

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
Институт геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук
Российское геологическое общество
Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов

**ПРОБЛЕМЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ
В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕНЕЗА БИОСФЕРЫ**

**Материалы XIV Международной Биогеохимической
школы-конференции**

г. Томск, 15–20 сентября 2025 г.

*Под ред. Н.В. Барановской, Н.С. Безаевой,
Б.Р. Соктоева, В.А. Сафонова*

УДК 504.061.2/.4; 504.054; 504.064; 504.4.06; 574.3; 574.5; 572.1/.4
П 78

П 78 Проблемы геохимической экологии в условиях техногенеза биосферы : материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции, г. Томск, 15–20 сентября 2025 г. / под ред. Н.В. Барановской, Н.С. Безаевой, Б.Р. Соктоева, В.А. Сафонова. – Томск : STT, 2025. – 710 с.

ISBN 978-5-93629-729-8

Сборник содержит доклады участников материалы XIV Международной Биогеохимической школы-конференции, проходившей в Томском политехническом университете 15–20 сентября 2025 года. Цель конференции – обмен результатами фундаментальных и прикладных исследований в области геохимической экологии, влияния антропогенных факторов на среду обитания и охраны окружающей среды. А также представление и обсуждение новых идей, методов для формирования актуальных научных направлений и государственных программ по применению достижений биогеохимии в охране природы, народном хозяйстве, медицине и образовании.

Сборник представляет интерес для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области охраны окружающей среды, экологии и природных ресурсы.

**УДК 504:061.2/.4; 504.054; 504.064; 504.4.06;
574.3; 574.5; 572.1/.4**

Рецензенты:

Барановская Н.В., Безаева Н.С., Болсуновская Л.М., Вольфсон И.Ф., Гусева Н.В., Жорняк Л.В., Ляпина Е.Е., Осипова Н.А., Соктоев Б.Р., Симоненков Д.В., Страховенко В.Д., Сысо А.И., Таловская А.В., Язиков Е.Г.

приоритет
2030⁺

*Конференция поддержана грантом Программы развития ТПУ «Приоритет – 2030»
(This Conference was supported by TPU Development Program "Priority 2030").*

978-5-93629-729-8



9 785936 129729 8

© Авторы, 2025
© Томский политехнический университет, 2025
© Оформление. STT™, 2025

УДК 504.4.054

**ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И УРАН В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ
ЗАГРЯЗНЕННОГО УЧАСТКА РЕКИ ШАГАН**

**А.Е. Темиржанова¹, Е.Г. Язиков², Ж.А. Байгазинов^{3,4},
Н.Ж. Мухамедияров^{3,4}, К.К. Дускаев¹**

¹*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан
temirzhanova.aray@mail.ru, kduskaev@gmail.com*

²*Томский политехнический университет, Томск, Россия
yazikoveg@tpu.ru*

³*АО «Парк ядерных технологий», Курчатов, Казахстан
zh.baigazinov@gmail.com, nurlan.eventumlab@gmail.com*

⁴*Учреждение образования «Alikhan Bokeikhan University», Семей, Казахстан*

**HEAVY METALS AND URANIUM IN BOTTOM SEDIMENTS
OF THE POLLUTED SITE OF THE SHAGAN RIVER**

**A.Ye. Temirzhanova¹, E.G. Yazikov², J.A. Baigazinov³,
N.Zh Mukhamediyarov³, K.K.Duskayev¹**

¹*Al-Farabi Kazakh National university, Almaty, Kazakhstan, temirzhanova.aray@mail.ru,
kduskaev@gmail.com*

²*Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia, yazikoveg@tpu.ru*

³*JSC «Park of Nuclear Technologies», Kurchatov, Kazakhstan, zh.baigazinov@gmail.com,
nurlan.eventumlab@gmail.com*

⁴*Educational institution «Alikhan Bokeikhan University», Semey, Kazakhstan*

Abstract. В работе рассматриваются особенности пространственного распределения и взаимосвязи химических элементов в системе компонентов р. Шаган в пределах локализованных участков, подверженных постоянному радиоактивному загрязнению. В качестве объекта выбран участок реки Шаган, расположенный в зоне разгрузки загрязненных подземных и трещинных вод с территории ранее функционировавших «боевых» скважин площадки «Балапан» Семипалатинского испытательного полигона (СИП). В донных отложениях реки на участке 2 км от «Атомного озера» показано, что распределение элементов имеет неоднородный характер. В точках зоны разгрузки загрязненных подземных вод концентрации химических элементов отличаются в несколько раз. Отмечена аномально высокая концентрация Zn, с превышением пороговой концентрации (ПЕС) и возможным негативным эффектом для биоты данной экосистемы.

Введение

В результате многолетних наблюдений за гидрохимическим состоянием реки Шаган, проведенных в течение последнего десятилетия, были выявлены участки, на которых фиксируется непосредственная разгрузка загрязненных трещинных и подрусловых вод в ее поверхностный сток. Эти зоны характеризуются устойчивыми признаками техногенного влияния и требуют особого внимания при оценке экологического состояния данного водного объекта [7, 1, 2].

Река Шаган – левобережный приток реки Иртыш с протяженностью более 250 км. Река имеет сезонный водный режим с преобладанием весеннего и летнего стока. Питание осуществляется за счет атмосферных осадков, талых вод, подземных притоков и временных водотоков [3]. Гидрологическая сеть региона отличается высокой чувствительностью к техногенному воздействию, что делает ее важным объектом для изучения геохимических и экологических последствий ядерной деятельности.

Материалы и методы

Отобраны пробы воды и донных отложений на исследовательском участке р. Шаган. В полевых условиях пробы воды фильтровали через бумажный фильтр «Синяя лента» и подкисляли минеральными кислотами для стабилизации и сохранения репрезентативности образца, а также предотвращения потери качественных характеристик при элементном анализе. Донные отложения объемом более 1 кг каждого образца размещали в контейнерах из инертных материалов во избежание вторичного загрязнения. Содержание микроэлементов определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС) с использованием многоэлементных стандартных растворов и градуировочной кривой. Статистический и корреляционный анализ проводили в Statistica 13.0 и Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

С целью оценки текущего гидрохимического состояния и уточнения ранее полученных данных по р. Шаган [4, 8] проведен анализ химического состава воды и донных отложений на загрязненном участке. Установлено, что в исследуемый период воды реки относятся к сульфатно-хлоридному натрий-кальциевому типу. Подобный состав характерен для условий аридного климата и обусловлен высокой минерализацией при низкой водности. В таблице 1 представлены данные о содержаниях группы химических элементов в донных отложениях, отобранных на участке разгрузки загрязненных трещинных и подрусловых вод в поверхностный водоток. Степень загрязнения донных отложений изучаемыми группами элементов исследуемого участка р. Шаган определяли путем сравнения измеренных концентраций с их контрольными уровнями концентрации (Threshold Effect Concentration (TEC) – пороговая концентрация, ниже которой негативных эффектов не наблюдается, и Probable Effect Concentration (PEC) – пороговая концентрация, выше которой возможны негативные эффекты) [6, 5]. Тогда как содержание остальных элементов сопоставляли со средним содержанием в верхней части континентальной коры и определили их кларк концентрации.

Таблица 1. Содержание химических элементов в донных отложениях загрязненного участка р.Шаган, мг/кг n=7

Элементы	X±SEM	Me	σ	Min	Max	CV, %	Кларк по Григорьеву, 2009	TEC	PEC
Mn	14700±9200	3000	24300	2800	68200	170	770	460*	1100*
Fe	34800±10000	27200	26600	16700	93300	76	40600	-	-
Cu	70±18	52	47	24	140	68	39	31,6	149
Zn	26400±10600	22700	28000	66	63600	106	75	121	459
Pb	18,0±2,6	17,0	7,0	12,0	29,0	37	17	35,8	128
U	21,0±5,3	14,0	14,0	8,4	43,0	65	2,5	-	-

Примечание: * – Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario, 2008.

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что концентрация Mn превышает значение пороговой концентрации, ассоциированной с вероятным возникновением негативных эффектов (PEC), в 13 раз. Содержание Mn в донных отложениях варьирует в интервале 2800...68200 мг/кг. Кроме того, среднее значение его концентрации превосходит кларковое значение в верхней части континентальной коры, что может указывать на наличие дополнительного источника поступления этого элемента в рассматриваемую среду. Напротив, концентрация Cu остается ниже уровня PEC, однако в отдельных точках наблюдается значительное превышение порогового значения, при котором негативные эффекты, как правило, не фиксируются (TEC). Так, в зоне слияния старого и нового русел и в некотором удалении от нее уровень TEC превышен в 4 раза, а вблизи области поступления загрязненных подземных вод в поверхностные – около 2 км – превышение зафиксировано в 1,5 раза. Для боль-

шинства точек отбора проб концентрация Zn превышает уровень ПЕС в диапазоне от 4 до 100 раз. Что касается Pb, его концентрации демонстрируют незначительные колебания между различными точками и не выходят за пределы как ТЕС, так и ПЕС, что, по-видимому, отражает его преимущественно природное происхождение. Дополнительно были рассмотрены концентрации Fe, U, в отношении которых отсутствуют нормативные значения предельно допустимого содержания. В связи с этим была проведена сравнительная оценка их концентраций с кларковыми значениями в верхней континентальной коре (по данным Григорьева, 2009). Установлено, что содержание Fe соответствует его кларку, тогда как концентрация U превышает кларковое значение в 8 раз. На основании анализа превышения кларков установлена следующая последовательность уменьшения средних концентраций микроэлементов: **Zn₃₅₀ > Mn₁₉ > U_{8,4} > Cu_{1,8}**. Такая геохимическая тенденция может свидетельствовать о наличии дополнительного источника поступления Zn.

Корреляции между отдельными микроэлементами в донных отложениях могут быть обусловлены их геохимическими связями, а также предоставлять информацию об источниках и путях поступления элементов. В донных отложениях загрязненного участка р. Шаган была выявлена значительная корреляция между содержанием Mn и Fe (0,96), Cu и Zn (0,96), Cu и Pb (0,97), а также Zn и Pb (0,96), что может подтверждать их общее происхождение от одного или нескольких источников. Между концентрацией U и содержанием остальных изучаемых элементов установлена слабая отрицательная связь.

Заключение

В донных отложениях загрязненного участка р. Шаган в зоне разгрузки загрязненных подземных и трещинных вод с территории ранее функционировавших «боевых» скважин площадки «Балапан» определено содержание 6 элементов. Максимальные концентрации (>10000 мг/кг) характерны для Mn, Fe и Zn, что может быть обусловлено выщелачиванием пород с высоким содержанием этих элементов. Zn и Mn присутствует в количестве 14700 и 26400 мг/кг, что выше уровня пороговой концентрации (ПЕС), выше которой возможны негативные эффекты для существующих там микро- и макроорганизмов. Таким образом, для более глубокого понимания геохимических процессов, происходящих на загрязненных участках водотока реки Шаган необходимо постоянное изучение химического состава воды и донных отложений.

Работа выполнена в рамках проекта «Комплексное радиоэкологическое исследование бассейна р. Шаган и разработка рекомендаций по минимизации негативного влияния на окружающую среду и население» (ИРН АР22783154) при финансировании Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Литература

1. Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н., Айдарханова А.К. и др. Радиоактивное загрязнение вод реки Шаган (по результатам 2011-го года) // Радиация и риск. – 2014. – № 23(4). – С. 35–42.
2. Aktayev M., Subbotin S., Aidarkhanov A. et al. Characterization of geological and lithological features in the area proximal to tritium-contaminated groundwater at the Semipalatinsk test site // Plos one. – 2024. – Vol. 19(3). – Art. No. e0300971. – doi: 10.1371/journal.pone.0300971.
3. Большая советская энциклопедия. 1969-1978 [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.bse-sci-lib.com> (дата обращения: 15.05.2025).
4. Goslachev I., Kharkin P., Dyussebayeva M. et al. Comparative analysis of water contamination of the Shagan River at the Semipalatinsk test site with heavy metals and artificial radionuclides // J. Environ. Radioact. – 2020. – Vol. 213. – Art. No. 106110. – doi: 10.1016/j.jenvrad.2020.106110
5. Guidelines for Identifying, Assessing and Managing Contaminated Sediments in Ontario: An Integrated Approach. 2008 / Ministry of the Environment, Conservation and Parks. – Ontario : Queen's Printer for Ontario, 2008.

6. MacDonald D.D., Ingersoll C.G. A guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems. – Washington : Fisheries Development, 2002. – Vol. 3. Interpretation of the results of sediment quality investigations.
7. Лукашенко С.Н. Обеспечение радиационной безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона : отчет по республиканской бюджетной программе 011 ИЯФ НЯЦ РК. – Алматы : Институт ядерной физики НЯЦ РК, 2005.
8. Ташекова А.Ж., Лукашенко С.Н., Койгельдинова М.Т. и др. Характеристика элементного состава воды р. Шаган // Вестник КрасГАУ. – 2016. – № 12. – С. 141–146.