологической среды на территории Свердловской области за 2006 год. Вып. 6. Екатеринбург: Уралнедра, 2007. 197 с.
10. Методические рекомендации по оценке эксплуатационных запасов подземных дренажных вод месторождений твердых полезных ископаемых. М.: ВСЕГИНГЕО, 1992. 67 с.
11. *Палкин С.В., Палкин С.С.* Разведка и эксплуатация Липовского водозабора при его взаимодействии с выведенным из разработки карьером никелевых руд//Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 19–25.
12. *Палкин С.В., Палкин С.С., Рыбникова Л.С.* О возможности полного водообеспечения города Екатеринбурга подземными водами // Водное хозяйство России. 2011. № 5. С. 75–88.
13. *Плотников Н.И., Рогинец И.И.* Гидрогеология рудных месторождений. М.: Недра, 1987. 287 с.
14. *Плугина Т.А.* Анализ изменения балансовых составляющих водоотбора при эксплуатации месторождений подземных вод //Разведка и охрана недр. 2003. № 10. С. 27–36.
15. *Рошаль А.А.* Оценка запасов и использование дренажных подземных вод при разработке месторождений твердых полезных ископаемых. <http://www.geolink-consulting.ru/company/publications/drenazh.html>.
16. *Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Использование подземных вод для питьевого водоснабжения при отработке и консервации месторождений полезных ископаемых / Сб. матер. XII Междунар. Научн.-практ. симп. и выставки “Чистая вода России”. 14–16 мая 2013 года, г. Екатеринбург. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2013. С. 360–367.
17. 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 РФ, 2002. 62 с.
18. 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 РФ, 2003. 18 с.
19. *Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П.* Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
20. *Фельдман А.Л., Рыбникова Л.С., Рыбников П.А.* Защита питьевых водозаборов при осушении и затоплении карьеров горноскладчатого Урала // Питьевые воды. Изучение, использование и информационные технологии. Матер. Международ. научн.-практ. конф. (18–22 апреля 2011 г.). Ч. 4. Московская область, г.Балашиха: ФГУ ВНИИПО МЧС России. С. 88–98.
21. *Apello C.A.J., Postma D.* Geochemistry, groundwater and pollution. 2-nd edition. Rotterdam, Balkema. 2005. 635 p.

FORMATION OF POTABLE GROUNDWATER DEPOSITS UPON MINING IN THE URALS

L. S. Rybnikova^{*,**}, P. A. Rybnikov^{*}

**Institute of Mining, Ural Division, Russian Academy of Sciences,
ul. Mamina-Sibiryaka 58, Ekaterinburg, 620219 Russia. E-mail: ribnikoff@yandex.ru*

***Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources,
ul. Mira 23, Yekaterinburg, 620049 Russia. E-mail: luserib@mail.ru*

The article considers the formation of potable groundwater deposits in the area disturbed by mining. The transformation regularities in the groundwater chemical composition are analyzed and systematized using the typical cases. It is shown that after the completion of mining activities the possible use of groundwater is controlled both by natural and mining-operation factors, including the type of minerals, the rehabilitation method applied in the disturbed area, as well as the water-intake facility design.

Keywords: *groundwater, drinking quality, deposit, water bodies, intake, minerals, mining operations.*