

РАВНОВЕСИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НАРЫКСКО-ОСТАШКИНСКОЙ ПЛОЩАДИ (КУЗБАСС) С МИНЕРАЛАМИ ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОД

Е.В. Домрочева, О.Е. Лепокурова

*Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, Россия, E-mail: LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия*

Аннотация. Приводятся результаты расчета равновесий подземных вод Нарыкско-Осташкинской площади Кузбасса с карбонатными и алюмосиликатными минералами вмещающих пород. Показано, что воды неравновесны с первичными (эндогенными) минералами, которые они и растворяют, но в тоже время равновесны с глинами и карбонатами, которые осаждаются из вод.

Abstract. Are given the results of calculation of the equilibrium of groundwater Naryksko-Ostashkinskaya area of Kuzbass with carbonate and aluminosilicate minerals of the host rocks. It is shown, that water is in equilibrium with the primary (endogenous) minerals, which are dissolved, but at the same time in equilibrium with clays and carbonates that precipitate out of water. The composition of water is determined by the difference.

По геохимии подземных вод Кузбасса авторами совместно с большим коллективом коллег уже были опубликованы работы [2, 6–8]. Нами этот вопрос рассматривается с позиций общей теории взаимодействия воды с горными породами, предложенной С.Л. Шварцевым [7]. Согласно придерживаемой концепции, выявление состояния равновесия подземных вод с ведущими минералами является начальным этапом, необходимым для познания условий формирования химического состава вод. В 2012 и 2014 гг. наши исследования были сосредоточены на территории Нарыкско-Осташкинской площади Ерунаковского района Кузбасса. По результатам исследований 2012 г. были опубликованы статьи по геохимии подземных вод [5] и состоянию термодинамических равновесий их с вмещающими породами [4]. С появлением 12 новых проб по подземным водам в 2014 г, в том числе 3 пробы рядом расположенного Чалтокского участка, опубликована статья в материалах конференции [3] и возникла необходимость пересчета термодинамических равновесий в системе вода-порода.

Фактический материал и методы исследования

На территории Нарыкско-Осташкинской площади с 2009 по 2012 гг. были пробурены 41 скважина глубиной от 100 до 1200 м, на Чалтокском участке в 2013 г. еще 1 скважина. Всего были проанализированы 122 пробы воды из 42 скважин. Макрокомпонентный и микрокомпонентный составы вод исследовались в Проблемной научно-исследовательской гидрогеохимической лаборатории ТПУ. Использовались традиционные методы, а также методы спектрального, атомно-абсорбционного анализа и др. При расчетах равновесий использован программный комплекс HydroGeo, разработанный М.Б. Букаты [1]. Данный ПК базируется на методе констант равновесий. При обработке гидрогеохимической информации получены значения параметров насыщенности вод относительно основных водовмещающих минералов.

Химический состав подземных вод

Обобщение полученной нами ранее информации и нового материала по гидрогеологии и гидрогеохимии (2014 г.) позволило подтвердить ранее обоснованную зональность, выделенную и описанную Г.М. Роговым, В.К. Поповым, Д.С. Покровским, Г.А. Плевако и др. На исследуемой территории прослеживается прямая вертикальная гидродинамическая зональность, в соответствии с которой, по

интенсивности водообмена выделяются две зоны: активного и замедленного водообмена. Воды обеих зон различаются по химическому и газовому составу, и подчиняются прямой вертикальной гидрогеохимической зональности [5].

Воды зоны активного водообмена распространены в верхней части разреза, сложенной рыхлыми мезо-кайнозойскими (преимущественно четвертичными) отложениями, и в зоне интенсивной трещиноватости юрских отложений. Это пресные воды (минерализация от 0,5 до 1,0 г/л), которые распространяются до глубины ориентировочно 150 м, хотя эта граница условна, т.к. на отдельных участках она поднимается до 30–50 м, на других опускается до 400 м. Это обусловливается интенсивностью водообмена и проницаемостью отложений. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-натриевые, доля Na^+ в составе вод увеличивается к низам зоны активного водообмена. Концентрации Cl^- и SO_4^{2-} не высокие, в среднем не превышают 10 мг/л. Подземные воды в основном нейтральные и слабощелочные, рН в пределах 7,0–8,6. Газовый состав вод этой зоны характеризуется наличием газов воздушного происхождения, т.е. N_2 (71–80 %), O_2 (17–22 %) и CO_2 (доли %). В небольших количествах иногда встречается CH_4 .

Таблица 1

Химический состав (пределы содержаний и среднее значение) подземных вод Нарыкско-Осташкинской площади (2012–2014 гг.), мг/л

Параметры	Зона активного водообмена (24 пробы)	Зона замедленного водообмена	
		с интенсивно трещиноватыми породами (73)	затухающей трещиноватости (25)
рН	7,0–8,6 (7,7)	7,5–9,8 (8,1)	7,2–9,9 (8,3)
Ca^{2+}	32–120 (77)	3–88 (32)	0,2–61,0 (20,4)
Mg^{2+}	6,1–35,3 (16,7)	0,4–48,6 (10,0)	4,9–79,3 (22,3)
Na^+	8,5–130,0 (47,0)	44–3800 (438)	1996–7230 (3481)
$\text{Fe}_{\text{общ.}}$	0,05–24,5 (3,9)	0,01–192,0 (10,4)	0,1–29,5 (9,2)
HCO_3^-	321–745 (433)	258–3111 (824)	1399–15494 (7375)
CO_3^{2-}	0,2–6,2 (1,6)	0,3–742,8 (31,1)	18,5–1285,7 (357,8)
Cl^-	0,7–24,0 (5,1)	1,5–182,0 (22,9)	30,0–5494,0 (919)
SO_4^{2-}	0,8–16,9 (5,6)	0,2–185,6 (18,4)	0,21–75,7 (20,3)
Общая минерализация	497–1029 (615)	436–4355 (1271)	3999–25139 (12159)

Ниже распространяется зона замедленного водообмена, на данной площади она приурочена к песчаным средне-верхнепермским отложениям, частично в эффузивно-осадочных отложениях триаса. Зона отличается не только более высокой минерализацией (от 1 реже от 0,5–1,2 и до 10–25 г/л), но и составом вод. Здесь практически повсеместно развиты содовые воды ($\text{HCO}_3\text{-Na}$), характерные для всего Кузбасса с рН от 7,5 до 9,9. Для этой зоны характерны достаточно сложные гидрогеохимические условия, что позволило разделить ее на две подзоны: верхнюю и нижнюю.

Верхняя часть зоны характеризуется пресными или слабоминерализованными (0,5–5 г/л), гидрокарбонатными кальциево-натриевыми либо натриево-кальциевыми водами с рН 7,5–9,8. Увеличивается содержание Cl^- до 182 мг/л, иногда SO_4^{2-} до 186 мг/л. При этом, если концентрации хлора растут и дальше с глубиной, концентрации сульфат-иона с глубиной уменьшаются. Источником последнего, скорее всего, служат сульфиды (пирит), окисление которых и приводит к появлению в водах этого иона.

Содержание Ca^{2+} наоборот уменьшается до 3 мг/л. В составе водорастворенного газа появляется метан (85–95 %).

В нижней части зоны, на глубине более 400–500 м, развиты уже солоноватые и даже слабосоленые (до 25 г/л) содовые воды. Минерализация увеличивается за счет продолжающегося роста содержаний HCO_3^- , Na^+ , Cl^- . Такие высокие концентрации гидрокарбонат-иона (до 15 г/л!) связаны с угленосными пермскими отложениями, которые дополнительно выступают источником углерода. При этом содержания SO_4^{2-} не высоки. Таким образом, воды остаются гидрокарбонатными, реже гидрокарбонатно-хлоридными, хлоридно-гидрокарбонатными натриевыми (табл. 1). В составе водорастворенного газа продолжает накапливаться метан (до 99 %).

Опробованные нами подземные воды на территории Нарыкско-Осташкинской площади в 2014 г. относятся именно к нижней части зоны замедленного водообмена. Эти воды, более минерализованы чем воды верхней части, и характеризуются присутствием в составе некоторых проб повышенного содержания хлора от 1,0 до 2,3 г/л.

Результаты расчета равновесия в системе вода-порода

В состав твердой фазы были выбраны минералы, которые наиболее часто встречаются в вмещающих отложениях: в основном силикатные и алюмосиликатные (кварц, полевые шпаты, глины и др.), единично карбонатные (кальцит, магнезит, доломит, сидерит), а также сульфатные и хлоридные минералы. Результаты расчетов приведены в таблице 2. Как показывают полученные данные, все воды, даже высоко минерализованные нижней зоны, неравновесны с первичными минералами водовмещающих пород: полевыми шпатами, кварцем, пиритом, пироксенами и многими другими (роговыми обманками, амфиболами, эпидотом).

Таблица 2

Значения индексов насыщения подземных вод зоны активного водообмена (1), зоны замедленного водообмена верхней (2) и нижней части (3) с ведущими минералами

Минерал	1	2	3	Минерал	1	2	3
Ионная сила	0,008-0,016	0,012-0,054	0,062-0,324	Хлориды			
Оксиды				Галит	-20-(-19)	-17-(-15)	-13-(-8)
Кварц	-6,5-(-5,9)	-6,4-(-6,0)	-6,4-(-5,7)	Алюмосиликаты			
Гиббсит	1,3-1,8	1,3-2,1	1,4-2,0	Альбит	-3,3-(-0,3)	-1,7- 1,8	0,1-2,2
Карбонаты				Анортит	-5,2-(-2,4)	-5,7-(-1,3)	-7,7-(-0,3)
Кальцит	-0,1- 1,3	-0,4- 1,8	0,7-2,7	КПШ	-7,1-(-6,4)	-7,7-(-5,3)	-6,1-(-4,7)
Сидерит	-1,2- 2,9	-0,6- 5	0,3-4,1	Микроклин	-5,3-(-0,8)	-4,4- 1,9	-2,3- 2,1
Доломит	-0,5- 2,4	-0,8- 4,1	1,4-5,6	Мусковит	-6,4-(-2,5)	-9,2-(-1,3)	-8,3-(-0,8)
Магнезит	-1,7-(-0,3)	-3-(-2,5)	-0,5- 1,6	Пироксен	-12-(-9)	-10-(-7)	-9-(-6)
Содовые минералы				Хлорит	-2,0- 0,9	-2,4- 2,5	-4,8- 3,1
Трона	-120	-120-(-100)	-110-(-95)	Са-Mt	-0,1- 4,9	0,1-5,8	1,9-9,6
Натрон(сода)	-130-(-120)	-115-(-120)	-110-(-115)	Na-Mt	-1,2- 2,3	0,8-5,3	2,7-6,1
Сульфаты				Mg-Mt	0,1-5,5	0,4-8,9	2,3-10,0
Гипс	1,2-2,4	-3,4- 0,6	-5,1-(-0,7)	K-Mt	-2,8- 0,6	-4,1- 3,1	-4,7- 2,3
Ангидрит	-7,3-(-6,1)	-10-(-7,9)	-11,8-(-7,5)	Иллит	-0,6- 1,3	-1,7- 3,0	-2,3- 3,4
Сульфиды				Каолинит	0,1-1,0	0,5-1,4	0,6-1,2
Пирит	-36-(-33)	-33-(-28)	-31-(-29)	Дафнит	-2,4- 2,6	-2,0- 4,5	-2,7- 4,5

Результаты равновесий показали, что воды всего геологического разреза неравновесны с первичными алюмосиликатными минералами. Подземные воды зоны активного водообмена, соответственно, в большей степени недонасыщены относительно исходных алюмосиликатных минералов, благодаря низким значениям

общей минерализации и рН. Следовательно, в этих условиях данные минералы активно растворяются и переводят в раствор порообразующие элементы: Ca, Mg, Na, Fe, K, Si, Al. Часть элементов, поступивших в раствор, сразу уходит из раствора во вторичные отложения: окислы и гидроокислы Fe, Mn и Al, глины (каолинит и различные монтмориллониты, кроме калиевых), карбонаты (кальцит, доломит, частично сидерит), которые в этих условиях не растворяются, а образуются.

Воды зоны замедленного водообмена более щелочные и минерализованные, но так же крайне недонасыщены относительно эндогенных минералов. Однако еще более насыщены к вторичным минералам, состав которых расширяется: алюмосиликатам (появляется иллит, все монтмориллониты, хлориты и даже альбит и микроклин) и карбонатам (появляется сидерит и магнезит). Характер такого равновесия по терминологии С.Л. Шварцева равновесно-неравновесный: вода всегда неравновесна относительно первичных алюмосиликатов, но, в определенных геохимических условиях, равновесна относительно вторичных. При этом состав вод определяется разницей между растворяемыми и осаждаемыми минералами. Таким образом, с глубиной состав вод меняется с $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ на $\text{HCO}_3\text{-Na}$. Карбонаты связывают Ca, Mg, Fe, S, глинистые минералы – Al, Si, Ca, Mg, Fe, частично Na и K, окислы и гидроокислы – Fe и т.д. Элемент Na остается наиболее устойчивым и не входит в кристаллические решетки формирующихся минералов, т.е. менее всех связывается во вторичные отложения, поскольку воды остаются крайне неравновесными к содовым минералам (табл. 2). Таким образом, натрий продолжает накапливаться в воде, а состав вод становится содовым. В верхней части зоны замедленного водообмена в химическом составе вод встречается SO_4^{2-} , что связано с растворением имеющего пирита. В нижней части – появляется в значительных количествах Cl^- . Поскольку соленосные отложения в разрезе не наблюдаются, источником хлора, также, как и натрия, являются алюмосиликатные минералы, которые содержат его в примесях. Попадая в раствор, он накапливается со временем, в условиях крайне замедленного водообмена. Поскольку к минералам хлора раствор недонасыщен (галит, табл. 2), складываются благоприятные условия для его концентрации.

Выводы

На Нарыкско-Осташкинской площади последними данными подтверждена прямая вертикальная зональность подземных вод: пресные $\text{HCO}_3\text{-Ca}$ воды зоны активного водообмена сменяются солеными (M до 25 г/л) $\text{HCO}_3\text{-Na}$ зоны замедленного водообмена. Все воды, как показали термодинамические расчеты, неравновесны с распространенными алюмосиликатными минералами, которые и выступают источником Na, Ca, Mg, K, Si, Al и даже Cl. Пирит в верхней части зоны замедленного водообмена привносит в состав вод сульфаты. Часть элементов сразу уходит из раствора во вторичные отложения, с которыми воды равновесны: глины (монтмориллониты, гидрослюда, хлориты), карбонаты (кальцит, доломит, сидерит) и даже гипс. Натрий менее всех связывается во вторичные отложения, поэтому продолжает накапливаться в воде. Глубже состав вод начинает меняться с содового на хлоридный. Поскольку HCO_3^- уходит с карбонатами, а Cl^- продолжает концентрироваться в растворе.

Литература

1. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия Томского политехнического университета. – 2002. – Т. 305. - № 6. – С. 348 – 365.
2. Домрочева Е.В. Гидрогеохимические особенности угольных районов Кузбасса: автореф. дис... канд. геол.-минерал.наук. – Томск, 2005. – 22с.

3. Домрочева Е.В. Гидрогеохимические условия территории Кузбасса на примере Нарыкско-Осташкинской площади // Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». – Владивосток: Изд-во Дальнаука. – С. 253–256.
4. Домрочева Е.В., Лепокурова О.Е. Равновесия содовых подземных вод угленосных отложений Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) с минералами вмещающих пород // Вестник Томского государственного университета. – 2015. – № 390. – С. 211–217.
5. Домрочева Е.В., Лепокурова О.Е., Сизиков Д.А. Геохимическая характеристика подземных вод Нарыкско-Осташкинской площади (Кузбасс) // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т.325. – №2.
6. Шварцев С.Л., Домрочева Е.В., Рассказов Н.М. Геохимия и формирование содовых вод Кузбасса // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т.318. – №1. – С. 128–134.
7. Шварцев С.Л., Рыженко Б.Н., Алексеев В.А. и др. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т. 2: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 389 с.
8. Шварцев С.Л., Хрюкин В.Т., Домрочева Е.В. и др. Гидрогеология Ерунаковского района Кузбасса в связи с проблемой образования ресурсов и добычи угольного метана // Геология и геофизика. – 2006. – Вып. 47. – №7. – С. 878–889.

ГИДРОГЕОХИМИЯ ЗОНЫ ТЕХНОГЕНЕЗА МОЛИБДЕНОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Л.В. Замана, Л.П. Чечель

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия,
E-mail: l.v.zamana@mail.ru*

Аннотация. Представлены результаты гидрогеохимического опробования техногенно-нарушенных участков трёх молибденовых месторождений – жильного Шахтаминского и штокверковых Жирекенского и Бугдаинского. Рассчитаны формы водной миграции металлов и минеральные равновесия.

Abstract. The results of hydro-geochemical technogenic disturbed areas three molybdenum deposits - veined and stockwork Zhireken, Shakhtama and Bugdaya are presented. The forms of the water migration of metals and mineral equilibrium are calculated.

Разработка молибденовых месторождений традиционна для Забайкалья. Представлены результаты гидрогеохимического опробования техногенно-нарушенных участков трёх молибденовых месторождений (рис. 1). Два из них в прошлом обрабатывались. Шахтаминский рудник закрыт в 1993 г., в 2014 г. законсервирован Жирекенский ГОК. На Бугдаинском месторождении велась только опытная добыча.

Месторождения локализованы в гранитоидах мезозойского возраста (граниты и гранодиориты) и кроме молибденита как основного рудного минерала содержат сопутствующие сульфиды – халькопирит (Жирекен); пирит, сфалерит (Шахтама), галенит, сфалерит, пирит (Бугдая). На Жирекенском месторождении в качестве попутного элемента извлекалась медь, на Бугдаинском месторождении промышленный интерес представляют Pb, Zn, Cu, W, Ag и Au. Отличительной чертой вмещающих пород Жирекенского месторождения является их повышенная щелочность, в числе наиболее распространённых жильных минералов Шахтаминского месторождения на втором после кварца месте следуют карбонаты [6, 7].