

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 ресурсов.

**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 297298

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

УДК 550.47

**НАКОПЛЕНИЕ И МИГРАЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В СИСТЕМЕ «ЛЕДНИК – ПОЧВА» НА ПРИМЕРЕ ДВУХ ГОРНЫХ УЩЕЛИЙ
С РАЗЛИЧНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКОЙ**

И.Д. Кушнов¹, Р.Х. Темботов^{1,2}, И.О. Некхаев^{1,3}, Е.В. Абакумов¹

¹*Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия
st084838@student.spbu.ru*

²*Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН, Нальчик, Россия
tembотов.rustam@mail.ru*

³*Институт зоологии Республики Казахстан, Алматы, Казахстан
ivan.nekhaev@zool.kz*

**ACCUMULATION AND MIGRATION OF TRACE ELEMENTS
IN THE "GLACIER – SOIL" SYSTEM ON THE EXAMPLE OF TWO MOUNTAIN
GORGES WITH DIFFERENT ANTHROPOGENIC LOADS**

I.D. Kushnov¹, R.Kh. Tembotov^{1,2}, I.O. Nekhaev^{1,3}, E.V. Abakumov¹

¹*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia
st084838@student.spbu.ru*

²*Institute of Ecology of Mountain Territories, Nalchik, Russia
tembотов.rustam@mail.ru*

³*Institute of Zoology of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan
ivan.nekhaev@zool.kz*

Abstract. Исследование посвящено оценке накопления и миграции тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) в гляциальных и перигляциальных зонах Северного Тянь-Шаня с разной антропогенной нагрузкой. Пробы криоконитов и почв отбирались в Большом Алматинском ущелье (БАУ, природный парк) и Левом Талгарском ущелье (ЛТУ, зона туризма). Установлено, что в ЛТУ концентрации металлов (особенно Zn, до 118.9 мг/кг) значительно выше, что связано с деятельностью курорта и транспорта. В БАУ максимальное загрязнение обнаружено в литоземах у ледника, что указывает на ведущую роль ледниковых отложений в аккумуляции и перераспределении тяжелых металлов в высокогорных территориях, не подверженных активной антропогенной деятельности.

Введение

Стремительно отступающие ледники Тянь-Шаня являются важным источником пресной воды и экосистемных услуг для миллионов жителей засушливых регионов Центральной Азии. Криокониты – темные органоминеральные отложения на поверхности ледников – способствуют ускорению таяния за счет снижения альбедо и аккумулируют различные элементы, включая тяжелые металлы антропогенного происхождения. Однако данные о ледниковых отложениях и горных почвах Северного Тянь-Шаня ограничены, несмотря на активное использование местных почв в качестве пастбищ, близость г. Алматы и развитие туризма в этом регионе. Дополнительное поступление поллютантов с ледников в почвы и водные объекты может нести риски для горных экосистем и хозяйственной деятельности, что требует понимания особенностей геохимической миграции токсичных элементов в экстремальных условиях высокогорий.

Таким образом, целью исследования является определение особенностей накопления тяжелых металлов в ледниковых отложениях (криоконитах) и горных почвах Северного Тянь-Шаня, особенностей их миграции в указанном высокогорном ландшафте, а также роли антропогенной деятельности в данных процессах.

Материалы и методы

В ходе исследования сравнивались основные физико-химические характеристики и загрязнение тяжелыми металлами криоконитов и горных почв двух ущелий Северного Тянь-Шаня: Большое Алматинское ущелье (БАУ) с ледником Мореный, (территория Иле-Алатауского природного парка) и Левое Талгарское ущелье (ЛТУ) с ледником Богдановича, вблизи курорта «Шымбулак». Отбор проб включал ледниковые отложения (криокониты, сель) и почвы (литозем, органо-аккумулятивная серогумусовая аллювиальная почва, органо-аккумулятивная почва [1]) на разных высотах.

В ходе лабораторных анализов определялись значения pH, содержание углерода органических соединений, базальное дыхание и гранулометрический состав стандартными методами, а также содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) с помощью атомно-абсорбционной спектрометрии. Для статистического анализа использовались U-тест Манна–Уитни и непараметрическая корреляция Спирмена.

Результаты и их обсуждение

В подавляющем большинстве образцов наблюдалась слабокислая реакция среды и доминирование фракции физического песка в гранулометрическом составе, только почвы ЛТУ характеризовались как пылеватый суглинок. Содержание тяжелых металлов в почвах и ледниковых отложениях БАУ и ЛТУ представлено в таблице 1. Отмечается, что в БАУ наибольшее содержание углерода (1.53 %), а также большинства тяжелых металлов, были выявлены в литоземах, расположенных в непосредственной близости от ледника, что может быть связано со сносом материала криоконитов, где также наблюдались значения, превышающие ПДК. Наименьшие значения тяжелых металлов были выявлены в аллювиальных почвах, вероятно, из-за латерального стока, который обуславливает постоянный вынос веществ из данной почвы.

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в исследуемых образцах

Ущелье	Материал	Глубина, см	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd
БАУ	Криоконит	0-5	3.57 (± 0.82)	47.30 (± 0.99)	11.15 (± 0.49)	5.23 (± 0.74)	0.83 (± 0.03)
	Криоконит	0-5	2.67 (± 0.79)	42.35 (± 1.20)	10.75 (± 0.07)	3.42 (± 1.07)	0.78 (± 0.01)
	Литозем	0-4	7.40 (± 1.00)	50.30 (± 2.55)	15.30 (± 0.14)	9.93 (± 1.23)	0.70 (± 0.01)
		4-8	7.30 (± 0.68)	55.40 (± 1.27)	16.35 (± 0.07)	10.33 (± 1.09)	0.77 (± 0.05)
	Сель	0-5	8.96 (± 3.73)	33.70 (± 1.84)	4.43 (± 0.02)	16.25 (± 7.99)	0.42 (± 0.03)
	Аллюви-альная	0-4	2.82 (± 1.07)	20.70 (± 0.99)	4.57 (± 0.26)	4.94 (± 0.25)	0.32 (± 0.01)
		4-14	3.68 (± 0.24)	21.15 (± 2.47)	4.90 (± 0.88)	4.23 (± 0.02)	0.32 (± 0.06)
		14-24	5.87 (± 0.22)	26.70 (± 2.69)	7.55 (± 0.59)	6.05 (± 0.03)	0.40 (± 0.01)
ЛТУ	Криоконит	0-5	5.70 (± 0.73)	98.35 (± 1.63)	6.19 (± 0.52)	8.87 (± 1.36)	0.46 (± 0.04)
	Криоконит	0-5	2.57 (± 0.34)	111.55 (± 3.18)	6.97 (± 0.17)	4.65 (± 0.82)	0.50 (± 0.03)
	Органо-аккумул.	3-12	17.75 (± 1.06)	118.90 (± 0.85)	28.90 (± 0.14)	22.80 (± 1.13)	0.88 (± 0.01)

		12-21	23.45 (\pm 1.48)	113.75 (\pm 4.03)	33.75 (\pm 0.92)	21.55 (\pm 1.91)	0.97 (\pm 0.01)
		21-30	26.65 (\pm 0.07)	87.80 (\pm 5.94)	39.75 (\pm 0.92)	19.75 (\pm 0.64)	1.01 (\pm 0.08)

В ЛТУ значительно большее накопление тяжелых металлов и углерода органических соединений (до 8.88%) наблюдалось в почвах, чем в криоконитах, особенно в верхних горизонтах, что связано как с их более высокой сорбционной способностью, так и с миграцией элементов с поступающими флювиогляциальными потоками. При этом, именно перенос углерода в почвы значительно увеличил микробиологическую активность в последних. Интересным является тот факт, что базальное дыхание (макс. 15.30 мг СО₂/100 г в сутки), а значит и микробиологическая активность положительно коррелируют с содержанием тяжелых металлов, что указывает на возможную устойчивость микроорганизмов к экотоксикантам.

Достоверно большее среднее содержание Си кислая реакция среды были выявлены в ЛТУ. Кроме того, содержание всех тяжелых металлов было статистически значимо выше в образцах ЛТУ, чем в БАУ. Это указывает на вклад антропогенной туристической деятельности в поступление поллютантов в почвы и отложения, а также их накопление благодаря сорбции органическим веществом почв и более тяжелому гранулометрическому составу. Наибольшая разница в концентрациях была обнаружена для Zn, макс. 55.40 мг/кг в БАУ и макс. 118.90 мг/кг в ЛТУ, что может быть связано с выбросами автотранспорта, работой канатной дороги и прочей туристической инфраструктуры. При этом, большую роль в поступлении тяжелых металлов в обоих исследуемых зонах играет их перенос из г. Алматы и прилегающих промышленных районов, где были отмечены «экстремальные» уровни загрязнения почв [2], с горно-долинными ветрами в ледниковую зону с последующим осаждением. На это указывают как высокие концентрации тяжелых металлов на Моренном леднике и прилегающих почвах, находящихся на территории природного парка, так и высокая положительная корреляция между некоторыми элементами, например, Ni и Cd, что указывает на их общий источник.

Заключение

Результаты демонстрируют существенное влияние антропогенных факторов на накопление тяжелых металлов в высокогорных экосистемах. Локальная антропогенная нагрузка вносит наиболее существенный вклад в загрязнение почв и криоконитов тяжелыми металлами, однако в ее отсутствии ледниковые отложения выступают основным источником поллютантов, миграция и перераспределение которых в горные почвы происходит путем флювиогляциального переноса. Работа вносит вклад в понимание геохимических процессов в криосфере и оценку экологических рисков для горных регионов.

Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-44-00006 «Сравнительное метагеномное исследование микробиома углеродного цикла в регионах вечной мерзлоты на полуострове Ямал и Цинхай-Тибетском нагорье».

Литература

1. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. и др. Классификация и диагностика почв России. – М. : Ойкумена, 2004. – 342 с.
2. Baubekova A. et al. Evaluation of environmental contamination by toxic trace elements in Kazakhstan based on reviews of available scientific data // Environmental Science and Pollution Research. – 2021. – Vol. 28(32). – P. 43315–43328.