

УДК 502.51+504.61+553.94(571.63)

И.А. ТАРАСЕНКО, А.В. ЗИНЬКОВ

Оценка техногенного загрязнения подземного водного бассейна в районе ликвидированной шахты (Липовецкое каменноугольное месторождение, Приморский край)

После затопления шахты в горном массиве сформировался техногенный водоносный комплекс, воды которого отличаются от вод природных горизонтов и комплексов типом, химическим составом и органолептическими свойствами. Воды техногенного комплекса обладают повышенными по сравнению с природными водами минерализацией, жесткостью, концентрацией сульфатов и содержат в своем составе железо, марганец, фенолы, нефтепродукты, БПК и ХПК в количествах, превышающих предельно допустимые концентрации. Установлено, что воды горизонтов четвертичных и неогеновых отложений, а также комплекса меловых отложений за пределами горного отвода не испытывают экологического влияния со стороны затопленной шахты.

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

Estimation of technogenic pollution of groundwater basin around the abandoned mine (the Lipovetskoe coal deposit, Primorsky Krai). I.A. TARASENKO (Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok), A.V. ZINKOV (Far Eastern Federal University, Vladivostok).

After flooding of the mine, technogenic water-bearing complex has been formed in the rock mass; waters of this complex differ from those of waters in natural horizons and complexes in type, chemical composition and organoleptic properties. Waters of the technogenic complex possess raised mineralization, hardness and sulfates concentration in comparison with natural waters and contain in its structure iron, manganese, phenols, mineral oils, BOD and COD in the quantities exceeding maximum permissible concentrations. It has been determined that waters in the horizons of quaternary and Neogene deposits and also in complex of Cretaceous deposits outside pit operations feel no ecological impact from the flooded mine.

Key words: the abandoned coal mine, underground water pool, ecological safety.

В 90-х годах XX столетия ликвидация угольных шахт стала массовым явлением практически на всей территории Российской Федерации [1]. Приморский край не явился в этом плане исключением. В настоящее время угольные шахты Приморья (кроме Липовецкой) закрыты, водоотлив в них прекращен и они затоплены до уровня естественных отметок зеркала подземных вод.

Затопление угольных шахт вызывает ряд негативных последствий, в том числе формирование в отработанном пространстве вод, экологически небезопасных для окружающей природной среды [6, 7]. Поэтому изучение химического состава и особенностей формирования подземных вод в районах ликвидированных угольных шахт имеет важное значение для решения проблем экзогенной геологической деятельности природных вод и оценки

*ТАРАСЕНКО Ирина Андреевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник (Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток), ЗИНЬКОВ Александр Васильевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий кафедрой (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток). *E-mail: tarasenko_irina@mail.ru

экологической безопасности всего водного бассейна. Цель нашей работы заключалась в комплексном изучении химического состава подземных вод и оценке экологического влияния ликвидированной шахты № 4 Липовецкого каменноугольного месторождения на подземный водный бассейн района.

Шахта № 4 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. она 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 ее ликвидации сводились к закрытию путем естественного затопления без организации искусственного выпуска шахтных вод.

Методы исследований

Предлагаемая работа основана на методологически и технически стандартизированном процессе наблюдений, измерений и анализе химических показателей, характеризующих состав подземных вод в районах ликвидированных угольных шахт.

Наблюдения за уровнем затопления горных выработок шахты и отработанного массива выполнялись по скважинам 2л и 4л. Для измерений использовался электроуровнемер. Замеры проводились в одни и те же дни каждого месяца. По результатам работ выполнялась точная оценка времени полного затопления шахты, а также прослеживалось изменение уровня подземных вод в естественных условиях в течение 13 мес.

Гидрохимическое опробование водоносных горизонтов четвертичных и неогеновых отложений осуществлялось по специально оборудованным скважинам 6л и 8л, трещинного и трещинно-жильного комплексов меловых отложений – по скважинам 18-1103, 224, 7л и 37060. Воды техногенного водоносного комплекса опробовались по скважинам 2л и 4л, имеющим связь с горными выработками и оборудованным на подработанную толщу.

Отбор гидрохимических проб проводился в соответствии с действующими нормами. По всем пробам выполнялся полевой и лабораторный химический анализ. Сокращенный полевой гидрохимический анализ делали сразу на точке отбора пробы. Пробы на полный химический анализ и микрокомпоненты консервировались на месте отбора по методике, предложенной аккредитованной Госстандартом России лабораторией Приморского гидрометрического агентства Федеральной службы России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Владивосток), в которой и выполнялись анализы.

В перечень контролируемых компонентов качества воды входили: органолептические показатели (температура, запах, цветность) и показатели химического состава воды, в том числе: рН, сухой остаток, общая жесткость, окисляемость, щелочность, биологическое (БПК) и химическое (ХПК) потребление кислорода, углекислота свободная, основные ионы (хлориды, сульфаты, гидрокарбонаты, кальций, магний, натрий), биогенные вещества (аммоний, железо, нитраты, нитриты), типичные загрязняющие микрокомпоненты (бериллий, бор, марганец, свинец, селен, медь, молибден, мышьяк, стронций, фтор, цинк, алюминий, хром, никель, литий, кадмий, ртуть, барий, нефтепродукты, фенолы и СПАВ).

Для оценки экологической обстановки на обследованной территории сравнивали результаты анализов подземных вод с предельно допустимыми концентрациями в соответствии с СанПиН «Питьевая вода ...» [5]. Классификация подземных вод по химическому составу осуществлялась согласно отраслевому стандарту [2].

Статистическая обработка результатов химических анализов подземных вод выполнялась с использованием методов математической статистики, реализованных в пакетах программ Excel и Statistica. Расчет степени равновесия подземных вод с широким спектром минералов (алюмосиликатов, карбонатов, сульфатов, хлоридов, оксидов и гидроксидов) проводился с помощью программы AquaChem 5.1 [10].

В полевых и лабораторных работах принимали участие сотрудники научно-производственного отдела ОАО «ДальвостНИИпроектуголь». Всем им, особенно Л.Г. Буяновой, Т.М. Кадыровой, Т.В. Тарасовой, Т.Г. Языниной и О.А. Акимовой, выражаем глубокую благодарность и признательность за полезные творческие контакты.

Геолого-гидрогеологическая характеристика района работ

Шахта № 4 отработывала запасы северо-западной части Липовецкого месторождения, расположенного в структуре нижнемеловой угленосности – Раздольненском угольном бассейне, который находится в пределах бассейна трещинных вод складчатой системы Сихотэ-Алинь и отрогов Восточно-Манчжурского нагорья Сихотэ-Алинской гидрогеологической области [3].

Поверхность горного отвода шахты занимает в основном центральную и южную части водораздельной площади рек Липовецкая и Краснопольская. В пределах горного отвода размещен п.г.т. Липовцы.

В геологическом строении рассматриваемого района принимают участие сложнодислоцированные 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 туфодиагомитов, а также гравелитами, конгломератами, галечниками и суглинисто-щебнистыми осадками (рис. 1).

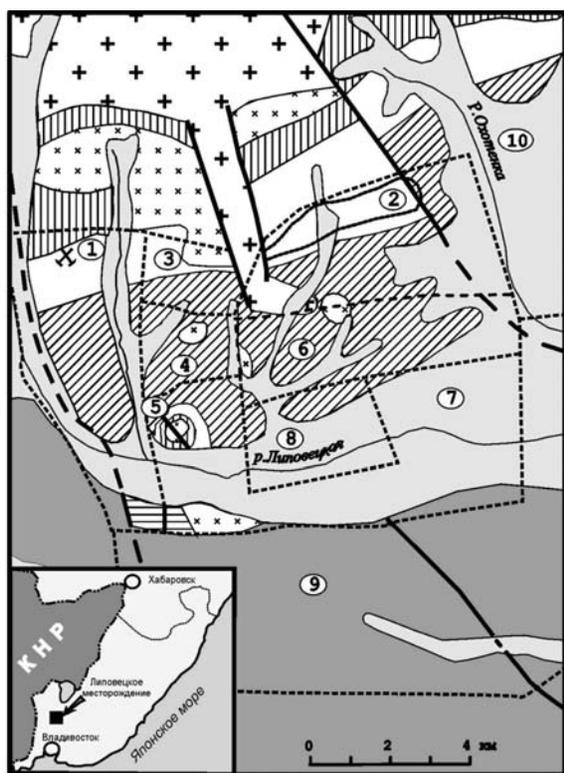
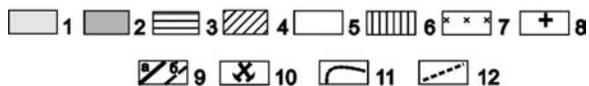


Рис. 1. Схема геологического строения Липовецкого каменноугольного месторождения (сост. по: [3]). 1–6 – осадочные отложения: 1 – четвертичные, 2 – неогеновые, 3 – коркинской серии, 4 – галенковской свиты, 5 – липовецкой угленосной свиты, 6 – уссурийской свиты; 7 – позднемеловые(?) андезиты, дациты и диориты; 8 – ордовикские (?) граниты; 9 – крупные установленные (а) и предполагаемые (б) тектонические нарушения; 10 – ствол ликвидированной шахты № 4; 11 – площадь, отработанная действующим разрезом; 12 – границы участков месторождения. Номера участков: 1 – шахта № 4; 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



Нижнемеловые угленосные отложения месторождения прорваны некками, дайками и силлами диоритов, андезитов, дацитов, синхронных позднекоркинскому времени [8].

Все разновидности и типы углей Липовецкого месторождения относятся к группе гумолитов и характеризуются значительным количеством 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.

Обводнение месторождения происходило в основном за счет поровых грунтовых вод четвертичных и неогеновых отложений, 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 к группе слабообводненных [3]: среднегодовые водопритоки в шахту за весь период ее эксплуатации составляли 70–180 м³/ч. 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 района максимального снижения уровня.

Главный водоотлив и вентиляционная установка шахты остановлены 15.05.1998 г. Изучение динамики затопления шахты № 4 свидетельствует о том, что зона водопроницающих трещин отработанного массива сформировалась до глубины примерно 50 м, так как на глубинах 50,7 м (скв. 2л) и 31,2 м (скв. 4л) фиксировалось снижение скорости затопления от 3,7 м/мес (в 2003–2004 гг.) до 0,6–0,7 м/мес (в 2005 г.). Глубина залегания подземных вод в естественных ненарушенных условиях (до отработки месторождения) составляла 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 № 4 с 2005 г. признана полностью затопленной.

В результате ее затопления в горном массиве образовался техногенный водоносный комплекс. Изливающихся на земную поверхность вод 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.

Результаты и обсуждение

Для оценки экологической безопасности подземного водного бассейна в районе затопления шахты № 4 проанализирован состав подземных вод. Изучены воды техногенного водоносного комплекса, 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 комплекса** опробовались по скважинам 2л и 4л. Скважина 2л расположена на промплощадке главного ствола, 4л – в северо-восточной части шахтного поля.

Интерпретация полученных результатов позволяет утверждать следующее. Воды техногенного комплекса пресные или слабосоленоватые (минерализация варьируется в пределах 0,51–2,49 г/дм³), умеренно жесткие и очень жесткие (жесткость 5,58–22,01 мг-экв./дм³). По химическому составу они относятся к гидрокарбонатному магниевому, сульфатно-гидрокарбонатному или гидрокарбонатно-сульфатному магниевому типам.

Зафиксированы временные (сезонные) колебания параметров подземных вод техногенного комплекса, которые не приводят к изменению главных характеристик геохимического

типа воды. Выделено четыре подтипа вод, формирующихся в выработанном пространстве шахты: 1) гидрокарбонатный кальциево-магниевый (скв. 2л); 2) сульфатно-гидрокарбонатный натриево-магниевый (скв. 4л); 3) гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый (скв. 4л); 4) гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-натриево-магниевый (скв. 4л).

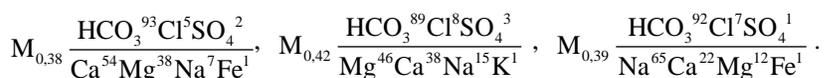
В рассматриваемых водах SO_4^{2-} превалирует над Cl^- , а содержания HCO_3^- доминируют над SO_4^{2-} лишь до солёности 1,28 г/дм³, а затем начинает преобладать SO_4^{2-} (гидрокарбонатный тип, характерный для природных вод Приморья, при минерализации > 1,28 г/л переходит в сульфатный, свойственный шахтным водам). Следовательно, SO_4^{2-} в исследуемом районе является геохимическим маркером вод техногенного комплекса.

Появление сульфатных ионов в подземных водах рассматриваемого района, где надугольная толща сложена алюмосиликатными терригенными или вулканогенно-терригенными породами, в отличие от бассейнов, надугольная толща которых сложена морскими карбонатно-терригенными породами (Донецкий, Кизеловский), по всей видимости, обусловлено окислением сульфидов, содержащихся в породах угленосной формации (средняя сернистость углей Липовецкого месторождения варьируется в пределах 0,2–0,3%).

По всем пробам вод техногенного комплекса отмечается превышение ПДК по минерализации (1,8–2,4 ПДК), сульфатам (1,1–1,7), жесткости (2,65–3,40), железу (19,1–43,3), марганцу (3,6–3,7), перманганатной окисляемости (1,44–1,76), бихроматной окисляемости (1,07–2,13) и фенолам (1,8–8,9 ПДК). Для ряда проб незначительно превышены ПДК по нефтепродуктам (1,28 ПДК).

Подземные воды **трещинного (ТВК) и трещинно-жильного водоносных комплексов меловых отложений (ТЖВК)** опробовались по скважинам 18-1103, 224, 7л и 37060, расположенным на севере и юге рассматриваемой территории за пределами горного отвода шахты. Движение подземных вод в районе исследований направлено с севера на юг. Воды комплексов преимущественно безнапорные или слабонапорные, характеризуются как нисходящими, так и восходящими направлениями движения. Годовая амплитуда колебаний уровня воды варьируется в пределах 1,0–1,5 м.

По гидрохимическим характеристикам 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 гидрокарбонатные, а катионный тип варьирует от магниево-кальциевого, кальциево-магниевого к кальциево-натриевого. Типичные формулы солевого состава следующие:



Для вод этих комплексов отмечались превышения ПДК по таким показателям, как железо (до 7,6 ПДК), фенолы (до 16) и нефтепродукты (до 7,4 ПДК). В единичных пробах фиксировалось превышение ПДК по окисляемости бихроматной (1,44 ПДК) и перманганатной (1,92), аммоний (1,48) и кадмию (3 ПДК).

Водоносные горизонты неогеновых и четвертичных отложений (ВГ) опробовались по скважинам бл и 8л, расположенным на границе горного отвода шахты. Воды горизонтов безнапорные, иногда с небольшим местным напором, имеют прямую гидравлическую связь с нижележащим водоносным комплексом. Обводненность неогеновых и четвертичных отложений незначительная. Удельные дебиты изменяются от 0,32 до 0,75 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.

Воды неогеновых и четвертичных отложений весьма пресные, мягкие, по водородному показателю нейтральные. По химическому составу они гидрокарбонатные магниево-кальциевые, магниево-натриево-кальциевые или натриево-магниево-кальциевые. Типичные формулы солевого состава:

$$M_{0,3} \frac{\text{HCO}_3^{91} \text{Cl}^7 \text{SO}_4^2}{\text{Ca}^{41} \text{Mg}^{30} \text{Na}^{17} \text{Fe}^{11} \text{NH}_4^1}, M_{0,36} \frac{\text{HCO}_3^{83} \text{CO}_3^9 \text{Cl}^7 \text{SO}_4^1}{\text{Ca}^{42} \text{Na}^{34} \text{Mg}^{21} \text{Fe}^2 \text{K}^1}, M_{0,37} \frac{\text{HCO}_3^{91} \text{Cl}^7 \text{SO}_4^2}{\text{Ca}^{43} \text{Mg}^{28} \text{Na}^{21} \text{Fe}^8}.$$

По всем пробам отмечено превышение ПДК по железу (6,6–58,7 ПДК), марганцу (до 1,54), фенолам (до 7,4), нефтепродуктам (до 1,24) и кадмию (30 ПДК).

Обращает на себя внимание, что в водах ТВК, ТЖВК и ВГ не зафиксировано повышенных концентраций сульфатов (маркеров вод техногенного комплекса). Это свидетельствует о том, что за пределами горного отвода шахты № 4 влияния техногенного водоносного комплекса 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 селитенная территория, транспортная сеть и сельскохозяйственные земли.

Расчет степени равновесия подземных вод района с широким спектром минералов свидетельствует о том, что все рассматриваемые подземные воды недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов, но равновесны с вторичными минералами. Это свидетельствует о медленном, но непрерывном растворении первичных алюмосиликатов водовмещающих пород с образованием разнообразных вторичных минеральных фаз (рис. 2).

Все исследуемые воды района равновесны с каолинитом, иллитом, Na-, Mg- и Ca-монтмориллонитом. При этом минеральное равновесие 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. 2а), причем примерно половина точек, характеризующих состав природных подземных вод, находится в поле устойчивости иллита, а половина – в поле 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–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. 2д) и находятся в равновесии с каолинитом и монтмориллонитом, но неравновесны с альбитом и анортитом, поля которых располагаются правее и выше, соответственно.

Изучение характера равновесия природных и техногенных подземных вод с карбонатами показало, что половина всех вод равновесна с кальцитом, а половина недонасыщена этим минералом (рис. 2е). Известно [4, 9], 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. 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 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 также видно, что исследуемые воды недонасыщены по отношению к гипсу, тем не менее фигуративные точки составов вод техногенного комплекса обладают тенденцией смещения к линии равновесия «раствор–гипс» (рис. 2ж).

Следовательно, природные пресные воды в результате затопления горных выработок шахты изменили $\text{HCO}_3\text{-Ca-Mg}$ состав на состав $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg}$, $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Mg}$ и $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Ca-Na-Mg}$, с минерализацией 1,80–2,49 г/дм³ (рис. 3).

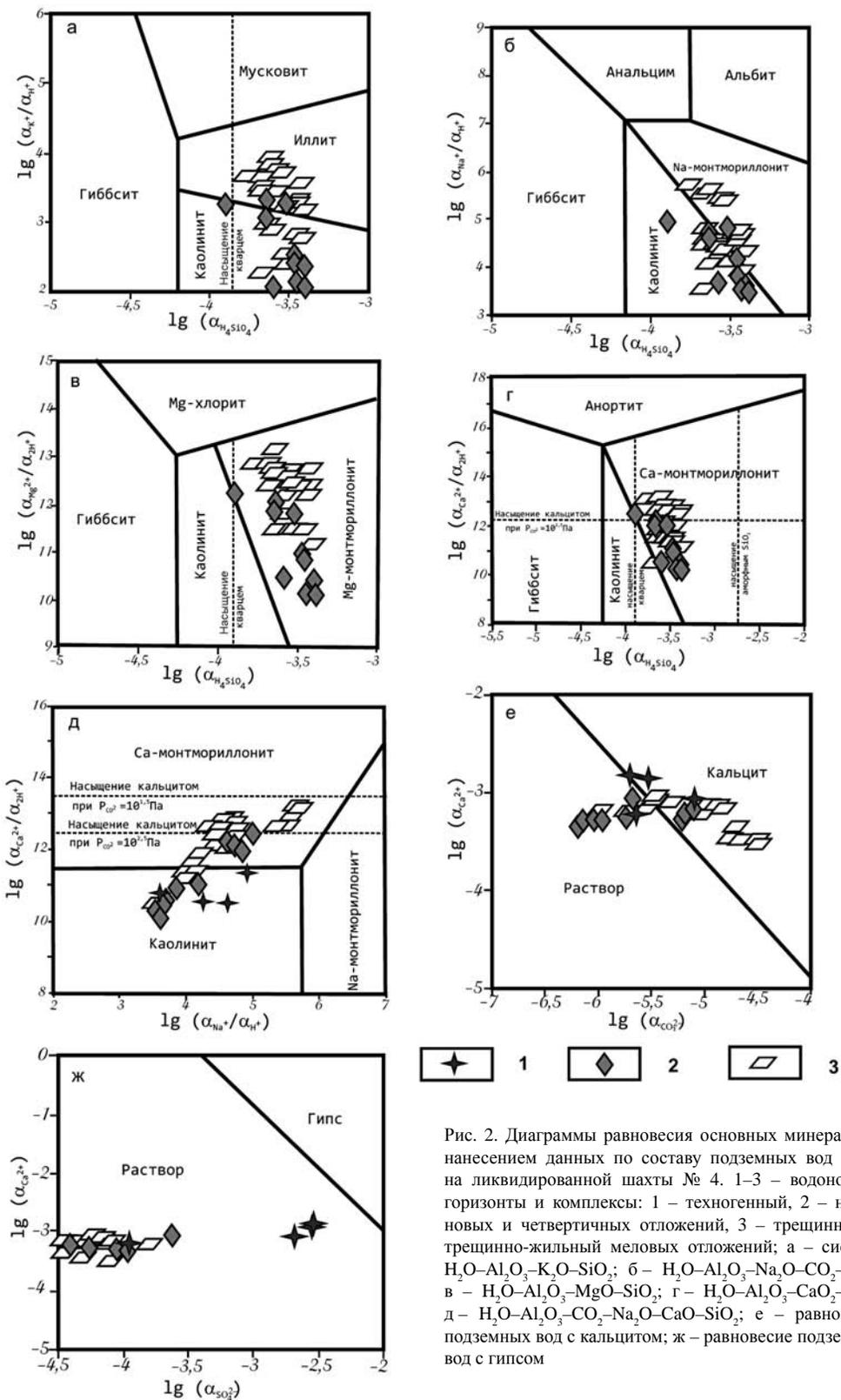


Рис. 2. Диаграммы равновесия основных минералов с нанесением данных по составу подземных вод района ликвидированной шахты № 4. 1–3 – водоносные горизонты и комплексы: 1 – техногенный, 2 – неогеновых и четвертичных отложений, 3 – трещинный и трещинно-жильный меловых отложений; а – система $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$; б – $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{CO}_2-\text{SiO}_2$; в – $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}-\text{SiO}_2$; г – $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaO}-\text{SiO}_2$; д – $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$; е – равновесие подземных вод с кальцитом; ж – равновесие подземных вод с гипсом

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).

Таким образом, в районе ликвидированной шахты развиты следующие типы вод: HCO_3^- -Mg-Ca, HCO_3^- -Mg-Na-Ca, HCO_3^- -Na-Mg-Ca, HCO_3^- -Ca-Na, а также HCO_3^- -Ca-Mg, SO_4 - HCO_3^- -Na-Mg, HCO_3^- - SO_4 -Ca-Mg и HCO_3^- - SO_4 -Ca-Na-Mg. На участках высокой проницаемости доминируют пресные HCO_3^- -Ca-Mg воды, на участках меньшей проницаемости – HCO_3^- -Ca-Na или HCO_3^- -Mg-Na-Ca воды с соленостью $< 0,6 \text{ г/дм}^3$, а в затопленных подземных горных выработках формируются главным образом SO_4 - HCO_3^- -Na-Mg, HCO_3^- - SO_4 -Ca-Mg и HCO_3^- - SO_4 -Ca-Na-Mg воды с минерализацией $1,80\text{--}2,49 \text{ г/дм}^3$.

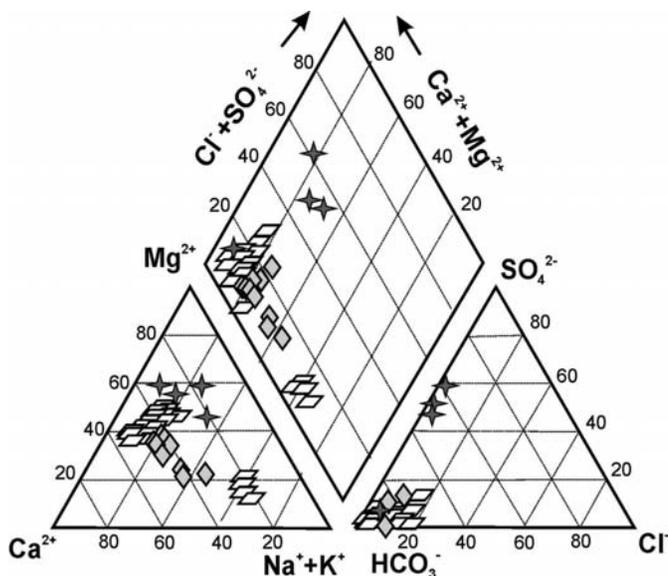


Рис. 3. Соотношение основных катионов и анионов в подземных водах района шахты № 4. Условные обозначения см. на рис. 2

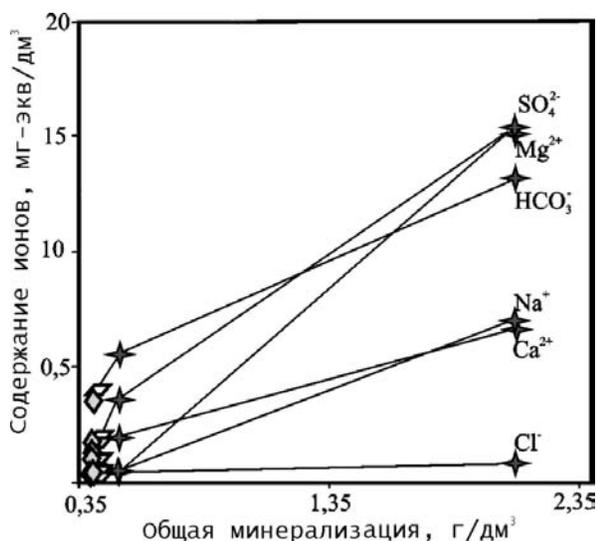


Рис. 4. Зависимость ионного состава подземных вод района шахты № 4 от степени их минерализации. Условные обозначения см. на рис. 2

Полученные данные показывают, что при попадании вод в нарушенный горный массив соленость подземных вод возрастает. Параллельно с этим последовательно изменяется макро- и микрокомпонентный состав вод.

Важная особенность подземных вод, формирующихся в нарушенном горном массиве, заключается, таким образом, в повышенной их минерализации и переходе из пресных гидрокарбонатных кальциевых и натриевых, через гидрокарбонатные магниевые, в гидрокарбонатно-сульфатные магниевые, а затем в сульфатные магниевые воды. Следовательно, сульфатные воды здесь формируются при определенной их минерализации ($1,2 \text{ г/дм}^3$) (рис. 4), а значит, и на определенной стадии взаимодействия воды с горными породами.

Выводы

Интерпретируя результаты, полученные при комплексном изучении состава подземных вод в районе ликвидированной шахты № 4 Липовецкого месторождения, можно сделать следующие выводы:

В процессе ликвидации шахты в нарушенном горном массиве сформировался техногенный комплекс, воды которого значительно отличаются по ионному типу и химическому составу от вод горизонтов четвертичных и неогеновых отложений, а также комплекса меловых отложений.

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 ($1,8\text{--}2,4$ ПДК), сульфатам ($1,1\text{--}1,7$), жесткости ($2,65\text{--}3,40$), железу ($19,1\text{--}43,3$), марганцу ($3,6\text{--}3,7$), окисляемости перманганатной ($1,44\text{--}1,76$) и бихроматной ($1,07\text{--}2,13$) и фенолам ($1,8\text{--}8,9$ ПДК).

В водах трещинного и трещинно-жильного водоносных комплексов меловых отложений отмечены превышения предельно допустимых концентраций по таким показателям, как железо (до $7,6$ ПДК), фенолы (до 16) и нефтепродукты (до $7,4$ ПДК). В единичных пробах фиксировались повышенные концентрации аммония ($1,48$ ПДК), кадмия ($3,0$), окисляемости бихроматной ($1,44$) и перманганатной ($1,92$ ПДК).

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

Все подземные 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 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 содержаний таких ионов, как Ca^{2+} , Na^{2+} , HCO_3^- , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , причем в водах техногенного комплекса преобладает SO_4^{2-} (HCO_3^- доминирует над SO_4^{2-} лишь при солености до $1,28 \text{ г/дм}^3$), т.е. SO_4^{2-} – геохимический маркер шахтных вод рассматриваемого района.

В водах трещинного и трещинно-жильного водоносных комплексов меловых отложений, а также горизонтов неогеновых и четвертичных отложений повышенных концентраций SO_4^{2-} не установлено. Это свидетельствует о том, что за пределами горного отвода шахты № 4 влияния вод техногенного комплекса на подземный водный бассейн не наблюдается. Источниками установленного загрязнения подземного водного бассейна являются, вероятно, селитебная территория, транспортная сеть и сельскохозяйственное использование земель.

Излива вод техногенного комплекса на земную поверхность не наблюдается. Однако не исключается ухудшение гидрохимической обстановки в случае формирования очагов локальной разгрузки шахтных вод в русла рек Липовецкая и Краснопольская.

ЛИТЕРАТУРА

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. Воды подземные. Классификация по химическому составу и температуре: отраслевой стандарт. М.: ВСЕГИНГЕО, 1986. 12 с.
3. Гидрогеология СССР. Т. 25. Приморский край. М.: Недра, 1974. 520 с.
4. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. В 5 т. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / В.А. Алексеев [и др.]; отв. ред. тома С.Л. Шварцев; ОИГГМ СО РАН [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 244 с.
5. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества». М.: Федерал. центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2001. 90 с.
6. Тарасенко И.А. Гидрогеохимические особенности подземных вод ликвидированной шахты «Мгачи» в Сахалинской области и оценка их экологического влияния на поверхностные водотоки // Геориск. 2011. № 2. С. 48–56.
7. Тарасенко И.А., Зиньков А.В., Буянова Л.Г. Инженерно-экологические изыскания на стадии ликвидации шахты «Ильичевская» (Приморский край) // Инженерные изыскания. 2011. № 7. С. 60–67.
8. Угольная база России. Т. 5. Кн. 2. Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока России (Республика Саха, Северо-Восток, о. Сахалин, п-ов Камчатка). М.: Геоинформмарк, 1999. 638 с.
9. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами: обзор // Геология и геофизика. 1991. № 12. С. 16–50.
10. AquaChem V. 5.1 User's Manual. Water Quality Data Analysis, Plotting and Modeling / Waterloo Hydrogeol. Inc. Canada, 2006. 365 p.