

этом случае состав подотвальных вод будет аналогичен составу вод водотоков, дренирующих рудные тела в естественном залегании.

Экспериментальное исследование динамики состава потенциальных дренажных вод, выполняющееся для нескольких образцов пород Баимской рудной зоны, показывает, что и при долговременном взаимодействии пород с осадками формирования кислых высокометаллических стоков не происходит - величина pH еженедельных фильтратов за весь период эксперимента остается в околонейтральном диапазоне, содержания макро- и микрокомпонентов в еженедельных фильтратах снижаются и с десятой недели эксперимента в целом достигают уровня содержаний в природных водах фоновых водотоков территории. (табл.1).

Таблица

**Сравнительная характеристика состава поверхностных вод и водных фильтратов из пород в районе Находкинского рудного поля (за исключением пород зоны пиритовой оторочки)**

Элемент	Состав поверхностных вод [1]		Потенциальный состав подотвальных вод				
	Фоновые	Рудные	Начальный этап		Долговременное хранение		
			Статический тест	Неделя 1 - 5	Неделя 10	Неделя 30	Неделя 55
Макросостав, мг/л							
pH <sub>n</sub>	6,4 - 6,7	4,4 - 4,7	7,0 - 7,8	7,1 - 8,1	7,0 - 7,5	7,1 - 7,6	7,0 - 7,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22 - 72	3,7 - 6,1	4,7 - 42,9	21,3 - 47,3	18,5 - 30,6	19,5 - 32,5	17,6 - 26,9
Cl <sup>-</sup>	3,2 - 4,3	3,2 - 3,9	3,8 - 13,4	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17 - 77	55 - 559	32,2 - 438	26,2 - 513	5,9 - 59,9	10,7 - 45,6	8,7 - 58,0
Ca <sup>2+</sup>	8,2 - 25	14 - 93	3,4 - 113	9,1 - 181,2	4,6 - 29,6	4,0 - 13,4	8,0 - 15,3
Mg <sup>2+</sup>	1,1 - 9,2	5,8 - 96	0,2 - 27,3	1,2 - 38,6	2,0 - 5,0	0,6 - 7,8	0,4 - 10,1
Na <sup>+</sup>	1,7 - 2,2	2,1 - 16	2,9 - 27,8	1,0 - 63,7	0,5 - 0,9	0,4 - 1,0	
K <sup>+</sup>	0,4 - 1,3	0,5 - 2,9	5,2 - 14,6	3,9 - 43,8	2,4 - 2,5	1,0 - 1,6	
M	57 - 161	85 - 758	68 - 650	129 - 997	54 - 203	32 - 94	35 - 116
Микроэлементы, мкг/л							
Cu	3,3-11	360-3690	3-70	3-72	4,9-84	2,7-55	2,2-11
Mo	0,14-0,3	0,9-8,9	0,6-118	4-50	2,1-12,3	1,5-8,8	1,3-4,2
Zn	2,5-13	40-1020	2,3-283	1,5-6,2	1,7-0,3	1,8-8,3	2,1-7,3
Pb	0,1-0,8	2,8-20	0,3-5,0	0,3-7,9	0,5-8,6	0,3-4,7	0,1-1,2
Cd	0,01-0,03	0,7-2,9	0,04-1,7	0,05-0,5	0,03-0,2	0,02-0,1	0,05-0,1
Fe	9,0-20	131-2800	1,7-31	1,8-162	1,8-25	1,5-11	0,7-3,2
Mn	1,5-9,0	269-4210	30-1900	22-400	14-146	17-77	15-47
Sr	65-182	81-590	70-5260	390-5515	212-2360	151-991	75-202

Литература

1. Лубкова Т.Н. и др. Геохимические особенности состава поверхностных вод Находкинского медно-порфирового рудного поля, Чукотка // Вода: химия и экология. — 2013. — № 12. — С.29–34.
2. Марущенко Л.И. и др. Кварц-серицитовые метасоматиты и аргиллизиты Au-Mo-Cu-месторождения Песчанка (Чукотка), Россия // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57. № 3. – С. 213–225.
3. Acid rock drainage prediction for host rocks of porphyry copper deposits in the Baimka ore trend (static and kinetic tests) / Yablonskaya D., Lubkova T., Shestakova T. et al. // Proceedings of 17 international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2017. — "Alexander Malinov" Bulgaria, 2017. – Vol. 52 of Soils, Forest ecosystems. – P. 63–71.
4. ASTM D5744 – 13. Standard Test Method for Laboratory Weathering of Solid Materials Using a Humidity Cell. Copyright by ASTM International, United States. – 2013. – 23 p.
5. Global Acid Rock Drainage (GARD) Guide. Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulfidic Geologic Materials. 2014. November Available: <http://www.gardguide.com/images/5/5f/TheGlobalAcidRockDrainageGuide.pdf>.

**ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В МОДЕЛЬНЫХ РАСТВОРАХ – АНАЛОГАХ ПРИРОДНЫХ ВОД**

**А.С. Торопов**

Научный руководитель: д.г.-м.н, профессор Л.П. Рихванов

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

Для предсказания поведения и миграции токсичных элементов в водных экосистемах необходимы сведения о формах их нахождения. В зависимости от путей и источников поступления микрокомпонентов в окружающую среду их химические формы могут быть как легко- и труднорастворимыми. При этом отмечается колебание размеров частиц, с которыми связаны тяжелые и токсичные металлы от нескольких микрон до нанометров, что повышает значимость гидрогеохимических условий их миграции. Для формирования качественной физико-

химической модели миграции и математической модели массопереноса необходимо более детальное изучение физико-химического состояния техногенных элементов, их сорбционного взаимодействия с компонентами водных систем и способности менять форму существования в зависимости от основных физико-химических параметров воды. Известно, что некоторые элементы содержатся в воде в следовых или ультранизких концентрациях, поэтому они будут мигрировать в условиях, которые создадут типоморфные элементы (макрокомпоненты) [1]. Также важно понимать, что по поведению в природных системах и особенностям миграции, элементы и радионуклиды образуют общие геохимические группы. Детальное исследование элементов, входящих в эти группы, может быть информативным для понимания механизмов, определяющих форму нахождения и техногенных радионуклидов.

Цель данной работы – изучение форм нахождения токсичных элементов в модельных растворах – аналогах природных вод методом каскадного фильтрования. Проведение исследований по определению форм нахождения в воде в лабораторных условиях позволит получить результаты для оценки миграционной способности токсичных элементов с учетом формы их существования и потенциальной токсичности и позволит прогнозировать их формы нахождения, их распределение в реальных водных объектах, близких по составу, окислительно-восстановительному состоянию и другим факторам. Данный метод позволяет выделять истинно растворенные, коллоидные и взвешенные формы нахождения в воде в зависимости от размера частиц при ступенчатом фильтровании с убыванием размеров пор фильтра.

Для понимания миграционной способности токсичных элементов и их распределения по формам нахождения в природных водах были поставлены модельные эксперименты. Для приготовления модельных растворов использован метод экстрагирования максимальной приближенности к натурному объекту – природной воде, т.е. имитировались природные процессы взаимодействия грунта с водой. В модельном эксперименте скорость процессов взаимодействия фаз в системе грунт - вода в модельных экспериментах была многократно увеличена за счет механического воздействия (диспергирования частиц и взбалтывания) в лабораторных условиях. Выделяли следующие формы нахождения в зависимости от размера фракций: псевдоколлоидная (100-450 нм), коллоиды высокомолекулярных веществ (7-100 нм), органические коллоиды низкомолекулярных веществ (3-7 нм) и растворенная (<3 нм), представляющая собой сумму ионных форм и низкомолекулярных органических веществ гуминовой природы. Фильтры 7 и 3 нм соответствовали 100 и 10 кДа по величине номинально отсекаемой молекулярной массы.

Модельные растворы (водные вытяжки) для проведения исследований были приготовлены с использованием образцов грунта с площадки «Опытное поле» Семипалатинского испытательного полигона, в местах, подверженных техногенному загрязнению. Результаты исследований форм нахождения радиоактивных элементов были обсуждены ранее [2]. Установлено, что цезий-137 преимущественно находится в растворенной форме, и частично – коллоидной, изотопы плутония распределяются по фракциям коллоидов различного размера. Преобладающая форма миграции стронция-90 – растворенная. Всего было изучено 4 модельных растворов, которые отличались между собой по макросоставу и основным физико-химическим характеристикам, что в первую очередь определялось характеристиками грунта, который использовался для их приготовления. Макрокомпонентный состав модельных растворов и величину минерализации определяли согласно ГОСТ 26449.1-85. pH определялся потенциометрически с использованием иономера Анион-4100. Содержание растворенного органического вещества измеряли методом бихроматной окисляемости с измерением на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ. Элементный состав проб определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой в соответствии со стандартом РК ИСО 17294-2-2006 на приборе Elan-9000.

Так, уровень pH полученных модельных растворов колебался в диапазоне от 6,2 до 8,4, что характерно для нейтральных и слабощелочных вод, минерализация – от 320 до 720 мг/л (пресные воды), содержание органического вещества – от <10 до 40 мг/л. Анализ полученных данных показал, что по своим физико-химическим свойствам полученные модельные растворы были близки к природным пресным водам, которые широко встречаются на территории Семипалатинского испытательного полигона.

При непосредственном изучении форм нахождения методом каскадной фильтрации, элементы также объединяются в группы [3]. Так, выделяют элементы, которые адсорбционно связаны с коллоидами гидроксидов Fe (легкие редкоземельные элементы La, Ce, Pr, Nd, ряд элементов, склонных к гидролизу – Al, Ti, Zr, V, Mn, Co и Pb). Во вторую группу включают элементы, которые способны образовывать высокомолекулярные и металлоорганические комплексы – Fe, Al, V, Ni, Ga, Y, Zr, Nb, Ba, частично W, Bi, Th. Эта группа является переменной по составу, элементы могут переходить в другие группы в зависимости от условий среды. В третью группу включают элементы, которые находятся в комплексах с низкомолекулярным органическим веществом (Cr, Cu, Ni, Co, тяжелые редкоземельные металлы, Th, U). Элементы 4 группы – Si, K, Na, Zn, Rb, Cs, Sr, Sc – не включаются в сложные комплексные соединения с органическим веществом, и не выводятся в течение каскадной фильтрации. Данные элементы находятся в воде в ионной форме, либо связаны с простыми комплексами [3].

Таким образом, обобщая полученные результаты по модельным растворам, к элементам, мигрирующим преимущественно в растворенном виде по результатам исследований необходимо отнести Cu, Sr, As, Cd.

Для Ba отмечается неоднозначный характер распределения форм нахождения в различных модельных растворах. Так, для модельного раствора №3 отмечается ступенчатое снижение концентрации Ba, тогда как в других модельных растворах концентрация более стабильна и преимущественно растворенная.

Концентрация U при каскадной фильтрации модельных растворов №1 и 2 практически не изменялась, оставаясь в растворе, однако для модельного раствора №3 наблюдалось уменьшение его содержания на треть. Преобладающая фракция – менее 3 нм.

При каскадной фильтрации после мембраны 100 нм для модельного раствора №1 отмечалось снижение концентрации элементов, традиционно находящихся в растворенной форме. Так, после данной стадии фильтрации содержание Ga снизилось на 27%, As – 58%, Sr – 4%, Cd – 37%.

В модельных растворах №1 и №4 Се задерживался при каскадной фильтрации и в фильтрате после мембраны 3 нм был ниже предела обнаружения.

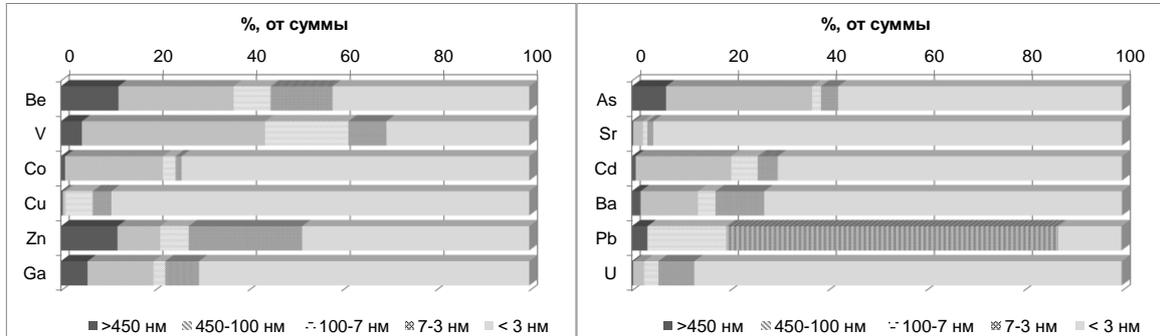


Рис. 1 Распределение форм нахождения элементов в модельных растворах

При определении форм нахождения токсичных элементов в модельных растворах – аналогах природных вод установлено, что такие элементы как Be, Cu, Sr, As, Cd находились преимущественно в растворенной форме. Для элемента Ba отмечается неоднозначный характер распределения форм нахождения в модельных растворах, что может определяться различием из физико-химического и макрокомпонентного состава. Концентрация U при каскадной фильтрации практически не изменялась, и данный элемент находился в растворенной форме, однако для модельного раствора №3 наблюдалось уменьшение его содержания на треть после фильтра 3 нм (10 кДа), который отличался наиболее высокой концентрацией растворенного органического вещества в ряду исследованных растворов.

Преобладающая фракция < 3 нм для большинства элементов может быть следствием повышенного содержания растворенных органических веществ гуминовой природы, которые обладают способностью к комплексообразованию металлов. Размеры молекул фульвокислот и части гуминовых кислот меньше номинально отсекаемой молекулярной массы мембраны 3 нм (10 кДа). Таким образом, данная фракция представляет собой сумму ионных (истинно растворенных) форм и органических коллоидов.

Таким образом, представляется возможным использовать полученные данные применимо к прогнозу возможной миграции техногенных радионуклидов, в частности  $^{239+240}\text{Pu}$  – одного из наиболее опасных радионуклидов трансуранового ряда с набором свойств, определяющих вариативность химических свойств в зависимости от степени его окисления – переменная валентность, склонность к гидролизу и коллоидообразованию. Можно полагать, что данный радиоактивный элемент будет мигрировать аналогично элементам, связанным с высокомолекулярными коллоидами или псевдоколлоидами, коллоидами органических веществ, а также низкомолекулярными соединениями органических веществ. Радионуклид  $^{241}\text{Am}$  аналогично Се может быть связан в адсорбционные комплексы с псевдоколлоидами (частицами крупнее 100 нм).

Часть исследований была проведена при поддержке Министерства образования и науки Республики Казахстан, номер гранта 0122/14 ПЦФ и гранта Министерства образования и науки Российской Федерации (госзадание № 5.10015.2017/5.2/ДААД).

#### Литература

1. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. Изд-во: Астрей-2000. – 1999 г. – 610 с.
2. Торопов А.С. Формы нахождения радионуклидов в воде на основе модельных экспериментов // Проблемы геологии и освоения недр. Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. С. 823–824.
3. Ilina S., Lapitskiy S., Alekhin Y. et. al. Speciation, size fractionation and transport of trace elements in the continuum soil water – mire – humic lake –river –large oligotrophic lake of a Subarctic watershed // Aquatic Geochemistry. – 2016. – V. 22. – p. 65–95.

### КРАТКАЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ КОМПОНЕНТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ИЛЬБОКИЧСКОГО ЛИЦЕНЗИОННОГО УЧАСТКА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ) С.С. Улаева

Научный руководитель: профессор, д.г.н. О.Г. Савичев  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

На современном этапе развития промышленности остро стоит вопрос сохранения природной среды, и ее компонентов на территориях, подверженных техногенной нагрузке. По всей стране, на многих территориальных объектах нарушенность природных комплексов и сбой их привычного функционирования либо очевидны, либо неизбежны в связи с проникновением различного рода загрязнителей в природную систему и их взаимодействия с