

железа – в десятки раз. Кроме того, обнаруживается повышенное содержание Mn, Al, Cu и других компонентов. На воды р. Кадамовка, например, основное влияние оказывает сброс шахты Глубокая, воды которой имеют минерализацию 12700, содержание сульфат-иона - 8200 и железа - 110 мг/л [3].

При обобщении данных по химическому составу шахтных вод было предложено три главных сценария изменения состава шахтных вод при различных способах ликвидации угольных шахт. Если шахта ликвидирована «сухим способом» и продолжает функционировать система водоотлива, то состав вод формируется без существенных изменений с сохранением четырех главных гидрогеохимических направлений при функционировании шахт. Если шахта ликвидирована путем «затопления» и произведено сооружение дренажных скважин для понижения уровня грунтовых вод, то может происходить усиление процессов окисления серы и сульфидов с формированием кислых сульфатных вод с высокой минерализацией. Третий вариант отражает промежуточную ситуацию, когда при ликвидации шахты произведено затопление выработанного пространства, но сохраняется изоляция природно-техногенного резервуара и не происходит интенсификации процессов окисления. Во всех случаях прогнозировался сдвиг состава вод в сторону первого гидрогеохимического направления.

Выше изложенное убедительно свидетельствует о необходимости разработки и скорейшего внедрения эффективных методов реабилитации окружающей среды в Восточном Донбассе.

Литература

1. Гавришин А. И. Анализ информации о природных и антропогенных объектах, явлениях и процессах: учебное пособие / Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова. - Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ), 2016. - 139с.
2. Гавришин А. И., Борисова В. Е., Торопова Е. С. Применение корреляционного анализа для изучения закономерности формирования химического состава шахтных вод // Успехи современного естествознания №12/2016.
3. Гавришин А. И. Гидрогеохимические исследования с применением математической статистики и ЭВМ. М.: Недра, 1974. 146 с.

СОДЕРЖАНИЕ, ПОВЕДЕНИЕ И ФОРМЫ МИГРАЦИИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ ПАРАТУНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, КАМЧАТКА

И.В. Брагин

Научный руководитель профессор Н.А.Харитонова

Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Введение. Редкоземельные элементы (РЗЭ) представляют собой группу из 15 элементов, обладающих сходными химическими свойствами, несмотря на различия их концентраций в водах и земной коре. Всем РЗЭ присуща валентность 3, но некоторые из них при определенных физических параметрах окружающей их среды могут проявлять валентности 2 или 4. Интерес к распространенности РЗЭ в природных водах связан с возможным использованием их в качестве индикаторов геохимических процессов, в том числе при реконструкции условий образования подземных вод и их последующей эволюции (смешение вод различных типов и т.д.). Установлено, что профиль распределения РЗЭ в воде до некоторой степени наследует профиль распределения этих элементов во вмещающих их горных породах [5, 7, 8]. Однако, однозначная интерпретация поведения РЗЭ в природных водах осложняется различными процессами, такими как формирование водных комплексов, коллоидный транспорт, ионный обмен и адсорбция, которые приводят к фракционированию РЗЭ в водных растворах по сравнению с материнской породой [8]. Для понимания особенностей миграции и законов фракционирования отдельных редкоземельных элементов в природных водах необходимо детально изучить формы миграции РЗЭ в определенных геохимических обстановках.

Геолого-гидрогеологические условия, а также *гидрогеохимия* Паратунского геотермального месторождения подробно изложены в работах [2, 3]. Стоит лишь отметить, что в пределах месторождения выделяются несколько участков термопроявлений (Верхне- (ВП), Средне- (СП) Нижнепаратунский (НП), Северный участок нижней Паратунки (СНП) и Карымшинский (КП)), причем отмечается гидравлическая связь между ними. Исследуемые термальные воды являются напорными и характеризуются преимущественно трещинно-жильным типом циркуляции. На месторождении горячие, метеорные воды с температурой до 100°C вскрыты скважинами в интервале глубин 600-1500м. Максимальная водообильность приурочена к зонам контактов эффузивных пород с дайками интрузий среднего и кислого состава, а также трещиноватым туфам. Балансовая площадь Паратунского месторождения составляет 244 км², утвержденные запасы вод с температурой 75-80°C составляют 44900 м³/день.

Гидротермы Паратунского месторождения принадлежат к провинции азотных щелочных (8<pH<9) вод с редковосстановительной средой (-150mV<Eh<-180mV), малой минерализацией (1г/л<TDS<2,4г/л) и очень высокой температурой на выходе из скважин (50<T,°C<80). При этом температуры геотермального резервуара, рассчитанные с помощью кварцевого геотермометра, варьируют от 113 до 128°C. Среди основных ионов преобладают SO₄²⁻, Cl⁻, Na⁺, Ca²⁺ (таблица).

Таблица

Средние содержания основных ионов (мг/л) и значения основных физико-химических параметров вод
Паратунского месторождения термальных вод

Участок	T(°C)	pH	M(г/л)	Eh(мВ)	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
ВП (n=6)	54	8,37	1,2	-150	192,2	3,7	71,5	0,09	96,8	465,8	28,27
СП (n=13)	72	8,55	1,2	-157	205,9	4,6	113,4	0,06	46,9	663,1	27,58
НП (n=8)	69,5	7,94	2,43	н.д.	305,1	6,7	280,1	0,18	333,9	953,8	31,43
СНП (n=2)	49,5	8,39	1,05	н.д.	266,5	3,7	281,2	0,08	192	1056,5	23,49
КП	75	8,1	1,32	-180	217,8	3,8	48,4	0,04	125	426	33,18

Примечание: n-количество анализов, использованных для расчета среднего значения, н.д. - нет данных

По соотношению анионов видно, что сульфат-ион доминирует над хлором, однако вклад доля последнего возрастает на протяжении от ВП к НП. Наряду с этим, в водах НП увеличивается содержание всех основных ионов, приводящее к наибольшей минерализации вод. Опираясь на прямую корреляцию ионов натрия и хлора, а также близости НП к побережью, можно сделать вывод о значительном влиянии интрузии морских вод на питание вод гидротермального резервуара НП.

Содержание, поведение и формы миграции РЗЭ. В течение полевого сезона 2015-2016 гг. нами были изучены подземные воды более 20-ти скважин Паратунского месторождения. Стоит отметить, что уровни содержания РЗЭ в них низки и составляют сотые и тысячные доли ppt. Это соответствует общемировым данным по азотным щелочным термам и, в частности, для термальных вод Сихотэ-Алиня [1, 6]. При этом можно отследить прямую зависимость суммы РЗЭ от величины общей минерализации, хоть она и не отчётлива. На графике распределения РЗЭ (рис. 1) (нормировка к Северо-Американскому сланцу) видно, что наибольшие содержания РЗЭ присущи НП, а наименьшие – ВП и СП. Интересно, что содержания лёгких РЗЭ в последних двух группах схоже, тогда как для СП характерно большее накопление тяжелых РЗЭ. Это могло быть вызвано появлением миоцен-плиоценовых туфов среди вмещающих пород СП и НП, которые характеризуются повышенным содержанием ТРЗЭ.

Для вод всех участков Паратунского месторождения характерна ярко выраженная Eu-аномалия. Она вызвана быстрым выщелачиванием породообразующих минералов при высокой температуре. Наличие положительной Се- и Ть- аномалии указывает на формирование вод при сильно-восстановительных условиях. Окислительные условия, характерные для поверхностных вод, способствуют переводу Се в 4-х валентное состояние и удалению его из раствора. Восстановительная среда, наоборот, способствует более интенсивному переводу Се в раствор.

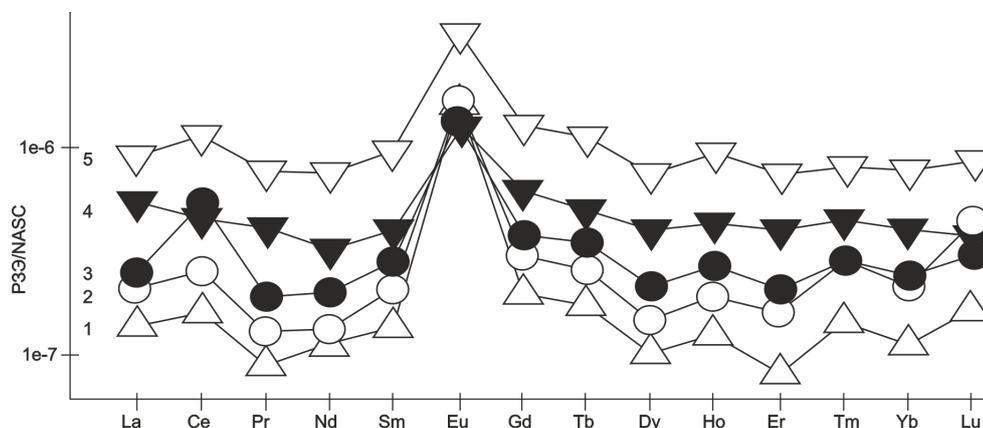


Рис. Нормированные к Северо-Американскому сланцу (NASC) содержания РЗЭ в водах Паратунского месторождения термальных вод, усреднённые по участкам: 1 – ВП, 2 – СП, 3- КП, 4 – СНП, 5 – НП.

Термодинамические расчёты форм миграций РЗЭ при помощи программного комплекса Селектор-Windows [4] свидетельствуют о том, что наиболее распространёнными комплексными формами являются $R[CO_3]^+$, $R[SO_4]^+$, $R[OH_2]^+$, $R[O]^+$, $R[O_2]^-$ и $R[O_2H]^*$, где R – ион редкоземельного элемента, что характерно и для подземных вод Сихотэ-Алиня [5]. Сульфатный комплекс характерен только для легких РЗЭ (La–Nd). В ряду от La к Lu сульфат-комплексы исчезают, в то время как $R[O_2]^-$ проявляется только для отдельных РЗЭ, начиная с Nd. Бескомплексная форма R^{3+} в значимых концентрациях (более 1% от всех форм) выявлена только в водах, имеющих температуру ниже 75°C, причем ее содержание для одного и того же образца уменьшается при увеличении атомного номера элемента. Стоит отметить, что основная часть бескомплексного европия представлена Eu^{2+} .

Известно, что основными физическими параметрами, определяющими формирование комплексов РЗЭ в водах, являются кислотность (pH), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), температура, а также атомный номер элемента, определяющий индивидуальные свойства лантаноида. Так, например, в водах ВП с

низкой температурой преобладающей формой миграции для всех РЗЭ является $R[CO_3]^+$ (>70%) и $R[OH_2]^+$ (5-8%). Однако доля формы $R[O_2H]^+$ для данных вод сильно увеличивается в ряду от La к Lu (от 0,01% до 10%). Более того, максимальные содержания $R[CO_3]^+$ комплекса (55-84%) были получены для вод с наименьшей температурой среди всех гидротерм (до 50°C), а минимальные – для вод НП с температурой 90°C и более. Характерно, что, несмотря на схожесть химического состава вод НП и СНП, содержание, поведение, а также формы миграции РЗЭ различны.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ мол_нр № 16-35-50161.

Литература

1. Брагин И.В., Челноков Г.А., Чудаев О.В., Харитоновна Н.А. Особенности взаимодействия вода-порода при формировании месторождений термальных вод Сихотэ-Алиня // Материалы Второй всероссийской научной конференции с международным участием «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». – Владивосток: Дальнаука, 2015. С. 95-98.
2. Манухин Ю.Ф., Ворожейкина Л.А. Гидрогеология Паратунской гидротермальной системы и условия ее формирования // Гидротермальные системы и термальные поля Камчатки. Владивосток, 1976. С. 143–178.
3. Чудаев О.В., Челноков Г.А., Брагин И.В., Харитоновна Н.А., Рычагов С.Н., Нуждаев А.А., Нуждаев И.А. Геохимические особенности распределения основных и редкоземельных элементов в Паратунской и Большебанной гидротермальных системах Камчатки / Тихоокеанская геология. 2016. Т. 35. № 6. С. 102-119.
4. Чудненко К.В., Карпов И.К. Селектор – Windows. Программное средство расчета химических равновесий минимизацией термодинамических потенциалов. Краткая инструкция. Иркутск. – 2003. – 90 с.
5. Н. А. Харитоновна, Е. А. Вах, Г. А. Челноков, О. В. Чудаев, И. В. Брагин, И. А. Александров. Распространенность и фракционирование редкоземельных элементов в подземных водах Сихотэ-Алиня. Материалы II Всероссийской науч. конф. с международным участием “Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами” Дальнаука Владивосток – 2015– с.315–319.
6. Челноков Г.А., Калитина Е.Г., Брагин И.В., Харитоновна Н.А. // Гидрогеохимия и генезис термальных вод источника Горячий ключ, Приморье (Дальний Восток России) // Тихоокеанская геология – 2014. – Том 33. – №6. – С. 99–110.
7. Michard A. Rare earth element systematics in hydrothermal fluids//Geochim et Cosmochim. Acta. 1989.V.53. pp.745-750.
8. Moller P. The behavior of REE and Y in water-rock interactions // Water-Rock Interaction. Proceedings of the 10th International Symposium. Netherlands, Rotterdam: Balkema. 2001. V.2. P. 989-992.

ОРГАНИЗАЦИЯ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В С. ЗЫРЯНСКОЕ (ТОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Е.В. Васина

Научный руководитель доцент М.В. Решетько

**Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
г.Томск, Россия**

Проблема предоставления качественной питьевой воды жителям населенных пунктов в наше время имеет огромное значение. Обеспечение высокого санитарного качества питьевой воды требует защиты источников от загрязнения, а также тщательной очистки воды на водоподготовительных станциях, так как состояние большинства существующих на данный момент систем водоснабжения оставляет желать лучшего. Практически во всех населенных пунктах используется подземная вода, потому что подземные воды Томской области достаточно надежно защищены от поверхностного загрязнения слабопроницаемыми глинистыми отложениями. Роль подземных вод, как источника водоснабжения, с каждым годом увеличивается.

Целью исследования являлось изучение организации водоснабжения в селе Зырянское и проверка соответствия химического состава вод нормам СанПин 2.1.4.1074-01 [4].

Материалами исследования в работе послужили данные химического анализа воды, используемой для питьевого водоснабжения в с. Зырянское (из трех скважин, на выходе из резервуаров чистой воды в сеть населению и со станции резервуаров чистой воды). Анализ был проведен испытательной лабораторией филиала ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в Томской области».

Зырянский район расположен в юго-восточной части Томской области. Данный район находится на территории Западной Сибири в лесной области. Ландшафты таежные, в том числе мезлотно-таежные и широколиственные, преобладают возвышенные равнины. Рельеф местности сложный, полого-волнистый и увалистый. Абсолютные отметки поверхности колеблются от 110 м над у.м. в пойме р. Чулым до 160-180 м над у.м. на водоразделе рр. Яя-Кия и Кия-Тонгул в южной части района. Наличие в районе сравнительно крупных рек и многочисленных притоков определяет значительную изрезанность территории. Территория района покрыта развитой речной сетью - 237 рек общей протяженностью 1159 км, в том числе 30 рек протяженностью более 10 км [1]. Значительная часть исследуемой территории покрыта лесом, средняя лесистость составляет - 68,05 %, заболоченность - 2,32 %. Леса смешанного породного состава, их общая площадь составляет 269,9 тыс. га, большая часть которых относится к категории земель лесного фонда (168,1 тыс. га).

Климат района континентальный. За год выпадает в среднем 482 мм осадков при максимуме 645 мм и