Геохимическая типизация техногенно-трансформированных вод Бом-Горхонского вольфрамового месторождения (Восточное Забайкалье)

Чечель Л.П., Замана Л.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, Чита, Россия, E-mail: lpchechel@mail.ru

АННОТАЦИЯ: В районе разработки Бом-Горхонского месторождения вольфрама формируются сульфатные и фторидно-сульфатные кальциевые и магниевые-кальциевые, кислые, слабокислые и нейтральные, от ультрапресных до соленых по величине минерализации воды. В зависимости от степени равновесия с вторичными новообразованиями, определяемой различиями в условиях формирования их химического состава, выделено два геохимических типа вод - алюминиево-кремнистые и кислые сульфатно-металлоносные фтористые.

Geochemical typification of the Bom-Gorkhon tungsten deposit technogenic-transformed waters (East Transbaikalia)

Chechel L.P., Zamana L.V.

Federal state budgetary institution of science Institute Of natural resources, ecology and Cryology of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Chita, Russia, E-mail: lpchechel@mail.ru

ABSTRACT: In the area of the Bom-Gorkhonsky tungsten mine development, SO_4 and F-SO_4 Ca and Mg- Ca, acidic, slightly acidic and neutral, from ultra-fresh to saline waters, are formed. Depending on the degree of equilibrium with secondary mintrals, which is determined by differences in the conditions of formation of their chemical composition, two geochemical types of waters are distinguished - aluminum-siliceous and acid sulfate-metal-bearing fluoric.

ВВЕДЕНИЕ

Гидрогеохимические исследования горнорудных районов Восточного Забайкалья показали, что объекты, остающиеся после отработки месторождений, являются источниками постоянного техногенного загрязнения подземных и поверхностных вод токсичными компонентами [8, 9]. Предложенная С.Л. Шварцевым геохимическая классификация природных вод [5, 6] позволяет увидеть взаимосвязь между изменениями параметров состава водного раствора и составом образующейся вторичной минеральной фазы, в том числе, под влиянием рудной минерализации, что, в свою очередь, позволяет судить об особенностях миграции химических элементов в разных средах, способствуя решению задачи мониторинга эколого-геохимического состояния природных вод.

Целью исследования явилось изучение особенностей химического состава и определение геохимических типов вод, формирующихся в районе действующего горнодобывающего предприятия.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В основу работы положены материалы, полученные в процессе гидрогеохимических исследований Бом-Горхонского вольфрамового месторождения кварц-гюбнерит-сульфидного типа. Месторождение находится в юго-западной части Восточного Забайкалья в пределах хребта Цаган-Хуртей на водоразделе рек Бом-Горхон, Мышетая и Зун-Тигня. Разработка его ведется с 1986 года до настоящего времени открытым и подземным способами.

В геологическом строении месторождения участвуют биотитовые и биотит-амфиболовые кристаллические сланцы протерозойского возраста, раннепалеозойские гранитоиды и раннемезозойские гранитоиды рудного Бом-Горхонского массива, сложенного биотит-роговообманковыми гранодиоритами, кварцевыми диоритами, биотитовыми и лейкократовыми гранитами. Главными рудными минералами в составе жильных рудных тел являются пирит, гюбнерит, молибденит, сфалерит, жильные минералы представлены преимущественно микроклином, кварцем, мусковитом и флюоритом [3].

Переработка руды ведется на местной обогатительной фабрике, отходы складированы на прилегающей территории. Сформировавшиеся антропогенные горнопромышленные ландшафты представлены затопленным карьером, штольнями, отвалами вскрышных и вмещающих пород, хвостохранилищем с прудом-отстойником и т.д.

В 2013 году нами были опробованы воды карьера, дренажного стока двух штолен, пруда-отстойника и ручья в хвостохранилище, а также выхода фильтрационных вод под замыкающей дамбой хвостохранилища. Всего было отобрано 6 водных проб. Химико-аналитические исследования проводились в аттестованной лаборатории ИПРЭК СО РАН (г. Чита) общепринятыми методами, основные катионы и металлы определялись атомно-адсорбционным методом на спектрофотометре SOLAAR M6. Дополнительно анализ вод выполнялся методом ICP-MS в Институте геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН (г. Иркутск).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка месторождения оказала существенное воздействие на физико-химические характеристики водных сред (табл. 1). Основным фактором этого воздействия явилось усилившееся по сравнению с ненарушенными условиями окисление сульфидов и последовавшее сернокислотное разложение жильных минералов, вмещающих пород и отходов добычи и обогащения.

Приводораздельное положение карьера Бом-Горхонского рудника определило высокую долю атмосферных осадков в питании его вод. Как следствие вода озера нейтральная, ультрапресная (минерализация 0,074 г/л), SO_4 Ca состава [2]. Влияние оруденения, помимо преимущественного сульфатного анионного состава, проявилось в повышенных и аномальных концентрациях микроэлементов – Mn, Zn, Cu, Cd, Ag, Be. Дренажные воды штолен нейтральные, пресные, SO_4 Ca. и Mg-Ca, им свойственны высокие концентрации микроэлементов, достигающие для Mo, Cu и Cd максимальных значений (табл. 1). Воды ручья в хвостохранилище слабокислые, пресные, SO_4 Mg-Ca, в микрокомпонентном составе им свойственны высокие концентрации Al, Zn, Fe, Mn, Li, Be, W, Sn, Bi и Ti, последние три компонента достигают здесь своего максимума.

Воды пруда-отстойника и дренажа хвостохранилища отличаются минимальными значениями pH (3,53 и 3,35 соответственно), SO_4 и F- SO_4 Ca. составом с минерализацией до 3,2 г/л (выход под дамбой хвостохранилища). Им присущи максимальные для исследованных вод концентрации макро- (SO_4^{2-} , F⁻ и Ca^{2+}) и микрокомпонентов (Sr, Mn, Fe, Zn, Pb, Ni, Co, Al, As, Cr, Li, Be и др.).

Таблица 1. Химический состав вод

Показатель	Месторождение Бом-Горхон			Средний состав вод выщелачивания [5]
	Min	Max	Хср.	
pH	3,35	6,78	5,33	6,75
Eh, mV	289	512	391	–
HCO_3^- , мг/л	3,05	12,2	4,17	146
SO_4^{2-}	44,6	2100	631,0	12,4
Cl^-	1,30	2,80	2,03	10,1
F^-	3,46	262,0	59,6	0,23
Ca^{2+}	17,8	820,7	207,7	27,4
Mg^{2+}	2,46	19,9	13,2	11,2
Na^+	1,60	13,1	6,52	13,8
K^+	0,97	3,59	2,35	1,84
Si	3,00	12,7	8,28	6,78
Σ ионов	74,1	3214	925,8	239,0
Al	2,37	239,6	52,6	190,0
Fe	0,02	100,3	24,7	424,0
Mn	0,27	52,5	11,0	34,3
Li	0,02	1,06	0,25	0,006
Sr	0,14	2,31	0,83	0,09
Cu	0,02	1,80	0,38	0,004
Zn	0,75	151,0	34,1	0,03
Cd	0,02	2,03	0,47	0,0002
$\Sigma \text{PЗЭ}$	0,001	3,59	0,70	–
Co, мкг/л	0,72	383,9	80,1	0,33
Ni	5,09	310,1	77,2	3,11
Pb	0,28	26,4	11,1	2,18
Mo	0,15	3,66	1,10	1,16
W	0,16	11,4	5,27	–
Th	0,03	942,9	177,3	0,10
U	0,28	321,3	71,5	0,56
Y	0,08	323,5	63,0	–

Преимущественным распространением в районе Бом-Горхонского месторождения пользуются алюмосиликатные породы, одним из основных процессов обогащения вод химическими элементами является их гидролиз. Для изучения равновесий вод с алюмосиликатными минералами на диаграммы полей устойчивости минералов, построенных по методу, предложенному Х.К. Хелгесоном с соавторами, наносились данные по химическому составу рассматриваемых вод (рис. 1).

Расположение точек вне пределов полей устойчивости анортита, Mg-хлорита, альбита, анальцима и мусковита на диаграммах является свидетельством неравновесности с ними рассматриваемых вод и указывает на продолжающееся их растворение и поступление компонентов в водную среду. Все фигуративные точки находятся в пределах полей устойчивости каолинита (рис. 1 а – г), что хорошо согласуется с аналогичными исследованиями кислых сульфатных вод вольфрамовых месторождений Кукульбейского рудного узла (Восточное Забайкалье) [8] и определяется приводо-раздельным положением месторождения, приуроченностью к горно-таежной ландшафтной зоне, а также повышенной кислотностью вод. Присутствие сульфидов в составе рудных жил месторождения способствует накоплению в водах ионов SO_4^{2-} (табл. 1), что в сочетании с высокими концентрациями кальция в некоторых случаях ведет к достижению ими равновесия с гипсом, которое свойственно высокоми-

нерализованным водам пруда-отстойника и дренажа хвостохранилища (рис.2 а). Концентрирование в водах рудных элементов при окислении сульфидных минералов также может приводить к выведению из раствора их малорастворимых сульфатов, подтверждением чему служат данные компьютерного моделирования [1] и многочисленные находки вторичных сульфатов в зоне отработки месторождения [4, 7].

Особенностью рассматриваемых вод является аномально высокий уровень концентраций фтора (табл. 1), что подтверждает отсутствие в кислой среде ограничивающего действия на рост его концентраций кальциевого барьера [2]. Следствием этого является достижение рассматриваемыми водами равновесия с фторидами – флюоритом (рис. 2б) и селлаитом (рис. 2в). Вероятность формирования разнообразных вторичных фторидов также подтверждается их находками [4, 7].

Рис. 1. Диаграммы равновесия при 25°C: а – система $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CO}_2-\text{CaO}-\text{SiO}_2$; б – система $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{MgO}-\text{SiO}_2$; в – система $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{Na}_2\text{O}-\text{SiO}_2$; г – система $\text{H}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{K}_2\text{O}-\text{SiO}_2$ с нанесением данных по составу вод месторождения Бом-Горхон

Рис. 2. Равновесие вод с гипсом (а), флюоритом (б) и селлаитом (в)

Согласно полученным результатам в соответствии с составом равновесных вторичных минеральных фаз рассматриваемые воды относятся к двум геохимическим типам – алюминиево-кремнистому и кислому сульфатно-металлоносному фтористому.

Выделенные геохимические типы вод обладают существенными различиями в минерализации, значениях показателей pH и Eh, концентрациях алюминия, железа, марганца и других металлов. Между тем ионный состав вод разных геохимических типов преимущественно сульфатный кальциевый, что определяется сходством условий формирования вод.

Воды алюминиево-кремнистого типа пресные (минерализация 0,07-0,5 г/л), слабокислые и нейтральные, равновесные с каолинитом установлены в затопленном карьере, штольневых дренажах и в ручье хвостохранилища. Они характеризуются заметно меньшими физико-химическими параметрами, что объясняется более интенсивным водообменом и условиями взаимодействия воды с породой, существенно отличающимися от застойного режима, присущего водам, дренирующим отходы обогащения.

Воды кислого сульфатно-металлоносного фтористого геохимического типа определены в пруде-отстойнике хвостохранилища и в разгрузке под нижней его дамбой. Это солоноватые и соленые (минерализация 1,0-3,2 г/л), кислые (pH < 4) с аномально высоким содержанием сульфатов и металлов, равновесные с вторичными сульфатами и фторидами воды.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные процессы, формирующие химический состав вод в районе разработки Бом-Горхонского месторождения вольфрама, окисление сульфидов рудных жил, сернокислотное выщелачивание и гидролиз алюмосиликатов вмещающих горных пород. Это сульфатные и

фторидно-сульфатные кальциевые и магниевые кальциевые, кислые, слабокислые и нейтральные, от ультрапресных до соленых по величине минерализации воды.

Изучение термодинамических равновесий показало их насыщение вторичными минералами – каолинитом, гипсом, флюоритом и селлаитом, которым соответствуют два геохимических типа вод – алюминиево-кремнистый и кислый сульфатно-металлоносный фтористый. Выделенные геохимические типы отражают различные условия формирования химического состава вод и соответствуют определенной стадии взаимодействия в системе вода – порода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин О.В., Замана Л.В., Эпова Е.С., Смирнова О.К. Изучение равновесий актиноидов и лантаноидов в металлоносных рудничных водах месторождения вольфрама Бом-Горхон (Забайкалье) // В сборнике: Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V Международной конференции. Томск, 2016. – С. 219-222.
2. Замана Л.В., Чечель Л.П. Геохимия дренажных вод горнорудных объектов вольфрамового месторождения Бом-Горхон (Забайкалье) // Химия в интересах устойчивого развития. – 2014. – Т. 22. – № 3. – С. 267-273.
3. Сизых В.И. Бом-Горхонское вольфрамовое месторождение / Месторождения Забайкалья // Коллектив авторов. Под ред. акад. Н.П. Лавёрова (в 2 книгах). – М.: Геоинформмарк, 1995. – Т. 1, – Кн. 1. – С. 134-138.
4. Филенко Р.А., Смирнова О.К., Юргенсон Г.А. Новые данные об уилкоксите из Бом-Горхонского месторождения (Забайкальский край) // Минералогия техногенеза. – 2015. – № 16. – С. 160-166.
5. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. – 366 с.
6. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 2. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.

7. Юргенсон Г.А., Русаль О.С., Филенко Р.А. Новые данные о современном минералообразовании в отходах разработки сульфидных месторождений Забайкалья // Минералогия техногенеза. – 2017. – № 18. – С. 60-71.
8. Chechel L.P. Formation of the chemical composition of mining areas waters on the example of tungsten deposits of Eastern Transbaikalia // E3S Web Conf., 98 (2019) 01006.
9. Zamana L.V., Chechel L.P. Technogenic hydrogeochemical anomalies of tungsten deposits in Kukulbey ore region // J. Geosci. Res. NE Asia. – 2004 – V. 7. – № 2. – P. 52-57.