
СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛАВИНЫ

УДК 504.3.054:504.064.2:551.578.4

МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ г. ЧИТЫ В 2023–2024 гг.

© 2025 г. Е. А. Бондаревич

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия

e-mail: bondarevich84@mail.ru

Поступила в редакцию 29.04.2025 г.

После доработки 16.07.2025 г.

Принята к публикации 25.09.2025 г.

Изучался микроэлементный состав пылевой фракции снежного покрова г. Читы (Забайкальский край, Россия) в зимний период 2023–2024 гг. Город Чита по несколько лет входит в перечень населённых пунктов России с наиболее загрязненным воздухом и по этой причине включен в федеральный проект “Чистый воздух” для снижения уровня выбросов в атмосферу к 2026 г. с 67.1 тыс. т (2017 г.) до 23 тыс. т. Актуальным в этой связи является исследование содержание микроэлементов в снежном покрове. Методом рентгенофлуоресцентного анализа было исследовано 75 проб пыли из снега, отобранных в различных функциональных зонах. Результаты выявили распределение химических элементов в снежном покрове в зависимости от уровня техногенной нагрузки. Наиболее загрязнёнными были промышленная зона и пункты вдоль транспортных путей, а парково-рекреационная зона характеризовалась минимальными величинами накопления микроэлементов. В промышленной зоне зафиксированы повышенные концентрации Fe, Br, Sr, Sn, Sb, W и Th, тогда как вблизи транспортных путей преобладали Ti, V и Cu. Анализ проб по фактору обогащения показал существенный антропогенный вклад для Sn, Se и Sb ($EF > 10$), с максимальными величинами коэффициента концентрации для W (K_c до 62.26 в промзонах) и As (K_c до 19.54 в жилых районах). Суммарный показатель загрязнения (Zc) варьировал от 2.18 (рекреационная зона) до 8.52 (промышленная зона), что указывает на умеренный уровень общего загрязнения. Сравнение с фоновыми значениями для Евразии выявило повышенные концентрации Sr, Cs и Ti в пробах г. Читы, в то время как содержание тяжелых металлов (Pb, Cu, Ni) оказалось ниже медианных значений в других регионах. Исследование подчеркивает комплексное влияние локальных промышленных выбросов, транспорта и регионального геохимического фона на состав пыли снежного покрова в условиях резко континентального климата.

Ключевые слова: химический состав снега, городское загрязнение, тяжелые металлы, фактор обогащения, атмосферные выпадения, Забайкальский край

DOI: 10.7868/S2412376525040073

ВВЕДЕНИЕ

Забайкальский край – трансграничный регион северной Азии, характеризующийся высокой степенью техногенной нагрузки из-за развитой горнодобывающей промышленности и теплоэнергетики. Город Чита на протяжении более 30 лет входит в перечень населённых пунктов России с наиболее загрязнённым воздухом, особенно в осенне-зимний период. По этой причине Чита участвует в федеральном проекте “Чистый воздух” (mnr.gov.ru..., 2025) для

снижения уровня выбросов в атмосферу к 2026 г. с 67.1 тыс. т (2017 г.) до 23 тыс. т. Основными загрязнителями атмосферного воздуха являются угарный газ, оксиды азота и серы, а также органические вещества – углеводороды, бенз(а)пирен, формальдегид и другие, тогда как исследование микроэлементов минимально. Актуальным в этой связи является исследование содержания в пыли микроэлементов, переходящих в снежный покров.

Климат региона резко континентальный, и основной объём осадков приходится на летний

период года (до 90 % и более), тогда как в зимние месяцы твёрдые осадки минимальны, и они формируют маломощный снежный покров, подверженный ветровой эрозии. По данным Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, доля осадков в зимний период 2023 г. (январь, февраль, ноябрь и декабрь) составила 6.3 %, а в 2024 г. из-за аномальных осадков в виде снега в ноябре эта величина была 12.6 % (рис. 1). В изучаемый период (ноябрь 2023 – март 2024 гг.) выпало 16 мм осадков, а снежный покров был устойчив в течение 126 суток. В целом существенные отличия выявлены и при сравнении годовых сумм осадков (2023 г. ≈298 мм, а 2024 г. ≈240 мм, что на 58 мм или 19 % меньше). 2024 г. характеризовался более сухой погодой с меньшим количеством осадков, как в холодный (в 2–2.5 раза меньше), так и в теплый периоды (~1.5 раза).

Одними из ключевых факторов загрязнения снежного покрова являются направление и скорость ветра. В период формирования и существования устойчивого снежного покрова выявлены следующие тенденции: в ноябре и декабре 2023 г. преобладали восточные и северо-восточные ветры (особенно в декабре, 24 %), это могло приносить холодные воздушные массы (понижение температуры в декабре до -24.5°C) (рис. 2).

В январе и марте 2024 г. доминировал восточный ветер (22–24 %), но в феврале резко усилился юго-западный (24 %). В целом февраль 2024 г. отличался аномальным юго-западным ветром, что могло повлиять на погоду (средняя температура февраля -19.7°C). Таким образом, в зимний период 2023–2024 гг. чаще дули восточные и северо-восточные ветра (В, СВ), что типично для антициклональной погоды (см. рис. 2). Также выявлено снижение средней скорости ветра в регионе, что провоцирует над Читино-Ингидинской впадиной формирование плотного смога из-за штилевой погоды и температурной инверсии.

В условиях урбанизированных территорий региона в осенне-зимний период года интенсивность поступления различных форм химических элементов существенно возрастает, что приводит к их длительной задержке в нижних слоях атмосферы и вымыванию из неё во время снегопадов. Совокупность процессов формирования твёрдых аэрозолей в атмосферном воздухе и их разрушения и выпадения в форме твёрдых осадков существенно нарушают естественное равновесие в обмене многими химическими элементами между различными геосредами (почва, атмосфера, объекты гидросферы). Такое смещение равновесия усиливает риски накопления биодоступных форм элементов и негативное влияния

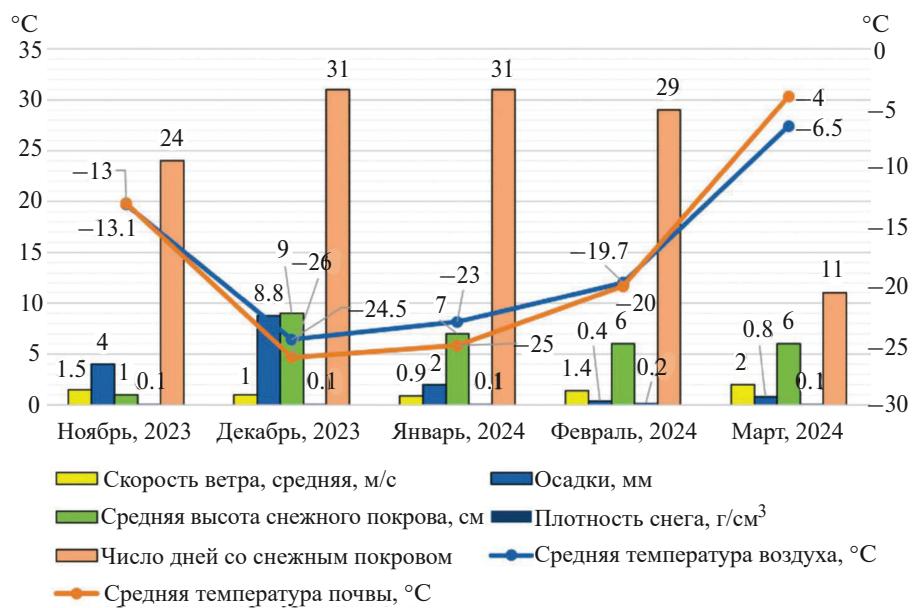


Рис. 1. Погодно-климатические показатели метеорологической станции “Чита” в период снегонакопления 2023–2024 гг., по данным Забайкальского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды

Fig. 1. Weather and climate parameters at the “Chita” weather station during the snow accumulation period 2023–2024 according to data from the “Transbaikalian Administration for Hydrometeorology and Environmental Monitoring”

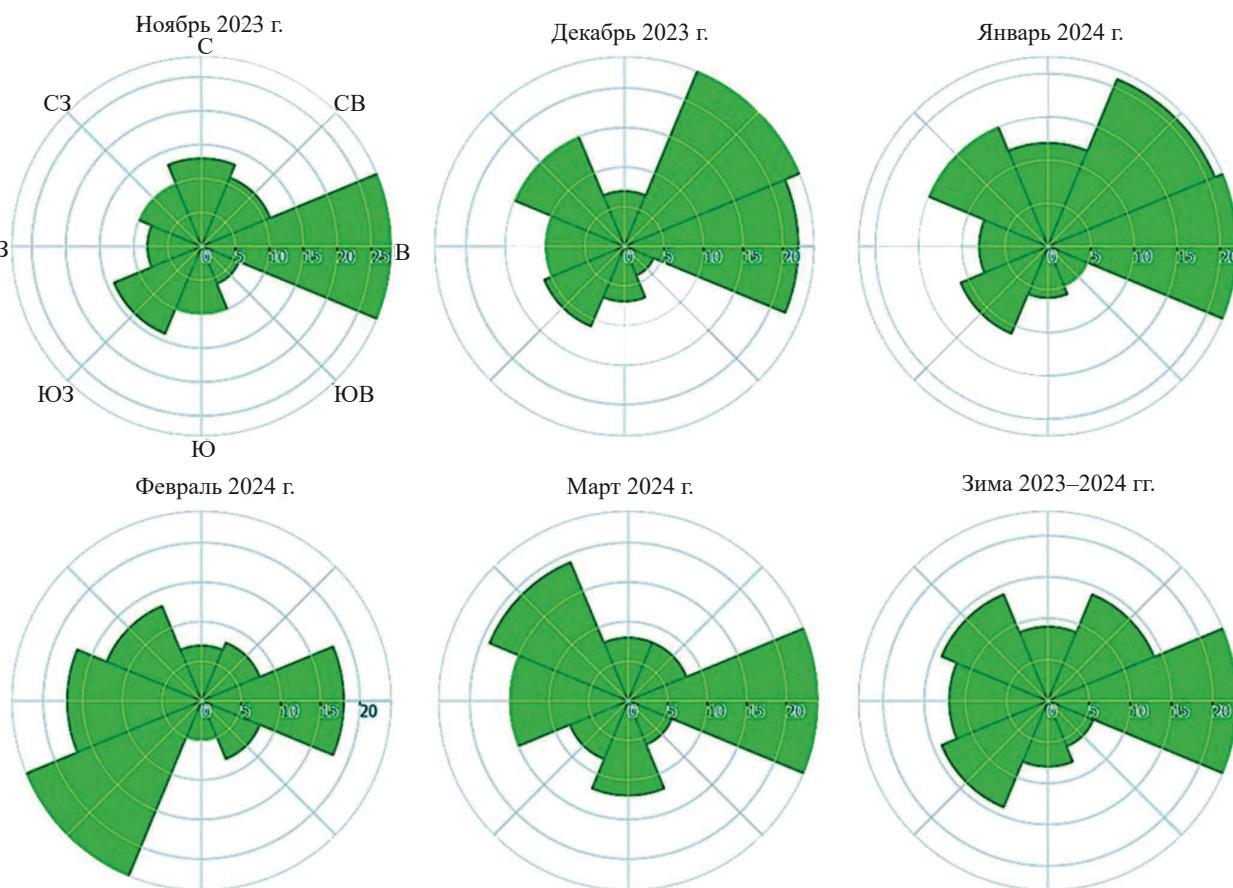


Рис. 2. Схемы направлений ветра в месяцы снегонакопления и в зимний период 2023–2024 г.

Fig. 2. Wind direction diagrams during snow accumulation months and the winter period of 2023–2024

их повышенных концентраций на объекты биосферы региона.

Цель работы – изучить элементный состав снежного покрова в г. Чита и его окрестностях, оказывающее влияние на его формирование.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для исследования пыли в снежном покрове проведен отбор 75 проб на территории города Чита и Читинского района Забайкальского края в период с 20 февраля до 11.03.2024 (рис. 3). Пробы снежного покрова отбирали в соответствии с общепринятыми методиками (Ревич и др., 1982; Методические рекомендации..., 1990). В связи с маломощным снежным покровом, характерным для региона, пробы отбирали пластиковыми совками (без снятия 1.5 см снега у почвы) в полиэтиленовые пакеты. Проба формировалась путем смещивания керна снега из нескольких близлежащих площадок, общая масса пробы – 4–5 кг.

Постоянный снежный покров установился в районе исследования 2 ноября 2023 г. Период накопления пыли и различных форм химических элементов в снежном покрове составлял от 112 до 126 суток.

Определение содержания химических элементов проводилось рентгенофлуоресцентным методом полного внешнего отражения на спектрометре S2 Picofox (Bruker Nano GmbH (Германия)). Подготовку проб твердой фазы снежного покрова проводили согласно МУ 31–11/05 после фильтрования талой воды объемом 1 л через бумажный фильтр (синяя лента, $d_{\text{пор}}: 2–3 \text{ мкм}$). Полученный твердый осадок подвергали сухому озолению в муфельной печи ЭКПС-5 при температуре 500 °C в течение 2 ч. Далее 10.0 мг пыли помещали в пробирку типа Eppendorf, приливали 100.0 мкл 1.0 %-ного раствора Тритона X-100 и 10.0 мкл стандарта, а после суспензии наносили на кварцевый прободержатель. Концентрацию элементов рассчитывали методом внутреннего стандарта, в качестве которого

использовался стандартный образец соли германия, разбавленный деионизированной водой ($\Omega = 18.2 \text{ МОм}$) с концентрацией $2.50 \text{ мг}\cdot\text{л}^{-1}$. Для каждой пробы производилось трёхкратное измерение аналитического сигнала.

Обработка аналитических данных проводилась с использованием программ “Microsoft Excel 2019” и “PAST 3.5”. Данные приведены в медианной величине. Кроме того, приведены величины минимального и максимального содержания элемента в каждой функциональной зоне города. Вычислены следующие показатели: EFs (*enrichment factor*) – фактор обогащения, рассчитанный по титану (Степанец и др., 2021), K_c – коэффициент концентрации относительно фонового участка и фона для Евразии, Z_c – суммарный показатель загрязнения.

$$EFs = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{Ti}} \right)_{\text{пыль}}}{\left(\frac{K_x}{K_{Ti}} \right)_{\text{кларк для земной коры}}}, \quad (1)$$

где C_x и C_{Ti} – содержание элемента и Ti в пылевой фракции снежного покрова, K_x и K_{Ti} – кларк элемента и Ti в земной коре (Алексеенко, Алексеенко, 2014; Касимов, Власов, 2015).

Источники поступления элементов классифицируются на три группы в зависимости от рассчитанной величины. При $EF < 10$ коэффициент концентрации имеет низкие значения, что указывает на преимущественное поступление элемента из минеральной пыли (природные источники), $10 > EF < 100$ – умеренное обогащение микроэлементами пылевой фракции, происхождение их поступления смешанное, $EF > 100$ – высокие значения, указывающие на техногенное поступление микроэлементов (Vlasov et al., 2020; Xue et al., 2020; Pozhitkov et al., 2020).

$$K_c = \frac{C_{\text{проба}}}{C_{\text{фон}}}, \quad (2)$$

где $C_{\text{проба}}$ и $C_{\text{фон}}$ – содержание элемента в пробе и в условиях фоновых участков (в $\text{мг}/\text{кг}$).

Значение коэффициента менее 1 указывает на низкое загрязнение, от 1 до 3 – на умеренное, от 3 до 6 – на значительное, а более 6 – на очень высокое (Степанец, 2021).

$$Z_c = \sum (K_{c(i)}) - (n - 1), \quad (3)$$

где K_c – коэффициент концентрации, n – число элементов, для которых K_c более 1.

Для корректного сравнения геохимических спектров элементов между точками наблюдения проведена стандартизация или переход от абсолютных значений содержания к относительным. Для этого использовалась следующая формула (Гилязов, 2015; Захарченко, 2023):

$$a_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_{ij})}{\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})}, \quad (4)$$

где x_{ij} – содержание химического элемента, $\min(x_{ij})$ – минимальное; $\max(x_{ij})$ – максимальное значение содержания в ряду проб; a_{ij} – безразмерная величина, отражающая стандартизованное значение содержания элемента, которое изменяется от нуля до 1 в ряду точек наблюдения. Стандартизованные данные использованы для построения кластерной дендрограммы по методу полной связи по коэффициенту корреляции Пирсона.

Сформированные выборки по содержанию химических элементов разных функциональных зон, фона и городов Евразии по степени техногенной нагрузки сравнивались между собой непараметрическим критерием Манна–Уитни. Значимыми считались выборки при $p \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные о содержании химических элементов в пылевой фракции снежного покрова г. Читы и локального фона, а также расчётные показатели медианного содержания микроэлементов для населённых пунктов Евразии и фона Евразии приведены в дополнительном материале, размещённом на электронной платформе (ZENODO..., 2025).

Выявлено, что элементный состав пылевой фракции для большинства функциональных зон г. Читы был однородным по содержанию Ti , V , Cr , Mn , Fe , Co , Ni , Cu , As , Se , Br , Rb , Sn , Sb , Cs , La , W , Pb , Th , U . Исключением выступила парково-рекреационная зона города, где количественные показатели для всех исследуемых микроэлементов были существенно меньшими, в сравнении с остальными функциональными зонами Читы.

В промышленной зоне, по значению медиан, выявлено максимальное накопление в пылевой фракции снежного покрова следующих элементов – Fe , Br , Sr , Sn , Sb , W , Th , для районов вдоль транспортных путей – Ti , V , Cu , для селитебной

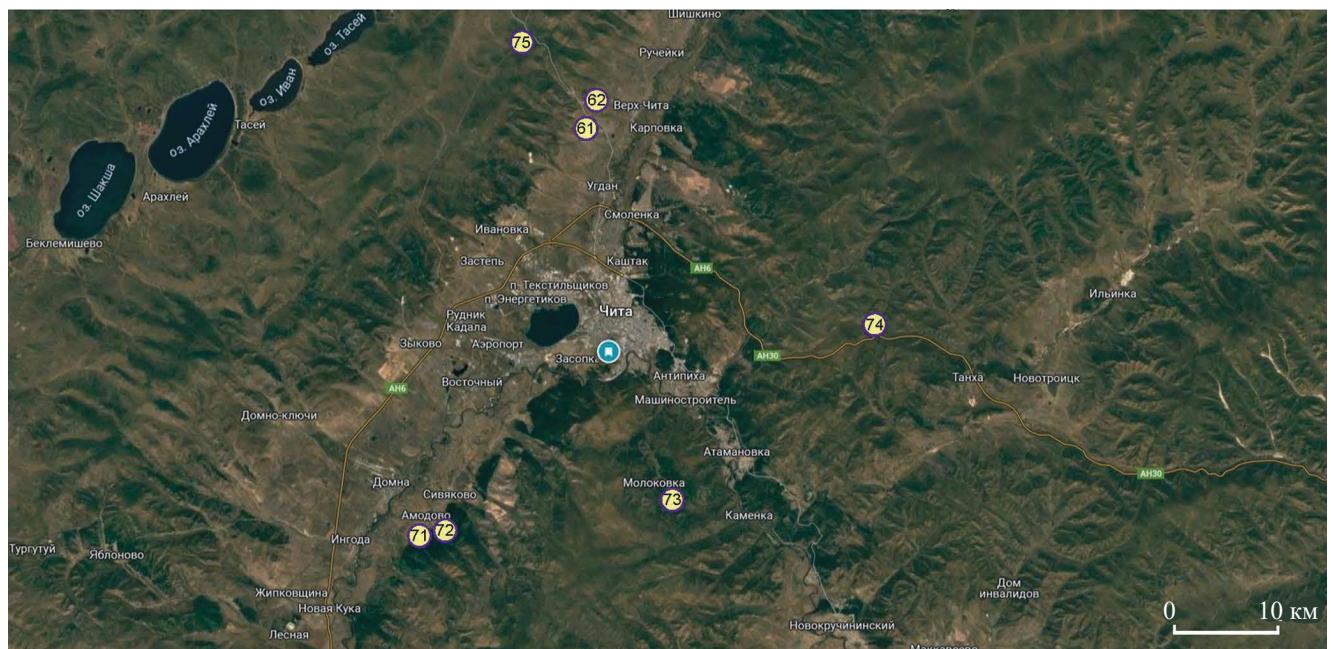
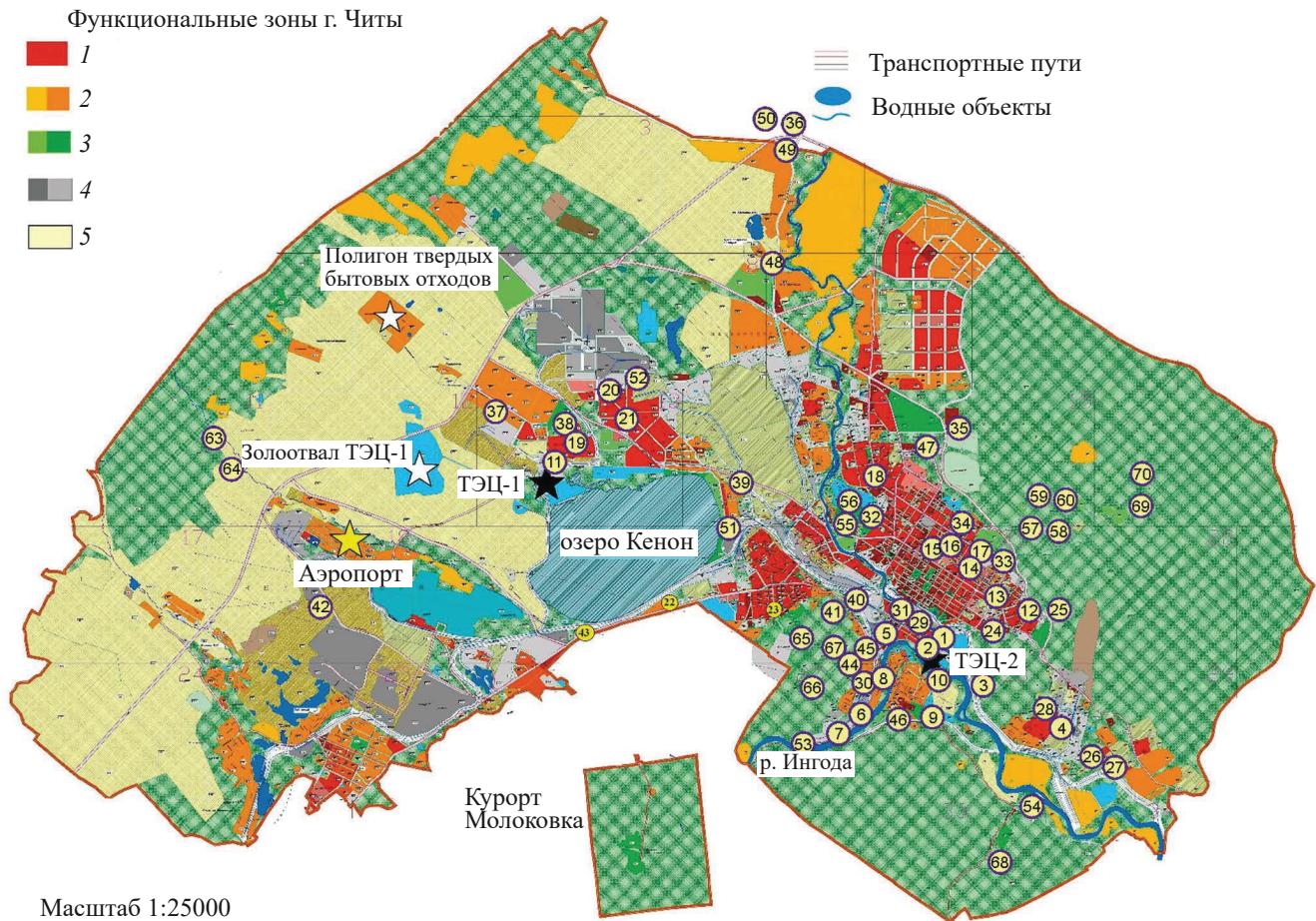




Рис. 3. Карта расположения функциональных зон г. Читы, пункты отбора проб в Читинском районе и Чите и ключевые стационарные источники загрязнения. Функциональные зоны и номера пунктов отбора снега:

1 – многоэтажная застройка (12 – мкр. Сосновый бор, ул. Славянская; 6, 13 – мкр. Видный, 14 – Энергетический факультет ЗабГУ (автодорога); 15 – ЧГМА, 2-й корпус; 16 – ЧГМА, главный корпус; 17 – Энергетический факультет ЗабГУ (двор); 17 – Стом. клиника ЧГМА; 18 – ГРЭС, 75 дом; 19 – КСК посёлок; 20 – школа милиции КСК; 21 – театр “Забайкальские узоры” КСК; 22 – мкр. Хороший; 23 – ул. Советская, д. 17; 24 – мкр. Батарейный);

2 – малоэтажная застройка и дачные кооперативы (44–2-й Верхний переулок; 45 – ул. Сибирская; 2, 46 – Кустарный переулок; 1, 47 – мкр. Сенная падь; 48 – п. Биофабрика; 49 – Уганда, кафе Баян-Гол; 50 – пос. Уганда, кафе “Аян”; 51 – оз. Кенон, городской пляж; 52 – мкр. Яблонька);

3 – парково-рекреационная и лесной фонд (53 – урочище “Сухотино” № 54 – руч. Заячий ключ № 55 – парк Победы; западная часть; 56 – парк Победы, восточная часть; 57 – парк ЗабВО, северная часть; 58 – парк ЗабВО, восточная часть; 59 – спортивная база “Орбита”, южная часть; 60 – спортивная база “Орбита”, северная часть; 61 – перевал Яблоневого хребта, лесной ручей; 62 – перевал Яблоневого хребта, степной склон; 63 – лес у дачного кооператива “Дворцы”; 64 – степной участок у дачного кооператива “Дворцы”; 65 – гора Титовская сопка, восточный склон; 66 – гора Титовская сопка, вершина; 67 – гора Титовская сопка, западный склон; 68 – лес у руч. Заячий ключ; 69 – спортивная база “Высокогорье”, южная часть; 70 – спортивная база “Высокогорье”, северная часть);

4 – промышленная (1 – пешеходный мост через р. Чита; 2 – ТЭЦ-2; 3 – берег р. Чита; 4 – очистные сооружения; 5 – магазин Ант; 6 – магазин Маяк; 7 – ул. Вокзальная, 3, склады; 8 – пивзавод, ул. Промышленная, сквер у предприятия; 9 – Сервис-база, ул. Промышленная; 10 – Читинский хладокомбинат, ул. Промышленная; 11 – ГРЭС, хлебозавод);

5 – залижи, болота и остепнённые луга. Пункты, вдоль транспортных путей (25 – Объездная дорога, выше мкр. Сосновый бор; 26 – ул. Аптечный проезд; 27 – пос. Осетровка, над Транссибирской железной дорогой; 28 – магазин Маяк, лес, пос. Антипиха; 29 – ул. Ярославского, берег реки Чита; 30 – ул. Балейская, ж.-д. переезд; 31 – ул. Малая; 32 – ул. Артёменко; 33 – ул. Кайдаловская; 34 – ул. Матвеева; 35 – мкр. Северный; 36 – автодорога у с. Уганда; 37 – автодорога к мкр. ГРЭС; 38 – АЗС, мкр. ГРЭС; 39 – ул. Ивановская; 40 – ул. Московский тракт, у АЗС; 41 – ул. Московский тракт, у часовни; 42 – окр. аэропорта “Кадала”; 43 – ул. Магистральная).

Условно-фоновые участки: 71 – окр. с. Амодово, к западу; 72 – окр. с. Амодово, к востоку; 73 – лес у источника “Молоковка”; 74 – перевал на хр. Черского; 75 – перевал Яблоневого хр.

Fig. 3. Map of the location of functional zones of the city of Chita, sampling points in the Chita region and Chita, and key stationary sources of pollution. Functional zones:

1 – multi-storey buildings (12 – Distr. Sosnovy Bor, Slavianskaya St., 6, 13 – Distr. Vidny, 14 – Zabaikalsky State University (ZabSU), Power Engineering Faculty (near the highway), 15 – Chita State Medical Academy, Building 2, 16 – Chita State Medical Academy, Main Building, 17 – Zabaikalsky State University, Power Engineering Faculty (courtyard), 17 – ChSMA Dental Clinic, 18 – GRES, 75, 19 – KSK settlement, 20 – KSK Police School, 21 – “Zabaikalskie Uzory” Theater, KSK, 22 – Distr. Khoroshiy, 23 – Sovetskaya St., 17, 24 – Distr. Batareiny);

2 – low-rise buildings and country cooperatives (44–2-nd Verkhny Lane, 45 – Sibirskaya St., 2, 46 – Kustarny Lane, 1, 47 – Distr. Sennaya Pad’, 48 – Biofabrika settlement, 49 – Ugdan, “Bayan-Gol” Cafe, 50 – Ugdan settlement, “Ayan” Café, 51 – Lake Kenon, City Beach, 52 – Distr. Yablonka);

3 – parks, recreation and forestry (53 – Sukhotino tract, 54 – Zayachy Klyuch stream, 55 – Pobedy Park, western part, 56 – Pobedy Park, eastern part, 57 – ZabVO Park, northern part, 58 – ZabVO Park, eastern part, 59 – “Orbita” Sports Base, southern part, 60 – “Orbita” Sports Base, northern part, 61 – Yablonovy Range Pass, forest stream, 62 – Yablonovy Range Pass, steppe slope, 63 – Forest near the “Dvortsy” Dacha Cooperative, 64 – Steppe area near the “Dvortsy” Dacha Cooperative, 65 – Titovskaya Sopka Hill, eastern slope, 66 – Titovskaya Sopka Hill, summit, 67 – Titovskaya Sopka Hill, western slope, 68 – Forest near Zayachy Klyuch stream, 69 – “Vysokogor’e” Sports Base, southern part, 70 – “Vysokogor’e” Sports Base, northern part);

4 – industrial (1 – Pedestrian bridge over the Chita River, 2 – Cogeneration Heat and Power Plant-2, 3 – Chita River bank, 4 – Wastewater treatment plant, 5 – “Ant” store, 6 – “Mayak” store, 7 – Vokzalnaya St. 3, warehouses, 8 – Brewery, Promyshlennaya St., park near the enterprise, 9 – Servico-Base, Promyshlennaya St., 10 – Chita Cold Storage Plant, Promyshlennaya St., 11 – GRES, bakery);

5 – deposits, swamps and steppe meadows. Points along transportation routes (25 – Bypass road, upstream of distr. Sosnovy Bor, 26 – Aptekhny Proezd St., 27 – Oséetrovka settlement, above the Trans-Siberian Railway, 28 – “Mayak” store, forest, Antipikhya settlement, 29 – Yaroslavskogo St., Chita River bank, 30 – Baleynskaya St., railway crossing, 31 – Malaya St., 32 – Artemenko St., 33 – Kaydalovskaya St., 34 – Matveeva St., 35 – Distr. Severny, 36 – Highway near Ugdan village, 37 – Highway to distr. GRES, 38 – Gas station, distr. GRES, 39 – Ivanovskaya St., 40 – Moskovsky Trakt St., near gas station, 41 – Moskovsky Trakt St., near the chapel, 42 – Kadala Airport vicinity, 43 – Magistralnaya St.).

Background reference sites: 71 – Amodovo village vicinity, west, 72 – Amodovo village vicinity, east, 73 – Forest near the “Molokovka” spring, 74 – Pass on the Cherskogo Range, 75 – Pass on the Yablonovy Range)

зоны с многоэтажной застройкой – V, Ni, Cu, Zn, As, Sn, Sb, Pb, для малоэтажной застройки – Mn и Ba.

Фактор обогащения (*EF*) пыли снежного покрова в сравнении с кларковыми числами элементов для верхней части континентальной земной коры имел величины более 10 единиц для Sn, Se и Sb в пробах во всех функциональных зонах города с максимумами для транспортной зоны и многоэтажной застройки для олова и для многоэтажной застройки для селена и сурьмы. Такой фактор обогащения указывает на природно-техногенные источники поступления в снежный покров Sn, Se и Sb. Показателей фактора обогащения, с величинами более 100 единиц, для пунктов отбора проб в г. Чите не выявлено. Для Zn, As, Sr, Cs, W, Pb данный показатель варьировал от 5 до 9.5, что характеризует преимущественно природные источники их поступления. Тогда так Zn, As, Sr, Cs, W, Pb характеризовались величинами *EFs* от 5 до 9.5, и они преимущественно имели природные источники поступления. Большинство микроэлементов характеризовались величинами *EFs* менее 5 единиц, а ряд из них – менее 1.

Коэффициент концентрации, вычисленный относительного медианного содержания элементов в пробах фонового участка Читинского района, выявил высокие величины показателя для W (особенно для промышленных территорий, $K_c = 62.26$) и As (для многоэтажной застройки $K_c = 19.54$, и несколько меньшей мере для промышленной и транспортной зон). Для всех функциональных зон Читы, за исключением парково-рекреационной, отмечены относительно высокие показатели коэффициента концентрации для остальных элементов, что указывает на техногенное загрязнение снежного покрова. В целом городские зоны содержат значительно больше As (в 17 раз выше фона), Sb (более 37), Sn (более 25), Pb (5.8), Cu (6.3), Zn (5.2). Парково-рекреационная зона ближе к фону, но всё же имеет повышенные уровни накопления Sb, Sn и As.

Вычисленные показатели суммарного загрязнения, по совокупности всех химических элементов, распределились следующим образом: Zc (ПЗ) = 8.52, Zc (МалЭЗ) = 8.11, Zc (ТЗ) = 7.93, Zc (МнЭЗ) = 7.19, Zc (ПРЗ) = 2.18, Zc (среднее в г. Чите) = 7.71, что характеризует пылевую фракцию снежного покрова для территории г. Читы как мало загрязнённую. Приведённые ранее исследования (Бондаревич, 2019) по меньшему перечню микроэлементов

имели существенно большие величины суммарного загрязнения, так как проводилось измерение их содержания инверсионной вольтамперометрическим методом, показатели рассчитывались по средним значениям концентрации, и учитывалась токсичность каждого элемента в зависимости от класса его опасности. Кроме того, основной вклад в этот показатель вносил Cd, уровень накопления которого в данной работе не изучался.

Для более объективной оценки уровня накопления химических элементов в снежном покрове г. Читы проводили расчёт коэффициента концентрации в сравнении с медианным значением для фоновых участков Евразии, рассчитанным по литературным данным: окрестности городов Тюмень и Тобольск (Московченко и др., 2021; Захарченко, Тигеев, 2023), окрестности г. Улан-Батора (Монголия) (Кошелева и др., 2013; Сорокина и др., 2013; Karthe et al., 2020), урочище “Мухинка” (Амурская область) (Куимова и др., 2012), оз. Чабыда (Якутия) (Макаров, Торговкин, 2021), в 50–60 км от Ватинского месторождения нефти (Ханты-Мансийский автономный округ) (Московченко и др., 2022), условно-фоновые пункты Новосибирской области, Алтайского края и Республики Алтай (Павлов и др., 2009; Робертус и др., 2016; Степанец и др., 2021), 30–35 км от г. Благовещенска Амурской области (Юсупов и др., 2014; Юсупов и др., 2014), 35–40 км от г. Благовещенска Амурской области (Павлова и др., 2015; Радомская и др., 2018; Радомская и др., 2018), окрестности Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения (Пожитков и др., 2019), условно экологически чистые пункты Иркутской области (Санина и др. 2002), биосферный заповедник “Аскания-Нова” в Херсонской области России (Смирнова, Долин, 2011), полигон “Фоновый” ИОА СО РАН около с. Киреевск Томской области (Таловская и др., 2014), условно-фоновый район в окрестностях г. Кызыла (Тыва) (Тас-оол и др., 2014). По среднему показателю Zc зафиксировано очень высокое загрязнение территории г. Читы Sr, Cs и значительно – Ti, Sb, Ba. По функциональным зонам перечень поллютантов, содержание которых превышало фоновые значения для Евразии, был шире: очень высокое загрязнение в промзоне по Sr, Cs, значительно – по Ti, Mn, Sb, Ba, W; для районов вдоль транспортных путей – Sr, Ti, Mn, Rb, Cs, Ba; для селитебной зоны – Sr, Cs, Ti, Ba; парково-рекреационная зона имела умеренное загрязнение Sr и Cs. Показатель суммарного

загрязнения также характеризовался величинами от 2.81 до 4.0, что указывает на относительно низкий уровень загрязнения пылевой фракции снежного покрова Читы.

Сравнение медианных величин для г. Читы с медианными значениями для населённых пунктов и районов интенсивного техногенеза Евразии: городов Тюмень и Тобольск (Московченко и др., 2021; Московченко и др., 2021; Захарченко, Тигеев, 2023), г. Улан-Батора (Монголия) (Кошелева и др., 2013; Сорокина и др., 2013; Karthe et al., 2020), функциональные зоны г. Благовещенска (Амурская область) (Куимова и др., 2012; Павлова и др., 2015; Радомская и др., 2018; Радомская и др., 2018), окрестности промышленных предприятий г. Благовещенска (Юсупов и др., 2014; Юсупов и др., 2014); г. Якутск (Макаров, Торговкин, 2021), Ватинское месторождения нефти (Ханты-Мансийский автономный округ) (Московченко и др., 2022), населённые пункты Новосибирской области, Алтайского края и Республики Алтай (Павлов и др., 2009; Робертус и др., 2016; Степанец и др., 2021), Заполярное нефтегазоконденсатного месторождения (Пожитков и др., 2019), г. Иркутск (Санина и др. 2002), г. Николаев (Смирнова, Долин, 2011), Томск-Северская промышленная агломерация (Таловская и др., 2014), г. Кызыл (Тыва) (Тас-оол и др., 2014), пос. Шерловая Гора (Забайкальский край) (Эпова и др., 2020) выявил существенно большее содержание в пыли Ti и незначительное превышение Mn, Sr, Sb и Cs. Для ряда микроэлементов, напротив, фиксировались меньшие количества: V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Se, La, W, Pb, Th и U. В среднем по городам Евразии выше содержание в пылевой фракции Pb (87.4 против 14.79 мг/кг), Cu (85.2 против 16.16 мг/кг), Ni (58.75 против 7.63 мг/кг), Co (23.5 против 0.66 мг/кг), и г. Чита оказалась менее загрязнена тяжёлыми металлами, чем многие города Евразии. Основные загрязнители в Чите – As, Sb, Sn, W, Pb и Zn – связаны с угольным отоплением, транспортом, промышленностью, что согласуется с ранее полученными результатами (Бондаревич, 2019).

Кластерный анализ по стандартизованным показателям, рассчитанным относительно медианного содержания микроэлемента и его лимитов, выявил разделение функциональных зон г. Читы на две ветви кластеров (рис. 4). Наибольшее сходство по распределению и накоплению микроэлементов отмечено в селитебной зоне – и в многоэтажной, и в малоэтажной застройке, фактически одинаковыми были

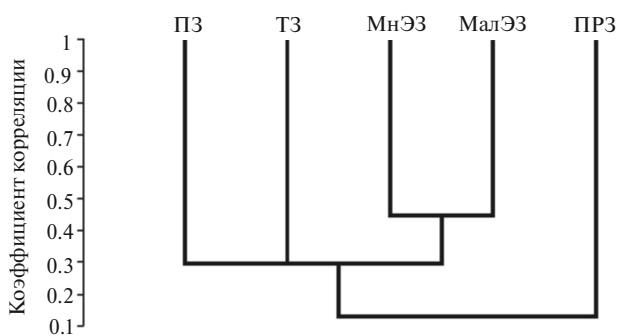


Рис. 4. Кластерная дендрограмма, построенная по методу парных групп (Paired group) (UPGMA – unweighted pair group method with arithmetic mean) по величинам стандартизированного содержания элементов. Функциональные зоны г. Читы: ПЗ – промышленная, ТЗ – пункты вдоль транспортных путей, МЗЭ – селитебная зона с многоэтажной застройкой, НЭЗ – селитебная зона с малоэтажной застройкой, ПРЗ – парково-рекреационные зоны

Fig. 4. Cluster dendrogram (based on UPGMA – unweighted pair group method with arithmetic mean) of standardized element content values. Functional zones of Chita city: industrial zone, areas along transport routes, residential zone with multi-story buildings, residential zone with low-rise buildings, park and recreational zones

группы площадок промзоны и районов вдоль транспортных путей, парково-рекреационная зона имела минимальную связь с остальными участками, что подтверждает её низкий уровень загрязнённости (см. рис. 2).

Сравнение рядов медианного содержания микроэлементов в разных функциональных зонах г. Читы и литературных данных для оценки уровня значимости данных по критерию Манна–Уитни выявило, что фон в Читинском районе достоверно имел отличия в сравнении со всеми функциональными зонами города, кроме парково-рекреационной (таблица). Парково-рекреационные зоны (ПРЗ) по составу ближе к фоновым значениям Читы, но не к городам Евразии, – это может указывать на эффективность зелёных зон в снижении загрязнения и особенности локальных почв или меньшую техногенную нагрузку на них. Урбанизированные территории Читы по количеству микроэлементов в снежном покрове сопоставимы с другими городами Северного полушария. Кроме того, значимые отличия выявлены в сравнении пар “фон – фон Евразии”, “ПРЗ Читы – города Евразии” и “фон – города Евразии”, при этом по большинству микроэлементов показатели для Читы и для локального фона были существенно меньшими, чем рассчитанные медианы

Таблица. Величины критерия Манна–Уитни (U) и его уровень значимости ($p < 0.05$) для совокупности данных по функциональным зонам г. Читы

Table. The values of the Mann–Whitney criterion (U) and its significance level ($p < 0.05$) for the set of data on the functional zones of the city of Chita

Функциональные зоны		ПЗ	ТЗ	МЭЗ	НЭЗ	РЗ	Фон	Фон по Евразии	Города Евразии
		р-уровень							
U	ПЗ	—	0.96	0.96	0.98	0.08	0.03	0.91	0.09
	ТЗ	261.5	—	1.0	0.93	0.09	0.03	0.96	0.09
	МЭЗ	261.5	264.0	—	0.99	0.09	0.03	0.94	0.1
	НЭЗ	263.0	260.0	263.5	—	0.09	0.03	0.86	0.09
	РЗ	183.0	186.5	186.0	186.0	—	0.41	0.09	<0.01
	Фон	164.5	168.0	167.5	165.0	226.5	—	0.03	<0.01
	Фон по Евразии	259.0	262.0	260.5	256.0	188.0	166.5	—	0.08
	Города Евразии	186.0	188.0	189.0	186.0	115.0	90.0	185.5	—

для городов и фоновых участков в Евразии. Наиболее существенные отличия медианных величин отмечались в сравнении регионального фона Забайкалья и среднего евразийского фона. По величинам критерия Манна–Уитни (см. таблицу) между функциональными зонами г. Читы достоверных отличий не выявлено, что указывает на относительно однородный уровень загрязнённости урбанизированной территории микроэлементами.

ВЫВОДЫ

1. Пылевая фракция снежного покрова в большинстве функциональных зон г. Читы (промышленная, транспортная, селитебная) демонстрирует однородный элементный состав, за исключением парково-рекреационной зоны, где содержание микроэлементов существенно ниже. Максимальные концентрации элементов связаны с техногенными источниками:

- Fe, Br, Sr, Sn, Sb, W, Th – в промышленных районах города;
- Ti, V, Cu – вблизи транспортных магистралей;
- V, Ni, Cu, Zn, As, Pb – в районах многоэтажной застройки.

2. Фактор обогащения (EF_s) выявил техногенное влияние на накопление Sn, Se, Sb ($EF_s > 10$), что указывает на их смешанное природно-антропогенное происхождение. Для большинства элементов (Ti, Mn, Fe, Co и др.) преобладают природные источники ($EF_s < 10$).

3. Коэффициент концентрации (K_c) подтвердил значительное техногенное загрязнение вольфрамом (K_c до 62.26 в промзонах) и мышьяком (K_c до 19.54 в зоне многоэтажной застройки).

4. Суммарный показатель загрязнения (Z_c) пылевой фракции снежного покрова для г. Читы в целом составил 7.71, что соответствует категории низкого загрязнения. Наибольшие значения зафиксированы в промзоне ($Z_c = 8.52$), минимальные – в парково-рекреационной зоне ($Z_c = 2.18$). Тем не менее по величине коэффициента концентрации, в сравнении с фоновыми значениями Евразии, выделены зоны с очень высоким загрязнением Sr, Cs и значительным – Ti, Sb, Ba. Преимущественно к таковым относятся промышленная зона и районы вдоль железных дорог и автодорог.

5. В пыли снежного покрова г. Читы повышенено содержание Ti, Mn, Sr, Sb, Cs, но снижены концентрации V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Se, La, W, Pb, Th, U относительно медианных значений для городов Евразии. Это отражает специфику местных источников загрязнения (теплоэнергетика, транспорт) и природно-климатические особенности урбанизированной территории.

6. Кластерный анализ выявил разделение функциональных зон на две ветви: селитебные зоны (многоэтажная и малоэтажная застройка), промышленные и транспортные зоны, что характеризует их сходством процессов образования и накопления поллютантов неорганической природы. Парково-рекреационная зона выделяется минимальным загрязнением, что

подтверждает её роль как буферной территории. Контраст между фоном Читинского района и городами Евразии может указывать на накопленный региональный геохимический фон или специфику природных условий Забайкалья. Однородность загрязнения в городе требует дополнительного изучения источников и путей распространения микроэлементов.

7. Фоновая зона Читинского района достоверно отличается от всех функциональных зон города (промышленных, селитебных, транспортных и др.), кроме парково-рекреационной. Это может указывать на схожий уровень микроэлементного состава в парковых зонах и фоновых территориях (меньше антропогенного влияния) и более сильное загрязнение в других урбанизированных зонах. Несмотря на общий низкий уровень загрязнения, выявлены локальные зоны с повышенным содержанием токсичных элементов (W, As и Sb), требующие мониторинга. Преобладание природных источников для большинства элементов подчёркивает важность учёта геохимических особенностей региона. Результаты исследования могут быть использованы для оптимизации экологической политики и снижения техногенной нагрузки в условиях резко-континентального климата Забайкалья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеенко В.А., Алексеенко А.В.** Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального ун-та, 2013. 312 с.
- Бондаревич Е.А.** Оценка техногенного загрязнения городской среды Читы по состоянию снежного покрова // Лёд и Снег. 2019. Т. 3. № 59. С. 389–400. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-3-393>
- Гилязов А.Ф.** Кластерный анализ как инструмент районирования территории по крупности речных наносов (на примере бассейна Волги) // Вест. Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле. 2015. Т. 25. № 2. С. 149–158.
- 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>
- Касимов Н.С., Власов Д.В.** Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогохимии // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2015. № 2. С. 7–17.
- Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажса С.Н., Энх-Амгалан С.** Геохимия ландшафтов Улан-Батора // Изв. РАН. Сер. География. 2013. № 5. С. 111–126.
- Куимова Н.Г., Сергеева А.Г., Шумилова Л.П., Павлова Л.М., Борисова И.Г.** Экологогеохимическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 5. С. 422–435.
- Макаров В.Н., Торговкин Н.В.** Геохимия взвешенных веществ в зимней атмосфере Якутска (по снежному покрову) // Оптика атмосферы и океана. 2021. Т. 34. № 10 (393). С. 765–768. <https://doi.org/10.15372/AOO20211003>
- Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населённых пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. № 5174–90 / Сост. Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова. М.: Изд-во ИМГРЭ, 1990. 9 с.
- Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю., Курчатова А.Н., Тимшанов Р.И.** Геохимическая характеристика снежного покрова Тюмени // Вест. МГУ. Сер. 5. География. 2021. № 3. С. 13–26.
- Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю., Соромотин А.В.** Геохимическая характеристика снежного покрова г. Тобольск // Изв. Томск. политех. ун-та. Инженеринг георесурсов. 2021. Т. 332. № 5. С. 156–169. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/05/3195>
- Московченко Д.В., Пожитков Р.Ю., Тигеев А.А.** Оценка содержания металлов и металлоидов в снежном покрове на участках нефтедобычи Среднего Приобья // Лёд и Снег. 2022. Т. 62. № 4. С. 551–563. <https://doi.org/10.31857/S2076673422040151>
- 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.
- Павлова Л.М., Радомская В.И., Юсупов Д.В.** Высоко-токсичные элементы в снежном покрове на территории г. Благовещенска // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2015. № 1. С. 27–35.
- Пожитков Р.Ю., Московченко Д.В., Соромотин А.В., Кудрявцев А.А., Томилова Е.В.** Оценка загрязнения снегового покрова Заполярного месторождения // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2019. № 5 (290). С. 15–21. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-5\(290\)-15-21](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-5(290)-15-21)
- Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М.** Редкоземельные элементы в атмосферных осадках на территории г. Благовещенска // Геохимия. 2018. № 2. С. 197–206. <https://doi.org/10.7868/S0016752518010053>

- Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М., Сергеева А.Г., Бородина Н.А.* Многомерный статистический анализ содержаний элементов в снеговом покрове г. Благовещенска // Региональная экология. 2018. № 2 (52). С. 15–28.
<https://doi.org/10.30694/1026-5600-2018-2-15-28>
- Ревич Б.А., Саэт Ю.Е., Смирнова Р.С., Сорокина Е.П.* Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982. 112 с.
- Робертус Ю.В., Удачин В.Н., Рихванов Л.П., Кивацкая А.В., Любимов Р.В., Юсупов Д.В.* Индикация компонентами природной среды трансграничного переноса загрязняющих веществ на территорию горного Алтая // Известия Томск. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов. 2016. Т. 327. № 9. С. 39–48.
- Санина Н.Б., Чернов А.Ю., Пройдакова О.А., Арсентьев А.Г.* Распределение и баланс токсичных металлов в природно-техногенных системах топливно-энергетических комплексов Прибайкалья // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2002. № 2. С. 145–55.
- Смирнова С.М., Долин В.В.* Тяжелые металлы в снежном покрове г. Николаева // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколошнього середовища. 2011. Вип. 19. С. 115–124.
- Сорокина О.И., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Голованов Д.Л., Бажа С.Н., Доржготов Д., Энх-Амгалан С.* Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // География и природные ресурсы. 2013. № 3. С. 159–170.
- Степанец В.Н., Серых Т.Г., Папина Т.С.* Оценка содержания микроэлементов в снежном покрове юга Западной Сибири // Гидрометеорология и экология. 2021. № 64. С. 480–492.
<https://doi.org/10.33933/2713-3001-2021-64-480-492>
- Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Язиков Е.Г.* Динамика элементного состава снегового покрова на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 6. С. 491–495.
- Тас-оол Л.Х., Янчам Н.Н., Жданок А.И., Чупикова С.А.* Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыл // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 6. С. 507–517.
- Эпова Е.С., Солодухина М.А., Еремин О.В., Михайлова Л.А., Алексеева О.Г., Бурлака Н.М., Лапа С.Э.* Мониторинг содержания мышьяка, свинца, кadmия, цинка и меди в компонентах окружающей среды населённого пункта Шерловая Гора (Восточное Забайкалье) // Гигиена и санитария. 2020. Т. 99. № 2. С. 210–216.
<http://dx.doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-2-210-216>
- Юсупов Д.В., Радомская В.И., Павлова Л.М., Трутнева Н.В., Ильенок С.С.* Тяжелые металлы в пылевом аэрозоле северо-западной промышленной зоны г. Благовещенска (Амурская область) // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 10. С. 906–910.
- Юсупов Д.В., Степанов В.А., Трутнева Н.В., Могилев А.А.* Минеральный и геохимический состав твердого осадка в снеговом покрове г. Благовещенск (Амурская область) // Известия Томск. политех. ун-та. 2014. Т. 324. № 1. С. 184–189.
- Karthe D., Hafer T., Battulga B., Sereeter L., Stehr G.* Pollution Reduction Potential By Implementing Electrostatic Dust Precipitators On Mongolian Small-Scale Stoves (A Pilot Study In Ulaanbaatar) // Geography, environment, sustainability. 2020. V. 13. № 3. P. 117–128.
<https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-50>
- mnrt.gov.ru // Электронный ресурс. <https://www.mnrt.gov.ru/activity/clean-air/chita> Дата обращения: 18.04.2025.
- Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A., Kudryavtsev A., Tomilova E.* Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions // Environmental Monitoring and Assessment. 2020. V. 192. № 4. P. 215.
<https://doi.org/10.1007/s10661-020-8179-4>
- Vlasov D., Kasimov N., Eremina I., Shinkareva G., Chubarova N.* Partitioning and solubilities of metals and metalloids in spring rains in Moscow megacity // Atmospheric Pollution Research. 2020. V. 12. № 1. P. 255–271.
<https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.09.012>
- Xue H., Chen W., Li M., Liu B., Li G., Han X.* Assessment of major ions and trace elements in snow: A case study across northeastern China, 2017–2018 // Chemosphere. 2020. V. 251. P. 126328.
<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126328>
- ZENODO // Электронный ресурс. <https://zenodo.org/15860573> Дата обращения: 18.04.2025.

Citation: Bondarevich E.A. Microelement composition of dust in the snow cover of Chita city in 2023–2024. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2025, 65 (4): 614–627. [In Russian]. doi: 10.7868/S2412376525040073.

Microelement composition of dust in the snow cover of Chita city in 2023–2024

© 2025 E. A. Bondarevich

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

e-mail: bondarevich84@mail.ru

Received April 29, 2025; revised July 16, 2025; accepted September 25, 2025

The microelement composition of the dust fraction of the snow cover of the Chita city (Zabaykalsky Krai, Russia) in winters of 2023–2024 was examined. For several years, Chita is known as one of the Russian cities with the most polluted air, and therefore it has been included into the Federal project “Clean Air” to reduce the level of emissions into the atmosphere by 2026 from 67.1 thousand tons (2017) to 23 thousand tons. In this aspect, this study of the content of trace elements in the snow cover was performed. The X-ray fluorescence analysis method was used to examine 75 samples of dust from snow, taken in various functional zones. The results revealed the distribution of chemical elements in the snow cover, depending on the level of technogenic load. The industrial zone and sites along transport routes are the most polluted, while the lowest levels of trace element accumulation are typical in the parking and recreational zones. Increased concentrations of Fe, Br, Sr, Sn, Sb, W and Th were recorded in the industrial zone, while Ti, V and Cu prevailed near the transport routes. Analysis of samples by the enrichment factor did show a significant anthropogenic contribution for Sn, Se and Sb ($EF > 10$), with maximum values of the concentration factor for W (K_c up to 62.26 in industrial zones) and As (K_c up to 19.54 in residential districts). The total pollution index (Z_c) ranged from 2.18 (recreational zone) to 8.52 (industrial zone), indicating a moderate level of common pollution. Comparison with background values for Eurasia revealed that increased concentrations of Sr, Cs and Ti in the Chita samples, while the content of heavy metals (Pb, Cu, Ni) was smaller than the median values in other regions. The study emphasizes the integrated influence of local industrial emissions, transport and regional geochemical background on the composition of snow dust in a sharp continental climate.

Keywords: snow chemistry, urban pollution, heavy metals, enrichment factor, atmospheric deposition, Trans-Baikal region

REFERENCES

- Alekseenko V.A., Alekseenko A.V. *Himicheskie elementy v geohimicheskikh sistemah. Klarki pochv selitebnyh landschaftov.* Chemical elements in geochemical systems. Clarks of soils in residential landscapes. Rostov-on-Don: Southern Federal University, 2013: 312. [In Russian].
- Bondarevich E.A. Assessment of Technogenic Pollution of the Urban Environment in Chita Based on Snow Cover Conditions. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2019, 3 (59): 389–400. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-3-393> [In Russian].
- Gilyazov A.F. Cluster Analysis as a Tool for Regionalization by River Sediment Size (Case Study of the Volga River Basin). *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle.* Bulletin of Udmurt University. Biology. Earth Sciences. 2015, 25 (2): 149–158. [In Russian].
- Zakharchenko A.V., Tigeev A.A. Trace Elements in Snow Cover Dust: Case Study of Tyumen and Tobolsk Cities. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2023, 63 (3): 397–409. <https://doi.org/10.31857/S2076673423030146> [In Russian].
- Kasimov N.S., Vlasov D.V. Clarke Values of Chemical Elements as Reference Standards in Ecogeochimistry. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya.* Bulletin of Moscow University. Series 5: Geography. 2015, 2: 7–17. [In Russian].
- Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Sorokina O.I., Gunin P.D., Bazha S.N., Enkh-Amgalan S. Geochemistry of Landscapes in Ulaanbaatar. *Izvestiya RAN. Seriya Geografika. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Geographical Series.* 2013, 5: 111–126. [In Russian].
- Kuimova N.G., Sergeeva A.G., Shumilova L.P., Pavlova L.M., Borisova I.G. Ecological-Geochemical Assessment of Aerotechnogenic Pollution in Urban Areas Based on Snow Cover Conditions. *Geoekologiya. Inzhenernaya*

- geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. Geoecology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology.* 2012, 5: 422–435. [In Russian].
- Makarov V.N., Torgovkin N.V.* Geochemistry of Suspended Matter in the Winter Atmosphere of Yakutsk (Based on Snow Cover). *Optika atmosfery i okeana. Atmospheric and Oceanic Optics.* 2021, 34 (10(393)): 765–768. <https://doi.org/10.15372/AOO20211003> [In Russian].
- Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zaryazneniya atmosfernogo vozduha naselyonnyh punktov metallami po ih soderzhaniyu v snezhnom pokrove i pochve. № 5174–90. Methodical recommendations for assessing the degree of pollution of atmospheric air in populated areas with metals by their content in the snow cover and soil. Compilers: B.A. Revich, Yu.E. Saet, R.S. Smirnova 5174–90. Moscow: IMGRE, 1990: 9 p. [In Russian].
- Moskovchenko D.V., Pozhitkov R.Yu., Kurchatova A.N., Timshanov R.I.* Geochemical Characteristics of Snow Cover in Tyumen. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5. Geografiya.* Moscow University Bulletin. Series 5: Geography. 2021, 3: 13–26. [In Russian].
- Moskovchenko D.V., Pozhitkov R.Yu., Soromotin A.V.* Geochemical Characteristics of Snow Cover in Tobolsk. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov.* Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2021, 332 (5): 156–169. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/05/3195> [In Russian].
- Moskovchenko D.V., Pozhitkov R.Yu., Tigeev A.A.* Assessment of Metal and Metalloid Content in Snow Cover in Oil-Producing Areas of the Middle Ob Region. *Led i Sneg. Ice and Snow.* 2022, 62 (4): 551–563. <https://doi.org/10.31857/S2076673422040151> [In Russian].
- Pavlov V.E., Sutorikhin I.A., Khvostov I.V., Zinchenko G.S.* Snow Cover as an Indicator of Pollution in Urbanized Areas of the Altai Territory. *Optika atmosfery i okeana. Atmospheric and Oceanic Optics.* 2009, 22 (1): 96–100. [In Russian].
- Pavlova L.M., Radomskaia V.I., Yusupov D.V.* Highly Toxic Elements in Snow Cover in Blagoveshchensk. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, hidrogeologiya, geokriologiya.* Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology. 2015, 1: 27–35. [In Russian].
- Pozhitkov R.Yu., Moskovchenko D.V., Soromotin A.V., Kudryavtsev A.A., Tomilova E.V.* Assessment of Snow Cover Pollution in the Zapolyarnoye Field. *Zashchita okruzhayushchey sredy v neftegazovom komplekse.* Environmental Protection in the Oil and Gas Industry. 2019, 5 (290): 15–21. [https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-5\(290\)-15-21](https://doi.org/10.33285/2411-7013-2019-5(290)-15-21) [In Russian].
- Radomskaia V.I., Yusupov D.V., Pavlova L.M.* Rare Earth Elements in Atmospheric Precipitation in Blagoveshchensk. *Geokhimiya. Geochemistry.* 2018, 2: 197–206. <https://doi.org/10.7868/S0016752518010053> [In Russian].
- Radomskaia V.I., Yusupov D.V., Pavlova L.M., Sergeeva A.G., Borodina N.A.* Multivariate Statistical Analysis of Element Concentrations in Snow Cover in Blagoveshchensk. *Regional'naya ekologiya. Regional Ecology.* 2018, 2 (52): 15–28. <https://doi.org/10.30694/1026-5600-2018-2-15-28> [In Russian].
- Revich B.A., Saet Yu.E., Smirnova R.S., Sorokina E.P.* Methodological recommendations on the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements. Moscow: IMGRE, 1982: 112 p. [In Russian].
- Roberus Yu.V., Udachin V.N., Rikhvanov L.P., Kivatskaya A.V., Lyubimov R.V., Yusupov D.V.* Indication of Cross-Border Transfer of Pollutants to the Altai Mountains Using Natural Environment Components. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov.* Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering. 2016, 327 (9): 39–48. [In Russian].
- Sanina N.B., Chernov A.Yu., Proydakova O.A., Arsentieva A.G.* Distribution and Balance of Toxic Metals in Natural-Technogenic Systems of the Baikal Region Fuel and Energy Complexes. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya, hidrogeologiya, geokriologiya.* Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology. 2002, 2: 145–155. [In Russian].
- Smirnova S.M., Dolin V.V.* Heavy Metals in Snow Cover of Mykolaiv City. *Zbirnyk naukovykh prats' Instytutu heokhimii navkolyshn'oho seredovyshcha.* Collection of Scientific Works of the Institute of Environmental Geochemistry. 2011, 19: 115–124. [In Russian].
- Sorokina O.I., Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Golovanov D.L., Bazha S.N., Dorzhgotov D., Enkh-Amgalan S.* Heavy Metals in Air and Snow Cover of Ulaanbaatar. *Geografiya i prirodnye resursy.* Geography and Natural Resources. 2013, 3: 159–170. [In Russian].
- Stepanets V.N., Serykh T.G., Papina T.S.* Assessment of Trace Element Content in Snow Cover of Southern Western Siberia. *Gidrometeorologiya i ekologiya. Hydrometeorology and Ecology.* 2021, 64: 480–492. <https://doi.org/10.33933/2713-3001-2021-64-480-492> [In Russian].
- Talovskaya A.V., Filimonenko E.A., Yazikov E.G.* Dynamics of Elemental Composition of Snow Cover in the Northeastern Zone of Influence of the Tomsk-Seversk Industrial Agglomeration. *Optika atmosfery i okeana. Atmospheric and Oceanic Optics.* 2014, 27 (6): 491–495. [In Russian].
- Tas-ool L.Kh., Yanchat N.N., Zhdanok A.I., Chupikova S.A.* Pollution of Snow Cover in Kyzyl City. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya.*

- Geokriologiya. Geoecology. Engineering Geology, Hydrogeology, Geocryology.* 2014, 6: 507–517. [In Russian].
- Epova E.S., Solodukhina M.A., Eremin O.V., Mikhailova L.A., Alekseeva O.G., Burlaka N.M., Lapa S.E.* Monitoring of Arsenic, Lead, Cadmium, Zinc, and Copper Content in Environmental Components of the Sherlovaya Gora Settlement (Eastern Transbaikalia). *Gigiena i sanitariya. Hygiene and Sanitation.* 2020, 99 (2): 210–216. <http://dx.doi.org/10.33029/0016-9900-2020-99-2-210-216> [In Russian].
- Yusupov D.V., Radomskaya V.I., Pavlova L.M., Trutneva N.V., Il'enok S.S.* Heavy Metals in Dust Aerosol of the Northwestern Industrial Zone of Blagoveshchensk (Amur Region). *Optika atmosfery i okeana. Atmospheric and Oceanic Optics.* 2014, 27 (10): 906–910. [In Russian].
- Yusupov D.V., Stepanov V.A., Trutneva N.V., Mogilev A.A.* Mineral and Geochemical Composition of Solid Sediment in Snow Cover of Blagoveshchensk (Amur Region). *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Bulletin of the Tomsk Polytechnic University.* 2014, 324 (1): 184–189. [In Russian].
- Karthe D., Hafer T., Battulga B., Sereeter L., Stehr G.* Pollution Reduction Potential By Implementing Electrostatic Dust Precipitators On Mongolian Small-Scale Stoves (A Pilot Study In Ulaanbaatar). *Geography, environment, sustainability.* 2020, 13 (3): 117–128. <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2020-50>
- mnr.gov.ru: official site. Retrieved from: <https://www.mnr.gov.ru/activity/clean-air/chita> Last access: April 18, 2025.
- Pozhitkov R., Moskovchenko D., Soromotin A., Kudryavtsev A., Tomilova E.* Trace elements composition of surface snow in the polar zone of northwestern Siberia: the impact of urban and industrial emissions. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2020, 192 (4): 215. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-8179-4>
- Vlasov D., Kasimov N., Eremina I., Shinkareva G., Chubarova N.* Partitioning and solubilities of metals and metalloids in spring rains in Moscow megacity. *Atmospheric Pollution Research.* 2020, 12 (1): 255–271. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2020.09.012>
- Xue H., Chen W., Li M., Liu B., Li G., Han X.* Assessment of major ions and trace elements in snow: A case study across northeastern China, 2017–2018. *Chemosphere.* 2020, 251: 126328. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126328>
- ZENODO: official site. Retrieved from: <https://zenodo.org/> Last access: April 18, 2025. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15860573>.