

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ МЕЖДУРЕЧЬЯ ЮНЬЯХИ И ЕНЗОРЬЯХИ (восточный склон Полярного Урала)

Рассмотрены особенности состава вод междуречья Ензорьяхи и Юньяхи и приведены данные об уровнях содержания редкоземельных элементов в подземных, речных, озерных и карьерных водах. Рассмотрена зависимость содержания редкоземельных элементов и их формы миграции от параметров геохимической среды. Проанализированы процессы их перераспределения в системе вода – порода и выявлена особая роль степени обогащения вод органическими веществами и времени взаимодействия в данной системе.

Введение

В настоящее время распространенность редкоземельных элементов (РЗЭ) в природных водах рассмотрена в большом количестве работ. Среди них необходимо отметить публикации зарубежных исследователей, посвященные поведению РЗЭ в поверхностных водотоках [1-3], природных и техногенных озерах районов активного вулканизма и площадей с высокой антропогенной нагрузкой [4, 5]. Однако в публикациях практически не затронутыми остались вопросы поведения РЗЭ в ультрапресных водах, обогащенных органическим веществом, районов распространения многолетней мерзлоты. Тем не менее, в некоторых публикациях отмечена особая роль органического вещества в миграции РЗЭ [6-9] и представлены результаты исследований, посвященных поведению РЗЭ в водах районов распространения многолетней мерзлоты [10, 11]. Первые работы российских ученых о геохимии РЗЭ появились в 70-е годы прошлого века [12, 13]. Наиболее крупными работами последних лет являются исследования, посвященные анализу поведения РЗЭ в

Н.В. Гусева*,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, Институт природных ресурсов, ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский политехнический университет



поверхностных водах суши и в океане [14], минеральных и поверхностных водах Приморья [15, 16] и шахтных водах [17]. Целью данной работы является исследование поведения РЗЭ в ультрапресных водах районов многолетней мерзлоты на примере междуречья Ензорьяхи и Юньяхи, восточный склон Полярного Урала.

Результаты и их обсуждение

На водораздельном пространстве рек Ензорьяха и Юньяха наиболее распространены ультрапресные воды с минерализацией от 11 до 100 мг/л, на фоне которых более локально проявлены воды с минерализацией до 500 мг/л. Геохимическая обстановка исследуемой территории может быть в целом оценена как типичная для про-

* Адрес для корреспонденции: Guseva24@yandex.ru

межуточных сред – болотных и грунтовых вод. Она характеризуется значениями pH от 3,3 до 9,7 и Eh от -68 до 347 mV, при наиболее часто встречающихся значениях 150–200 mV. По соотношению основных ионов воды преимущественно HCO_3^- –Mg–Ca, HCO_3^- –Ca–Mg, реже HCO_3^- –Ca–Na. Катионный состав вод во многом отражает состав вмещающих отложений: в пределах интрузивных массивов среди катионов преобладает магний, на участках распространения карбонатных отложений – кальций. Воды карьеров, где активно протекают процессы окисления сульфидных руд, значительно возрастает доля SO_4^{2-} (до 25 %-экв) и воды становятся HCO_3^- – SO_4^{2-} –Ca [18]. При этом приуроченность карьеров к карбонатным отложениям определила не типичные относительно повышенные значения pH, в среднем 8,3 (табл. 1).

Особенностью состава изученных вод является накопление в растворе кремния и таких элементов-гидролизатов, как Fe, Mn, Al, Ni, содержание которых выше средних для вод тундровых ландшафтов [19] (табл. 1).

Содержание Σ РЗЭ в природных водах восточного склона Полярного Урала составляет от 0,04 до 229,87 мкг/л. Среднее содержание РЗЭ по мере увеличения атомного веса уменьшается от Y до Lu, что вполне согласуется с известной закономерностью поведения химических элементов в геологических оболочках Земли. При этом содержание РЗЭ с четными номерами по таблице Д.И. Менделеева выше, чем с нечетными, что является яркой иллюстрацией закона Оддо-Гаркинса. В целом, уровень концентраций РЗЭ в водах междуречья Ензорьяхи и Юньяхи значительно превышает кларк речных вод. Это характерно для всех элементов данной группы кроме Y (табл. 2). При этом концентрации РЗЭ в водах деятельного слоя вдвое выше, чем в озерных и речных.

Согласно анализу профилей распределения РЗЭ в природных водах отмечается идентичность их поведения в этих объектах (рис. 1). Во всех водах наблюдается относительно небольшое обогащение средними РЗЭ и положительная аномалия гольмия, которая наиболее ярко проявляется в водах деятельного слоя. В водах карьеров также отмечается обогащение средними РЗЭ, наблюдаются небольшие аномалии гольмия, тулия и лютеция. Аномалия лютеция проявляется и в природных водах, но не столь ярко.

Распространенность РЗЭ в водах во многом определяется параметрами геохимической обстановки, основными среди которых являются pH и Eh. Как показано на рис. 2 А, с ростом pH происходит снижение суммарно-

Ю.Г. Копылова,
кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии, Институт природных ресурсов, ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский политехнический университет

С.К. Леушина,
магистрант, Институт природных ресурсов, ФГБОУ ВПО Национальный исследовательский Томский политехнический университет

го содержания РЗЭ в водах, что является весьма типичным для элементов-гидролизатов. Изменение окислительно-восстановительных условий не оказывает значительного влияния на поведение РЗЭ (рис. 2Б). Увеличение минерализации в незначительной степени приводит к снижению их суммарного содержания в водах (рис. 2В).

Кислотно-щелочные условия вод также оказывают значительное влияние на миграционную способность РЗЭ. В слабокислых и кислых водах, обогащенных органическими веществами, большая часть РЗЭ мигрирует в форме органических комплексов с гуминовыми и фульвовыми кислотами [8]. Миграция РЗЭ в водах, содержащих органические соединения в незначительных количествах, осуществляется в большей степени в форме неорганических комплексных соединений, соотношение которых в водах определяется в большей степени величиной pH и наличием в растворе соответствующих лигандов [1]. Учитывая геохимические особенности вод изучаемой территории, с помощью программного продукта HydroGeo (автор М.Б. Букаты) рассчитаны формы миграции РЗЭ в речных и озерных водах. Изменение форм миграции РЗЭ в водах при различных значениях pH можно проследить на примере Ce^{3+} и Yb^{3+} . Как показано на рис. 3, в кислых водах ведущими формами являются трехвалентный катион (РЗЭ^{3+}), гидрокарбонатный комплекс (РЗЭНСO_3^{2+}) и комплексы с фтором (РЗЭF_2^{+} и РЗЭF_2^{+}).

Доля гидрооксокомплексов (РЗЭОН^+) в кислых водах невелика, но по мере увеличения pH их содержание возрастает и достигает максимума в нейтральных водах (рис. 3). В щелочных водах роль указанных комплексов уменьшается, а карбонатных (РЗЭСО_3^+) и комплексов с кислородом (РЗЭO^+) возрастает. Формирование комплексов с Cl^- и SO_4^{2-} зависит от наличия в растворе соответ-

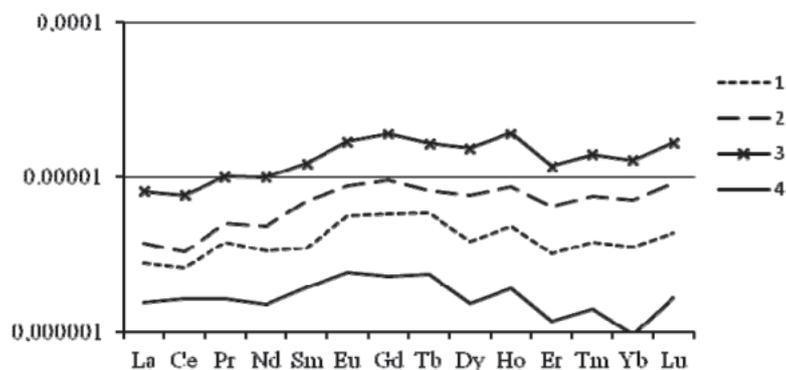


Рис. 1. Нормализованные по NASC концентрации РЗЭ в водах междуречья Ензорьяхи и Юньяхи. 1 – озера, 2 – реки, 3 – воды деятельного слоя, 4 – карьеры.

Таблица 1

Химический состав подземных и поверхностных вод междуречья
р. Юньяха и р. Энзорьяха, мг/л

Компо- ненты	Содержание					Среднее содержание в водах тундрового ландшафта [19]
	Воды деятель- ного слоя	Реки	Озера	Карьеры	Среднее	
pH	<u>3,3–8,8</u> 6,0	<u>3,8–8,2</u> 6,9	<u>5,3–9,2</u> 7,3	<u>4,3–8,9</u> 8,3	<u>3,3–9,2</u> 6,5	6,5
Eh, мВ	<u>-59–344</u> 185	<u>-68–347</u> 170	<u>47–341</u> 175	<u>15,7–388</u> 162	<u>-59–347</u> 178	–
HCO ₃ ⁻	<u>4,7–324,5</u> 46,8	<u>7,4–293,5</u> 64,8	<u>11,1–193,0</u> 56,6	<u>2,63–330,42</u> 133,63	<u>2,63–324,5</u> 65,0	61,5
Cl ⁻	<u>0,1–5,6</u> 0,40	<u>0,14–4,65</u> 0,38	<u>0,22–0,45</u> 0,30	<u>0,56–6,3</u> 2,92	<u>0,1–6,3</u> 0,35	4,03
SO ₄ ²⁻	<u>0,05–100</u> 0,44	<u>0,05–47</u> 1,77	<u>0,05–56</u> 0,24	<u>0,1–122</u> 12,81	<u>0,05–100</u> 4	4,84
Ca	<u>0,93–85,87</u> 8,60	<u>1,47–66,13</u> 10,99	<u>1,01–28,39</u> 5,41	<u>7,22–92,25</u> 47,76	<u>0,93–178,3</u> 11,46	13,0
Mg	<u>0,61–32,17</u> 4,51	<u>0,61–21,66</u> 4,16	<u>0,52–17,11</u> 3,68	<u>0,5–10,98</u> 3,14	<u>0,5–32,17</u> 4,61	5,4
Na	<u>0,05–42,49</u> 1,89	<u>0,53–19,01</u> 1,97	<u>0,51–13,41</u> 2,02	<u>0,43–15,87</u> 1,76	<u>0,05–42,49</u> 2,76	4,28
K	<u>0,015–7,31</u> 0,34	<u>0,014–1,20</u> 0,17	<u>0,06–1,24</u> 0,28	<u>0,068–5,69</u> 0,41	<u>0,015–7,31</u> 0,49	0,84
∑ _{солей}	<u>13–500</u> 85	<u>17–385</u> 80	<u>11–193</u> 57	<u>45–438</u> 218	<u>11–500</u> 156,31	102
Si	<u>0,04–74,41</u> 3,69	<u>0,17–18,64</u> 2,32	<u>0,12–5,60</u> 0,67	<u>0,11–8,68</u> 1,12	<u>0,04–74,4</u> 2,9	3,54
Fe	<u>0,044–278,94</u> 1,37	<u>0,024–12,58</u> 0,401	<u>0,087–1,96</u> 0,404	<u>0,054–5,19</u> 0,349	<u>0,05–278,94</u> 0,25	0,2
Al	<u>0,0007–42,09</u> 0,146	<u>0,007–51,44</u> 0,126	<u>0,013–1,30</u> 0,078	<u>0,0005–2,48</u> 0,0038	<u>0,01–42,09</u> 0,029	0,160
Mn	<u>0,0006–37,08</u> 0,137	<u>0,058–4,16</u> 0,026	<u>0,005–0,31</u> 0,03	<u>0,028–0,258</u> 0,004	<u>0,0006–37,08</u> 0,021	0,012
Число точек	193	330	164	11	693	–

Примечание: в числителе – минимальное и максимальное содержание, в знаменателе – среднее значение, «–» – данные отсутствуют, ∑_{солей} – минерализация.

ствующих лигандов. Выявленные закономерности характерны для всех РЗЭ как в озерных, так и в речных водах.

Формирование геохимической обстановки природных вод тесно связано с процессами взаимодействия в системе вода – порода [20]. В рассматриваемом районе преимущественно распространены алюмосиликатные породы с подчиненным развитием карбонатных. Это позволяет предполагать, что основное обогащение вод химическими элементами происходит за счет процессов гидролиза первичных алюмосиликатов и в меньшей степени – растворения карбонатов. Термодинамический анализ состояния равновесия природных вод относительно породобразующих минералов показал [20], что все без исключения рассма-

триваемые воды не равновесны с эндогенными алюмосиликатами и находятся в состоянии равновесия со вторичными минералами (окислами алюминия, железа, каолинитом, монтмориллонитом, кальцитом, родохрозитом, доломитом). По состоянию равновесия вод [20] с каолинитом, монтмориллонитом и карбонатами с учетом высоких концентраций органических веществ выделены пять геохимических типов вод.

Выделенные геохимические типы вод по ионному составу – гидрокарбонатные, преимущественно кальциево-магниевые и, вместе с тем, они различаются по минерализации, pH, концентрациям типоморфных элементов: алюминия, железа, кремния, кальция (табл. 3) [21].

Таблица 2

Среднее содержание РЗЭ в природных водах междуречья Юнь-яхи и Ензорьяхи, мкг/л

Компонент	Озера	Реки	Воды деятельного слоя	Карьеры	Среднее	Кларк речной воды
Y	0,10	0,18	0,36	0,036	0,17	0,70
La	0,09	0,12	0,26	0,05	0,13	0,05
Ce	0,19	0,24	0,56	0,12	0,27	0,08
Pr	0,03	0,04	0,08	0,013	0,04	0,01
Nd	0,11	0,16	0,33	0,05	0,17	0,04
Sm	0,02	0,04	0,07	0,011	0,04	0,01
Eu	0,007	0,011	0,021	0,003	0,011	0,001
Gd	0,03	0,050	0,099	0,012	0,05	0,01
Tb	0,005	0,007	0,014	0,002	0,007	0,001
Dy	0,02	0,04	0,08	0,008	0,04	0,01
Ho	0,005	0,009	0,02	0,002	0,009	0,001
Er	0,011	0,022	0,04	0,004	0,021	0,004
Tm	0,0019	0,0038	0,007	0,0007	0,004	0,001
Yb	0,011	0,022	0,04	0,003	0,020	0,004
Lu	0,0021	0,0044	0,008	0,0008	0,0042	0,001

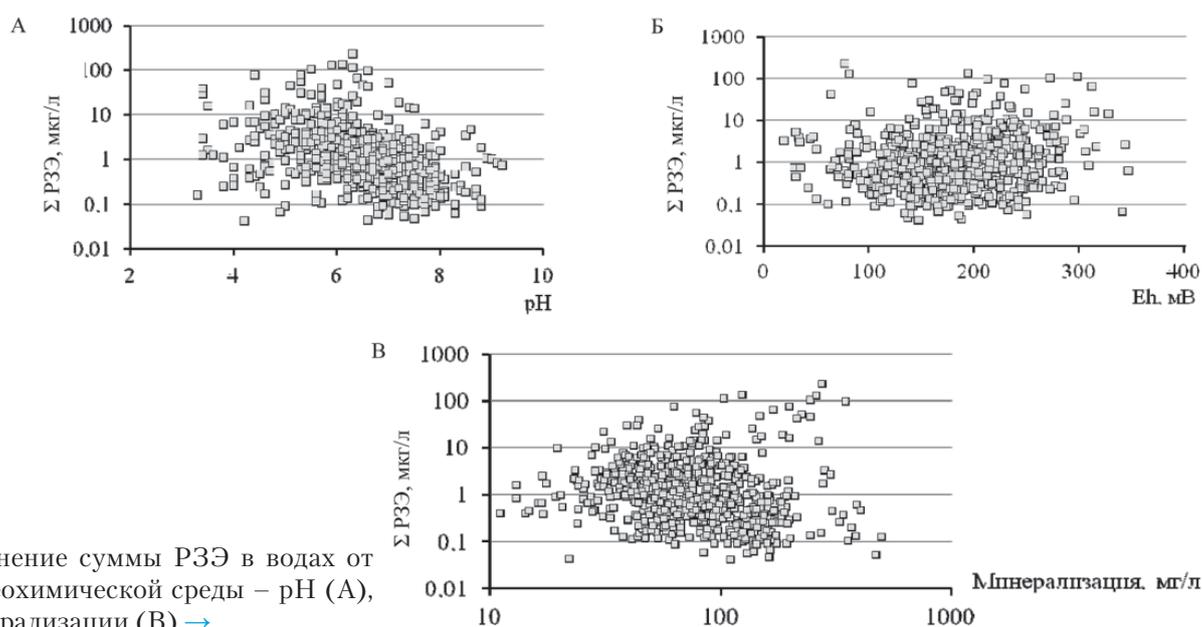


Рис. 2. Изменение суммы РЗЭ в водах от параметров геохимической среды – pH (А), Eh (Б) и минерализации (В) →.

↓ **Рис. 3.** Изменение формы миграции Ce (А) и Yb (Б) при различных значениях pH.

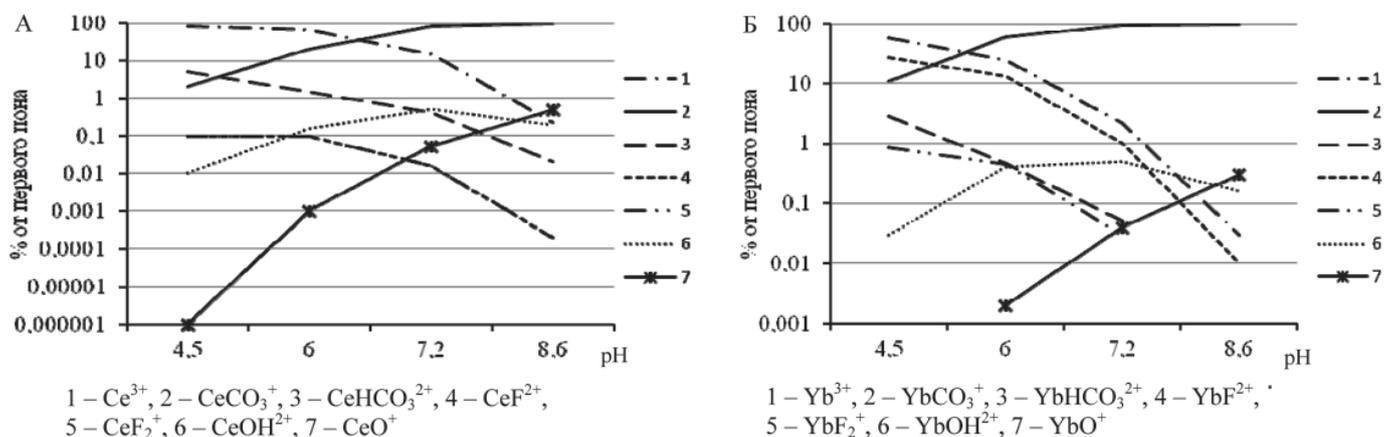


Таблица 3

Характеристика геохимических типов вод междуречья Ензорья и Юньяхи, мг/л

Компоненты	Геохимические типы вод				
	Кислый органический	Кислый кремнисто-органический	Алюминиево-кремнистый тип	Кремнистый кальциевый	Кремнисто-кальциево-марганцевый
Необходимое химическое условие	Равновесие с гидроксидами железа, алюминия	Равновесие с каолинитом, высокое содержание органических веществ	Равновесие с каолинитом	Равновесие с Са-монтмориллонитом	Равновесие с кальцитом, родохрозитом, доломитом
pH	6,4	5,6	6,4	7,0	7,9
Eh, mV	161	185	188	156	173
HCO ₃ ⁻	38,9	57,5	60,3	129,4	138,5
SO ₄ ²⁻	1	4	3	11	15
Cl ⁻	0,31	0,70	0,28	0,35	0,49
Na ⁺	1,4	1,9	2,0	3,5	2,6
Mg ²⁺	3,1	4,6	5,0	8,9	5,9
K ⁺	0,23	0,99	0,17	0,57	0,30
Ca ²⁺	4,8	7,5	8,6	26,9	34,8
Сумма ионов	51	80	81	174	190
Si	1,08	4,90	3,95	7,07	3,73
ФК	10,29	12,58	4,84	3,89	4,52
ГК	1,42	1,56	0,77	0,55	0,66
Fe	0,77	9,24	0,46	1,45	0,35
Mn	0,057	1,417	0,052	0,309	0,019
Y*	0,14	0,92	0,19	0,20	0,05
La*	0,11	0,79	0,14	0,24	0,04
Ce*	0,25	2,22	0,28	0,47	0,08
Pr*	0,04	0,25	0,05	0,06	0,01
Nd*	0,15	1,07	0,19	0,25	0,04
Sm*	0,03	0,23	0,04	0,05	0,01
Eu*	0,009	0,077	0,011	0,014	0,003
Gd*	0,05	0,32	0,06	0,07	0,01
Tb*	0,007	0,044	0,008	0,008	0,002
Dy*	0,03	0,23	0,04	0,05	0,01
Ho*	0,008	0,045	0,010	0,010	0,002
Er*	0,02	0,13	0,02	0,02	0,004
Tm*	0,003	0,021	0,004	0,005	0,001
Yb*	0,02	0,13	0,02	0,02	0,004
Lu*	0,003	0,020	0,004	0,004	0,001
∑РЗЭ*	0,87	6,50	1,07	1,48	0,27
Объем выборки, точки	213	56	344	44	43

Примечание: * – содержание в мкг/л.

Распределение РЗЭ в водах различных геохимических типов вод является отражением соотношения процессов накопления элементов в растворе и их выноса со вновь формирующейся вторичной фазой на различных этапах взаимодействия в системе вода – порода. Перераспределение элементов между раствором и вторичной фазой определяется степенью обогащения вод химическими элементами за счет их поступления из первичной породы, особенностью миграции элементов в растворе, сорбционной способностью вновь образующейся вторичной фазы. На сорбционную способность, в частности, глинистых минералов положительно влияют их структурный тип (максимум – для монтмориллонита, в меньшей степени для каолинита), рост pH раствора, несовершенство структуры и высокая дисперсность минерала [22].

Концентрации РЗЭ в геохимических типах вод увеличиваются в следующей последовательности: кислый кремнисто-органогенный тип (равновесие с каолинитом) > кремнистый кальциевый тип (равновесие с монтмориллонитом) > кислый органогенный тип (равновесие с гетитом) и алюминиево-кремнистый тип (равновесие с каолинитом) > кремнисто-кальциево-марганцевый тип (равновесие с кальцитом). Так, из анализа рис. 4 следует, что воды, равновесные с глинистыми минералами, обогащены РЗЭ.

Самые высокие концентрации РЗЭ содержат воды кислого кремнисто-органогенного типа, суммарное содержание которых составляет в среднем 6,50 мкг/л. Для вод рассматриваемого типа характерны низкие значения pH (около 5,9) и высокие концентрации органических веществ (с содержанием фульвокислот до 11,05 мг/л) [21]. Эти факторы определяют благоприятные условия для миграции РЗЭ как элементов-ком-

плексообразователей. По результатам исследований американских ученых показана особая роль органического вещества в миграции РЗЭ в подземных водах – например, Eu образует устойчивые комплексы с фульвовыми и гуминовыми кислотами в околонейтральных водах [8]. Формирование органических комплексных соединений РЗЭ в кислом кремнисто-органогенном типе вод улучшает их миграционную способность и позволяет «сопротивляться» процессам сорбции глинистыми минералами [12] и накапливаться в водах до значительных концентраций.

В водах кислого кремнисто-органогенного типа наиболее ярко проявлены процессы дифференциации РЗЭ, выражающиеся в их обогащении средними РЗЭ (рис. 4). Подобные процессы обогащения вод с высоким содержанием органических веществ средними РЗЭ отмечались при исследованиях болот штата Вирджиния, США [8]. Анализ соотношения легких и тяжелых РЗЭ в водах кислого кремнисто-органогенного типа показал относительное обеднение La, Ce, Pr, Nd и обогащение Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, на фоне которых отмечается отрицательная аномалия Eu. По данным некоторых исследователей [22] это может быть связано с избирательной сорбционной способностью глинистых минералов, обеспечивающей преимущественную сорбцию каолинитом легких РЗЭ.

Воды кремнистого кальциевого типа в меньшей степени обогащены РЗЭ, среднее суммарное содержание которых в водах данного типа составляет 1,48 мкг/л, что существенно ниже их содержаний в водах кислого кремнисто-органогенного типа. Возможно, это связано с процессами выноса РЗЭ с формируемыми монтмориллонитами, обладающими относительно каолинита большей



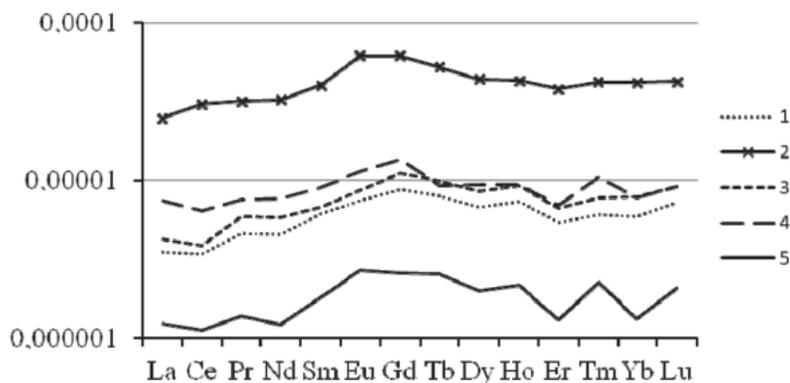


Рис. 4. Нормализованные по NASC концентрации РЗЭ в геохимических типах вод междуречья Ензорьяхи и Юньяхи. 1 – кислый органогенный тип; 2 – кислый кремнисто-органогенный тип; 3 – алюминиево-кремнистый тип; 4 – кремнистый кальциевый тип; 5 – кремнисто-кальциево-марганцевый тип.

обменной емкостью и способностью к сорбированию.

Практически равное суммарное содержание РЗЭ отмечается в водах кислого органогенного и алюминиево-кремнистого типов (0,87 и 1,07 мкг/л, соответственно). Однако уровень накопления РЗЭ в этих типах вод обусловлен различными геохимическими процессами. Воды железисто-алюминиевого типа обогащены органическим веществом ($ФК_{ср} = 10,29$ мг/л, $ГК_{ср} = 1,42$ мг/л), что также как и в водах кислого кремнисто-органогенного типа способствует водной миграции РЗЭ, но их содержание в данном типе вод в 8 раз меньше. Столь низкий уровень накопления РЗЭ в водах обусловлен снижением масштабов поступления их в раствор из-за малого времени взаимодействия в системе вода – порода. Воды алюминиево-кремнистого типа находятся на той же стадии развития системы вода – порода, что и воды кислого кремнисто-органогенного типа, но низкое содержание органических

веществ ($ФК_{ср} = 4,84$ мг/л, $ГК_{ср} = 0,77$ мг/л) в этих водах не позволяет РЗЭ накапливаться в значительном количестве.

В водах кремнисто-кальциево-марганцевого типа отмечается минимальное среди всех геохимических типов вод суммарное содержание РЗЭ (0,27 мкг/л), что соответствует уровню кларка речных вод. По оценкам некоторых исследователей иногда в слабощелочных водах может складываться благоприятная обстановка для водной миграции РЗЭ [12]. Этому способствует образование комплексных соединений РЗЭ с карбонатными ионами, что повышает их миграционную способность. Воды рассматриваемого типа характеризуются наибольшим временем взаимодействия в системе вода – порода, что, наряду с благоприятными условиями миграции, должно приводить к значительному обогащению вод РЗЭ. Необходимо помнить и об активно протекающих в рассматриваемом типе вод сорбционных процессах, приводящих к выносу из раствора компонентов со вторичной фазой, что препятствует их накоплению в растворе.

Зачастую рассматриваемые природные воды являются источниками водоснабжения местного населения и в этой связи встает вопрос оценки их качества, в том числе и по содержанию в них РЗЭ. Токсичность этих элементов невелика, однако согласно нормативным документам [23] среди всех РЗЭ нормируются лишь два элемента – самарий и европий, нормы которых составляют 0,024 и 0,3 мг/л, соответственно. Относительно рассматриваемых вод можно сказать, что по содержанию самария и европия они соответствуют требованиям, предъявляемым к водам источников централизованного водоснабжения. Вместе с тем для рассматриваемых вод, имеющих очень низкую минерализацию, следовало бы говорить о нижних пределах биологически



значимых концентраций РЗЭ, однако для этих элементов они не установлены, их биологическая роль изучена слабо и этот вопрос остается открытым.

Заключение

Таким образом, уровень накопления РЗЭ в ультрапресных водах междуречья Энзорьяхи и Юньяхи превышает кларк речных вод. Основным фактором, определяющим распространенность и формы миграции РЗЭ в рассматриваемых водах, являются кислотно-щелочные свойства. В процессе взаимодействия в системе вода – порода происходит фракционирование и избирательное накопление РЗЭ в геохимических типах вод, характеризующихся высоким содержанием органических веществ и достаточно длительным временем взаимодействия в системе вода – порода. Наименьшим уровнем обогащения РЗЭ характеризуются воды с более высокими рН, равновесными с карбонатными минералами, обладающими высокими сорбционными свойствами. Оценка содержания РЗЭ относительно нормативов для вод централизованного водоснабжения указывает также на их низкий уровень, но так как биологическая ценность этих элементов изучена недостаточно, встает вопрос о необходимости определения для рассматриваемых вод нижних пределов биологически значимых концентраций РЗЭ.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 годы» ГК 11.519.11.6044 от 20.06.2012 и РФФИ 11-05-98032-р_сибирь_a, 11-05-00929-а

Литература

1. Biddau R. Rare earth elements in waters from the albitite-bearing granodiorites of Central Sardinia, Italy / R. Biddau, R.Cidu, F.Frau // *Chemical Geology*. 2002. V. 182. № 1. P. 1-14.
2. Leybourne M.I. Rare earth elements (REE) and yttrium in stream waters, stream sediments, and Fe–Mn oxyhydroxides: Fractionation, speciation, and controls over REE + Y patterns in the surface environment / M.I. Leybourne, K.H. Johannesson // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2008. V. 72. № 24. P. 5962-5983.
3. Ferreira da Silva E. Mineralogy and geochemistry of trace metals and REE in volcanic massive sulfide host rocks, stream

Ключевые слова:

редкоземельные
элементы,
Полярный Урал,
геохимические
типы вод

sediments, stream waters and acid mine drainage from the Lousal mine area (Iberian Pyrite Belt, Portugal) / E. Ferreira da Silva, I. Bobos, J.X. Matos, C. Patinha, A.P. Reis, E. Cardoso Fonseca // *Applied Geochemistry*. 2009. V. 24. № 3. P. 383-401.

4. Bozau E. Light Rare Earth Elements enrichment in an acidic mine lake (Lusatia, Germany) / E. Bozau, M. Leblanc, J.L. Seidel, H.J. Stärk // *Geothermics*. 2005. V.15. № 2. P. 151-175.
5. Gammons C.H. Hydrogeochemistry and rare earth element behavior in a volcanically acidified watershed in Patagonia, Argentina / C.H. Gammons, S.A. Wood, F. Pedrozo, J.C. Varekamp, B.J. Nelson, C.L. Shope, G. Baffico // *Chemical Geology*. 2002. V. 162. № 2. P. 29-45.
6. Ronnback P. Comparison of the behaviour of rare earth elements in surface waters, overburden groundwaters and bedrock groundwaters in two granitoidic settings, Eastern Sweden / P. Ronnback, M. Astroma, J.P. Gustafsson // *Applied Geochemistry*. 2008. V. 23, № 7. P. 1862-1880.
7. Davranche M. Competitive binding of REE to humic acid and manganese oxide: Impact of reaction kinetics on development of cerium anomaly and REE adsorption / M. Davranche, O. Pourret, G. Gruau, A. Dia, D. Jin, D. Gaertner // *Chemical Geology*. 2008. V. 247. № 1-2. P. 154-170.
8. Johannesson K.H. Rare earth element concentrations and speciation in organic-rich blackwaters of the Great Dismal Swamp, Virginia, USA / K.H. Johannesson, J. Tang, J.M. Daniels, W.J. Bounds, D.J. Burdige // *Chemical Geology*. 2004. V. 209. № 3-4. P. 271-294.
9. Steinmann M. Controls on transport and fractionation of the rare earth elements in stream water of a mixed basaltic–granitic catchment basin (Massif Central, France) / M. Steinmann, P. Stille // *Chemical Geology*. 2008. V. 254. № 1-2. P. 1-18.
10. Bagard M.L. Seasonal variability of element fluxes in two Central Siberian rivers draining high latitude permafrost dominated areas / M.L. Bagard, F. Chabaux, O.S. Pokrovsky, J. Viers, A.S. Prokushkin, P. Stille, S. Rihs, A. Schmitt, B. Dupre // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2011. V. 75. № 12. P. 3335-3357.
11. Pokrovsky O.S. Trace element fractionation and transport in boreal rivers and soil porewaters of permafrost-dominated basaltic terrain in Central Siberia / O.S. Pokrovsky, J. Schott, B. Dupre // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2006. V. 70. № 13. P. 3239-3260.
12. Крайнов С.П. Геохимия редких элементов в подземных водах (в связи с геохимическими поисками месторождений). М.: Недра, 1973. 295 с.

13. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. М.: Недра, 1976. 268 с.
14. Дубинин А.В. Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Недра, 2006. 360 с.
15. Чудаев О.В. Геохимические особенности поведения редкоземельных элементов углекислых вод Сихотэ-Алиня / О.В. Чудаев, В.А. Чудаева // Гидрохимия осадочных бассейнов. Труды Российской научной конференции, Томск: НТЛ, 2007. С. 168-173.
16. Чудаева В.А. Особенности накопления и фракционирования редкоземельных элементов в поверхностных водах дальнего востока в условиях природных и антропогенных аномалий / В.А. Чудаева, О.В. Чудаев // Геохимия. 2011. № 5. С. 523-549.
17. Табаксблат Л.С. Распространение и миграционные возможности редкоземельных элементов в глубокотрансформированных шахтных водах Кизеловского угольного бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Научные чтения памяти П.Н. Чирвинского. 2010. № 13. С. 300-306.
18. Гусева Н.В. Химический состав природных вод междуречья рек Энзорьяха и Юньяха (восточный склон Полярного Урала) / Н.В. Гусева, Ю.Г. Копылова // Вестник Томского государственного университета. 2009. № 327. С. 224-229.
19. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
20. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода: в 5 томах. Т.2: Система вода-порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев и др. Издательство СО РАН. 2007. 389 с.
21. Гусева Н.В. Гидрогеохимические поиски золотого оруденения на междуречье Энзорьяха и Юньяхи (восточный склон Полярного Урала) / Н.В. Гусева, Ю.Г. Копылова, С.Л. Шварцев // Разведка и охрана недр. 2010. № 11. С. 54-58.
22. Бурков В.В. Литофильные редкие элементы в корах выветривания. М.: ИМГРЭ, 1996. 238 с.
23. СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»



N.V. Guseva, Yu.G. Kopylova, S.K. Leushina

DISPERSAL OF RARE EARTH ELEMENTS IN NATURAL WATER OF INTERSTREAM AREA OF THE RIVERS YUN'YAKHA AND ENZOR'YAKHA (EAST HANG OF THE POLAR URALS)

Peculiarities of water composition of interstream area of the rivers Yun'yakha and Enzor'yakha are viewed and data on rare earth element concentrations in underground, river, lake and quarry water are represented. It is shown that the rare earth element content and their migration forms depend on geochemical environment. Processes of rare earth element redistribution in system «water-rock» are analyzed and special role of degree of water enrichment by organic materials and interaction time in system «water-rock» are detected.

Key words: rare earth elements, Polar Ural, geochemical water type