

УДК 553.3 + 550.4 + 556 (571.63)

Оводова Е.В., Горобейко Е.В.

ОВОДОВА ЕЛЕНА ВИКТОРОВНА – аспирант кафедры геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток).

E-mail: ovodova.2011@mail.ru

ГОРОБЕЙКО ЕКАТЕРИНА ВАСИЛЬЕВНА – студентка кафедры геологии, геофизики и геоэкологии Инженерной школы (Дальневосточный федеральный университет, Владивосток).

Оценка влияния горнопромышленного комплекса Кавалеровского рудного района на состояние подземных вод

Представлены гидрохимические исследования с целью оценки техногенного воздействия горнопромышленного комплекса Кавалеровского рудного района на химический состав подземных вод. Установлены особенности состава и формирования подземных вод на исследуемой территории. Показано, что в рассматриваемом районе природные пресные гидрокарбонатные кальциевые воды становятся солоноватыми гидрокарбонатно-сульфатными, сульфатными кальциевыми и магниевыми-кальциевыми. В них наблюдаются превышения предельно допустимых концентраций по железу, марганцу, литию, сульфатам и другим компонентам.

Ключевые слова: Кавалеровский рудный район, штольни, подземные воды, формирование состава вод, равновесие.

The effect of the mining complex of the Kavalеровsky ore district on the groundwater condition. Elena V. Ovodova, Postgraduate Student, Ekaterina V. Gorobeiko, Student, Department of Geology, Geophysics and Environmental Geoscience, School of Engineering, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia.

The article deals with the hydrochemical exploration carried out to assess the technogenic effect, which the mining complex of the Kavalеровsky ore district has on the chemical composition of the groundwater of the area. It has been demonstrated that, in the area, the natural fresh hydrocarbonate calcium waters turn brackish bicarbonate-sulfate, calcium sulfate, and magnesium-calcium ones. It has been revealed that the concentrations of iron, manganese, lithium, sulfates, and other components are in excess of the limits of tolerance in them.

Key words: Kavalеровskii ore district, spent galleries, underground water, formation of water composition, equilibrium.

Объекты горнодобывающей промышленности – одни из наиболее мощных факторов антропогенного преобразования окружающей среды. Длительная эксплуатация месторождений полезных ископаемых в Приморье привела к экологическим катастрофам крупных населенных пунктов. В настоящее время прекращены разработки большинства горнопромышленных объектов, но это не означает прекращения их воздействия на окружающую среду,

которое продолжается в результате гипергенной переработки сульфидов, вскрытых горными выработками. В отработанных горных пространствах происходят процессы трансформации сульфидсодержащих литосубстратов, вследствие чего подземные воды, попадающие в отработанное горное пространство, приобретают повышенную минерализацию и специфический химический состав. Минерализованные воды выносят на поверхность высокотоксичные элементы, которые являются источниками загрязнения водных артерий, дренирующих как территорию месторождений, так и прилегающих к горнорудным районам территорий.

Таким образом, исследование химического состава рудничных вод на основе всестороннего анализа геологических и гидрогеохимических особенностей и условий их формирования, ставшее целью данной работы, является актуальным и практически значимым.

Методика исследований

Исследования проводились на основе комплексного анализа геологических и гидрогеохимических особенностей Кавалеровского рудного района. Изучались рудничные воды штолен, расположенных в пределах законсервированных месторождений Дубровского, Хрустального, Высокогорского, Верхнего Кавалеровского рудного района. Нами также изучен химический состав вод, формирующихся в пределах разведочной штольни в пос. Фабричный (Кавалеровский район Приморского края).

Изучение химического состава подземных вод проводилось на основе количественных и качественных показателей, полученных современными аналитическими методами в научно-исследовательской лаборатории ООО «Экоаналитика» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001516028) г. Владивостока.

Основными контролируемыми компонентами качества являлись показатели химического состава воды, в том числе: рН, минерализация, содержание основных ионов (хлорид-, сульфат-, гидрокарбонат-ионов, ионов кальция, магния и натрия), концентрации загрязняющих микрокомпонентов (железо, медь, цинк, свинец, кадмий, кобальт, марганец, никель, алюминий, хром, стронций, барий, литий).

Расчет равновесия воды с минеральными компонентами (алюмосиликатами, карбонатами, сульфатами, хлоридами, оксидами и гидроксидами) проводился с использованием программного комплекса AquaChem [7].

Полученные фактические данные позволили оценить современное геохимическое состояние подземных вод Кавалеровского района.

Геолого-гидрогеологическая характеристика района работ

Кавалеровский рудный район, общая площадь которого около 1300 км² [6], расположен в центральной части Сихотэ-Алинской аккреционно-складчатой системы в пределах Таухинского и Журавлевского террейнов.

Крупными глубинными разломами Кавалеровский рудный район разбивается на несколько тектонических блоков (с запада): Шумнинский, Лужкинский, Дубровский, Силинский, Высокогорский. Основные промышленные объекты района расположены в пределах Лужкинского, Дубровского и Силинского блоков, группируясь в три рудных узла: Арсеньевский, Дубровский и Хрустальный. В Высокогорском блоке выделяется Высокогорский рудный узел [3].

Размещение узлов контролируется скрытыми массивами монцонитов, диоритов и гранодиоритов, сиенитов, а отдельных рудных полей и месторождений – более мелкими субвулканическими интрузиями и дайками различного состава (рис. 1).

Основным элементом, определяющим рудно-металлогенический, следовательно геохимический, профиль района, является олово.

Оловянная минерализация в Кавалеровском рудном районе представлена рудами касситерит-сульфидной, касситерит-силикатно-сульфидной и касситерит-кварцевой формаций.

По ведущим минералам здесь выделяются турмалиновый, хлоритовый, колчеданный и мусковитовый (грейзеновый) типы руд касситерит-силикатно-сульфидной формации. Основными геолого-промышленными являются турмалиновый и хлоритовый [6].

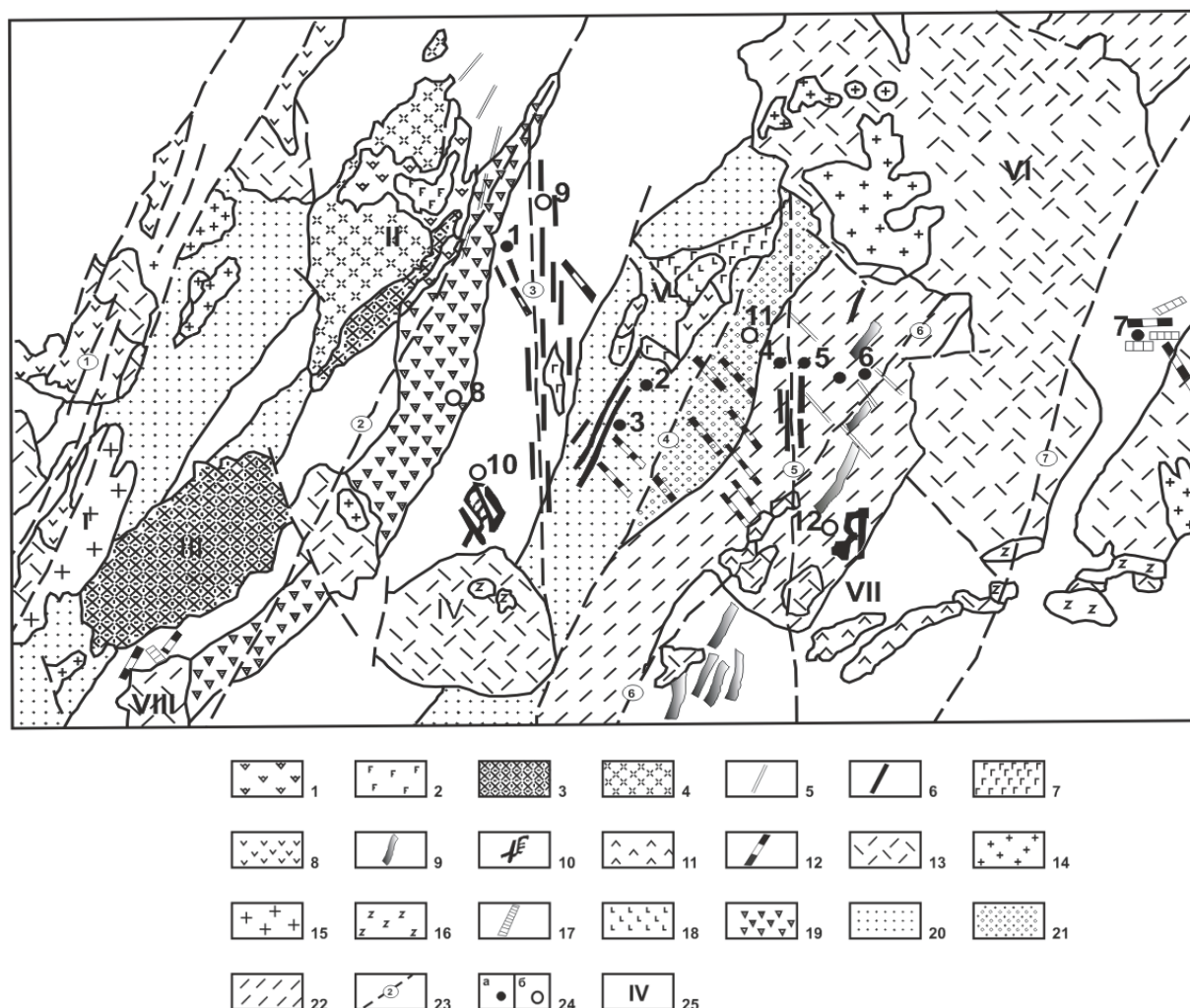


Рис. 1. Геологическая схема Кавалеровского рудного района (по В.В. Поповиченко и В.Г. Гоневчуку, см. [3]). 1–17 – магматические породы: 1 – покровы трахиандезитов, 2 – покровы трахиандезибазальтов, 3 – монциты и монцодиориты, 4 – сиениты, 5 – дайки трахиандезитов, 6 – дайки трахиандезибазальтов, 7 – покровы меловых базальтов, 8 – покровы андезитов, 9 – дациты, 10 – диориты и гранодиориты, 11 – высокоглиноземистые дациты, 12 – высокоглиноземистые андезибазальты, 13 – покровы риолитов и их туфы, 14 – гранитпорфиры, 15 – граниты, 16 – покровы палеогеновых базальтов, 17 – дайки палеогеновых базальтов; 18–22 – терригенные породы: 18 – готерив-альбские песчаники и алевролиты, 19 – альбская моласса, 20 – валанжинские песчаники и алевролиты, 21 – берриасваланжинские олистостромы, 22 – верхнеюрскоберриасовые песчаники, алевролиты, кремни, известняки; 23 – разломы: 1 – Центральный Сихотэ-Алинский, 2 – Березовский, 3 – Ивановский, 4 – Фурмановский, 5 – Хрустальный, 6 – Тигриный, 7 – Суворовский; 24 – месторождения: а) касситерит-силикатно-сульфидной формации, б) касситерит-сульфидной формации (1 – Арсеневское, 2 – Юбилейное, 3 – Дубровское, 4 – Левицкое, 5 – Хрустальное, 6 – Силинское, 7 – Высокогорское, 8 – Новогорское, 9 – Ивановское, 10 – Мутихинское, 11 – Темногорское, 12 – Диоритовое); 25 – интрузивы (I – Шумнинский, II – Березовский, III – Араратский) и вулканотектонические структуры (IV – Лужинская, V – Угловская, VI – Якутинская, VII – Горнореченская, VIII – Широкопадинская)

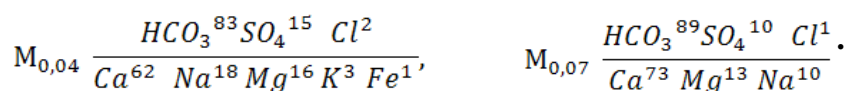
Кавалеровский рудный район входит в восточную часть Сихотэ-Алинского гидрогеологического массива [1]. На исследуемой территории преимущественно распространены поровые грунтовые воды четвертичных аллювиальных отложений и верхнемеловые трещинно-грунтовые воды зоны выветривания различных литологических комплексов пород при значительном участии грунтовых поровых и трещинно-жильных вод.

Сравнительно небольшая мощность зоны эффективной трещиноватости пород, не превышающая 80–100 м при глубине эрозионного вреза до 300–700 м, обуславливает интенсивный дренаж подземных вод и формирование сравнительно маломощных водоносных горизонтов, отдельные крупные вершины могут быть полностью безводными.

Через устья рассматриваемых штолен подземные воды выходят небольшими потоками с расходом от 0,5 до 10 л/с.

Результаты и обсуждения

В результате данных исследований и инженерно-экологических изысканий, проведенных ранее, в других районах Приморского края [4, 5] установлено, что природные подземные воды в крае имеют преимущественно гидрокарбонатный кальциевый состав, формулы которых представлены ниже:



Минерализация природных вод варьируется от 0,04 до 0,07 г/дм³, общая жесткость не превышает 1 мг-экв/л. По водородному показателю воды нейтральные (рН 7,20 – 7,26).

В рудничных водах минерализация увеличивается до 1–1,5 г/дм³, воды становятся соленоватыми, гидрокарбонатно-сульфатными и сульфатными, преимущественно кальциевыми (рис. 2).

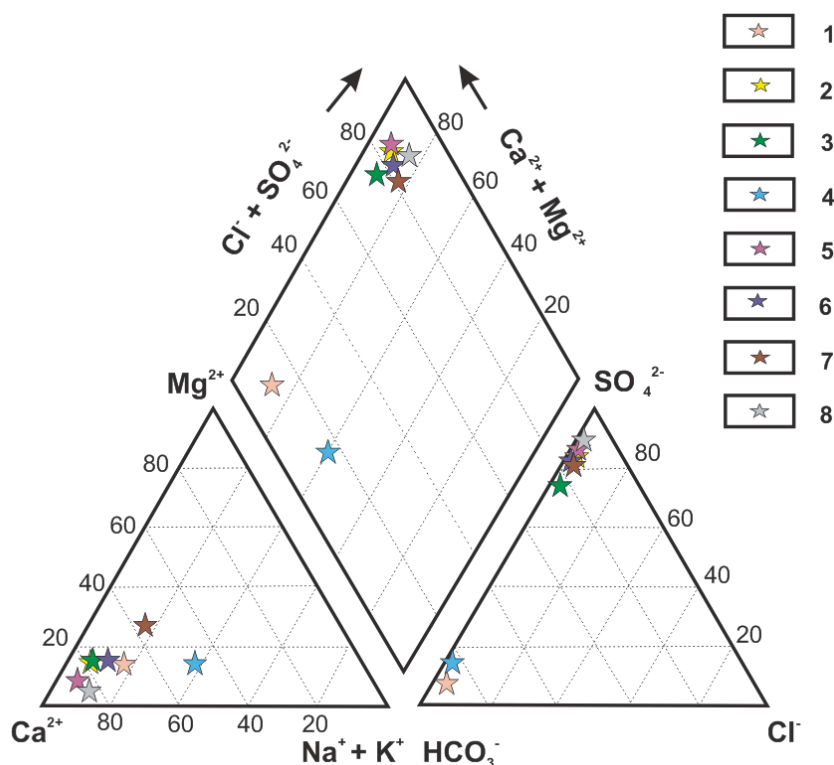


Рис. 2. Соотношение основных катионов и анионов в подземных водах, отобранных в штольнях (шт.) месторождений Кавалеровского рудного района. 1 – Дубровское (фон), 2 – Дубровское (шт. 1), 3 – Дубровское (ниже на 500 м), 4 – Высокогорское (фон), 5 – Высокогорское (шт. 2), 6 – Хрустальное (шт. 3), 7 – Фабричный (шт. 4), 8 – Верхнее (шт. 5)

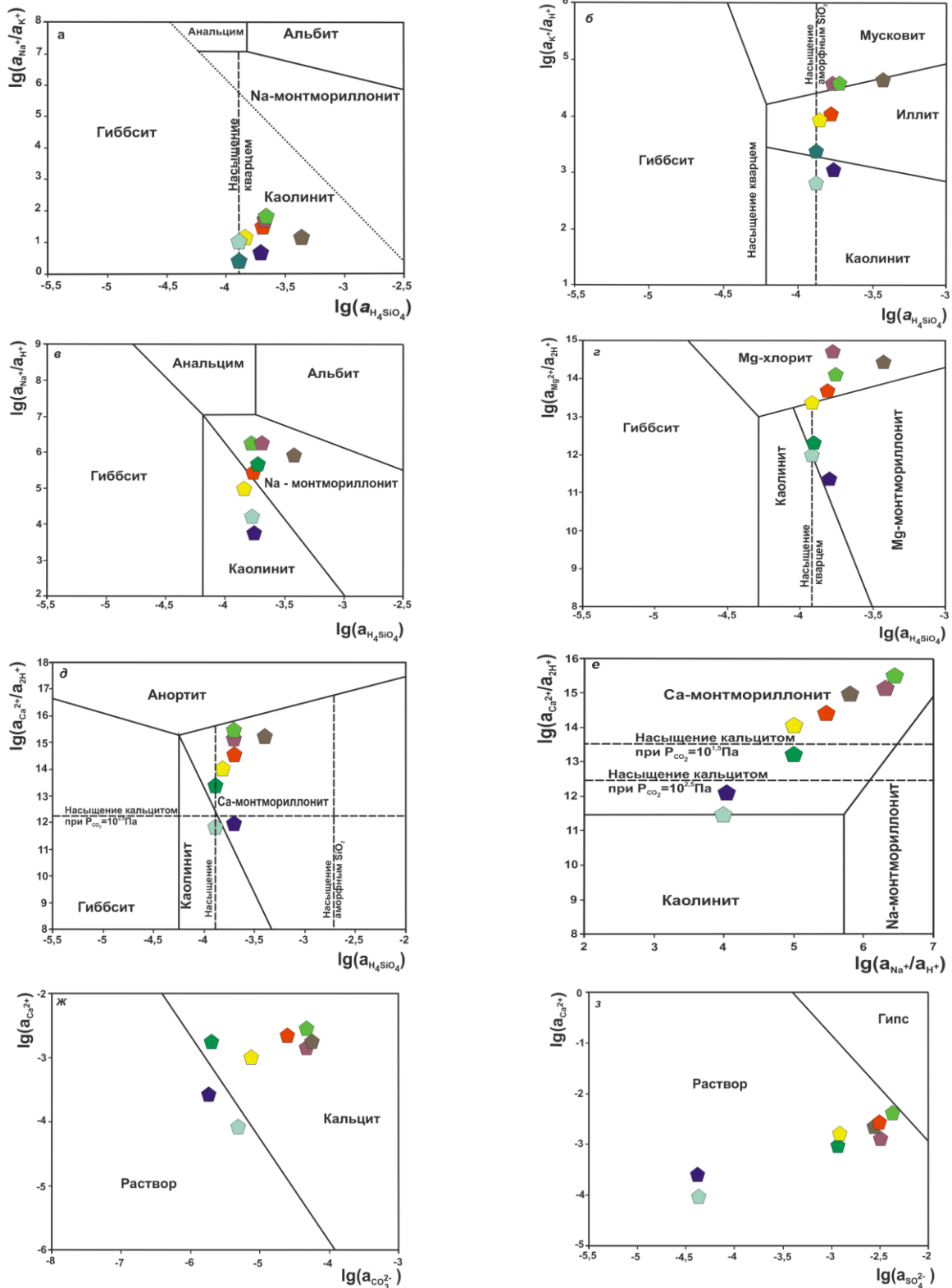


Рис. 3. Диаграммы равновесия основных минералов с нанесением данных по составу подземных вод из штолен Кавалеровского рудного района.

Система: а – $H_2O-Al_2O_3-K_2O-SiO_2$; б – $H_2O-Al_2O_3-Na_2O-CO_2-SiO_2$; в – $H_2O-Al_2O_3-MgO-SiO_2$; г – $H_2O-Al_2O_3-CaO_2-SiO_2$; д – $H_2O-Al_2O_3-CO_2-Na_2O-CaO-SiO_2$; е, ж – равновесие подземных вод с кальцитом; з – равновесие подземных вод с гипсом;

Месторождения: \blacklozenge – Дубровское (фон), \blacklozenge – Дубровское (шт.1), \blacklozenge – Дубровское (ниже на 500 м), \blacklozenge – Высокогорское (шт. 2), \blacklozenge – Высокогорское (фон), \blacklozenge – Хрустальное (шт. 3), \blacklozenge – Фабричное (шт. 4), \blacklozenge – Верхнее (шт. 5)

$$M_{0,96} \frac{SO_4^{83} HCO_3^{17}}{Ca^{80} Mg^{15} Na^5},$$

$$M_{0,33} \frac{SO_4^{77} HCO_3^{23}}{Ca^{78} Mg^{15} Na^6},$$

$$M_{0,3} \frac{SO_4^{84} HCO_3^{16}}{Ca^{86} Mg^7 Na^4 K^3},$$

$$M_{0,84} \frac{SO_4^{81} HCO_3^{19}}{Ca^{75} Mg^{14} Na^{10}},$$

$$M_{1,0} \frac{SO_4^{82} HCO_3^{18}}{Ca^{57} Mg^{32} Na^{11}},$$

$$M_{1,5} \frac{SO_4^{88} HCO_3^{12}}{Ca^{91} Mg^5 Na^3 Fe^1}.$$

Для рудничных вод Кавалеровского рудного района характерны высокие значения жесткости, обусловленные высокими содержаниями таких ионов, как Mg^{2+} и Ca^{2+} (от 3,98 до 17,86 мг-экв/л). При этом величина жесткости воды, вытекающей из штолен, более 10 мг-экв/л (очень жесткая) и не соответствует ГН 2.1.5.689-98 (<7,0 мг-экв/л). По водородному показателю рудничные воды нейтральные (рН 7,3–7,63).

При постепенном насыщении рудничных вод калием равновесие смещается в область иллита и мусковита (рис. 3, б).

Наблюдается тенденция насыщения рудничных вод ионами Na и заметное смещение равновесия в поле устойчивости Na-монтмориллонита, но недостаточное для образования анальцима и альбита (рис. 3, в). При увеличении концентраций кремнезема и Mg происходит смещение равновесия в поле Mg-монтмориллонита и Mg-хлорита (рис. 3, г), что может указывать на образование смешаннослойных глин.

Изучение характера равновесия подземных вод исследуемого района с карбонатами показало, что пресные подземные воды в большинстве случаев не насыщены к кальциту, в то время как рудничные воды значительно обогащены Ca^{2+} и способны высаживать его в виде вторичных минералов (рис. 3, д, е, ж). На рис. 3, з наблюдается явное смещение рудничных вод к линии равновесия «раствор–гипс», что свидетельствует об увеличении концентрации в растворе SO_4^{2-} .

Таким образом, анализ диаграмм равновесия показал, что подземные воды Кавалеровского рудного района неравновесны с первичными алюмосиликатами (анортит, альбит, анальцит, мусковит) и равновесны минералам, образующимся в процессе выветривания первичных алюмосиликатов – глинам (каолинит, монтмориллониты). Первичные алюмосиликаты в условиях подземного водного бассейна неустойчивы, они растворяются с образованием карбонатов и глин группы каолинита и монтмориллонита, при этом значительная их часть переходит в раствор.

На основании интерпретации результатов проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

на исследуемой территории развиты поровые грунтовые воды четвертичных аллювиальных отложений и верхнемеловые трещинно-грунтовые воды зоны выветривания различных литологических комплексов пород при значительном участии грунтовых поровых и трещинно-жильных вод;

минерализация подземных вод Кавалеровского района изменяется от 0,04 до 1,5 г/дм³. По жесткости (от 1 до 17,86 мг-экв/л) рассматриваемые воды варьируются от мягких до очень жестких. По водородному показателю воды нейтральные;

с увеличением общей минерализации происходит изменение химического состава подземных вод от пресных гидрокарбонатных кальциевых к солонатовым гидрокарбонатно-сульфатным, сульфатным магниевых-кальциевых и кальциевых. Наблюдается повышение таких ионов, как Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , причем в рудничных водах SO_4^{2-} заметно преобладает;

для рудничных вод характерно превышение предельно-допустимых концентраций по $Fe_{общ}$ (3–9,9 ПДК), Si (до 1,18 ПДК), Mn (1,29–2,49 ПДК) и Li (7,3–15,19 ПДК);

все исследуемые воды района равновесны с каолинитом, иллитом, Са-, Mg-, Na-монтмориллонитом, мусковитом и Mg-хлоритом;

геохимический тип подземных вод формируется под воздействием техногенных факторов и зависит от минерального состава руд и вмещающих пород, слагающих оловорудные месторождения Кавалеровского района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гидрогеология СССР. Т. 25. Приморский край. М.: Недра, 1974. 520 с.
2. ГН 2.1.5.689-98 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.
3. Гоневчук В.Г. Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез. Владивосток: Дальнаука, 2002. 295 с.
4. Тарасенко И.А., Зиньков А.В., Оводова Е.В. Инженерно-экологические изыскания при оценке последствий ликвидации шахт в Раздольненском каменноугольном бассейне Приморского края // Инженерные изыскания. 2013. № 3. С. 28–37.
5. Тарасенко И.А., Зиньков А.В. Экологические последствия минералого-геохимических преобразований хвостов обогащения Sn-Ag-Pb-Zn руд (Приморье, Дальнегорский район). Владивосток: Дальнаука, 2001. 194 с.
6. Финашин В.К. Оловорудные месторождения Приморья. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1986. 174 с.
7. AquaChem. V. 5.1. User's Manual. Water Quality Data Analysis, Plotting and Modeling, Waterloo Hydrogeol., Inc. Canada, 2006, 365 p.

REFERENCES

1. Hydrogeology of the USSR, vol. 25. Primorsky Krai. Moscow, Nedra, 1974, 520 p. (in Russ.). [Gidrogeologija SSSR. T. 25. Primorskij kraj. M.: Nedra, 1974. 520 s.].
2. GN 2.1.5.689-98 Maximum permissible concentration (MPC) of chemicals in water bodies of drinking and cultural and community uses. (in Russ.). [GN 2.1.5.689-98 Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshhestv v vode vodnyh ob#ektov hozjajstvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovanija].
3. Gonevchuk V.G., Tin-bearing system of the Far East: magmatism and ore genesis. Vladivostok, Dalnauka, 2002, 295 p. (in Russ.). [Gonevchuk V.G. Olovonosnye sistemy Dal'nego Vostoka: magmatizm i rudogenez. Vladivostok, Dal'nauka, 2002. 295 s.].
4. Tarasenko I.A., Zinkov A.V., Ovodova E.V., Engineering-ecological survey to estimate consequences of liquidation of the Razdolnenskiy coalfield mines in the Primorskiy Krai, Engineering surveys. 2013. N 3, pp. 28-37. (in Russ.). [Tarasenko I.A., Zin'kov A.V., Ovodova E.V. Inzhenernojekologicheskie izyskanija pri ocenke posledstvij likvidacii shaht v Razdol'nenskom kamenno-ugol'nom bassejne Primorskogo kraja // Inzhenernye izyskanija. 2013. № 3. S. 28–37].
5. Tarasenko I.A., Zinkov A.V., Ecological consequences of mineralogical-geochemical transformations in tails of processing of Sn-Ag-Pb-Zn ores (Primorye, Dalnegorsk district). Vladivostok, Dalnauka, 2001, 194 p. (in Russ.). [Tarasenko I.A., Zin'kov A.V. Jekologicheskie posledstviya mineralogo-geohimicheskikh preobrazovanij hvostov obogashhenija Sn-Ag-Pb-Zn rud (Primor'e, Dal'negorskij rajon). Vladivostok: Dal'nauka, 2001. 194 s.].
6. Finashin V.K., Tin ore deposits of Primorye. Vladivostok: Far Eastern Scientific Center, Academy of Sciences of the USSR, 1986. 174. (in Russ.). [Finashin V.K. Olovorudnye mestorozhdenija Primor'ja. Vladivostok: DVNC AN SSSR, 1986. 174 s.].
7. AquaChem. User's Manual. Water Quality Data Analysis, Plotting and Modeling, Waterloo Hydrogeol., Inc. Canada, 2006:5.1:365.