



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 235–242

Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 235–242

<https://geo.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-235-242>, EDN: JLHVCI

Научная статья

УДК 556:556.153:550.423



Исследование пространственного распределения элементов в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак Семипалатинского испытательного полигона

Н. Ж. Мухамедияров¹✉, С. В. Макарычев², В. В. Колбин¹, М. Т. Дюсембаева¹, Е. З. Шакенов¹, Г. М. Есильканов¹, А. Е. Темиржанова¹, А. Ж. Ташекова¹, М. А. Умаров¹

¹Институт Радиационной Безопасности и Экологии, Республика Казахстан, область Абай, г. Курчатова, 071100, Бейбіт атом 2

²Алтайский государственный аграрный университет, Россия, Сибирский федеральный округ, Алтайский край, 656049, г. Барнаул, проспект Красноармейский, д. 98

Мухамедияров Нурлан Жумагазыевич, ведущий инженер лаборатории элементного анализа, mukhamediyarov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5073-5978>

Макарычев Сергей Владимирович, доктор биологических наук, профессор, makarychev1949@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3344-3943>

Колбин Владимир Валерьевич, инженер лаборатории элементного анализа, kolbin@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0447-1187>

Дюсембаева Мадина Талгатовна, доктор Ph.D., начальник лаборатории элементного анализа, koigeldinova@nnc.kz

Шакенов Ербол Зейнелгазинович, инженер лаборатории элементного анализа, shakenov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5707-8955>

Есильканов Гани Мухтарович, инженер лаборатории элементного анализа, yessilkanov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6834-2312>

Темиржанова Арай Ермековна, инженер лаборатории элементного анализа, temirzhanova@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2820-2731>

Ташекова Ажар Жумановна, доктор PhD, начальник группы разработки и аттестации стандартных образцов, Esenzholova@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2367-6498>

Умаров Мурат Алпыспаевич, кандидат химических наук, начальник отдела аналитических исследований, Umarov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4817-1242>

Аннотация. Представлены результаты изучения особенностей пространственного распределения макро- и микроэлементов в системе «вода – донные отложения» в русле ручья Узынбулак (площадка «Дегелен» Семипалатинского испытательного полигона (СИП), Казахстан). Исследования проводились в летний период 2015 г. По данным исследований состава химических элементов в поверхностных водах и донных отложениях ручья Узынбулак, было определено содержание Li, Be, Na, Mg, K, Ca, V, Ni, Mo, Fe, Sr, Al, Zn, Ba, La, Ce, U. Определен характер происхождения и основные факторы, обуславливающие повышенное содержание ряда исследуемых элементов. Рассмотрены основные механизмы формирования элементного состава в поверхностных водах, степень распространения элементов, превышающих ПДК, за пределы площадки «Дегелен».

Ключевые слова: химические элементы, вода, донные отложения, пространственное распределение, аккумуляция, Узынбулак, Дегелен

Для цитирования: Мухамедияров Н. Ж., Макарычев С. В., Колбин В. В., Дюсембаева М. Т., Шакенов Е. З., Есильканов Г. М., Темиржанова А. Е., Ташекова А. Ж., Умаров М. А. Исследование пространственного распределения элементов в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак Семипалатинского испытательного полигона // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. 2022. Т. 22, вып. 4. С. 235–242. <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-235-242>, EDN: JLHVCI

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

Study of spatial distribution of elements in the system “water – bottom sediments” of the Uzynbulak creek of the Semipalatinsk test site

N. Zh. Mukhamediyarov¹✉, S. V. Makarychev², V. V. Kolbin¹, M. T. Dyussebayeva¹, E. Z. Shakenov¹, G. M. Yessilkanov¹, A. E. Temirzhanova¹, A. Zh. Tashkova¹, M. A. Umarov¹

¹Institute of Radiation Safety and Ecology, 2 Beibit Atom St., Kurchatov 071100, Kazakhstan

²The Altai State Agricultural University, 98 Krasnoarmeyskiy Av., Barnaul 656049, Russia

Nurlan Zh. Mukhamediyarov, mukhamediyarov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0001-5073-5978>

Sergey V. Makarychev, makarychev1949@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3344-3943>

Vladimir V. Kolbin, kolbin@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0003-0447-1187>

Madina T. Dyussebayeva, koigeldinova@nnc.kz

© Мухамедияров Н. Ж., Макарычев С. В., Колбин В. В., Дюсембаева М. Т., Шакенов Е. З., Есильканов Г. М., Темиржанова А. Е., Ташекова А. Ж., Умаров М. А., 2022



Erbol Z. Shakenov, shakenov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0002-5707-8955>
Gani M. Yessilkanov, yessilkanov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0001-6834-2312>
Aray E. Temirzhanova, temirzhanova@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0003-2820-2731>
Azhar Zh. Tashekova, Esenzholova@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0002-2367-6498>
Murat A. Umarov, Umarov@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0002-4817-1242>

Abstract. The results of studying the features of the spatial distribution of macro- and microelements in the “water – bottom sediments” system in the channel of the Uzynbulak creek (“Degelen” site of the Semipalatinsk test site, Kazakhstan) are presented. The studies were carried out in the summer of 2015. As a result of the study of the chemical composition in surface waters and bottom sediments of the Uzynbulak creek, the content of Li, Be, Na, Mg, K, Ca, V, Ni, Mo, Fe, Sr, Al, Zn, Ba, La, Ce, U was revealed. The nature of the origin and the main factors determining the increased content of a number of the studied elements have been determined. The main mechanisms of the formation of the elemental composition in surface waters, the degree of spreading of elements exceeding the MPC (maximum permissible concentration) beyond the “Degelen” site are considered.

Keywords: chemical elements, water, bottom sediments, spatial distribution, accumulation, Uzynbulak, Degelen

For citation: Mukhamediyarov N. Zh., Makarychev S. V., Kolbin V. V., Dyussebayeva M. T., Shakenov E. Z., Yessilkanov G. M., Temirzhanova A. E., Tashekova A. Zh., Umarov M. A. Study of spatial distribution of elements in the system “water – bottom sediments” of the Uzynbulak creek of the Semipalatinsk test site. *Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences*, 2022, vol. 22, iss. 4, pp. 235–242 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1819-7663-2022-22-4-235-242>, EDN: JLHVCI

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC0-BY 4.0)

Введение. Характеристика объекта исследований

Ручей Узынбулак является наиболее крупным водотоком на территории горного массива Дегелен Семипалатинского испытательного полигона, его местоположение приурочено к крупному тектоническому разлому. На одноименной площадке проводились подземные ядерные испытания.

Общий механизм формирования поверхностного стока ручьев горного массива Дегелен характеризуется накоплением атмосферных осадков в естественных полостях и влиянием грунтовых вод. Дополнительной ключевой особенностью данной территории также является наличие техногенных полостей, сформированных в результате проведения подземных ядерных испытаний. При достижении определенного объема водотоки выходят из полостей на дневную поверхность. Водосборные ручьи из разных штолен и долин впадают в общий поток [1] долины ручья Узынбулак протяженностью около 20 км и разделяющей массив по линии юго-северо-запад. Русло ручья прослеживается и за пределами площадки «Дегелен».

В летний и осенний периоды наблюдается сезонное пересыхание ручья Узынбулак. Так, на участке от истока до 9 км ручей распадается на отдельные плесы. С 9-го км до границы площадки «Дегелен» (18 км от истока) ручей не пересыхает, а на остальной его части наблюдается сезонное уменьшение расхода воды.

К самому ручью и его притокам примыкают около 50 штолен. Данная особенность делает водоток аккумулятором продуктов выветривания самого горного массива, но, кроме того, в него попадают стоки из штолен с водопроявлениями [1]. Характерной особенностью ручья также является наличие поровых и трещинных подземных вод. Таким образом, данный водоем является значимым индикатором геохимической обста-

новки на этой территории, а также источником возможного выноса токсичных, тяжелых и радиоактивных элементов за пределы испытательного полигона. Ручей Узынбулак входит в акваторию левобережья р. Иртыш, главной водной артерии региона, поэтому фактор переноса и распределения химических веществ имеет большое значение. Территория СИП, помимо техногенно-обусловленных участков с повышенными концентрациями химических элементов, характеризуется разными рудопроявлениями и локальными областями накопления тяжелых металлов и загрязняющих веществ, которые под воздействием механизмов переноса и распределения представляют потенциальную угрозу населению и экологической обстановке на прилегающих территориях. Согласно данным опубликованных исследований [2], вода ручья Узынбулак характеризуется значительным превышением ПДК по бериллию и урану. Концентрации Li, Na, Be, Ca, K, Sr, Mo, U выше среднемировых показателей.

Для геохимических типов вод характерно единство процессов аккумуляции химических соединений, что обеспечивает однородность формирования гидрогеохимических совокупностей и позволяет производить оценку уровней концентрации химических элементов на разных этапах взаимодействия вод с горными породами [3]. При этом наблюдается обогащение вод химическими элементами. Характер водообмена показывает интенсивность данных преобразований, в той же мере, как и стадия взаимодействия в системе «вода – порода» [4–6].

Следует также отметить, что донные отложения могут служить источником вторичного загрязнения водной экосистемы [7], что свидетельствует об актуальности изучения миграции тяжелых металлов в системе «вода – донные отложения».



Для поверхностных вод ручья Узынбулак характерна средняя минерализация 0,25 г/л. Воды являются пресными, сульфатно-кальциевого состава. Концентрация исследуемых макрокомпонентов воды не превышает предельно допустимой концентрации (ПДК) вредных веществ в объектах хозяйственно-питьевого водоснабжения и мест культурно-бытового водопользования [8].

Цель исследования

Целью проведенных исследований являлось изучение пространственного распределения элементов в воде и донных отложениях для выявления процессов переноса микро-и макрокомпонентов по руслу ручья Узынбулак. Основные поставленные задачи включали в себя оценку механизмов формирования элементного состава поверхностных вод, их потенциального влияния на окружающую среду, а также оценку процесса перехода исследуемых элементов в системе «вода – донные отложения».

Материалы и методы

Отбор проб производился от истока ручья вниз по течению на дистанцию в 23 км. Расстояние между точками составило 500 м, а на отрезке от 9-го до 13-го – 250 м. Проводился сопряженный отбор проб воды и донных отложений в летний период. Данный метод отбора способствовал оценке пространственного распределения и процессов миграции элементов по руслу ручья.

Отбор проб с последующим консервированием воды осуществлялся в соответствии с ГОСТ Р 51592-2003 [9, 10]. На месте отбора проводились фильтрование (бумажный фильтр – «синяя лента») и консервация с использованием концентрированной HNO_3 . Отбор проб донных отложений осуществлялся в соответствии с ГОСТ 17.1.5.01 методом укола на глубину 0–5 см на площади 100 см² [11]. Проводились высушивание и взятие образца методом квартования с последующим поэтапным истиранием на дисковой мельнице.

Последующая пробоподготовка образцов донных отложений включала в себя приготовление выщелатов с помощью автоклавирования, центрифугирования и разбавления. Проанализирована только фракция, которая перешла в жидкость, поэтому анализ не дает представления о полном валовом составе элементов в данных образцах.

В исследовании применялись методы масс-спектрометрии (ИСП-МС, Elan 9000) и атомно-эмиссионной спектроскопии (ИСП-АЭС, iCAP 6300 Duo) с индуктивно-связанной плазмой. Для градуировки приборов использовались многоэлементные стандартные растворы (номера в реестре ГСИ РК KZ.03.02.00901-2010, KZ.03.02.00902-2010). Для контроля качества использовались растворы с аттестованной концентрацией.

Анализ проведен согласно методике ISO 17294–22003 (E) [12]. Полученный экспериментальный материал обработан с использованием программ STATISTICA и Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

Для исследования пространственного распределения элементов в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак было проанализировано содержание элементов, согласно следующему ряду: Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Mn, Co, V, Ni, Cu, Mo, Fe, Rb, Sr, Al, Zn, Ba, La, Ce, Pb, U. Результаты измерений представлены в таблице.

Из таблицы видно, что диапазон концентрации элементов в пробах воды варьируется в широких пределах от $n \times 10^{-2}$ мкг/л (V, Pb и легкие редкоземельные элементы (РЗЭ)) до $n \times 10^5$ мкг/л (Na, K, Mg и Ca). В соответствии с [13] наблюдается превышение среднего содержания Li, Be, Na, K, Ca, Sr, Mo и U в речных водах. Для средних значений содержания вышеуказанных элементов превышения значений ПДК не обнаружено.

Полученные данные по химическому составу донных отложений указывают на обогащение пород, слагающих долину ручья Узынбулак такими элементами, как Be, Mg, Cr, Zn, Pb и U. Их среднее содержание в несколько раз превышает кларковые значения в почвах мира. Пространственное распределение макроэлементов представлено на рис. 1.

Содержание K, Ca, Mg в системе «вода – донные отложения» практически одинаково на протяжении всего русла. Концентрация Na в осадочных породах при этом постепенно снижается, но в растворенной форме она постоянно растет. Всплески концентрации макрокомпонентов на 5-ом и 11-ом км наблюдались и в воде, и в донных отложениях. Обратная картина прослеживалась при исследовании V и Ni, поведение которых представлено на рис. 2.

Высокое содержание V и Ni в поверхностных водах ручья на 11-ом км объясняется вымыванием элементов из донных отложений, которые были привнесены и адсорбированы на данном участке в период весеннего половодья.

Пространственное распределение Li и Mo в системе «вода – донные отложения» в летний период представлено на рис. 3.

Высокое содержание Li в донных отложениях наблюдается на протяжении всего русла (рис. 3). Высокая концентрация Mo зафиксирована на 5-ом км и на участке от 9 до 12-го км. Высокое содержания этих элементов в донных отложениях может оказывать вторичное загрязнение поверхностных вод ручья Узынбулак в процессе десорбции при изменении физико-химических условий.

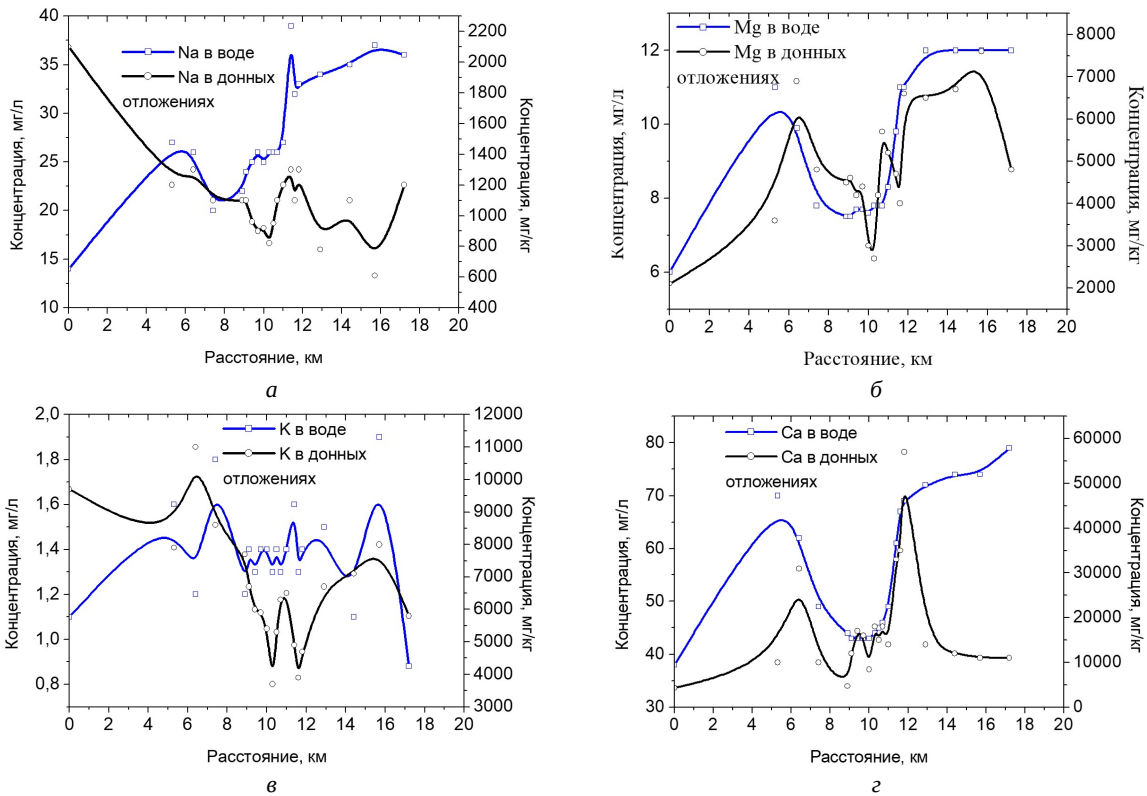


Рис. 1. Содержание Na (а), Mg (б), K (в) и Ca (г) в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак в летний период

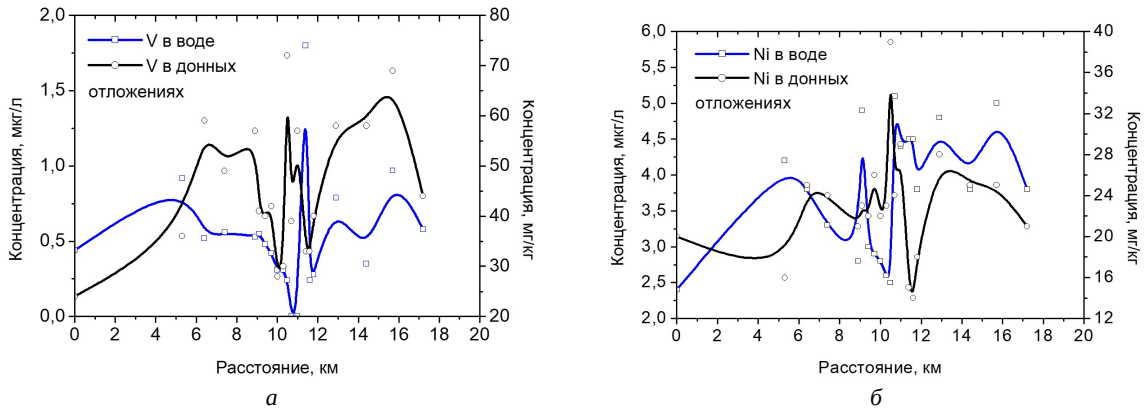


Рис. 2. Содержание V (а), Ni (б) в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак в летний период

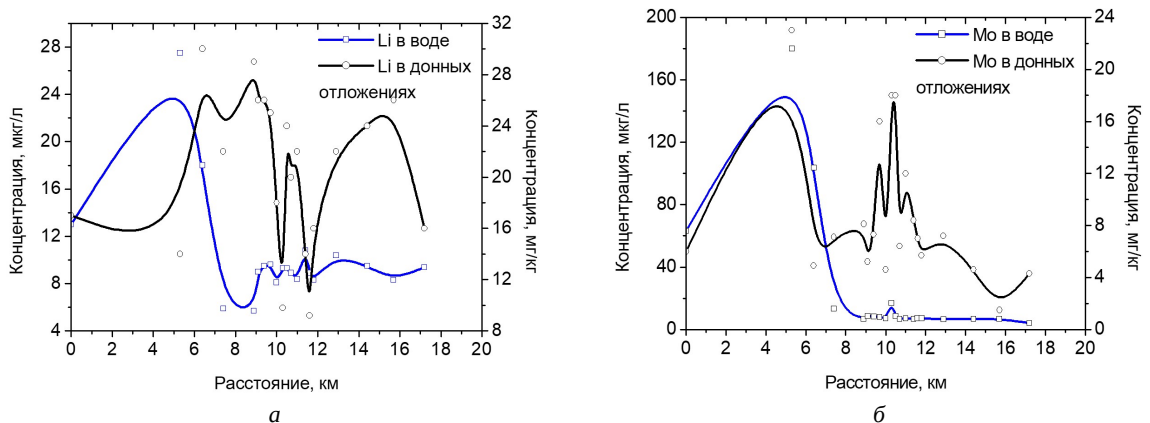


Рис. 3. Содержание Li (а), Mo (б) в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак в летний период



**Медиана и пределы колебаний химических элементов в поверхностных водах и донных отложениях
ручья Узынбулак**

Элемент*	Ме (вода, мкг/л) min – max	Ме (донные отложения, мг/кг) min – max	Речные воды [4]	Эталонная пресная вода (reference freshwater) [14]	ПДК для воды [13, 15]	Кларк в почвах мира [16]	ПДК [16]
Li	9,2 0,4–28	22 9,2–30	4,6	3	30	32	–
Be	2,8 0,015–6,1	24 1,7–52	0,2	0,1	0,2	6	50
Na	26000 11000–39000	1100 610–2100	8700	5000	200000	25000	–
Mg	7800 5400–12000	4600 2100–7600	13000	4000	20000	1200	–
Al	110 52–780	18000 7200–29000	480	200	500	4800	–
K	1400 880–29000	6600 3700–11000	1440	2000	–	25000	–
Ca	48000 36000–79000	13000 4300–57000	29000	2000	–	29600	–
V	0,46 0,005–1,8	43 24–72	2	1	100	90	150
Mn	38 17–85	480 120–5700	45	5	500	1000	1500
Fe	200 110–430	17000 9300–37000	391	500	1000	46500	–
Co	0,17 0,1–0,37	8 3,6–16	2	0,5	100	18	100
Ni	3,8 2,4–5,1	23 14–39	5,5	0,3	100	58	100
Cu	1,1 0,7–3	24 15–41	11,4	3	1000	47	100
Zn	55 9–200	220 47–2100	73,6	5	5000	83	300
Rb	0,76 0,36–1	35 14–51	3	1	100	150	–
Sr	240 160–380	120 23–280	211	50	7000	340	–
Mo	7,2 4,2–180	6,7 1,5–23	1,3	1	250	20	–
Ba	32 19–39	200 74–400	34,9	10	100	500	–
La	0,07 0,005–0,25	28 8,2–73	0,11	0,3	–	29	–
Ce	0,53 0,05–1,1	50 16–120	1,4	0,4	–	70	–
Pb	0,30 0,005–1,1	22 12–33	6	3	30	16	32
U	12 0,5–62	14 2,8–540	3	0,1	30**	2,5	–

Примечание. *Для каждого элемента подсчитывались основные параметры распределения химических элементов: медиана (Ме), минимальное (min) и максимальное (max) значения; **норматив предельно допустимой концентрации U в воде, согласно ВОЗ [15].



Пространственное распределение Ве в системе «вода – донные отложения» в летний период представлено на рис. 4.

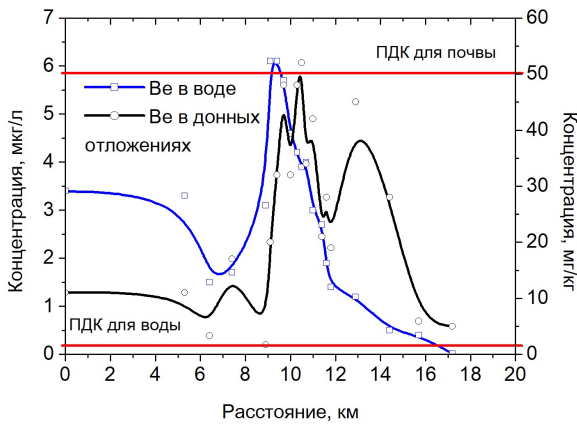


Рис. 4. Содержание Ве в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак в летний период

На данном графике видно, что на участках с высокой концентрацией бериллия в воде наблюдается процесс накопления данного элемента в донных отложениях, начиная с истока ручья и на протяжении всего русла. При этом пик содержания бериллия в донных отложениях смещен относительно пика концентрации данного элемента в воде, обусловленного влиянием штольневых вод [17]. Механизм поведения бериллия в воде таков, что данный элемент не сразу осаждается в донных отложениях, а мигрирует вниз по течению и активно сорбируется донными отложениями. Направленность миграции микрокомпонентов зависит не только от химических особенностей элементов, но и от физико-химических свойств донных отложений.

Особую роль в адсорбции тяжелых металлов играет гумус, тонко пылеватая и илистая фракция. Известно, что с удалением от верховьев ручья Узынбулак на участке с 9 по 13-й км в несколько раз наблюдается увеличение содержания тонкопылевой и илистой фракции. Содержание органического вещества на данном отрезке обусловлено наличием обилия растительности, которая является источником поступления гумуса [1]. Максимальная концентрация бериллия в донных отложениях находится на уровне 1,0 ПДК.

Для урана наблюдается аналогичная картина (рис. 5). Отмечается смещение пиковой концентрации урана в донных отложениях относительно его содержания в воде на 2 км, которая проявляется на 9-ом км от истока. Вероятно, это связано с высокой миграционной подвижностью в нейтральной среде данного элемента [17]. Согласно исследованиям штольневых вод [18], проведенным в 2010 г. и 2011 г., содержание в них урана находится на очень высоком уровне, в частности в штольне № 104 измеренная концентрация урана

достигала 2000 мг/л. Соответственно водопроявления штольни могли оказать прямое влияние на содержание урана в русле ручья Узынбулак.

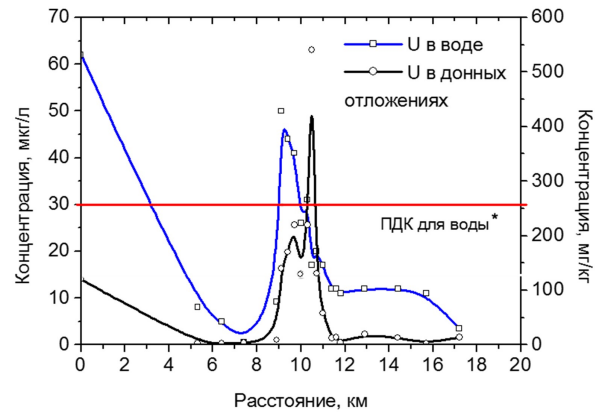


Рис. 5. Содержание U в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак (летний период); *норматив предельно допустимой концентрации U в воде согласно ВОЗ [17]

Выявлены anomalously высокая концентрация бериллия и урана у истока ручья Узынбулак, а также всплески пиковой концентрации данных элементов на участке 9–10,5 км от истока. Не наблюдалось выноса данных элементов за границу площадки «Дегелен», превышающих уровень ПДК. В целом распределение бериллия и урана по руслу ручья Узынбулак связано с механизмом сорбции и десорбции в системе «вода – донные отложения». Увеличение концентрации данных элементов в поверхностных водах ручья связано с влиянием штольневых вод. Депонирование в донных отложениях связано с механизмом сорбции Ве и U из воды ручья.

На пространственное распределение химических элементов в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак оказывают влияние следующие параметры:

- 1) испарительное концентрирование;
- 2) разный химический состав источников природных вод, обеспечивающих поступление элементов:

- разнообразие состава поверхностных водотоков;
- подток подземных вод;

- 3) процессы сорбции и десорбции в системе «вода – донные отложения»:

- процессы депонирования элементов в системе «вода – донные отложения»;
- вымывание элементов из донных отложений.

Перечисленные факторы играют особую роль в формировании элементного состава ручья. Рассматривая их более детально на примере летнего периода, можно сделать ряд предположений о влиянии каждого механизма.

Испарительное концентрирование. На 5-м км всплески концентраций щелочноземельных элементов (увеличение концентрации стронция



(в 1,5 раза), бария (в 2 раза)) и ряда других элементов (V, Ni и др.) в воде можно объяснить механизмом испарительного концентрирования, так как данный участок характеризуется отсутствием постоянного поверхностного стока. Сезонное пересыхание русла характерно для всех ручьев горного массива Дегелен [1].

Поступление элементов из разных поверхностных водотоков с иным химическим составом. Выявлены всплески концентрации ряда элементов на 9-ом и 13-ом км вдоль по руслу в летний период. Так, концентрация Al здесь превышала среднее значение по руслу в 7 и 3 раза соответственно, до 780 мкг/л. На 9-ом км от истока установлено повышенное содержание следующих элементов: Be (в 2 раза), до 6,1 мкг/л, Zn и U (в 4 раза), до 200 и 62 мкг/л соответственно. На 13-ом км зафиксирован всплеск концентрации La и Ce относительно их среднего содержания по руслу. Возможно, привнос элементов обусловлен поступлением вод с иным химическим составом. В частности, в работе [19] исследовано содержание химических элементов в воде водотоков штолен горного массива Дегелен, согласно которому содержание Be в штольневых водах может достигать 270 мкг/л, в десятки и сотни раз превышая средний состав подземных вод и уровни ПДК для питьевой воды. В штольне № 104, наиболее близкой к руслу ручья из числа изученных, обнаруженное содержание Be составило 5,7 мкг/л. Содержание Zn в штольневых водах также выше среднего уровня подземных вод, хоть и остается в пределах ПДК. По урану же характерна значительная концентрация на уровне 2–4 мг/л практически во всех изученных штольнях, что также свидетельствует в пользу фактора поступления элементов из штольневых вод.

О возможном притоке вод с иным химическим составом свидетельствует поведение щелочноземельных элементов на 11-ом км от истока ручья. Концентрация Ba в летнее время практически не изменяется к устью ручья, что свидетельствует об ином механизме появления повышенного содержания Sr в воде, а именно о возможном дополнительном притоке. Предполагается, что поверхностные воды ручья на данных участках получают подпитку грунтовыми водами.

Участок на протяжении от 2,5 до 7,5 км интересен тем, что здесь ручей разбивается на отдельные водоемы-плесы, в которых отмечается высокое содержание Li (28 мкг/л) и Mo (180 мкг/л). В ходе детальных полевых обследований вверх по течению в весенний период на данном участке были обнаружены поверхностные водопроявления в районе штольни № 177 с высоким содержанием исследуемых элементов [19]. Предположительно во время весеннего интенсивного снеготаяния возможен их разлив на дальние расстояния в районе штольни № 177 в основное русло ручья Узынбулак.

Подток подземных вод с иным окислительно-восстановительным потенциалом. Особое внимание следует обратить на значения ОВП среды миграции. В воде ручья Узынбулак значение ОВП колеблется по всему руслу от –44 до +51 мВ. ОВП воды характеризует соотношение окисленных и восстановленных форм всех содержащихся в ней элементов переменной валентности. В восстановительных (бескислородных) водах ионы железа находятся в форме Fe^{2+} , что, в свою очередь, определяет возможность их миграции в ручье. И наоборот, в воде, содержащей кислород, железо находится в форме Fe^{3+} , образуя труднорастворимые минералы.

На основе оценки поведения Fe в зависимости от ОВП ручья Узынбулак в летний период видно, что железо резко реагирует на изменение ОВП. Вероятно, повышенное содержание данного элемента в воде связано с его вымыванием из донных отложений вследствие подтока подземных вод с иным ОВП. Так, при понижении Eh (–55) увеличение концентрации Fe в несколько раз выше его относительно среднего содержания. В восстановительных (бескислородных) водах ионы железа находятся в форме Fe^{2+} , что, в свою очередь, определяет возможность их миграции в ручье. И наоборот, в воде, содержащей кислород, железо находится в форме Fe^{3+} , образуя труднорастворимые минералы [20].

Выводы

На пространственное распределение химических элементов в системе «вода – донные отложения» ручья Узынбулак оказывают влияние следующие параметры:

- 1) испарительное концентрирование;
- 2) различный химический состав источников природных вод, обеспечивающих поступление элементов;
- 3) процессы сорбции и десорбции в системе «вода – донные отложения».

Определен перечень элементов с высокой концентрацией в поверхностных водах и донных отложениях ручья Узынбулак. Не наблюдалось выноса Be и U, превышающих уровень ПДК, за границу площадки «Дегелен». Так, концентрация Be в воде достигала 2,8 мкг/л – в 14 раз выше ПДК, в донных отложениях – 24 мг/кг, что в 4 раза выше кларка в почвах. Наблюдается отдельное превышение урана в воде, достигающее двукратного значения относительно нормативов ВОЗ. Высокое содержание исследуемых элементов имело естественное происхождение и было обусловлено геохимическим фоном горного массива Дегелен.

Библиографический список

1. Паницкий А. В., Магашева Р. Ю., Лукашенко С. Н. Характерные особенности радиоактивного загрязнения



- компонентов природной среды экосистем водотоков штолен горного массива «Дегелен» // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. Курчагов : Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, 2010. Вып. 2. С. 57–102.
2. Лукашенко С. Н., Мухамедияров Н. Ж., Койгельдинова М. Т., Макарычев С. В., Ташекова А. Ж. Общая характеристика физико-химических свойств и элементный состав поверхностных вод ручья Узынбулак // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016. № 12 (146). С. 74–80.
 3. Гусева Н. В., Копылова Ю. Г., Солдатова Е. А. Подвижность химических элементов в системе вода–донные отложения // Известия Томского политехнического университета. Геохимия. 2013. Т. 323, № 1. С. 45–51.
 4. Шварцев С. Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е издание, исправленное и дополненное. Москва : Недра, 1998. 366 с.
 5. Алексеев В. А., Рыженко Б. Н., Шварцев С. Л., Зверев В. П., Букаты М. Б., Мироненко М. В., Чарыкова М. В., Чудаев О. В. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода : в 5 томах / ответственный редактор тома С. Л. Шварцев ; Объединенный институт геологии, геофизики и минералогии имени А. А. Трофимука СО РАН. Новосибирск : Издательство СО РАН, 2005. Т. 1. Система вода–порода в земной коре : взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. 244 с.
 6. Шварцев С. Л., Рыженко Б. Н., Алексеев В. А., Дутова Е. М., Кондратьева И. А., Копылова Ю. Г., Лепкурова О. Е. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода : в 5 томах / ответственный редактор тома Б. Н. Рыженко ; Институт нефтегазово геологии и геофизики имени А. А. Трофимука СО РАН. Новосибирск : Издательство СО РАН, 2007. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза. 389 с.
 7. Беззапонная О. В. К вопросу об оценке самоочищающей способности водных объектов от соединений тяжёлых металлов // Водное хозяйство России : проблемы, технологии, управление. 2002. Т. 4, № 3. С. 280–288.
 8. Санитарные правила «Санитарно-эпидемиологические требования к водоемщикам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов», утвержденные приказом № 209 Министра национальной экономики РК 16.03.2015 г. № 209. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V1500010774> (дата обращения: 15.05.2022).
 9. ҚР СТ РК ГОСТ Р 51592-2003 «Вода. Общие требования к отбору проб». Введ. 2005-01-01. Астана : Госстандарт РК, 2003. 58 с.
 10. Отбор проб объектов окружающей среды и биосубстратов для элементного анализа: рабочая инструкция (РИ 03-02-07 (А)): утвержденная руководителем филиала ИРБЭ РГП НЯЦ РК 29.07.2015. Курчагов : ИРБЭ НЯЦ РК, 2015. 18 с.
 11. Энерглин У., Брили Л. Аналитическая геохимия / под редакцией В. В. Щербины ; перевод с английского Н. П. Попова [и др.]. Ленинград : Недра, 1975. 296 с.
 12. СТ РК ИСО 17294-2-2006 Качество воды. Применение масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС) : в 2 частях. Ч. 2. Определение 62 элементов : Введ. 2007-07-01. Астана : Госстандарт РК, 2006. 22 с.
 13. МУ 2.1.4.682–97. Методические указания по внедрению и применению Санитарных правил норм СанПиН 2.1.4.559-96 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества; утвержденные решением Госкомсанэпиднадзора РФ от 20 декабря 1997 г. 66 с. Инф. система «Параграф». URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294851/4294851443.pdf> (дата обращения: 15.05.2022).
 14. Markert B. Inorganic chemical fingerprinting of the environment: “reference freshwater” – a useful tool for comparison and harmonization of analytical data in freshwater chemistry // Fresenius Journal of Analytical Chemistry. 1994. Vol. 349, № 10. P. 697–702.
 15. Kloke A. Richtwerte’80. Orientierungsdaten für tolerierbare Gesamtgehalte einiger Elemente in Kulturböden // Mitteilungsorgan VDLUF A. 1980. H. 1–3. S. 9–11.
 16. Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization, 2017. 631 p. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442376/> (дата обращения: 15.05.2022).
 17. Исследование микроэлементного состава воды поверхностных водотоков горного массива Дегелен / П. В. Говенко, А. А. Амиров, С. Н. Лукашенко [и др.] // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Курчагов : Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, 2013. Вып. 4. Сборник трудов Национального ядерного центра РК за 2011–2012 гг. С. 361–376.
 18. Singer P. S. Influence of dissolved organics on the distribution, transport and fate of heavy metals in aquatic systems // Fate Pollutants Air and Water Environ. Symp. 165th. NA T. Amer. Chem. Soc. Meet. Philadelphia, 1997. P. 155–182. URL: <https://www.ircwash.org/resources/fate-pollutants-air-and-water-environments-part-2-chemical-and-biological-fate-pollutants> (дата обращения: 15.05.2022).
 19. Геохимический фон СИП. Микроэлементы в почвах участков, прилегающих к горному массиву Дегелен / А. А. Амиров, С. Н. Лукашенко, С. Б. Субботин [и др.] // Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Курчагов : Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК, 2010. Вып. 2. Сборник трудов Института радиационной безопасности и экологии за 2007–2009 гг. С. 451–460.
 20. Самарина В. С. Гидрогеохимия : учебное пособие для геологических специальностей вузов. Ленинград : Издательство Ленинградского университета, 1977. 360 с.

Поступила в редакцию 11.06.2022; одобрена после рецензирования 10.07.2022; принята к публикации 01.09.2022
The article was submitted 11.06.2022; approved after reviewing 10.07.2022; accepted for publication 01.09.2022