

УДК 504.4.054+553.9](571.62)

И.А. Тарасенко, А.В.Зиньков

**ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ
ПОДЗЕМНОГО ВОДНОГО БАСЕЙНА
ПРИ ЗАКРЫТИИ ШАХТ ПРИМОРСКОГО КРАЯ
(НА ПРИМЕРЕ ШАХТЫ «ЛИПОВЕЦКАЯ»)**

Выполнена оценка экологической безопасности подземного водного бассейна в районе ликвидированной шахты «Липовецкая» (№4). Рассмотрены гидрогеохимические особенности подземных вод. Установлено, что после затопления шахты в горном массиве сформировались техногенные (шахтные) воды, которые отличаются от природных вод ионным типом, химическим составом и органолептическими свойствами. Шахтные воды обладают повышенными по сравнению с природными водами минерализацией, жесткостью, сульфатами и содержат в своем составе компоненты (железо, марганец, фенолы, нефтепродукты, БПК и ХПК) в количествах, превышающих предельно-допустимые концентрации. Оценка влияния техногенных вод на подземный водный бассейн района позволила утверждать, что воды трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного комплекса зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями, а также горизонтов неогеновых и четвертичных отложений за пределами горного отвода не испытывают экологического влияния со стороны затопленной шахты.

Ключевые слова: ликвидированная шахта, подземный водный бассейн, экологическая безопасность.

Ликвидация нерентабельных и убыточных угольных шахт стала массовым явлением практически на всей территории Российской Федерации [1]. Приморский край не явился в этом плане исключением. В настоящее время практически все угольные шахты Приморского края закрыты. Водоотлив в них прекращен и горнодобывающие предприятия, которые многие десятилетия осушали огромные прилегающие пространства, затоплены до уровня естественных отметок зеркала подземных вод.

Затопление нерентабельных шахт вызывает ряд негативных экологических последствий, в том числе формирование в отработанном подземном пространстве техногенных вод экологически небезопасных для под-

земного водного бассейна. Изучение химического состава подземных вод районов ликвидированных угольных шахт и особенностей их формирования имеет важное значение для решения проблем экзогенной геологической деятельности природных вод и оценки экологической безопасности подземного водного бассейна. В связи с этим **цель настоящей работы** заключалась в комплексном изучении химического состава подземных вод и в оценке экологической безопасности подземного водного бассейна района ликвидированного угледобывающего предприятия на примере затопленной шахты «Липовецкая» (№4).

Шахта «Липовецкая» отрабатывала запасы одноименного каменноугольного месторождения, расположенного на юго-западе Приморского края.

Она была сдана в эксплуатацию в 1943 г. и максимальной добычи — 768 тыс. т угля в год — достигла в 1992 г. Затем фиксировалось снижение добычи угля и в 1997 г. шахта была включена в «Перечень особо убыточных шахт и разрезов». На тот период площадь поля шахты составляла 19 км², глубина отработки пластов превышала 280 м. Основные проектные решения по её ликвидации сводились к закрытию путем естественного затопления без организации искусственного выпуска шахтных вод.

Поверхность горного отвода шахты занимает в основном центральную и южную часть водораздельной площади р.р. Липовецкая и Краснопольская. В пределах горного отвода расположен поселок городского типа Липовцы.

Методы исследований

Работы по горно-экологическому мониторингу на территории земельного отвода ликвидированной шахты выполняются с 2000 г. и продолжают по настоящее время. В рамках мониторинга осуществляется опробование вод подземных горизонтов и комплексов. По всем пробам выполняется полевой химический анализ и лабораторное обследование (полный химический анализ с определением микрокомпонентов). Отбор проб воды на лабораторные исследования производится в соответствии с действующими нормами по методикам, согласованным с лабораторией, выполняющей анализы. В качестве базовой определена лаборатория, аккредитованная Госстандартом России — «Приморское гидрометрическое агентство» Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (г. Владивосток). Полевым методом определяются органолептические показатели, рН, общая жесткость, основные ионы (хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты,

кальций); биогенные вещества (аммоний, железо); расчетным методом — минерализация, сухой остаток, магний, сумма натрия с калием.

Оценка экологической обстановки на обследованной территории выполняется путем сравнения результатов анализов подземных вод с предельно-допустимыми концентрациями в соответствии с СанПиН «Питьевая вода ...» [2]. Классификация подземных вод по химическому составу осуществляется согласно отраслевому стандарту [3].

Расчет степени равновесности (или неравновесности) подземных вод района шахты «Липовецкая» по отношению к различным первичным и вторичным минералам реализован с использованием программного комплекса AquaChem 5.1 [4].

Выполненные исследования являются в значительной степени отражением и следствием работы И.А. Тарасенко в ОАО «ДальвостНИИпроектуголь» в качестве начальника научно-производственного отдела, где осуществлялись на договорных началах с Приморским Центром Экологического Мониторинга работы по выявлению последствий ликвидации угледобывающих предприятий Дальнего Востока. Естественно поэтому, в проведении полевых и лабораторных работ по конкретным объектам принимали участие многие сотрудники отдела, среди которых следует выделить Л.Г. Буянову, Т.М. Кадырову, Т.В. Тарасову, Т.Г. Язынину и О.А. Акимову. Всем им выражаем глубокую благодарность и признательность за полезные и творческие контакты.

Состояние природных и техногенных вод в зоне влияния шахты «Липовецкая»

Шахта «Липовецкая» отрабатывала запасы северо-западной части Липо-

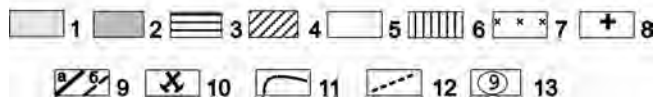
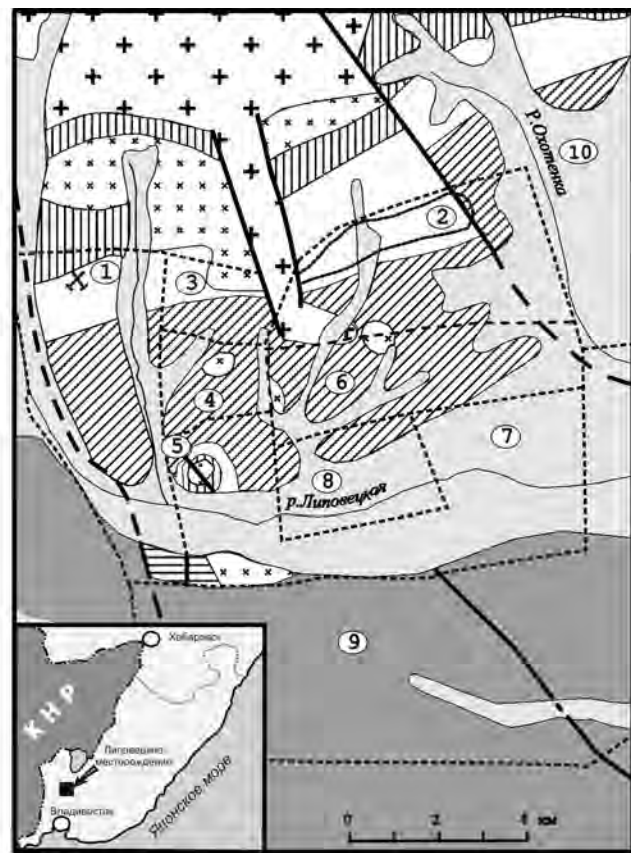


Рис. 1. Схема геологического строения Липовецкого каменноугольного месторождения (составлена по: [6]): 1—6 осадочные отложения: 1 — четвертичные, 2 — неогеновые, 3 — коркинской серии, 4 — галенковской свиты, 5 — липовецкой угленосной свиты, 6 — уссурийской свиты; 7 — поздне меловые (?) андезиты, дациты и диориты, 8 — ордовикские (?) граниты, 9 — крупные тектонические нарушения, 10 — ствол ликвидированной шахты «Липовецкая», 11 — площадь, оработанная действующим разрезом, 12 — границы участков месторождения, 13 — номера участков: 1 — шахта «Липовецкая», 2 — разрез «Восток-2», 3 — участок «Восточный», 4 — участок «Южный-2», 5 — участок «Липовецкий-6», 6 — участок «Южный-3», 7 — участок «Галенковский-3», 8 — участок «Некковский», 9 — участок «Галенковский-2», 10 — участок «Галенковский-1»

векового месторождения, расположенного в структуре нижнемеловой угленосности — Раздольненском угольном бассейне, который размещен в пределах бассейна трещинных вод складчатой системы Сихотэ-Алинь и отрогов Восточно-Маньчжурского нагорья Сихотэ-Алиньской гидрогеологической области [5].

В геологическом строении месторождения принимают участие сложно-дислоцированные образования верхней перми, ранне- и позднепалеозойские гранитоиды, а также осадочные отложения мелового, неогенового и четвертичного возрастов, представленные преимущественно песчаниками различного гранулометрического состава, алевролитами и аргиллитами с прослоями углей и лигнитов, туфов и туфодиазомитов, а также гравелитами, конгломератами, галечниками и суглинисто-щебнистыми осадками (рис. 1). Нижнемеловые угленосные отложения месторождения прорваны некками, дайками и силлами диоритов, андезитов, дацитов, синхронных позднекоркинскому времени [6].

Все разновидности и типы углей Липовецкого месторождения относятся к группе гумолитов и занимают особое место среди каменных углей благо-

даря присутствию значительного количества смоляных компонентов (резинита). Минеральные включения содержатся в углях в большом количестве — от 2 до 40%, в среднем — 8—15%. В основном это включения кварца терригенного происхождения и тонкодисперсного глинистого вещества. В меньших количествах наблюдаются пирит и сидерит. Содержание серы в углях месторождения всех классов низкое — 0,2—0,3%.

Обводнение месторождения в основном происходило за счет поровых грунтовых вод четвертичных и неогеновых отложений, трещинных вод зоны экзогенной трещиноватости мезозойских и палеозойских отложений, а также трещинно-жильных вод разрывных тектонических нарушений и интрузивных контактов. По степени обводненности Липовецкое месторождение отнесено [5] к группе слабообводненных: среднегодовые водопритоки в шахту за весь период ее эксплуатации составляли 70—180 м³/час. В период работы шахты существовала депрессионная воронка, максимальное понижение уровня (-174 м) которой отмечалось в центральной части шахтного поля. Границы депрессионной воронки распространялись на расстояние от 1—2 до 5—7 км от максимального снижения уровня.

Главный водоотлив и вентиляционная установка шахты остановлены 15.05.1998 г. Наблюдения за уровнем затопления горных выработок шахты и отработанного массива выполнялись по скважинам 4л и 2л, оборудованным на отработанный массив. Изучение динамики затопления шахты «Липовецкая» свидетельствует о том, что зона водопроницающих трещин отработанного массива сфор-

мировалась до глубины примерно 50 м, т.к. на глубинах 50,7 м (скв. 2л) и 31,2 м (скв. 4л) фиксировалось изменение (снижение) скорости затопления от 3,7 м/мес (в 2003—2004 гг.) до 0,6—0,7 м/мес (в 2005 г.). Уровень подземных вод в естественных ненарушенных условиях (до отработки месторождения) характеризовался глубиной залегания 15—25 м, что соответствует абсолютным отметкам 115—120 м. В конце 2005 г. уровень подземных вод установился на отметке +120,6 м, который наблюдается и в настоящее время. Таким образом, шахта «Липовецкая» с 2005 г. признана полностью затопленной.

В результате отработки пластов угля шахтой «Липовецкая» и последующего ее затопления в горном массиве образовался техногенный водоносный горизонт (шахтные воды). Шахтных вод изливающихся на земную поверхность нет. Зоны возможного подтопления с отметками 115—120 м находятся в пойме рек Липовецкая и Краснопольская выше их слияния. Эти участки имеют естественную заболоченность, признаков дополнительного заболачивания не обнаружено ни при визуальном обследовании, ни при гидрохимическом опробовании.

С целью осуществления оценки экологической безопасности подземного водного бассейна в районе затопления шахты выполнено комплексное исследование состава подземных вод. Изучены воды техногенного водоносного горизонта (шахтные воды), воды трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного комплекса зон тектонических нарушений и интрузивных контактов

с меловыми отложениями, а также поровые грунтовые воды неогеновых и четвертичных отложений.

Подземные воды **техногенного водоносного горизонта шахты** опробовались по скважинам 2л и 4л, имеющим связь с горными выработками. Интерпретация полученных результатов позволила утверждать, что воды техногенного горизонта из скважин 2л и 4л неоднородны по химическому составу и физическим свойствам. Воды скв. 2л пресные (минерализация 0,51 г/дм³), умеренно жесткие (жесткость 5,58 мг-экв./дм³). А воды скважины 4л слабосоленоватые (минерализация варьируется в пределах 1,80—2,49 г/дм³) с общей жесткостью 22,01 мг-экв./дм³ и нейтральной реакцией среды (рН=6,86). Это возможно, обусловлено разностью природных условий на рассматриваемых участках. Так, скважина 2л глубиной 103 м находится в междуречье рр. Краснопольская и Липовецкая, и ее питание осуществляется, вероятно, за счет грунтовых вод неогеновых и четвертичных отложений. Скважина 4л глубиной 150 м расположена в северо-восточной части шахтного поля, на периферии существовавшей в период работы шахты депрессионной воронки. В формировании качества воды на данном участке, очевидно, большую роль играют воды угольного, а возможно, и подугольного водоносных комплексов.

Изучение химического состава техногенного водоносного горизонта позволило выделить четыре типа вод, формирующихся в пределах горного отвода шахты:

1) гидрокарбонатный кальциево-магниевый

$$M_{0.51} \frac{HCO_3^{87} Cl^7 SO_4^6}{Mg^{54} Ca^{29} Fe^{10} Na^7};$$

2) сульфатно-гидрокарбонатный натриево-магниевый

$$M_{1.80} \frac{HCO_3^{50} SO_4^{47} Cl^3}{Mg^{57} Na^{24} Ca^{17} Fe^2};$$

3) гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый

$$M_{1.96} \frac{SO_4^{59} HCO_3^{32} CO_3^6 Cl^3}{Mg^{54} Ca^{28} Na^{16} NH_4^2};$$

4) гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриево-магниевый

$$M_{2.49} \frac{SO_4^{51} HCO_3^{46} Cl^3}{Mg^{45} Na^{31} Ca^{23} NH_4^1}.$$

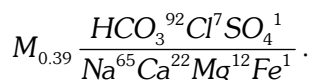
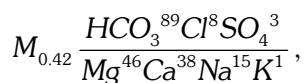
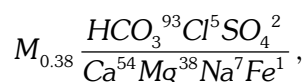
Второй, третий и четвертый типы характеризуются повышенными содержаниями сульфатов, вследствие этого соленость вод возрастает и варьируется в пределах 1,80—2,49 г/дм³.

Трещинный водоносный комплекс меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) распространен повсеместно и является основным на месторождении, вмещающим угольные пласты промышленного значения. Мощность трещиноватой зоны составляет в среднем 80—100 м, достигая местами 150 и более метров. Проницаемость водовмещающих пород зависит от состава и условий залегания последних и в плане характеризуется неоднородностью. Коэффициент водопроводимости пород зоны экзогенной трещиноватости изменяется от 5 до 550 м²/сут., уровнепроводности — от 103 до 104 м²/сут. Воды трещинного комплекса преимущественно безнапорные или слабо напорные. Область питания водоносного комплекса совпадает с областью распространения. Основной источник питания — атмосферные осадки. Разгрузка происходит в долинах рек и на питание других водоносных горизон-

тов. Движение подземных вод направлено с севера на юг. Годовая амплитуда колебаний уровня — 1,0—1,5 м.

Трещинно-жильный водоносный комплекс зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями приурочен к зонам тектонических нарушений или к ослабленным зонам на контактах изверженных и осадочных пород. Его распространение носит локальный характер. Комплекс характеризуется как нисходящими, так и восходящими направлениями движения подземных вод. Разница напоров достигает 19,8 м. Питание осуществляется за счет перетекания из трещинного комплекса, а разгрузка — в нижележащие отложения фундамента и в долины рек (при глубоком эрозионном врезе).

Трещинный водоносный комплекс меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильный водоносный комплекс зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями опробовались по скважинам 18—1103, 224, 7л и 37060. В результате интерпретации полученных гидрохимических данных установлено, что рассматриваемые воды весьма пресные (минерализация 0,34—0,49 г/дм³), мягкие и умеренно жесткие (жесткость 1,53—4,99 мг-экв/дм³), по водородному показателю — нейтральные. По анионному составу воды комплексов гидрокарбонатные, а катионный тип варьируется от магниевое-кальциевого, кальциево-магниевого к кальциево-натриевого. Типичные формулы солевого состава следующие:

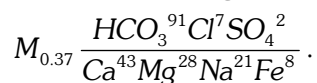
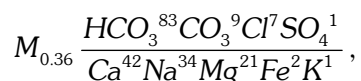
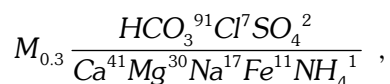


Водоносный горизонт неогеновых отложений распространен на юге и востоке Липовецкого месторождения. Водовмещающими являются отложения суйфунской свиты, представленные галечниками с прослоями гравия и песка. Средняя мощность суйфунских отложений составляет 30 м. Воды иногда обладают небольшим местным напором. Статические уровни находятся на глубинах от нескольких до 32—35 м. Обводненность неогеновых отложений незначительная, удельные дебиты колеблются от 0,5 до 0,75 л/с, дебиты от 1,1 до 3,3 л/с при понижениях 2,0—7,5 м. Водоносный горизонт обладает большими статическими запасами и является важным источником питания рек и водоносного горизонта аллювиальных отложений в меженный период. Воды горизонта в обводнении горных выработок не участвовали.

Водоносный горизонт четвертичных отложений распространен в долинах рек и ручьев. Водовмещающими являются пески, перекрытые современными глинами мощностью до нескольких метров. Наибольшей мощностью (до 30 м) и обводненностью характеризуется аллювий долин основных водотоков, мощность которого увеличивается от склонов к поймам и вниз по течению рек. Мощность водоносного горизонта в долине реки Липовецкой составляет 13—16 м. Воды горизонта безнапорные, их питание происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, а разгрузка осуществляется в подстилающие отложе-

ния. Горизонт имеет прямую гидравлическую связь с нижележащим водоносным комплексом. Общее движение грунтового потока — с севера на юг. В период работы шахты, воды горизонта непосредственного участия в обводнении горных выработок не принимали. Обводненность четвертичных отложений незначительная. Удельные дебиты изменяются от 0,32 до 0,66 л/с, дебиты — от 0,6 до 6,9 л/с при понижении 1,8—10,5 м. Коэффициент фильтрации колеблется от 2,82 до 8,04 м/сут.

Водоносные горизонты неогеновых и четвертичных отложений опробовались по скважинам 6л и 8л. В результате установлено, что по химическому составу воды четвертичных и неогеновых отложений гидрокарбонатные магниево-кальциевые, магниево-натриево-кальциевые или натриево-магниево-кальциевые, весьма пресные, мягкие, по водородному показателю нейтральные. Типичные формулы солевого состава следующие:



Региональный водоупор на Липовщком месторождении отсутствует, поэтому все водоносные горизонты и комплексы гидравлически связаны между собой. Близость составов поровых грунтовых воды четвертичных и неогеновых отложений, трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного комплекса зон

тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями, хорошо видна на диаграммах равновесия (рис. 2). Все природные воды равновесны с каолинитом, иллитом, Na-, Mg- и Са-монтмориллонитом. При этом минеральное равновесие в водах района контролируется главным образом содержанием кремнезема. Другие факторы имеют подчиненное значение.

Высокие концентрации кремния определяют невозможность образования в этих условиях гиббсита и сдвигают равновесие в область каолинита (рис. 2, а), причем примерно половина точек, характеризующих состав природных подземных вод, находится в поле устойчивости иллита, а половина — каолинита. Это объясняется тем, что относительно каолинита вода при прочих равных условиях насыщается калием и поэтому равновесие смещается в область иллита, что и характерно главным образом для трещинных и трещинно-жильных вод (скв. 7л, 3760 и 18—1103) и частично для вод четвертичных и неогеновых отложений (скв. 8л). Когда концентрация кремнезема в растворе возрастает, равновесие смещается в область монтмориллонита (рис. 2, б, в, г). Таким образом, наблюдается закономерное изменение насыщенности рассматриваемых подземных вод кремнием и калием в направлении потока вод. Все точки составов природных и техногенных вод располагаются в пределах полей устойчивости глинистых минералов (рис. 2, д) и находятся в равновесии с каолинитом и монтмориллонитом, но неравновесны с альбитом и анортитом, поля которых располагаются правее и выше соответственно.

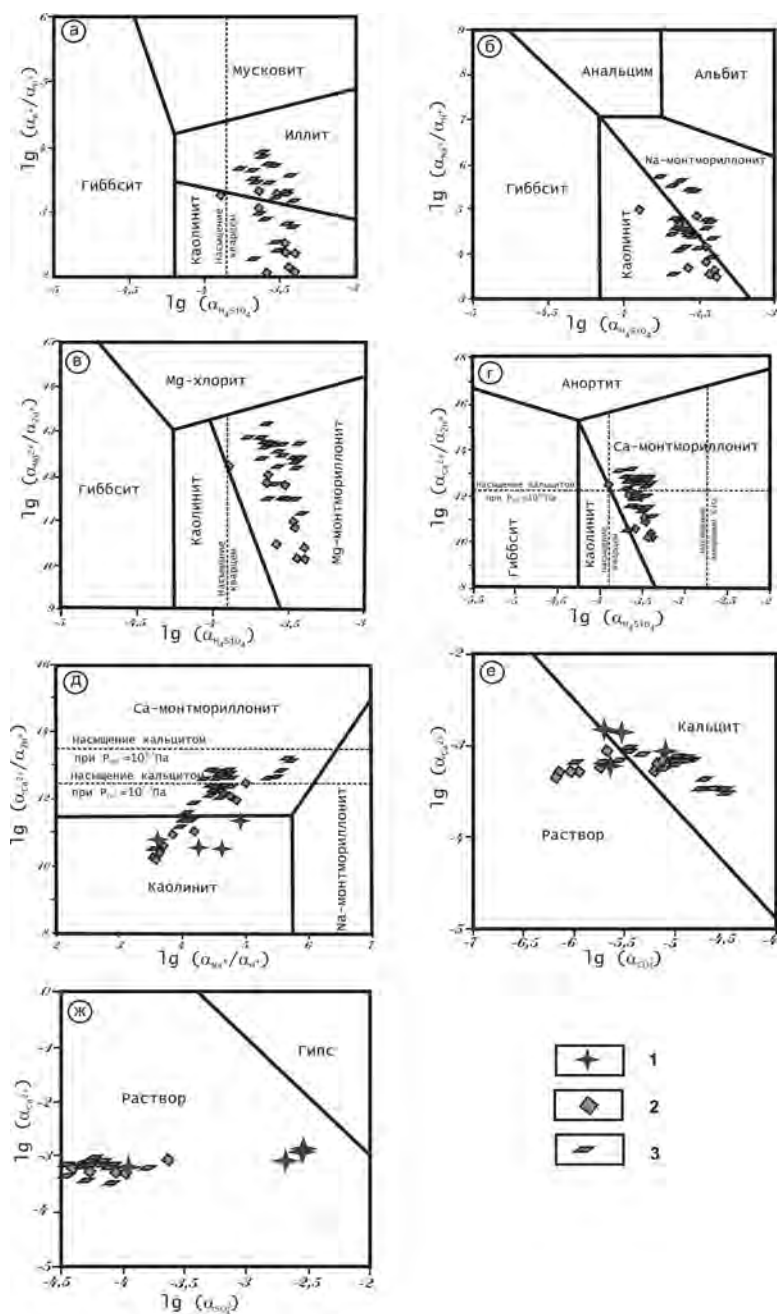


Рис. 2. Диаграммы равновесия основных минералов с нанесением данных по составу подземных вод района ликвидированной шахты «Липовецкая»: 1—3 — водоносные горизонты и комплексы: 1— техногенный, 2 — неогеновых и четвертичных отложений, 3 — трещинный и трещинно-жильный; а — система $H_2O-Al_2O_3-K_2O-SiO_2$; б — система $H_2O-Al_2O_3-Na_2O-CO_2-SiO_2$; в — система $H_2O-Al_2O_3-MgO-SiO_2$; г — система $H_2O-Al_2O_3-CaO_2-SiO_2$; д — система $H_2O-Al_2O_3-CO_2-Na_2O-CaO-SiO_2$; е — равновесие подземных вод с кальцитом; ж — равновесие подземных вод с гипсом

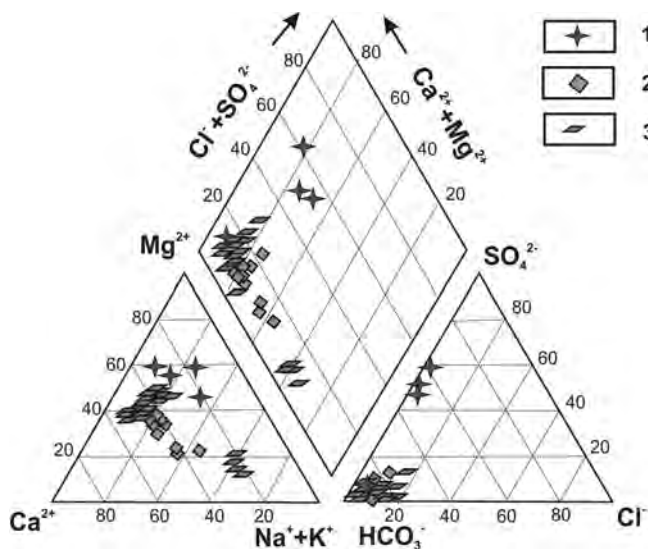


Рис. 3. Диаграмма А.М. Пайпа с нанесением данных по составу подземных вод района шахты «Липовецкая»: 1—3 — водоносные горизонты и комплексы: 1 — техногенный, 2 — неогеновых и четвертичных отложений, 3 — трещинный и трещинно-жильный

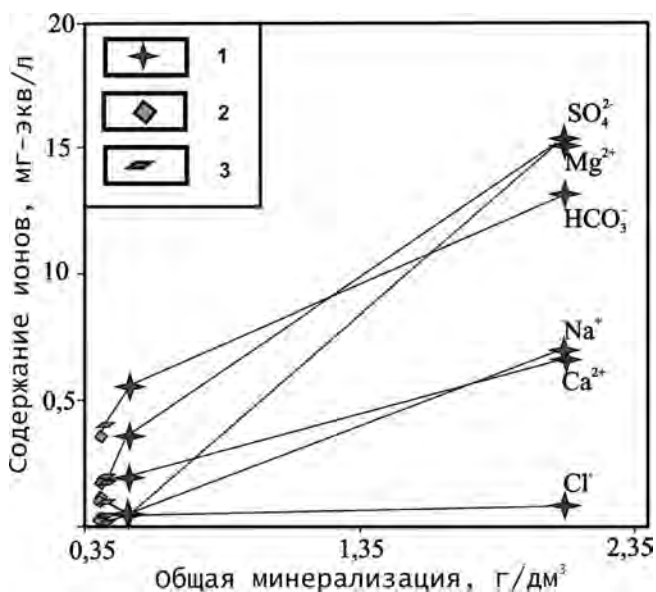


Рис. 4. Зависимость ионного состава подземных вод района шахты «Липовецкая» от степени их минерализации: 1—3 — водоносные горизонты и комплексы: 1 — техногенный, 2 — неогеновых и четвертичных отложений, 3 — трещинный и трещинно-жильный

Изучение характера равновесия природных и техногенных подземных вод с карбонатами показало, что половина всех вод равновесна с кальцитом, а половина недонасыщена этим минералом (рис. 2, e). Известно [7, 8], что насыщенность вод карбонатами носит не случайный, а зональный характер и обусловлена общей эволюцией состава вод от пресных к соленым по мере уменьшения интенсивности водообмена. Таким образом, на диаграмме проявлена эволюция состава рассматриваемых вод: часть вод, находящаяся, вероятно, в условиях замедленного водообмена, насыщается карбонатами за счет разрушения алюмосиликатных вмещающих пород, а часть вод остается недонасыщенной кальцитом в связи с тем, что гидродинамические факторы, контролирующие время нахождения воды в горных породах, прерывают их взаимодействие раньше, чем наступает химическое равновесие.

Из диаграммы (рис. 2 ж) видно, что исследуемые нами воды не насыщены к гипсу, тем не менее, фигуративные точки составов шахтных вод относительно природных вод обладают тенденцией смещения к линии равновесия «раствор-гипс».

По степени роста величины солености выстраивается следующий ряд: воды четвертичных отложений, воды меловых и интрузивных образований, техногенные шахтные воды. Природные воды, для которых характерен $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ состав, в результате затопления горных выработок шахты «Липовецкая», становятся $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$ с минерализацией 1,80—2,49 г/дм³ (рис. 3).

Анализ характера изменения ионного состава вод показал рост концентрации всех рассматриваемых ионов по мере повышения солености вод. Наряду с изменением ионно-солевого состава в подземных водах с ростом минерализации происходит повышение содержаний таких ионов как Ca^{2+} , Na^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} (рис. 4). В рассматриваемых водах SO_4^{2-} превалирует над Cl^- , а содержания HCO_3^- доминируют над SO_4^{2-} , но лишь до солености 1,28 г/дм³, а затем в водах начинает преобладать SO_4^{2-} . Следовательно, SO_4^{2-} является геохимическим маркером шахтных вод.

Таким образом, в районе ликвидированной шахты «Липовецкая» развиты следующие типы вод: $\text{HCO}_3\text{-Mg-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Mg-Na-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$, $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$, а также $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$, $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$. На участках высокой проницаемости доминируют пресные $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ воды, на участках меньшей проницаемости — $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ или $\text{HCO}_3\text{-Mg-Na-Ca}$ воды с соленостью < 0,6 г/дм³, а в затопленных подземных горных выработках формируются главным образом $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$ воды с минерализацией 1,80—2,49 г/дм³.

В результате сравнения характеристик техногенных (шахтных) вод с предельно-допустимыми концентрациями установлено, что практически по всем пробам отмечается превышение ПДК по минерализации (1,8—2,4 ПДК), сульфатам (1,1—1,7 ПДК), жесткости (2,65—3,40 ПДК), железу (19,1—43,3 ПДК), марганцу (3,6—3,7 ПДК), перманганатной окисляемости (1,44—1,76 ПДК), бихроматной окисляемости (1,07—2,13 ПДК) и фенолам (1,8—8,9 ПДК). Для ряда проб незначительно превышены ПДК по нефтепродуктам (1,28 ПДК).

Для вод трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного комплекса зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями, отмечались превышения ПДК по таким показателям, как железо (до 7,6 ПДК), фенолы (до 16 ПДК) и нефтепродукты (до 7,4 ПДК). В единичных пробах фиксировалось превышение предельно-допустимых концентраций по окисляемости бихроматной (1,44 ПДК) и перманганатной (1,92 ПДК), аммию (1,48 ПДК) и кадмию (3 ПДК).

По всем пробам, характеризующим горизонты неогеновых и четвертичных отложений, наблюдалось превышение ПДК по железу (6,6—58,7 ПДК). Фиксировались превышения предельно-допустимых концентраций по марганцу (до 1,54 ПДК), фенолам (до 7,4 ПДК), нефтепродуктам (до 1,24 ПДК) и кадмию (30 ПДК).

Следует отметить, что в водах трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного ком-

плекса зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями и горизонтов неогеновых и четвертичных отложений повышенных концентраций маркирующего показателя шахтных вод — SO_4^{2-} , не установлено. Это свидетельствует о том, что за пределами горного отвода влияния шахтных вод на подземный водный бассейн не наблюдается. Водозаборы питьевого водоснабжения в зоне влияния шахты отсутствуют. Источниками же загрязнения подземного водного бассейна кадмием, аммонием и другими вышеуказанными компонентами вероятнее всего являются селитебная территория, транспортная сеть и сельскохозяйственное использование рассматриваемого района.

Заключение

Интерпретируя результаты, полученные при комплексном изучении состава подземных вод ликвидированной шахты «Липовешкая», а также при оценке экологической безопасности подземного водного бассейна рассматриваемой территории, можно сделать следующие выводы:

- В процессе ликвидации шахты в нарушенном горном массиве сформировались подземные (шахтные) воды, значительно отличающиеся от природных вод по ионному типу и химическому составу;

- В выработанном пространстве шахты образуются главным образом сульфатно-гидрокарбонатные натриево-магниевые; гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-магниевые и гидрокарбонатно-сульфатные кальциево-натриево-магниевые воды для которых характерно превышение предельно-допустимых концентраций по минерализации (1,8—2,4 ПДК), (2,65—3,40

ПДК), железу (19,1—43,3 ПДК), марганцу (3,6—3,7 ПДК), перманганатной (1,44—1,76 ПДК) и бихроматной окисляемости (1,07—2,13 ПДК) и фенолам (1,8—8,9 ПДК);

- В природных водах трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного комплекса зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями рассматриваемого района отмечались превышения предельно-допустимых концентраций по таким показателям, как железо (до 7,6 ПДК), фенолы (до 16 ПДК) и нефтепродукты (до 7,4 ПДК). В единичных пробах фиксировались повышенные концентрации аммония (1,48 ПДК), кадмия (3 ПДК), окисляемости бихроматной (1,44 ПДК) и перманганатной (1,92 ПДК);

- По всем пробам, характеризующим горизонты неогеновых и четвертичных отложений, наблюдалось превышение предельно-допустимых концентраций по железу (6,6—58,7 ПДК), марганцу (до 1,54 ПДК), фенолам (до 7,4 ПДК), нефтепродуктам (до 1,24 ПДК) и кадмию (30 ПДК);

- Все природные воды равновесны с каолинитом, иллитом, Na-, Mg- и Са-монтмориллонитом. Наблюдается закономерное изменение насыщенности рассматриваемых подземных вод кремнием и калием в направлении потока вод;

- Эволюция состава природных и техногенных вод от пресных к соленым хорошо проявлена при изучении степени насыщенности их карбонатами, химическое равновесие с которыми контролируется временем нахождения воды в горных породах;

• По степени роста величины солености происходит повышение содержания таких ионов как Ca^{2+} , Na^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , причем в рассматриваемых водах SO_4^{2-} превалирует над Cl^- , а содержание HCO_3^- доминирует над SO_4^{2-} , но лишь до солености $1,28 \text{ г/дм}^3$, а затем в водах начинает преобладать SO_4^{2-} — геохимический маркер шахтных вод рассматриваемого района;

• В водах трещинного водоносного комплекса меловых отложений зон экзогенной трещиноватости (дезинтеграции) и трещинно-жильного водоносного комплекса зон тектонических нарушений и интрузивных контактов с меловыми отложениями, а также горизонтов неогеновых и четвертичных отложений повышенных concentra-

ций маркирующего показателя шахтных вод — SO_4^{2-} , не установлено. Это свидетельствует о том, что за пределами горного отвода влияния шахтных вод на подземный водный бассейн не наблюдается. Источниками загрязнения подземного водного бассейна, вероятно, являются седлительная территория, транспортная сеть и сельскохозяйственное использование рассматриваемого района.

• Излива шахтных вод на земную поверхность не наблюдается и, учитывая установившийся гидрогеологический режим, его и не следует ожидать. Однако, не исключается ухудшение гидрохимической обстановки в случае формирования очагов локальной разгрузки шахтных вод в русла рек Липовещкой и Краснопольской.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агапов А.Е. Итоги работы Государственного учреждения «ГУРШ» по реализации программы ликвидации особо убыточных шахт и разрезов // Уголь, 2007. №3. С. 3—7.
2. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». — М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. 90 с.
3. Отраслевой стандарт «Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре». — М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.
4. AquaChem v. 5.1 User's Manual. Water Quality Analysis, Plotting and Modeling. Waterloo Hydrogeologic, Inc. Canada, 2006. 365 p.
5. Гидрогеология СССР. Том XXV. Приморский край. — М.: Недра, 1974. 520 с.
6. Угольная база России. Том V. Книга 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. 638 с.
7. 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 тома С.Л. Шварцев; ОИГГМ СО РАН [и др.]. — Н.: Изд-во СО РАН, 2005. 244 с.
8. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами. Обзор // Геология и геофизика, 1991. №12. С. 16—50. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Тарасенко Ирина Андреевна — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, tarasenko_irina@mail.ru, Дальневосточный геологический институт Дальневосточного отделения
Зиньков Александр Васильевич — профессор, заведующий кафедрой, zinkov_a@mail.ru, Дальневосточный государственный технический университет.

