

DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453

EDN: NKPIVN

УДК 550.462

Научная статья / Research article

Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей

Е.А. Бондаревич  

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Российская Федерация
bondarevich84@mail.ru

Аннотация. Исследовано варьирование концентраций химических элементов снежного покрова в талой воде и нативной пыли в условиях урбанизированной территории г. Чита и его окрестностей в сравнении с фоновым участком и данными литературы из других регионов России и Монголии. Изучение накопления соединений химических элементов в компонентах снежного покрова позволяет оценивать степень загрязнения приземного слоя атмосферы в условиях техногенеза и выявлять ключевые источники загрязнения. Цель исследования – сравнение количеств ряда микроэлементов в талой снеговой воде и в нативном пылевом остатке в разных по степени техногенной нагрузке районах. Материалы – пыль и талая вода снега, в которых рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия) определялось количественное содержание 22 химических элементов. Выявлено низкое содержание ионных форм элементов в водной фазе снега с превышением ПДК по Mn в 1,5–2 раза в условиях техногенеза. Концентрации водорастворимых форм микроэлементов были сопоставимыми с данными из других регионов. Пылевая фракция снега, напротив, характеризовалась существенным загрязнением труднорастворимыми формами химических элементов, при этом превышения ПДК (ОДК) не отмечено, а в сравнении с кларком для почв населенных пунктов наблюдалось незначительное превышение содержания As, Sn и W. Пылевая фракция снежного покрова Читы по сравнению с фоном обогащена Th, Rb, Cr и Ga, в Читинском районе выявлено интенсивное накопление в пыли Cr, As и Sr. Значительно большие количества микроэлементов по сравнению с забайкальскими пробами определялись для городов Улан-Батор, Благовещенск, и в несколько меньших количествах – Тюмени и Тобольск. Массовая доля водорастворимых форм для большинства микроэлементов была существенно меньше 0,1 %, при этом выявлена тенденция увеличения количества ионных форм элементов от урбанизированной территории к фоновым участкам.

© Бондаревич Е.А., 2024



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: снежный покров, Восточное Забайкалье, химические элементы, рентгенофлуоресцентный анализ

История статьи: поступила в редакцию 27.02.2024; доработана после рецензирования 15.03.2024; принята к публикации 23.05.2024.

Заявление о конфликте интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бондаревич Е.А. Микроэлементный состав компонентов снежного покрова города Читы и его окрестностей // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 4. С. 445–453. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453>

Trace element composition of snow cover components in the city of Chita and its environs

Evgeniy A. Bondarevich  

Chita State Medical Academy, Chita, Russian Federation

 bondarevich84@mail.ru

Abstract. The variation in the concentrations of chemical elements of snow cover in melt water and native dust in the urbanized area of Chita and its environs was studied in comparison with the background area and literature data from other regions of Russia and Mongolia. The study of the accumulation of compounds of chemical elements in the components of snow cover makes it possible to assess the degree of pollution of the surface layer of the atmosphere under technogenesis conditions and to identify key sources of pollution. The goal of the work was to compare the amounts of a number of microelements in melted snow water and in native dust residue in areas of different degrees of technogenic load. The materials were dust and snow meltwater, in which the quantitative content of 22 chemical elements was determined using the X-ray fluorescence method of total external reflection on an S2 Picofox spectrometer (Bruker Nano GmbH, Germany). A low content of ionic forms of elements in the aqueous phase of snow was revealed, with an excess of the maximum permissible concentration for Mn by 1.5–2 times under technogenesis conditions. The concentrations of water-soluble forms of trace elements were comparable to data from other regions. The dust fraction of snow, on the contrary, was characterized by significant contamination with sparingly soluble forms of chemical elements, while no excess of the maximum permissible concentration / approximately permissible concentration was noted, and in comparison with the Clarke for soils of populated areas, a slight excess of the content of As, Sn and W was noted. The dust fraction of the Chita snow cover, compared to the background, is enriched in Th, Rb, Cr and Ga; in the Chita region, intensive accumulation of Cr, As and Sr in the dust was revealed. Significantly larger amounts of microelements compared to Transbaikalian samples were detected for the cities of Ulaanbaatar, Blagoveshchensk, and in somewhat smaller quantities Tyumen and Tobolsk. The mass fraction of water-soluble forms for most microelements was significantly less than 0.1%, while a tendency was revealed to increase the number of ionic forms of elements from the urbanized area to the background areas.

Keywords: snow cover, Eastern Transbaikalia, chemical elements, X-ray fluorescence analysis

Article history: received 27.02.2024; revised 15.03.2024; accepted 23.05.2024.

Conflicts of interest. The author declares no conflicts of interest.

For citation: Bondarevich EA. Trace element composition of snow cover components in the city of Chita and its environs. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(4):445–453. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-4-445-453>

Введение

Атмосферные аэрозоли в условиях резко континентального климата Забайкалья оказывают существенное негативное воздействие на экосистемы и население в холодный период года. Это связано с формированием плотного приземного слоя смога, усиливающегося в морозную безветренную погоду. Источниками загрязнений атмосферного воздуха в г. Чита являются различные виды топлива, полигоны твердых бытовых отходов, пыль от обезлесенных и нарушенных участков ландшафта, транспорт. Редкие снегопады с небольшим количеством выпадающих осадков усугубляют ситуацию, так как удаление взвешенных частиц и загрязняющих газов происходит на короткое время. При этом наблюдается аккумуляция загрязнителей в снежном покрове города и его окрестностей, что увеличивает загрязнение почвы, поверхностных и подземных вод. По данным систематических наблюдений, известно¹, что среднегодовое количество осадков в г. Чита составляет 336 мм, при этом с ноября по март включительно количество твердых осадков составляет 20 мм, или 6 % от среднегодового объема. Средняя толщина снежного покрова в городе 7 см, плотность снега – 150 кг/м³. Совокупность этих факторов приводит к существенному загрязнению снега в период снегонакопления и быстрой деградации снежного покрова из-за снижения альбедо в феврале во время оттепелей. Основными нерастворимыми компонентами снега в городе являются сажа и другие углеродсодержащие частицы, в то время как в удалении от урбанизированной территории это неорганические (силикатные) пылевые частицы почвы и горных пород.

Цель исследования – сравнение количества ряда микроэлементов в талой снеговой воде и в нативном пылевом остатке в разных по степени техногенной нагрузке районах.

Материалы и методы исследования

Пробы снега отбирались в период максимального снегонакопления в условиях Забайкалья в период третьей декады февраля до конца первой декады марта. Время снегостава составляло от 95 до 115 сут. Всего в г. Чита и его окрестностях было собрано 63 пробы снега, из них 3 пробы были использованы в качестве фоновых и отобраны в окрестностях с. Амодово (Читинский район), расположенного в 27 км к западу от города с наветренной стороны. В связи с маломощным снежным покровом, характерным для

¹ Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3. Многолетние наблюдения. Ч. 1–6. Вып. Бурятский АССР, Читинская область. Л.: Гидрометиздат, 1989. 550 с.

региона, пробы отбирали пластиковыми совками (без снятия 1,5 см снега у почвы) в полиэтиленовые пакеты. Проба формировалась путем смешивания керна снега из нескольких близлежащих площадок, общая масса пробы – 4–5 кг.

Определение содержания химических элементов проводилось рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH, Германия). Талую воду предварительно отстаивали и фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента», и после добавления внутреннего стандарта наносили 10,0 мкл пробы на кварцевый прободержатель, после высушивали. Аналогично проводили анализ твердого осадка. 10,0 мг пыли помещали в микропробирку, приливали 100,0 мкл 1,0 % раствора Тритона X-100 и 10,0 мкл стандарта, а после суспензию наносили на кварцевый прободержатель. Концентрацию элементов рассчитывали методом внутреннего стандарта, в качестве которого использовался стандартный образец соли германия, разбавленный деионизированной водой ($\Omega = 18,2$ МОм) с концентрацией 2,50 мг·л⁻¹.

Обработка аналитических данных проводилась с использованием программ «Microsoft Excel 2019» и «PAST 3.25». Данные приведены в медианной величине с 25 и 75 % квантилями. Величины ПДК и ОДК для воды и почв приведены в соответствии с СанПиНом 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». Сформированные выборки по содержанию химических элементов разных функциональных зон по степени техногенной нагрузки сравнивались между собой непараметрическим критерием Краскала – Уоллиса. Значимыми считались выборки при $p \leq 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ данных, полученных в ходе изучения химического состава талой воды, не выявил существенных отличий по большинству микроэлементов между урбанизированной территорией, сельским ландшафтом и фоном (табл.). Закономерно отмечается снижение уровня растворимых форм микроэлементов в снежном покрове от городской среды к фоновым участкам. Наибольшие отличия выявлены для Mn, Fe, Zn и Sn. Вероятно, это обусловлено геохимическими особенностями почв района исследования и обогащением пылевых частиц перечисленными микроэлементами при сжигании твердого топлива и движущимися механизмами машин. Превышение величины ПДК выявлено только по марганцу как для Читы, так и для Читинского района в 1,5 и 1,9 раза соответственно (табл.).

В результате попарного сравнения выборок не выявлено значимых отличий по критерию Краскала – Уоллиса между парами «Чита – Читинский район» ($H = 0,60, p = 0,44$) и «Чита – фон» ($H = 2,90, p = 0,09$), однако значительно отличались совокупности медианного содержания химических элементов в паре «Читинский район – фон» ($H = 5,03, p = 0,03$). Данные особенности характеризуют наибольшие отличия концентраций микроэлементов в талой воде и указывают на интенсивное перемещение и поступление загрязнителей

в атмосферный воздух в Читинском районе. Столь существенная эмиссия водорастворимых форм микроэлементов обусловлена широким использованием в качестве топлива бурого угля в котельных в условиях низкоэтажной застройки пригородов г. Читы и сел района.

Медианное содержание химических элементов в талой снеговой воде, мг·л⁻¹,
и пылевом остатке, мг·кг⁻¹

Химический элемент	Талая вода, мг/л Me			пДК¹	Нативная пыль, мг/кг Me			Кларк городских почв [1]	пДК ОДК²
	Q ₂₅ –Q ₇₅				Q ₂₅ –Q ₇₅				
	Чита	Читинский район	Фон		Чита	Читинский район	Фон		
Ti	0,026	0,03	0,01	0,10	730,59	462,61	35,90	4600	—*
	0,02–0,04	0,02–0,03	0,01–0,04		639,37–860,59	369,47–586,43	21,76–50,33		
V	0,02	0,02	0,009	0,10	11,66	7,20	0,65	104,86	150,0
	0,01–0,02	0,02–0,04	0,009–0,02		9,63–16,33	5,37–10,57	0,26–1,03		
Cr	0,01	0,02	0,007	0,05	8,22	6,46	0,85	80,0	—
	0,01–0,02	0,02–0,04	0,01–0,02		6,52–10,61	4,14–9,36	0,29–0,96		
Mn	0,15	0,19	0,02	0,10	149,64	147,57	9,54	728,70	1500,0
	0,11–0,21	0,05–0,40	0,02–0,04		125,51–181,52	116,79–242,14	4,79–12,94		
Fe	0,19	0,25	0,09	0,30	7821,01	5119,13	423,74	2,2·10⁴	—
	0,15–0,25	0,13–0,84	0,08–0,10		7,2·10³–8,6·10³	4,0·10³–7,0·10³	243,39–572,55		
Co	0,006	0,008	0,003	0,10	0,62	0,42	0,04	14,09	—
	0,005–0,007	0,006–0,008	0,002–0,004		0,61–0,65	0,39–0,46	0,03–0,05		
Ni	0,005	0,006	0,003	0,02	3,09	3,12	0,26	32,99	—
	0,004–0,005	0,004–0,008	0,002–0,005		1,79–4,31	2,09–5,16	0,16–0,31		
Cu	0,006	0,007	0,005	1,0	6,73	7,16	0,37	38,97	—
	0,004–0,008	0,005–0,01	0,004–0,009		3,73–12,74	4,36–11,16	0,28–0,49		
Zn	0,05	0,095	0,03	5,0	47,08	34,49	1,87	158,0	—
	0,03–0,10	0,05–0,34	0,01–0,05		32,12–63,78	21,57–59,36	0,97–2,57		
Ga	0,003	0,004	0,002	—	4,39	2,52	0,16	16,19	—
	0,003–0,004	0,003–0,004	0,002–0,004		2,98–6,04	2,07–3,14	0,10–0,20		
As	0,003	0,004	0,001	0,01	5,53	5,55	0,24	15,92	—
	0,002–0,004	0,003–0,007	0,001–0,003		2,94–8,87	3,79–7,51	0,22–0,30		
Se	0,002	0,003	0,001	0,01	0,14	0,10	0,01	—	—
	0,002–0,003	0,002–0,004	0,001–0,003		0,13–0,15	0,10–0,12	0,008–0,011		
Br	0,005	0,004	0,001	0,20	0,38	0,44	0,04	—	—
	0,004–0,007	0,002–0,005	0,001–0,003		0,23–0,78	0,29–0,69	0,02–0,08		
Rb	0,003	0,004	0,002	0,10	39,91	12,34	0,88	58,0	—
	0,003–0,004	0,002–0,004	0,002–0,003		19,73–61,37	10,21–13,76	0,44–1,21		
Sr	0,19	0,11	0,008	7,0	53,80	81,14	3,45	457,83	—
	0,14–0,24	0,03–0,25	0,003–0,01		26,67–124,18	50,83–136,92	3,08–4,72		
Sn	0,16	0,20	0,08	2,0	12,34	8,25	0,75	6,77	—
	0,14–0,18	0,17–0,21	0,06–0,15		11,70–13,23	7,79–8,92	0,69–0,89		
Cs	0,05	0,07	0,03	—	4,49	3,02	0,28	—	—
	0,05–0,05	0,06–0,07	0,02–0,07		4,42–4,69	2,88–3,24	0,25–0,33		
Ba	0,09	0,06	0,03	0,70	75,49	112,83	5,40	853,12	—
	0,05–0,14	0,05–0,08	0,02–0,06		33,03–172,16	86,37–159,81	3,78–7,23		
W	0,004	0,006	0,003	0,05	0,53	0,31	0,02	0,288	—
	0,004–0,005	0,005–0,006	0,002–0,005		0,17–1,31	0,20–0,67	0,01–0,02		
Pb	0,003	0,005	0,002	0,01	8,28	7,55	0,36	54,49	—
	0,003–0,004	0,004–0,013	0,001–0,003		2,38–12,77	5,02–12,46	0,32–0,51		
Th	0,005	0,006	0,003	—	2,06	0,25	0,02	—	—
	0,004–0,005	0,005–0,007	0,001–0,004		0,49–4,04	0,22–0,60	0,01–0,03		
U	0,007	0,008	0,004	0,015	0,39	0,28	0,03	—	—
	0,006–0,007	0,007–0,009	0,003–0,006		0,38–0,40	0,27–0,29	0,02–0,004		

Примечания:
¹ Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде питьевой систем централизованного, в том числе горячего, и нецентрализованного водоснабжения, воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, воде плавательных бассейнов, аквапарков.
² Величина ПДК/ОДК (мг·кг⁻¹) с учетом фона (кларка).
* — нормирующий показатель отсутствует.
Источник: составлено Е.А. Бондаревичем.

Выявленные медианные концентрации по ряду микроэлементов сопоставимы с показателями других населенных пунктов и регионов России. По меди, бром, свинцу мышьяку и селену аналогичные данные приведены для талой воды Алтайского края [2], а также по никелю, кобальту, марганцу и железу в г. Благовещенск [3; 4]. По кобальту, меди, марганцу, железу, свинцу и никелю в г. Архангельск [5], по мышьяку, меди, стронцию и цинку в г. Улан-Батор [6], по цинку, меди и железу в г. Кызыл [7] и по свинцу, никелю, меди и кобальту для оз. Байкал [8]. По ряду микроэлементов в условиях урбанизированной территории Читы выявлены существенные превышения содержания, которые могут достигать десяти – тридцатикратной величины. Так, в талой воде снежного покрова в г. Чита существенно выше содержание марганца, бария, ванадия, хрома, железа, цинка и титана по сравнению со снеговой водой акватории оз. Байкал [8]. По сравнению с г. Улан-Батор на один порядок выше концентрации кобальта, хрома, никеля, свинца и ванадия [6]. Количество тория на три порядка, а урана на один порядок больше, чем в снежном покрове г. Благовещенск [3]. Растворимые формы титана, марганца, железа и цинка в талой воде г. Читы превышали на 1–2 порядка показатели для Алтайского края [2]. Наибольшие отличия по концентрациям водорастворимых форм химических элементов в талой воде г. Читы были с данными фоновых концентраций центрального сектора Западной Сибири и превышали на 1 порядок величины по титану, кобальту, селену, стронцию, а по ванадию, хрому и олову на 2–3 порядка [9].

По сравнению с городами и регионами со сходными природно-климатическими и техногенными факторами существенных отличий в содержании водорастворимых форм микроэлементов не выявлено. Сравнение совокупностей данных по критерию Краскала – Уоллиса не зафиксировано значимых результатов в парах Чита – Кызыл ($H = 2,82, p = 0,09$), Читинский район – Кызыл ($H = 1,46, p = 0,23$), значимо отличались Кызыл – фон (с. Амодово) ($H = 7,17, p = 0,007$) (элементы Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As и Pb). В парах Чита – Улан-Батор и фон – Улан-Батор также не выявлено достоверных отличий ($H = 3,60, p = 0,06$ и $H = 1,22, p = 0,27$ соответственно), а в паре Читинский район – Улан-Батор критерий выявил значимые отличия ($H = 4,68, p = 0,03$) (элементы V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr и Pb). Во всех парах сравнения между забайкальскими пробами и пробами из г. Благовещенск не выявлено значимых отличий по совокупности концентраций Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn и Pb ($H = 0,01–2,48, p = 0,11–0,91$). Значимые отличия по концентрациям водорастворимых форм элементов во всех сравниваемых парах были обнаружены с данными оз. Байкал: Чита – Байкал $H = 8,93, p = 0,003$, Читинский район – Байкал $H = 9,73, p = 0,002$ и фон – Байкал $H = 5,13, p = 0,02$ (элементы Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr и Pb). Также отмечено снижение концентрации ионов изучаемых элементов по железу, стронцию и бром в условиях г. Чита по сравнению с зимним периодом 2020–2021 гг. [10].

Анализ данных по содержанию микроэлементов в пылевой фракции снежного покрова выявил существенные отличия между выборками г. Читы

и Читинского района относительно фоновой участка. Наибольшее содержание в нативной пыли г. Читы относительно фона отмечено для тория (103 раза) и рудия (45 раз), остальные микроэлементы имели кратность превышения от 9,67 раза (Cr) до 27,4 раза (Ga). В пробах Читинского района кратность превышения фоновых концентрации была несколько ниже и варьировала в пределах от 7,6 раза (Cr) до 23,1 (As) и 23,5 (Sr) (см. табл.). Нормирование содержания химических элементов и их соединений в пыли и твердом остатке снега отсутствует, по этой причине можно ориентироваться на соответствующие величины кларка, ПДК/ОДК для городских почв [1]. В ходе исследования выявлено незначительное превышение нормирующего показателя (кларка почв) для мышьяка, олова и вольфрама, тогда как по остальным микроэлементам, даже в условиях урбанизированной территории, количество было на 1–2 порядка меньшим, чем кларковое содержание и ПДК (ОДК) (см. табл.).

Попарное сравнение совокупностей данных по критерию Краскала – Уоллиса не выявило значимых отличий по медианному содержанию микроэлементов в группах Чита – Читинский район ($H = 0,25$, $p = 0,61$), однако значимо отличались пары Чита – фон ($H = 11,91$, $p = 0,0006$) и Читинский район – фон ($H = 8,96$, $p = 0,003$).

Содержание микроэлементов в пылевой фракции снежного покрова в г. Чита по большинству показателей существенно превышало значения для других регионов и населенных пунктов. Так, для фоновых территорий Западной Сибири [9; 11] содержание Co в забайкальских пробах было большим на 3 порядка, Ni, Zn, Cu и Pb – на 4 порядка, V, Cr, Mn, Fe, As, Sr, Ba и U – на 5 порядков, а Rb, Cs и Th – на 6 порядков. Также низкие величины накопления микроэлементов в пыли фиксировались в условиях г. Кызыл [7], Благовещенск [4] и в Алтайском крае [2], и отличия составили 1–3 порядка по сравнению с г. Чита, однако железа в пылевой фракции тувинских проб было на 5 порядков, а в алтайских на 4 порядка меньше. Существенно большими были значения количества микроэлементов в пыли г. Улан-Батор [6] и г. Благовещенск [4]. Так, содержание As в условиях г. Улан-Батор было в 4,4 раза выше, а V, Cr, Zn, Sr и Pb отличалось на 1 порядок, тогда как Co, Ni и Cu было больше на 3 порядка [6]. Для г. Благовещенск фиксировались большие количества Ni, Cu и Pb (на 1 порядок) и 6–8-кратное превышение содержания Cr и Zn [4]. Наиболее близкими по медианному содержанию микроэлементов в пылевой фракции снежного покрова были результаты из городов Тюмень и Тобольск [12]. Сопоставимыми были количества V, Zn, As, Sr, Sn, Ba, W, однако количество Cr, Ni и Cu в этих населенных пунктах превышали забайкальские показатели на 1 порядок.

Таким образом, содержание микроэлементов в пылевой фракции в различных регионах страны имеет огромный разброс показателей, однако для экологически чистых районов величины имели минимальные показатели, тогда как техногенно-нарушенные ландшафты характеризовались сильным загрязнением. В условиях г. Чита выявлено существенное загрязнение пыли,

которое значимо отличалось по критерию Краскала – Уоллиса по сравнению с выборками городов Кызыл, Благовещенск, Улан-Батор. По данному критерию отсутствуют значимые отличия в парах Чита – Тюмень ($H = 1,6$, $p = 0,21$ по V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Rb, Sr, Sn, Cs, Ba, W и Pb), Читинский район – Тюмень, Чита – Тобольск ($H = 2,05$, $p = 0,15$), Читинский район – Тобольск ($H = 2,9$, $p = 0,09$), тогда как в парах Тюмень – Амодово (фон) и Тобольск – Амодово (фон) этот критерий выявил существенные отличия ($H = 16,35$ и $H = 17,36$ при $p < 0,001$ соответственно).

Количество водорастворимых форм микроэлементов к их содержанию в пыли снежного покрова г. Чита составляло менее 0,1 %. Концентрация водорастворимых форм ряда микроэлементов (Co, Se, Br, Sn, Cs и U) было существенно большим и составляло величины от 1 до 32 % при этом максимальное количество ионных форм микроэлементов отмечался для проб фоновой участка. Это обусловлено низкими величинами накопления соединений элементов в пыли и отсутствием их термохимической конверсии в системах сжигания топлива с образованием труднорастворимых веществ (оксидов, сульфидов, силикатов и т.д.).

Выводы

1. Методом неразрушающего рентгенофлуоресцентного анализа изучен микроэлементный состав талой воды и пылевой фракции снежного покрова г. Чита и его окрестностей. Значимых отличий по концентрации водорастворимых форм элементов между городом и сельскими поселениями Забайкалья не выявлено. Количество микроэлементов в условиях фона было минимальным, однако даже в условиях урбанизированной территории не отмечено превышения ПДК, за исключением Mn.

2. По сравнению с городами и регионами со сходными природно-климатическими и техногенными факторами существенных отличий в содержании водорастворимых форм микроэлементов не выявлено.

3. В результате сравнения данных между зимними сезонами 2021 и 2024 гг. отмечено снижение концентрации в талой снеговой воде соединений железа, стронция и брома.

4. Пылевая фракция снежного покрова Читы по сравнению с фоном обогащена торием, рубидием, хромом и галлием, в Читинском районе выявлено интенсивное накопление в пыли хрома, мышьяка и стронция. Превышений ПДК (ОДК) и кларковых показателей для почв в пылевой фракции не отмечено.

5. Пыль снежного покрова г. Читы содержала значительно большие количества микроэлементов, чем пыль в большинстве других городов и регионах, данные по которым присутствуют в литературных источниках. Близкие количественные показатели зафиксированы для городов Тюмень и Тобольск, а наибольшие отличия отмечены по сравнению с Катунским заповедником (Республика Алтай) и центральным сектором Западной Сибири.

6. Массовая доля водорастворимых форм для большинства микроэлементов была существенно меньше 0,1 %, при этом выявлена тенденция увеличения количества ионных форм элементов от урбанизированной территории к фоновым участкам.

Список литературы

- [1] *Алексеев В.А., Алексеев А.В.* Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2013. С. 254–257.
- [2] *Павлов В.Е., Суторихин И.А., Хвостов И.В., Зинченко Г.С.* Снежный покров как индикатор загрязнения урбанизированной территории Алтайского края // *Оптика атмосферы и океана*. 2009. Т. 22, № 1. С. 96–100.
- [3] *Павлова Л.М., Радомская В.И., Юсупов Д.В.* Высокотоксичные элементы в снежном покрове на территории г. Благовещенска // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2015. № 1. С. 27–35.
- [4] *Куимова Н.Г., Сергеева А.Г., Шумилова Л.П., Павлова Л.М., Борисова И.Г.* Эколого-геохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2012. № 5. С. 422–435.
- [5] *Чагина Н.Б., Айвазова Е.А., Иванченко Н.Л., Варакин Е.А.* Анализ снежного покрова придорожных территорий г. Архангельска // *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Естественные науки*. 2015. № 2. С. 129–141.
- [6] *Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажа С.Н., Энх-Амгалан С.* Геохимия ландшафтов Улан-Батора // *Известия Российской академии наук. Серия географическая*. 2013. № 5. С. 109–124.
- [7] *Тасоол Л.Х., Янчат Н.Н., Жданок А.И., Чуликова С.А.* Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыла // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2014. № 6. С. 507–517.
- [8] *Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Лопатина Д.Н., Янчук М.С.* Загрязнение снега на акватории оз. Байкал и прилегающей территории // *Водные ресурсы*. 2017. Т. 44, № 3. С. 340–353. <https://doi.org/10.7868/S032105961703004X>
- [9] *Ермолов Ю. В., Махатков И.Д., Худяев С.А.* Фоновые концентрации химических элементов в снежном покрове центрального сектора Западной Сибири // *Оптика атмосферы и океана*. 2014. Т. 27, № 9. С. 790–800.
- [10] *Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Лескова О.А., Самойленко Г.Ю.* Мониторинг уровня загрязнения атмосферы по накоплению химических элементов в талой воде снегового покрова // *Экология и промышленность России*. 2021. Т. 25, № 8. С. 47–53. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-47-53>
- [11] *Папина Т.С., Эйрих А.Н., Малыгина Н.С., Эйрих С.С., Останин О.В., Яшина Т.В.* Микроэлементный и изотопный состав снежного покрова Катунского природного биосферного заповедника (Республика Алтай) // *Лёд и Снег*. 2018. Т. 58, № 1. С. 41–55. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-1-41-55>
- [12] *Захарченко А.В., Тигеев А.А.* Микроэлементы в пыли снежного покрова на примере городов Тюмень и Тобольск // *Лёд и Снег*. 2023. Т. 63, № 3. С. 397–409. <https://doi.org/10.31857/S2076673423030146>

Сведения об авторе:

Бондаревич Евгений Александрович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры химии и биохимии, Читинская государственная медицинская академия, Российская Федерация, 672000, г. Чита, ул. Горького, д. 39а. ORCID: 0000-0002-0032-3155. E-mail: bondarevich84@mail.ru