

Прикладные проблемы

УДК 504.54.054:550.424(571.54/55)

<https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-3-393>

Оценка техногенного загрязнения городской среды Читы по состоянию снежного покрова

© 2019 г. Е.А. Бондаревич

Читинская государственная медицинская академия, Чита, Россия
bondarevich84@mail.ru

Assessment of technogenic pollution of the urban environment in Chita by the snow cover state

E.A. Bondarevich

Chita State Medical Academy, Chita, Russia
bondarevich84@mail.ru

Received June 20, 2018 / Revised February 4, 2019 / Accepted March 22, 2019

Keywords: city of Chita, ecological-geochemical coefficient, heavy metals, inversion voltammetry, snow cover pollution.

Summary

The pollution of the snow cover in the city of Chita (Transbaikalia) with heavy metals (Zn, Cd, Pb, and Cu) is analyzed, and a level of its pollution is compared with similar characteristics in the cities of neighboring regions. The method of inversion voltammetry made possible to find that the content of water-soluble forms of toxic trace elements in the snow is several times greater than in other settlements outside Chita. However, the median values of these values (indicators) are close. Similar results (indicators) were also noted in the ecological and geochemical coefficients, according to which the city of Chita may be attributed to areas with the average level of pollution ($Z_C = 35.66$). Trends in the accumulation of mobile forms of heavy metals in the snow cover of other cities were similar features as it follows from low values of the Saet coefficient ($Z_C < 32$). The charge coefficient calculated for the liquid fraction of the snow cover was found to be high. Therefore, for safe use, melt water should be diluted with clean water 75.24 times for fishery purposes and 9.4 times for economic and drinking use. Rather low content of heavy metals was found in the dust fraction of the snow cover, but in the industrial zone and the zone of residential many-storeyed buildings concentrations of all trace elements exceeded the maximum permissible values (TLV - threshold limit value). At the same time, similar data for other settlements had still greater values, and the exceedings were tens and hundreds times greater the TLV values (the maximum permissible concentrations). The total pollution index ($Z_C = 72.5$) with consideration for the toxicity of chemical elements ($Z_{CT} = 98.8$) shows that the geochemical conditions in Chita is at the average level. For most other cities, values of the Saet coefficient were smaller 32 that corresponds to low and medium pollution levels. According to the level of dust load Chita is characterized by a high level of pollution ($P_n \geq 10$ tons/km²), and it means that more than 8000 tons of dust fall to the snow cover. It has been found that by the total load index ($Z_p = 493.5$) the dust fraction characterizes urbanized territory of Chita as highly polluted, and in this case cadmium (Cu = 255.47) is the main polluter. Comparison of our results with those of other researchers allows making the conclusion that during the period of the Soviet Union disintegration by the beginning of the XXI century pollution of a snow cover notably reduced.

Citation: Bondarevich E.A. Assessment of technogenic pollution of the urban environment in Chita by the snow cover state. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2019. 59 (3): 389–400. [In Russian]. <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-3-393>.

Поступила 20 июня 2018 г. / После доработки 4 февраля 2019 г. / Принята к печати 22 марта 2019 г.

Ключевые слова: инверсионная вольтамперометрия, снежный покров, тяжёлые металлы, Чита, эколого-геохимические коэффициенты.

Анализируется загрязнённость снега города Читы цинком, кадмием, свинцом и медью в сравнении с соседними городами. В Чите содержание водорастворимых форм тяжёлых металлов в снегу в несколько раз больше, чем в других городах. Суммарный показатель загрязнённости ($Z_C = 72,5$) с учётом токсичности ($Z_{CT} = 98,8$) – средний, но пылевая нагрузка ($Z_p = 493,5$) очень высока.

Введение

Оценка состояния воздуха в городах ограничивается, как правило, определением количества газообразных загрязнителей (оксидов азота, серы,

углерода, бензапирена, формальдегида и др.) и разных фракций пыли [1–3]. Однако не менее опасными ксенобиотиками выступают тяжёлые металлы, интенсификация поступления которых обусловлена хозяйственной деятельностью че-

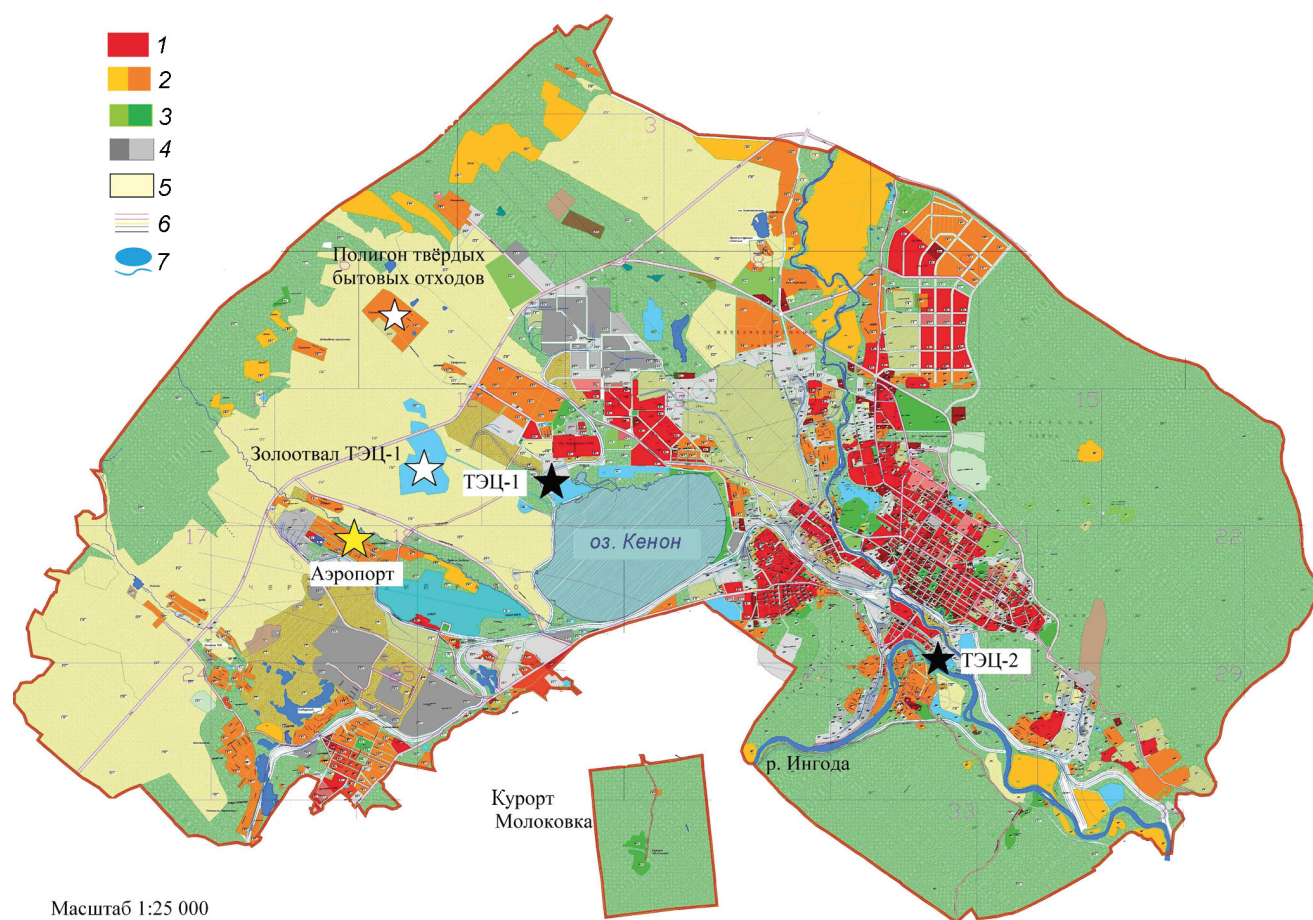


Рис. 1. Карта расположения функциональных зон города Читы и главные стационарные источники загрязнения. Функциональные зоны: 1 – многоэтажная застройка; 2 – низкоэтажная застройка и дачные кооперативы; 3 – парково-рекреационная и лесной фонд; 4 – промышленная; 5 – залежи, болота и остепнённые луга; 6 – транспортные пути; 7 – водные объекты

Fig. 1. Map of the location of the functional zones of the city of Chita, and the main stationary sources of pollution. Functional zones: 1 – multi-storey buildings; 2 – low-rise buildings and country cooperatives; 3 – parks, recreation and forestry; 4 – industrial; 5 – deposits, swamps and steppe meadows; 6 – transport route; 7 – water body

ловека [4–6]. В условиях городской территории г. Чита имеется множество стационарных и мобильных (в основном автотранспорт) источников загрязнения атмосферы, приводящих к аккумуляции токсичных элементов в сопряжённых гео-средах (рис. 1). Наибольшая степень загрязнённости атмосферы отмечается в зимний период, что связано с совокупностью природно-климатических факторов и увеличением количества аэрозолей и газов техногенного происхождения.

Значительная часть Читы расположена в Читино-Ингодинской впадине, ограниченной в востока и юга хр. Черского, а с севера и запада – Яблоновым хребтом. В условиях значительного понижения температуры воздуха в осенне-зимний период в приземной части атмосферы

формируется плотный смог. Рассеивание пыли и аэрозолей происходит медленно, так как формирующийся Сибирский антициклон уменьшает скорость движения воздушных масс. Совокупность неблагоприятных факторов в зимний период значительно ухудшает экологическое состояние урбанизированной территории и увеличивает риск развития негативных и патологических процессов в организме человека. Именно поэтому Чита включена в Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения воздуха в России [1]. Для приблизительной оценки степени загрязнённости атмосферы в зимний период используются методы определения тяжёлых металлов в различных фракциях снежного покрова, так как считается, что снежный покров – объ-

ективный, стабильный и репрезентативный объект для оценки степени загрязнения атмосферы в зимний период в условиях техногенеза [2, 3, 7].

Цель работы – эколого-геохимическая оценка степени загрязнённости снежного покрова в условиях города Читы и сравнение этих показателей с данными по урбанизированным территориям сопредельных регионов – Приамурья, Монголии, Прибайкалья и Республики Тыва.

Материалы и методы

Для оценки уровня загрязнённости различных участков снежного покрова Читы и её окрестностей, а также фоновой территорий, расположенной в Карымском районе в окрестностях села Жимбира в 70 км от этого города в бассейне р. Тура, в работе использованы показатели для 69 проб снега. Мониторинг проводился в период 2014–2018 гг. Из-за ветреной погоды с частыми оттепелями в конце февраля отбор проб снега вели в период его максимального накопления в январе и начале февраля. Расчёты проводили по средним арифметическим значениям показателей абсолютного содержания тяжёлых металлов и относительных показателей эколого-геохимических коэффициентов.

Пробы снежного покрова отбирали в соответствии с общепринятыми методиками [8, 9]. 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 смешиванием керна снега из нескольких близлежащих площадок, общая масса пробы – 4–5 кг. Плотность снежного покрова в пробах для открытых площадок составляла 0,11–0,13 г/см³ и до 0,18 г/см³ в лесных массивах и городе. Пробы плавил при комнатной температуре перед анализом. В ходе исследования изучали степень загрязнения снежного покрова Zn, Cd, Pb и Cu, так как тяжёлые металлы не подвергаются трансформации при таянии снега. Водорастворимую фракцию тяжёлых металлов в талой воде определяли методом инверсионной вольтамперометрии согласно методическим указаниям МУ 31-03/04 после фильтрования, без озоления и концентрирования проб. Объём фильтрата составлял 1 мл.

Подготовку проб твёрдой фазы снежного покрова проводили согласно МУ-31 11/05 после фильтрования талой воды объёмом 1 л через бумажный фильтр. Полученный твёрдый осадок подвергали мокрому озолению. Зола растворяли в 1 мл концентрированной муравьиной кислоты, а затем объём минерализата доводили до 10 мл дистиллированной водой.

Концентрацию ионов Zn²⁺, Cd²⁺, Pb²⁺ и Cu²⁺ определяли методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «ТА-Универсал» методом стандартных добавок с использованием трёхэлектродной электрохимической ячейки. В качестве рабочего (индикаторного) электрода выступал амальгамный, вспомогательным и сравнения – хлорсеребряные, заполненные 1 М раствором KCl. Пробу каждого образца анализировали в трёх параллельных опытах в двукратной повторяемости. Статистическая обработка результатов проводилась программами TA-Lab и MS Excel 2010 методами описательной статистики с расчётом среднего арифметического и ошибки среднего. Для оценки степени загрязнённости снежного покрова использовали следующие эколого-геохимические коэффициенты:

пылевой нагрузки P_n ;

общей нагрузки загрязнения $P_{\text{общ}}$;

относительного увеличения общей нагрузки элемента K_p ;

суммарного показателя нагрузки Z_p ;

опасности K_0 и его суммы ΣK_0 – заражения;

концентрации элементов K_C ;

суммарного показателя загрязнения снежного покрова Z_C [6, 10–14].

Расчётные формулы представлены в работах [6, 13]. Также проводился расчёт суммарного показателя нагрузки Z_{PT} и суммарного показателя загрязнения Z_{CT} с учётом токсичности химических элементов, которые рассчитывали с использованием поправочных коэффициентов: $Z_{PT} = \Sigma(K_{p(i)}K_{T(1)}) - (n - 1)$ и $Z_{CT} = \Sigma(K_{C(i)}K_{T(1)}) - (n - 1)$. В расчётах использовали следующие коэффициенты токсичности: для химических элементов 1-го класса опасности (As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn, Ni, Cr) $K_T = 1,5$; для 2-го класса (B, Co, Mo, Cu, Sb) – 1; для 3-го класса (Ba, V, W, Mn, Sr) – 0,5 [15]. Оценка загрязнения снега тяжёлыми металлами по соответствующим показателям, отражающим распределение содержания токсикантов в воздушном бассейне г. Чита, проводилась по оценочным шкалам (табл. 1).

Таблица 1. Уровни загрязнения почв и снежного покрова [6, 10, 16]

Уровень	Суммарный показатель загрязнения почв Z_C	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова Z_C	Выпадение пыли за период залегания снега P_n , кг/км ²	Суммарный показатель нагрузки Z_p
Низкий	< 16	< 32	< 1000	100–250
Средний, умеренно опасный	16–32	32–64	1000–5000	250–450
Высокий, опасный	32–64	64–128	5000–10 000	450–850
Очень высокий, очень опасный	64–128	128–256	> 10 000	> 850
Максимальный, чрезвычайно опасный	> 128	> 256	>> 10 000	>> 850

Результаты и их обсуждение

Чита, краевой центр, в котором проживает более 30% населения региона, расположен в месте слияния рек Чита и Ингода. Город входит в 20 крупнейших по площади городов России – 534 км² [16], селитебная зона имеет площадь 320 км², при этом жилая застройка примыкает к промышленной зоне и отличается развитой транспортной инфраструктурой [17]. Климат региона – резко континентальный, преобладающие румбы ветра в зимний сезон – северо-западные. В наиболее морозный период – в декабре и январе – отмечаются длительные периоды штилевой погоды, характеризующиеся возникновением плотного фотохимического смога. Снежный покров формируется в конце ноября и декабре, поэтому многие ксенобиотики активно абсорбируются в нём. В течение наблюдений с 1891 по 2012 г. среднегодовая температура постепенно увеличивалась и за весь период возросла более чем на 2 °С, выросло и количество твёрдых осадков с 11–15 до 39 мм [18]. Интенсивное потепление фиксировалось в 2000-е годы, что стало причиной уменьшения времени существования снежного покрова на территории города до 80–90 дней. В окрестностях города устойчивый снежный покров сохраняется дольше и составляет 90–100 дней (в отдельные годы до 120–130 дней) [18].

Загрязнённость атмосферы и снежного покрова изучалась в Чите в 1980–90-е годы. В конце 1980-х отмечалось очень высокое загрязнение атмосферного воздуха Читы, что было связано со сжиганием огромного количества бурого угля – более 3000 тыс. т в год, однако в 1990-е годы на фоне экономического кризиса и массового закрытия предприятий этот показатель снизился. В среднем по всей территории Читы в зимние сезоны в период с 1986 по 1996 г.

в сутки фиксировалось выпадение 106,6 кг/км² пыли и твёрдых выбросов, что составляло в среднем 9594 кг/км² за весь период залегания снежного покрова [17, 19]. Установлено следующее суммарное среднегодовое количество токсичных элементов по всем объектам: Mn – 82,1 т, Cr – 7,73 т, F – 42,6 т, Pb – 1,95 т и Zn – 1,23 т [17]. Суммарный показатель загрязнения Читы в 1991 г. имел значения более 256 единиц (max 768), что характеризовало территорию города как очень загрязнённую. До 2010 г., согласно отчётам «Забайкалгеомониторинга», средняя пылевая нагрузка на урбанизированной территории Читы составляла 122 кг/км² в сутки, что соответствовало 10 980 кг/км² за сезон. Для большей части площади города (свыше 90%) величина суммарного показателя загрязнения снежного покрова $Z_C = 64 \div 128$ ед. Локальные аномалии со значениями $Z_C = 135 \div 145$ ед. отмечались около ТЭЦ-1 и крупных котельных.

По данным официальных отчётов Росприроднадзора Забайкальского краевого экологического центра и Центра гигиены и эпидемиологии по Забайкальскому краю выбросы загрязняющих веществ в атмосферу Читы в 2004–2016 гг. составляли в среднем $36,22 \pm 1,66$ тыс. т в год (медиана $36,533 \pm 5,97$ тыс. т в год, max 48,8 и min 28,7 тыс. т в год). На твёрдые выбросы приходилось в среднем 10,79 тыс. т, на газообразные и жидкие вещества – по 25,3 тыс. т выбросов. В период наблюдений атмосферные выбросы составляли в среднем $37,12 \pm 0,83$ тыс. т в год. К основным источникам загрязнения атмосферного воздуха в Чите относятся предприятия теплоэнергетики (ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2), многочисленные котельные (29 крупных котельных), автотранспорт, свалки твёрдых бытовых отходов. Неудачное расположение города относительно розы ветров приводит в зимний период к интенсивно-

Таблица 2. Показатели уровня загрязнения талой воды и пылевой фракции снега в разных функциональных зонах Читы

Функциональные зоны	Содержание элементов М±σ				Коэффициент концентрации элементов K_c				Суммарный показатель загрязнения Z_c и Z_c/Z_{CT}
	Zn	Cd	Pb	Cu	Zn	Cd	Pb	Cu	
<i>Уровень загрязнения талой воды, мкг/л</i>									
Город в целом (n = 61)*	256,9±97,4	2,2±0,7	69,3±33,9	37,6±8,7	8,11	4,70	22,51	3,33	35,66
Многоэтажная застройка (n = 21)	108,4±40,9	1,9±0,6	61,2±4,7	35,7±9,8	3,42	4,22	19,86	3,17	27,66
Промышленная (n = 13)	568,9±272,5	2,92±0,3	84,2±45,1	43,9±18,2	17,95	6,37	27,35	3,89	52,56
Низкоэтажная застройка (n = 16)	54,4±19,9	13,5±7,3	9,5±4,4	28,1±10,9	3,63	29,41	3,09	2,49	35,62
Парково-рекреационная (n = 11)	117,5±53,7	0,3±0,09	15,4±9,1	16,6±1,5	3,71	0,62	4,98	14,77	21,08
Фон (n = 8)	31,7±2,5	0,5±0,1	3,1±2,5	11,3±7,0	–				
<i>Уровень загрязнения пылевой фракции снега, мг/кг</i>									
Город в целом (n = 68)	126,6±64,8	0,4±0,1	30,5±7,5	83,3±23,2	10,64	38,87	2,93	23,10	72,54/98,8
Многоэтажная застройка (n = 21)	384,9±270,4	1,6±0,9	64,0±21,9	101,6±36,2	32,34	161,81	6,15	28,16	225,47/325,6
Промышленная (n = 18)	221,5±126,8	0,7±0,3	53,3±12,0	118,9±38,6	18,61	68,04	5,12	32,96	121,74/167,6
Низкоэтажная застройка (n = 16)	27,4±18,4	0,2±0,1	17,8±8,8	13,8±7,2	2,30	20,06	1,71	3,82	24,88/36,9
Парково-рекреационная (n = 13)	10,2±3,9	0,08±0,03	15,1±4,9	6,8±2,4	0,86	8,50	1,45	1,89	9,71/15,1
Фон (n = 10)	11,9±5,3	0,01±0,005	10,4±5,4	3,6±1,9	–				

*n – число проб; тире – показатели не рассчитывались.

му переносу загрязняющих веществ в наиболее заселённые районы и создаёт неблагоприятные условия для проживания людей. Тяжёлые металлы в составе техногенных выбросов сорбируются в снежном покрове, а в процессе его таяния переходят в почву. Эти формы поллютантов наиболее опасны и агрессивны для биоты, так как они характеризуются высокой подвижностью, биодоступностью, способностью к биотрансформации и аккумуляции в почвенном покрове и биомассе.

Растворимые формы тяжёлых металлов. Динамика содержания исследуемых тяжёлых металлов в зимние сезоны с 2014 по 2018 г. имела определённые тенденции. Так, количество растворимых форм Zn значительно сократилось: в 2014/15 г. его содержание составляло 244,0±107,2 мкг/л, а в 2017/18 г. – 85,5±29,2 мкг/л талой воды, т.е. уменьшение составило более чем в 2,8-кратную величину. Сходные изменения отмечались для Pb и Cu. По содержанию Pb максимум отмечался в 2014/15 г. – 66,7±22,6 мкг/л, в последующие сезоны он снижался и составлял: в 2015/16 г. – 46,2±22,2, в 2016/17 г. – 12,3±5,3, а в 2017/18 г. достиг минимума – 10,4±1,04 мкг/л. Таким образом, фиксировалось сокращение имиссии Pb в 6,4 раза. Количество Cu в талой снеговой воде имело максимум в сезон 2014/15 г. – 94,3±48,6 мкг/л, в последующие три сезона оно практически не изменялось

и равнялось 24,8–29,9 мкг/л, т.е. количество Cu уменьшилось в 3,8 раза. Содержание Cd изменялось следующим образом: в сезон 2014/15 г. – 6,9±2,3 мкг/л, в 2015/16 г. – 22,6±6,7 мкг/л, в 2016/17 г. – 4,9±2,0, в 2017/18 г. – 2,0±0,2 мкг/л. Динамика аккумуляции водорастворимых тяжёлых металлов в снежном покрове для Zn и Pb имела тенденцию к уменьшению поступления (линейный прогноз характеризовался коэффициентами аппроксимации R^2 равными 0,939 и 0,915 соответственно). Содержание Cu также подчинялось тренду снижения ($R^2 = 0,659$), тогда как по Cd чёткой динамики не было ($R^2 = 0,205$).

При исследовании водной фазы снега установлено, что наибольший вклад в загрязнённость снежного покрова в условиях Читы вносит Zn (256,93±97,39 мкг/л, min 1,0, max 2500,0 мкг/л) (табл. 2). Также в талой воде отмечалось высокая концентрация водорастворимых форм Pb (69,34±33,94 мкг/л, min 0,16, max 950,0 мкг/л) и Cu (37,563±8,74 мкг/л, min 0,2, max 1200,0 мкг/л), тогда как Cd имел минимальный вклад (2,16±0,74 мкг/л, min 0,06, max 55,0 мкг/л).

Изучение содержания водорастворимых фракций тяжёлых металлов в снежном покрове в функциональных зонах города показало, что наиболее загрязнённой была промышленная зона (см. рис. 1 и табл. 2). Для неё отмечались максимумы по Zn и Pb, тогда как по Cd и Cu лидирова-

ли другие функциональные зоны. Минимальные показатели загрязнённости отмечались для фоновых территорий. По содержанию Cd выявлена геохимическая аномалия в зоне пригородных посёлков и низкоэтажных городских кварталов ($13,51 \pm 7,27$ мкг/л). Вероятно, это связано с массовым использованием котельных, которые не имеют систем очистки дыма и для которых основной вид топлива – местный бурый уголь. Небольшие котельные коммерческих предприятий часто используют в качестве топлива автомобильные шины, пластик и другой горючий мусор, что значительно ухудшает качество воздуха и способствует загрязнению атмосферы и снега. Кроме того, часть проб из зоны низкоэтажной застройки отбиралась в районах, прилегающих к свалкам твёрдых бытовых отходов, которые утилизируют сжиганием. Зона жилых кварталов с многоэтажной застройкой по большинству показателей имела значительную загрязнённость снега водорастворимыми формами тяжёлых металлов (см. табл. 2).

Рассчитанные коэффициенты концентрации K_c и суммарного показателя загрязнённости Z_c для различных функциональных зон города позволили выявить такую картину распределения и накопления тяжёлых металлов: наиболее загрязнённой оказалась промышленная зона, при этом основной вклад в индекс Z_c вносил Pb ($K_c = 27,35$), однако уровень загрязнения для данной зоны оказался низким (см. табл. 1). Минимальные значения индекса Z_c имели участки парково-рекреационной зоны города, где основным загрязнителем была медь (см. табл. 2). В целом в условиях Читы уровень загрязнённости водной фазы снежного покрова характеризовался средним уровнем загрязнения (см. табл. 1) со значением коэффициента Саета $Z_c = 35,66$ и главным загрязнителем был Pb. Сходную тенденцию содержания и распределения водорастворимых форм тяжёлых металлов для урбанизированной территории Читы отмечали и ранее, выделяя сектора по розе ветров [13].

Сравнение абсолютных количеств водорастворимых фракций тяжёлых металлов в снежном покрове Читы и других городов макрорегиона позволило установить ряд особенностей. В усло-

виях очень сильного загрязнения (индекс Саета по 21 химическому элементу $Z_c = 559$), отмечаемого авторами в г. Улан-Батор [20, 21], рассчитанные по коэффициентам концентрации показатели суммарного загрязнения по четырём изучаемым тяжёлым металлам имели низкие величины Z_c : город 10,62, промзона 9,94, юрточная застройка 13,56, многоэтажная застройка 8,46, т.е. эти поллютанты не были в условиях Улан-Батора основными факторами загрязнения талой воды. Аналогичные тенденции отмечены и для Благовещенска (12,7) [7], Иркутска (4,51), Братска (3,0) [22] и Биробиджана [23]. При этом эколого-геохимические индексы, рассчитанные для Читы и сравниваемых городов, были больше по величинам, что отражает сходные тенденции по аккумуляции тяжёлых металлов в снежном покрове. Эти признаки позволяют выявить региональные особенности загрязнения сопряжённых географических сред: маломощность снежного покрова весь зимний период; формирование токсичного смога, не рассеивающегося несколько дней (иногда недель); высокую концентрацию источников аэрозольных выбросов, расположенных на ограниченной территории.

Массовая концентрация тяжёлых металлов – показатель, который не позволяет оценить среднее поступление этих поллютантов в течение ряда лет и степень их опасности для различных экосистем [12]. Отсутствуют и предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ для снега, который представляет собой сопряжённую среду между атмосферой, почвой и поверхностными водами. В то же время снежный покров – индикатор загрязнения связанных с ним сред. Так, талые воды участвуют в питании рек и озёр, хотя для Забайкалья более значимо дождевое питание. Тем не менее, используя значения ПДК для вод различного назначения, можно прогнозировать опасность поступающей талой воды. Учитывая, что значения ПДК металлов для воды рыбохозяйственных водоёмов (Zn – 10,0, Cd – 5,0, Pb – 6,0, Cu – 1,0 мкг/л)¹, хозяйственно-питьевого и культурно-бытового использования (Zn – 1000,0, Cd – 1,0, Pb – 10,0,

¹ Приказ № 20 от 18 января 2010 г. «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». Федеральное агентство по рыболовству. <http://docs.cntd.ru/document/902199367> (дата обращения 15.05.2018).

Таблица 3. Коэффициенты опасности K_0 и суммарный коэффициент заражения ΣK_0 снежного покрова Читы водорастворимыми формами тяжёлых металлов для объектов рыбохозяйственного значения (числитель) и для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования (знаменатель)

Функциональные зоны	Коэффициенты опасности K_0 по ПДК элементов				Суммарный коэффициент заражения ΣK_0
	Zn	Cd	Pb	Cu	
Город в целом	25,69/0,26	0,43/2,16	11,56/6,93	37,56/0,04	75,24/9,39
Многоэтажная застройка	10,84/0,11	0,39/1,94	10,19/6,12	35,73/0,04	57,15/8,20
Промышленная	56,89/0,57	0,58/2,92	14,04/8,42	43,87/0,04	115,39/11,96
Низкоэтажная застройка	5,44/0,05	2,70/13,51	1,59/0,95	28,12/0,03	37,85/14,55
Парково-рекреационная	11,75/0,12	0,06/0,29	2,56/1,54	166,64/0,17	181,00/2,11
Фон	3,17/0,03	0,09/0,46	0,51/0,31	11,28/0,01	15,05/0,81

Cu – $1000,0 \text{ мкг/л}$)² различаются на несколько порядков, сопоставление концентраций в снеге проводили с каждым из этих регламентов.

Практический интерес коэффициента загрязнения и его суммы для ряда поллютантов заключается в том, что он позволяет оценить, во сколько раз необходимо разбавить поступающие талые воды для уменьшения их загрязнённости до нормативных показателей. Так, для рыбохозяйственных целей талую снеговую воду в среднем нужно разбавлять чистой водой в 75,24 раза (табл. 3), а для хозяйственно-питьевого использования – в среднем в 9,39 раза. Наибольшее загрязнение формирует снежный покров промышленной и парково-рекреационной зон, для которых необходимо разбавлять чистой водой сточную воду в 115,4 и 181 раза соответственно. Однако расчёты коэффициентов опасности по ПДК водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования показали, что и вода из зоны низкоэтажной застройки требует значительного разведения (см. табл. 3).

Минеральные формы тяжёлых металлов. Основное количество тяжёлых металлов, выпадающих с зимними осадками, содержится в форме трудно- или нерастворимых соединений (оксиды, сульфиды, карбонаты, комплексные соединения и адсорбционные комплексы с иммобилизованными поллютантами). Все эти соединения

и образования потенциально токсичны и опасны для живых организмов, так как становятся биодоступными после соответствующей трансформации в результате изменений pH почвенных растворов, биотрансформации и действия других биологических и геохимических факторов. В связи с этим был изучен химический состав твёрдого осадка снега на городской территории и рассчитаны различные эколого-геохимические коэффициенты относительно фоновой территории для г. Чита (см. табл. 2) и городов, расположенных в сходных природно-климатических условиях. Динамика уровня загрязнения твёрдой фракцией снежного покрова по всем изучаемым элементам характеризовалась стабильностью и небольшой изменчивостью показателей. Содержание Zn имело максимум в сезон 2015/16 г. – $260,4 \pm 143,4 \text{ мг/кг}$, в остальные сезоны значения были ниже – от 61,5 до 91,2 мг/кг. Колебания содержания Cd было аналогичным и изменялось от 1,06 (2014/15 г.) до 3,2 мг/кг (2016/17 гг.). Количество Pb во все периоды наблюдения было в пределах 60 мг/кг, а Cu – менее 75 мг/кг.

Абсолютные значения содержания тяжёлых металлов в пылевой фракции снежного покрова Читы характеризовались превышениями ПДК (значения предельно допустимых концентраций для Zn – 55,0, Cd – 0,5, Pb – 32,0, Cu – 33,0 мг/кг)³ в промышленной и многоэтажной

² Гигиенические нормативы ГН 2.2.5.1315–03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования» (введены в действие с 30.04.2003 постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 15.06.2003 № 78, с изменениями на 13 июля 2017 г. <http://docs.cntd.ru/document/901862249> (дата обращения: 15.05.2018).

³ Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041–06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» (введены в действие с 01.04.2006 постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 23.01.2006 № 1, с изменениями на 26 июля 2017 г.). <http://docs.cntd.ru/document/901966754> (дата обращения 20.05.2018).

жилой зонах. В наибольшей степени загрязнение отмечалось по Zn (промзона характеризовалась семикратным превышением ПДК, многоэтажная застройка – четырёхкратным, город в целом – 2,5-кратным) (см. табл. 2). По Cd в общегородском масштабе превышения ПДК не отмечались, однако в промышленной функциональной зоне количество микроэлемента было в 3,2 раза, а в жилой многоэтажной зоне – в 1,4 раза больше ПДК. Содержание Pb в городе в целом было ниже ПДК, но в промзоне и многоэтажной застройке оно превышало в 2 и в 1,7 раза соответственно. Количество Cu в общегородских условиях было в 2,5 раза выше ПДК, в промышленной зоне отмечалось трёхкратное, а в многоэтажной зоне 3,6-кратное превышение ПДК (см. табл. 2). По уровню загрязнённости тяжёлыми металлами функциональные зоны низкоэтажной застройки, парково-рекреационной и фоновой характеризовались как экологически благоприятные и не имеющие превышения ПДК по каждому из микроэлементов.

При сравнении абсолютных показателей содержания тяжёлых металлов в пылевой фракции снежного покрова Читы с другими городами установлено, что в Благовещенске [7] и Улан-Баторе [20, 21] содержание всех микроэлементов в десятки (иногда в сотни) раз выше, чем в Чите. Эти тенденции отмечаются как для городов в целом, так и для отдельных функциональных зон, и для фоновых участков соответствующих урбанизированных территорий. В наибольшей мере для Благовещенска и Улан-Батора характерно накопление в пылевой фракции Zn (для Улан-Батора составило более чем 100-кратное превышение ПДК, для промзоны Благовещенска – 12-кратное). В меньшей мере такие превышения отмечены и по остальным микроэлементам: в Улан-Баторе – по Cd – в 28,6, по Pb – в 40,6, по Cu – в 36,4 раза; в Благовещенске (промзона) – по Cd – в 7,5, по Pb – в 3,3, по Cu – в 3 раза. Значительное содержание тяжёлых металлов в твёрдой фазе снега в фоновых пробах для этих городов обусловило достаточно низкие коэффициенты концентрации и величины индекса Саета (Благовещенск $Z_C = 12,7$, Улан-Батор $Z_C = 5,2$). Для пылевой фракции снежного покрова г. Кызыл [24, 25], напротив, отмечалось очень низкое содержание всех поллютантов и не фиксировалось превышений регламентов ПДК.

Фоновые территории имели чрезвычайно низкое содержание изучаемых тяжёлых металлов, что отразилось на значениях эколого-геохимических коэффициентов.

Суммарный показатель загрязнённости Z_C с учётом токсичности химических элементов Z_{CT} показывает, что геохимические условия в Чите имеют средний уровень с умеренной опасностью. В промышленной зоне эти показатели характеризовались как высокие и очень высокие (чрезвычайно опасные), в зоне многоэтажной застройки – средние (по Z_{CT} – высокий), остальные функциональные зоны имели низкую опасность (см. табл. 2).

При сравнении пылевой фракции снега из Читы с этими же характеристиками по городам Благовещенск и Улан-Батор степень суммарного загрязнения тяжёлыми металлами был на 1–2 порядка выше. Однако с учётом других неорганических поллютантов в Улан-Баторе имеются зоны со средними и локальными аномально высокими уровнями загрязнённости снежного покрова. Сходные с Читой эколого-геохимические особенности отмечались для г. Кызыл [24, 25]. При этом город в целом характеризовался низким уровнем загрязнённости ($Z_C = 22,3$), а с учётом токсичности – средним уровнем с умеренной опасностью ($Z_{CT} = 32,7$). С учётом десяти поллютантов эти показатели гораздо выше (максимум для центральной части г. Кызыл $Z_C = 392,5$), что представляет собой чрезвычайно опасный уровень загрязнения. При этом вклад Zn, Cd, Pb и Cu в этот показатель также существен (более 35%); коэффициент Саета с учётом токсичности $Z_{CT} = 139,5$. Южная и северная зоны г. Кызыл имели очень высокий уровень загрязнения.

Выпадение пыли в разных зонах г. Чита имело следующую тенденцию: максимальные показатели отмечались вблизи промышленных объектов и транспортных путей, а в парково-рекреационной зоне этот показатель был почти в 3 раза ниже (рис. 2). В условиях фона выпадение пыли было минимальным и составляло $2296,88 \text{ кг/км}^2$, что соответствует $25,5 \text{ кг/(км}^2\cdot\text{сут.)}$. В расчёте по средним значениям для города за период снегонакопления в состав снежного покрова с учётом площади города 534 км^2 выпадает из атмосферы $8,06$ тыс. т пыли, что составляет 60% годового поступления

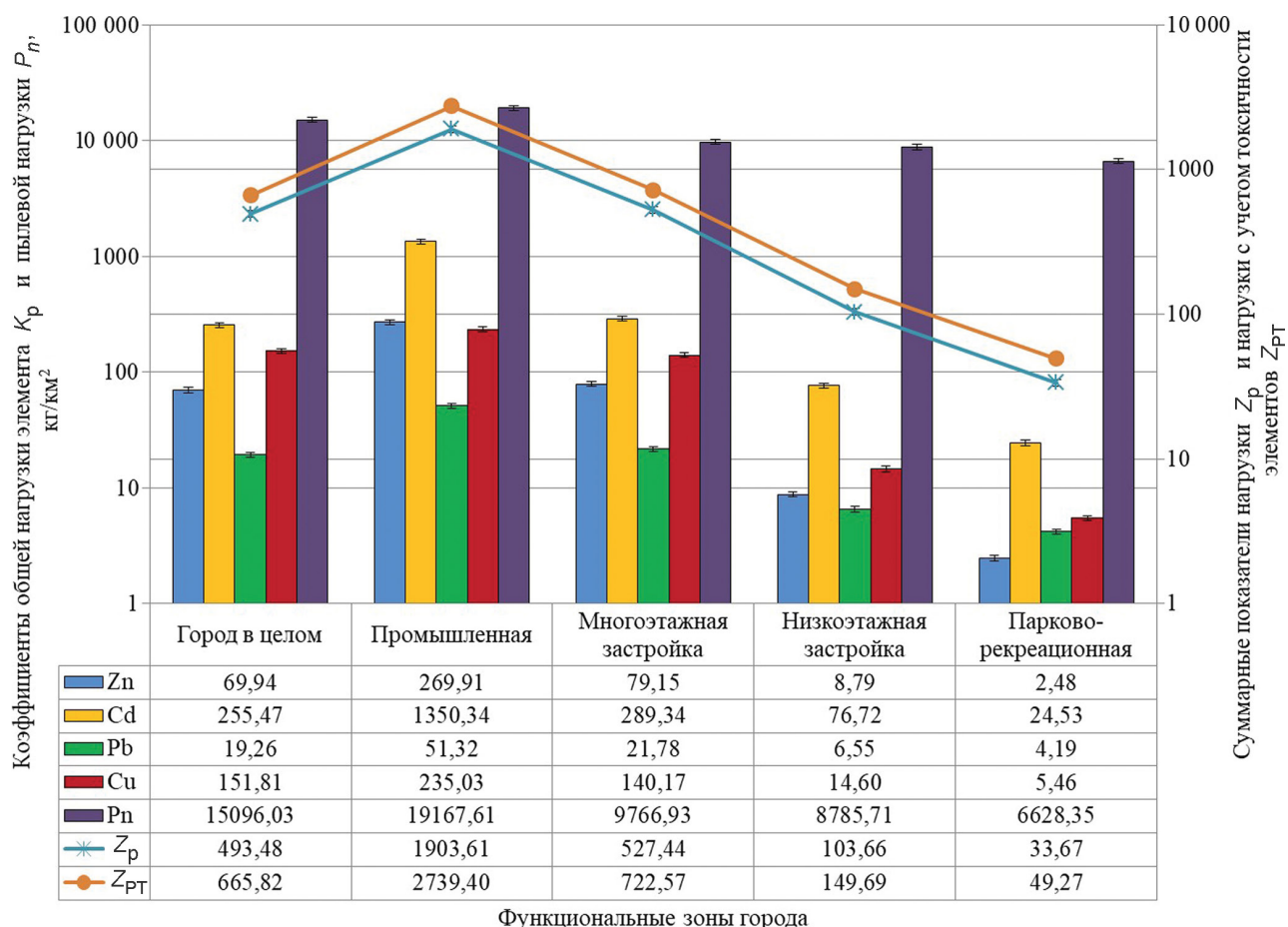


Рис. 2. Эколого-геохимические показатели загрязнённости пылевой фракции снежного покрова в г. Чита
Fig. 2. Ecologo-geochemical indicators of contamination of the dust fraction of the snow cover in the city of Chita

в атмосферу города [26]. Однако реальное распределение отличается от усреднённой модели и, по-видимому, этот показатель выше. В целом по выпадению пыли фоновые территории относятся к низкому, парково-рекреационная и жилые зоны – к высокому, а промышленная к очень высокому уровням запылённости (см. рис. 2).

Рассчитанные коэффициенты нагрузки загрязнения K_p , суммарный показатель нагрузки Z_p и суммарный показатель нагрузки с учётом токсичности элементов Z_{PT} позволяют охарактеризовать урбанизированную территорию Читы как сильно загрязнённую (см. табл. 1 и рис. 2), при этом основной вклад в индексы Z_p и Z_{PT} вносит Cd ($K_p = 255,47$). Степень накопления поллютантов в снежном покрове в разных функциональных зонах городской среды существенно отличалась и имела тенденцию к уменьшению от промышленной к парково-рекреационной зоне. Так, промышленная зона характеризу-

лась очень высоким уровнем загрязнения и значительной экологической опасностью пылевой фракции, зоны высокоэтажной жилой застройки – высоким уровнем загрязнения, низкоэтажной застройки и парково-рекреационной – низкими уровнями (см. табл. 1 и рис. 2).

Выводы

1. Загрязнённость снежного покрова Читы отличается средним уровнем, а величины суммарного загрязнения чётко дифференцированы по функциональным зонам города. В промзоне и зоне многоэтажной застройки существует множество источников загрязнения и слабая возможность удаления поллютантов, что приводит к интенсивному накоплению в снежном покрове токсичных веществ. Эти территории отличаются высоким уровнем загрязнённости.

2. Талая снеговая вода в Чите и в других городах, с которыми велось сравнение, отличается низким и средним уровнем загрязнения растворимыми формами тяжёлых металлов. Самая высокая степень загрязнённости характерна для Улан-Батора (Z_C достигает 853), однако вклад в этот уровень загрязнённости рассматриваемых токсикантов несуществен.

3. В условиях Читы основная доля тяжёлых металлов остаётся в составе труднорастворимых форм, и природные таёжные и лесостепные ландшафты в границах города способствуют их самоочищению. Территории с высокими показателями загрязнённости пылевой фракции снежного покрова к весне и лету имеют низкий уровень загрязнённости почвенного покрова [27].

4. Суммарное загрязнение пылевой фракции снежного покрова в Чите и Кызыле схоже из-за маломощного снежного покрова, температурных инверсий, значительной высоты над уровнем моря, действия Сибирского антициклона и

химического состава сжигаемого топлива. Условия Иркутска и Благовещенска отличаются большей многоснежностью, хотя техногенное воздействие в них сходно с Читой.

5. Высокие уровни загрязнения талой воды в промышленной зоне Читы могут быть вызваны близостью их источников и относительно низкой скоростью перемещения воды. Большая часть загрязняющих веществ неорганического происхождения находится в труднорастворимых формах в составе пыли и твёрдых выбросов. Высокий уровень загрязнения может быть связан с низкими скоростями движения воздуха между высокими зданиями и интенсивным использованием автотранспорта.

6. В зимний период в результате формирования плотного смога техногенного происхождения условия проживания в Чите становятся крайне неблагоприятными и могут провоцировать развитие патологий дыхательной, сердечно-сосудистой систем организма и канцерогенез.

Литература

1. Ежегодник состояния загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2011 г. / Под ред. Э.Ю. Безуглой. СПб.: Росгидромет, 2012. 234 с.
2. Воронкова И.П., Чеснокова Л.А. Содержание токсичных микроэлементов в сопряжённых средах // Гигиена и санитария. 2009. № 4. С. 17–19.
3. Гарипова С.А., Лобачев А.Л., Лобачева И.В., Ревинская Е.В. Определение содержания тяжёлых металлов в жидкой фазе снега рентгенофлуоресцентным методом // Вестн. Самарского гос. ун-та. 2011. Вып. 5 (86). С. 129–135.
4. Даукаев Р.А., Сулейманов Р.А. Мониторинг загрязнения снежного покрова Уфы // Гигиена и санитария. 2008. № 5. С. 26–28.
5. Дорогова В.Б., Бурмаа Б., Энхцэцэг Ш., Байгаль О., Оюунбилэг Д., Цэгмид С., Туяа С., Батсүх Ч. Загрязнение свинцом окружающей среды в Улан-Баторе и состояние здоровья детей // Гигиена и санитария. 2008. № 4. С. 8–9.
6. Смирнова С.М., Долин В.В. Тяжёлые металлы в снежном покрове г. Николаева // Збірник наукових праць Інституту геохімії навколишнього середовища. 2011. Вип. 19. С. 115–124.
7. Куимова Н.Г., Сергеева А.Г., Шумилова Л.П., Павлова Л.М., Борисова И.Г. Эколого-геохи-

References

1. *Ezhegodnik sostoyaniya zagryazneniya atmosfery v gorodakh na territorii Rossii za 2011 g.* Yearbook of the state of atmospheric pollution in cities of Russia in 2011. Ed. E.Yu. Bezuglova. St. Petersburg: Roshydromet, 2012: 234 p. [In Russian].
2. Voronkova I.P., Chesnokova L.A. The content of toxic microelements in conjugate media. *Gigiena i sanitariya*. Hygiene and Sanitation. 2009, 4: 17–19. [In Russian].
3. Garipova S.A., Lobachev A.L., Lobacheva I.V., Revinskaya E.V. Determination of heavy metals in the liquid phase of snow by X-ray fluorescent method. *Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo universiteta*. Bulletin of the Samara State University. 2011, 5 (86): 129–135. [In Russian].
4. Daukaev R.A., Suleymanov R.A. Monitoring of snow cover in Ufa. *Gigiena i sanitariya*. Hygiene and Sanitation. 2008, 5: 26–28. [In Russian].
5. Dorogova V.B., Burmaa B., Enkhsetzag Sh., Bajgal' O., Oyuunbilehg D., Cehgmid S., Tuyaa S., Batsuh Ch. Pollution of lead by the environment in Ulan-Bator and the state of children's health. *Gigiena i sanitariya*. Hygiene and Sanitation. 2008, 4: 8–9. [In Russian].
6. Smirnova S.M., Dolin V.V. Heavy metals in the snow cover of Mykolayiv city. *Zbirnik naukovih prac' Institutu geohimii navkolishn'ogo seredovishcha*. Collection of scientific works of the Institute of Geochemistry of the environment. 2011, 19: 115–124. [In Russian].
7. Kuymova N.G., Sergeeva A.G., Shumilova L.P., Pavlova L.M., Borisova I.G. Ekologo-geochemical estimation of aerotechnogenic pollution of the urban territory

- мическая оценка аэротехногенного загрязнения урбанизированной территории по состоянию снежного покрова // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2012. № 5. С. 422–435.
8. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами / Сост. Б.А. Ревич, Ю.Е. Сает, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина. М.: изд. ИМГРЭ, 1982. 112 с.
 9. 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. Сает, Р.С. Смирнова. М.: изд. ИМГРЭ, 1990. 9 с.
 10. Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния / Под ред. Н.С. Касимова. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.
 11. Сает Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П., Смирнова Р.С., Башаркевич И.Л., Онищенко Т.Л., Павлова Л.Н., Трефилова Н.Я., Ачкасов А.И., Саркисян С.Ш. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
 12. Степанова Н.В., Хамитова Р.Я., Петрова Р.С. Оценка загрязнения городской территории по содержанию тяжёлых металлов снежном покрове // Гигиена и санитария. 2003. № 2. С. 18–21.
 13. Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Жиляева О.А., Самойленко Г.Ю., Климович К.И., Игумнов С.А. Мониторинг загрязнения снежного покрова г. Читы тяжёлыми металлами // Изв. вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8. № 2. С. 132–144. doi: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-132-144.
 14. Касимов Н.С., Битюкова В.Р., Кислов А.В., Коселева Н.Е., Никифорова Е.М., Малхазова С.М., Шартова Н.В. Проблемы экогеохимии крупных городов // Разведка и охрана недр. 2012. № 7. С. 8–13.
 15. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжёлыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.
 16. Регионы России. Основные социально-экономические показатели городов. М.: Росстат., 2016. 442 с.
 17. Елизарова Т.В. Загрязнения окружающей среды и её влияние на здоровье городского детского населения Забайкалья (на примере города Читы): Дис. на соиск. уч. степ. канд. мед. наук. Иркутск: ИГМУ, 1997. 149 с.
 18. Обязов В.А., Смахин В.К. Ледовый режим рек Забайкалья в условиях изменяющегося климата // Водные ресурсы. 2013. № 3. С. 227–234.
 - by the snow cover condition. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*. Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2012, 5: 422–435. [In Russian].
 8. *Metodicheskie rekomendatsii po geokhimicheskoy otsenke zagryazneniya territorii gorodov khimicheskimi elementami*. Methodological recommendations on the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements. Compilers: B.A. Revich, Yu.E. Saet, R.S. Smirnova, E.P. Sorokina. Moscow: IMGRE, 1982: 112 p. [In Russian].
 9. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozdukha naselyonnykh punktov metallami po ikh sodержaniyu 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. 5174–90. Compilers: B.A. Revich, Yu.E. Saet, R.S. Smirnova. Moscow: IMGRE, 1990: 9 p. [In Russian].
 10. *Regiony i goroda Rossii: integral'naya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya*. Regions and cities of Russia: an integrated assessment of the ecological state. Ed. N.S. Kasimov. Moscow: Filimonov M.V., 2014: 560 p. [In Russian].
 11. *Sayet Yu.E., Revich B.A., Yanin E.P., Smirnova R.S., Basharkevich I.L., Onishchenko T.L., Pavlova L.N., Trefilova N.Ya., Achkasov A.I., Sarkisyan S.Sh. Geokhimiya okruzhayushchey sredy*. Geochemistry of the environment. Moscow: Nedra, 1990: 335 p. [In Russian].
 12. *Stepanova N.V., Khamitova R.Ya., Petrova R.S.* Assessment of urban pollution by the content of heavy metals in the snow cover. *Gigiena i sanitariya*. Hygiene and Sanitation. 2003, 2: 18–21. [In Russian].
 13. *Bondarevich E.A., Kotsurzhinskaya N.N., Zhilyaeva O.A., Samoylenko G.Yu., Klimovich K.I., Igumnov S.A.* Monitoring of snow cover pollution in Chita by heavy metals. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya*. Applied Chemistry and Biotechnology, 2018. 8 (2): 132–144. doi: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-132-144. [In Russian].
 14. *Kasimov N.S., Bitukova V.R., Kislov A.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Malkhazova S.M., Shartova N.V.* Problems of ecogeochemistry of large cities. *Razvedka i okhrana nedr*. Protection and exploration of mineral resources. 2012, 7: 8–13. [In Russian].
 15. *Vodyanitsky Yu.N.* Formulas for estimating the total contamination of soils with heavy metals and metalloids. *Pochvovedenie*. Eurasian Soil Science. 2010, 10: 1276–1280. [In Russian].
 16. *Regiony Rossii. Osnovnye social'no-ekonomicheskie pokazateli gorodov: 2016*. Regions of Russia. The main socio-economic indicators of cities. Moscow: Rosstat, 2016: 442 p. [In Russian].
 17. *Elizarova T.V.* *Zagryazneniya okruzhayushchey sredy i eyo vliyaniye na zdorov'e gorodskogo detskogo naseleniya Zabaykal'ya (na primere goroda Chity)*. Environmental pollution and its impact on the health of the urban children of Transbaikalia (on the example of the city of Chita). PhD. Irkutsk: IGMU, 1997: 149 p. [In Russian].

19. *Билинкис В.М.* Гигиеническая оценка влияния атмосферных загрязнений на состояние здоровья и санитарно-бытовые условия жизни населения крупного промышленного центра Забайкалья: Дис. на соиск. уч. степ. канд. мед. наук. М.: НИИ Гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана, 1986. 184 с.
20. *Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Сорокина О.И., Гунин П.Д., Бажга С.Н., Энх-Амгалан С.* Геохимия ландшафтов Улан-Батора // Изв. РАН. Сер. геогр. 2013. № 5. С. 111–126.
21. *Сорокина О.И., Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Голованов Д.Л., Бажга С.Н., Доржготов Д., Энх-Амгалан С.* Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // География и природ. ресурсы. 2013. № 3. С. 159–170.
22. *Гребенщикова В.И.* Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области // Вода: химия и экология. 2013. № 2. С. 19–25.
23. *Калманова В.Б.* Экологическое состояние снежного покрова как показатель качества урбанизированной территории (на примере г. Биробиджана) // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2 (ч. 2). Электронный ресурс: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=21525> (дата обращения: 10.07.2018).
24. *Тас-оол Л.Х., Янчат Н.Н., Жданок А.И., Чупикова С.А.* Загрязнение снежного покрова территории г. Кызыл // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2014. № 6. С. 507–517.
25. *Тас-оол Л.Х., Хомушку Б.Г., Чупикова С.А., Янчат Н.Н.* Геохимические аспекты загрязнения окружающей среды г. Кызыла пылевыми частицами дымовых выбросов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. 2016. № 6. С. 531–542.
26. Доклад об экологической ситуации в Забайкальском крае за 2010 год. Чита: Экспресс-изд-во, 2011. 196 с.
27. *Самойленко Г.Ю., Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Борискин И.А.* Мониторинг загрязненности тяжелыми металлами почвенного покрова и растений (на примере *Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht.) природных экосистем в условиях урбанизированной территории г. Читы // Самарский науч. вестн. 2018. Т. 7. № 1 (22). С. 110–115.
18. *Obyazov V.A., Smatkhin V.K.* Ice regime of Transbaikalian rivers under changing climate. *Vodnyie resursy*. Water Resources. 2013, 3: 227–234.
19. *Bilinkis V.M.* *Gigienicheskaya otsenka vliyaniya atmosferynykh zagryazneniy na sostoyanie zdorov'ya i sanitarno-bytovye usloviya zhizni naseleniya krupnogo promyshlennogo tsentra Zabaykal'ya.* Hygienic assessment of the impact of atmospheric pollution on the health and sanitary living conditions of the population of a large industrial center of Transbaikalia. PhD. Moscow: Erisman Institute of Hygiene, 1986: 184 p. [In Russian].
20. *Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Sorokina O.I., Gunin P.D., Enh-Amgalan S.* Landscape geochemistry of Ulaanbaatar city. *Izvestiya Ross. Akad. Nauk, Seriya Geogr.* Proc. of the RAS, Geographical Series. 2013, 5: 111–126. [In Russian].
21. *Sorokina O.I., Kosheleva N.E., Kasimov N.S., Golovanov D.L., Bazha S.N., Dorzhgotov D., Ehn-Amgalan S.* Heavy metals in air and snow cover of Ulaanbaatar city. *Geografiya i prirodnye resursy.* Geography and natural resources. 2013, 3: 159–170. [In Russian].
22. *Grebenshchikova V.I.* Geochemical specificity of the composition of snow water in some cities of the Irkutsk region. *Voda: khimiya i ehkologiya.* Water: chemistry and ecology. 2013. 2: 19–25. [In Russian].
23. *Kalmanova V.B.* Ecological state of the snow cover as an indicator of the quality of the urbanized territory (Birobidzhan as an example). *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya.* Modern problems of science and education, 2015, 2. Access mode: <https://science-education.ru/en/article/view?id=21525> (date of access: July 10, 2013). [In Russian].
24. *Tas-ool L.H., Yanchat N.N., Zhdanok A.I., Chupikova S.A.* Pollution of snow cover of the territory of Kyzyl city. *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya.* Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2014, 6: 507–517. [In Russian].
25. *Tas-ool L.H., Khomushku B.G., Chupikova S.A., Yanchat N.N.* Geochemical aspects of environment in Kyzyl town with dust particles of smoke emissions. *Geoehkologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya. Geoecology. Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology.* 2016, 6: 531–542. [In Russian].
26. *Doklad ob ehkologicheskoy situatsii v Zabaykal'skom krae za 2010 god.* Report on the environmental situation in the Trans-Baikal Territory in 2010. Chita: Express-publishing house, 2011: 196 p. [In Russian].
27. *Samoylenko G.Yu., Bondarevich E.A., Kotsurzhinskaya N.N., Boriskin I.A.* Monitoring of contamination by heavy metals of the soil cover and plants (*Potentilla tanacetifolia* Willd. ex Schlecht. as an example) of natural ecosystems in the urbanized territory of the city of Chita. *Samarskiy nauchnyi vestnik.* Samara Scientific Herald. 2018, 7, 1 (22): 110–115. [In Russian].