 © Авторы статьи / Authors of the article

ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.2 EDN: VCRRVQ

ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ТВЕРДЫХ ЧАСТИЦ В СНЕГЕ РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН ГОРОДА БЛАГОВЕЩЕНСКА

Научная статья

Чагарова О.В.[1, *], Милинский А.Ю.[2], Косицына О.А.[3]
[1] ORCID : 0009-0006-2253-470X;
[2] ORCID : 0000-0001-7525-4396;
[3] ORCID : 0009-0000-9712-3231;
[1, 2, 3] Благовещенский государственный педагогический университет, Благовещенск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (olga_chagarova.bgpu[at]mail.ru)

Предложена: 10.04.2026; Принята: 05.08.2026; Опубликована: 19.08.2026

Аннотация

В работе представлены результаты исследования элементного состава и морфологии твёрдых частиц, аккумулированных в снежном покрове шести рекреационных зон города Благовещенска (Первомайский парк, сквер Водников, городской дендрарий, городской парк культуры и отдыха, парк Мира, парк Дружбы). Отбор проб проведён в феврале 2026 года. Методом сканирующей электронной микроскопии с энергодисперсионным анализом идентифицированы три основные группы частиц: биогенные (растительный детрит), литогенные (минералы, обломки горных пород) и антропогенные (металлы, оксиды, шлаки, сульфиды, сферы горения). Статистический анализ (коэффициент вариации) показал высокую пространственную неоднородность распределения углерода, фосфора и титана (CV > 70%), что указывает на локальные источники загрязнения. Основу минерального состава во всех пробах составляют Si, Al, Fe и Ca, характерные для почвенной составляющей. Во всех образцах обнаружен мышьяк (0,39–1,13 мас.%) — типичный индикатор трансграничного переноса из Китая. Максимальные концентрации тяжелых металлов зафиксированы в Первомайском парке и городском дендрарии. Для рекреационных зон г. Благовещенска характерно смешанное природно-антропогенное загрязнение снежного покрова и необходим дальнейший экологический мониторинг.

Ключевые слова: твёрдые частицы, снежный покров, рекреационные зоны, элементный состав, сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), антропогенное загрязнение, тяжёлые металлы.

ELEMENTAL COMPOSITION OF SOLID PARTICLES IN THE SNOW OF RECREATIONAL AREAS IN BLAGOVESHCHENSK

Research article

Chagarova O.V.[1, *], Milinskii A.Y.[2], Kositsina O.A.[3]
[1] ORCID : 0009-0006-2253-470X;
[2] ORCID : 0000-0001-7525-4396;
[3] ORCID : 0009-0000-9712-3231;
[1, 2, 3] Blagoveshchensk State Pedagogical University, Blagoveschensk, Russian Federation

* Corresponding author (olga_chagarova.bgpu[at]mail.ru)

Suggested: 10.04.2026; Accepted: 05.08.2026; Published: 19.08.2026

Abstract

The work presents the results of a study into the elemental composition and morphology of solid particles accumulated in the snow cover of six recreational areas in Blagoveshchensk (Pervomaisky Park, Watermen Square, the City Arboretum, the City Park of Culture and Leisure, Peace Park and Friendship Park). Samples were collected in February 2026. Using scanning electron microscopy with energy-dispersive analysis, three main groups of particles were identified: biogenic (plant detritus), lithogenic (minerals, rock fragments) and anthropogenic (metals, oxides, slags, sulphides, combustion spheres). Statistical analysis (coefficient of variation) showed high spatial heterogeneity in the distribution of carbon, phosphorus and titanium (CV > 70%), indicating local sources of contamination. The mineral composition of all samples is dominated by Si, Al, Fe and Ca, which are characteristic of the soil component. Arsenic (0.39–1.13 mass.%) was detected in all samples — a typical indicator of transboundary transport from China. The highest concentrations of heavy metals were recorded in Pervomaisky Park and the City Arboretum. The recreational areas of Blagoveshchensk are characterised by mixed natural and anthropogenic contamination of the snow cover, and further environmental monitoring is required.

Keywords: solid particles, snow cover, recreational areas, elemental composition, scanning electron microscopy (SEM), anthropogenic pollution, heavy metals.

Введение

Вследствие нарастающего объема промышленных выбросов, приводящих к увеличению концентрации опасных веществ в атмосфере городов, актуальным является определение количественного и качественного состава

 © Авторы статьи / Authors of the article

атмосферных взвесей, содержащих нано- и микрочастицы техногенного происхождения, т.к. именно такие частицы обладают наибольшей проникающей способностью и токсичностью для человека [1], [2], [3].

Ранее проводились исследования химического состава снега и талых снеговых вод в г. Благовещенске. Авторами выявлены приоритетные загрязнители снежного покрова — нитрат-ионы и фторид-ионы. Наиболее загрязненными рекреационными зонами являются парк Дружбы, Комсомольский и Первомайский. Источниками атмосферного загрязнения на исследуемой территории являются городская ТЭЦ и автотранспорт [4], [5]. В.И. Радомская, Д.В. Юсупов, Л.М. Павлова (2014 г.), исследуя снежный покров г. Благовещенска, установили, что атмосферные осадки обогащены ионами SO_4^{2}- и Ca^{2+} и имеют следующее соотношение анионов и катионов $SO_4^{2-} > Ca^{2+} > Cl > K > Mg^{2+} > Na^{+} > Al^{3+}$. Основными источниками загрязнения являются промышленные объекты города и ТЭЦ [6], [7].

Изучением химического состава г. Благовещенска занимались К.С. Голохваст, Т.Н. Чапленко, И.Э. Памирский (2014 г.). Ими выявлено, что крупные и средние автотранспортные узлы являются поставщиками в атмосферу микрочастиц резины, асфальта, а также различных металлов и их оксидов (Fe, Ni, Co, Cu, Bi, W). Поставщиком Fe и сажи являются железнодорожные узлы [8]. Исследователями не выявлено наличие As в пробах снега. Минеральный и геохимический состав твердого осадка в снежном покрове г. Благовещенска рассматривается в статье Д.В. Юсупова, В.А. Степанова, Н.В. Трутнева, А.А. Могилева (2014 г.). Выявлено наличие в снеге металлов 1, 2 и 3 класса опасности, в том числе Pb, Cb, Zn, As, Se, Hg, Co, оксиды Na_2O, MgO, Al_2O_3, P_2O_5, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, Fe_2O_3. Источники поступления — строительные площадки, ТЭЦ и котельные города, работающие на буром угле, транспортные узлы, предприятия города [9].

В работе Д.В. Юсупова, С.С. Ильенок и А.А. Могилева (2014 г.) представлены результаты уровня накопления и форм нахождения тяжелых металлов в составе твердого осадка снега в северо-западной промзоне г. Благовещенска, где работает опытно-промышленный завод ЗАО «УК Петропавловск», занимающийся испытанием технологий и уточнением параметров переработки золотосодержащих, титано-магнетитовых и железосодержащих руд из месторождений региона. Выявлено превышение фоновых значений бария в 10 раз, стронция в 9 раз, сурьмы — в 6 раз, кадмия и ртути — в 5,6 раза, мышьяка — в 5 раз и других элементов. Обнаружены минералы барит, галенит, халькопирит, арсенопирит. Ученые установили, что арсенопирит в окружающую среду поступает преимущественно с выбросами опытно-промышленного завода [10].

В настоящей работе представлены результаты исследования состава и строения частиц из талых снеговых вод рекреационных зон города Благовещенска.

Цель работы: исследование элементного состава и морфологии твёрдых частиц в снежном покрове рекреационных зон г. Благовещенска и выявление основных источников их загрязнения на основе химического анализа талой воды.

Методы и принципы исследования

Город Благовещенск — административный центр Амурской области. Занимая трансграничное положение, испытывает антропогенную нагрузку как со стороны РФ, так и стороны сопредельного КНР. Численность населения, по данным 2022 года, составляет около 230 тысяч человек, площадь урбанизированной территории порядка 57,8 км^2 [11]. Основным источником загрязнения в городе является местная ТЭЦ работающая на угле, мелкие котельные, частные домовладения с печным отоплением, автотранспорт. Важным нюансом является, то что ТЭЦ располагается на возвышении над городом на западной его окраине (рис. 1). В зимний период в городе господствуют ветра северо-западного направления, в результате чего дым, образующийся от сжигания угля, распространяется на городскую территорию [12]. На северо-западной промышленной территории города с 2009 г. работает опытно-промышленный завод ЗАО «УК Петропавловск» (научно-производственная геологическая фирма «Регис»), основное назначение которого — полупромышленное испытание технологий и уточнение параметров переработки золотосодержащих, титано-магнетитовых и железосодержащих руд из месторождений Амурской области [13].

 © Авторы статьи / Authors of the article

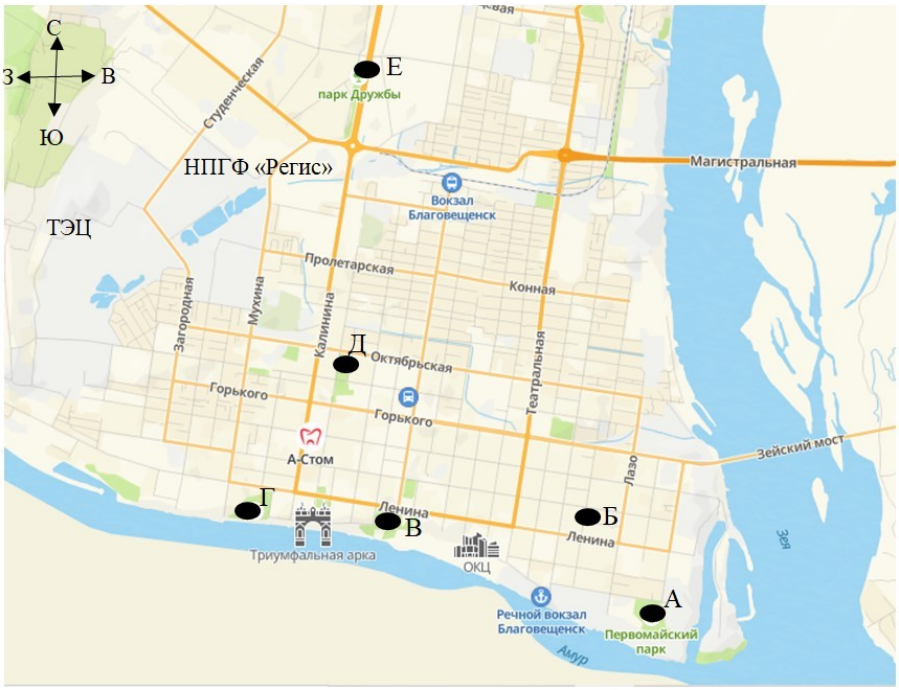

Рисунок 1 - Расположение объектов исследования на территории г. Благовещенска
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.2.1

Примечание: А – Первомайский парк, Б – сквер Водников, В – Городской дендрарий, Г – Городской парк культуры и отдыха, Д – парк Мира, Е – парк Дружбы

Исследование снега проводили в рекреационных зонах города Благовещенска (рис. 1). Для характеристики зимнего аэрозоля в первой декаде февраля 2026 года отобраны шесть проб снега. Выбор временного интервала обусловлен наличием устойчивого снежного покрова в городе, что позволило оценить накопление твердых частиц за весь зимний период, и сохранением в этот период низких температур, исключающих таяние снега и, как следствие, миграцию химических элементов. Отбор производился в одноразовые полиэтиленовые пакеты пластиковой лопатой во избежание загрязнения металлами. Снег собирался с площадок размером 1×1 м на всю глубину снежного покрова. В лаборатории снег был перевален в стерильные пластиковые ёмкости и выдержан при комнатной температуре в течение суток [14], [15].

Для исследования нерастворимых частиц методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) с определением элементного состава талые воды фильтровали через бумажный фильтр «синяя лента» и высушивали. СЭМ проводили с использованием микроскопа Hitachi TM4000 Plus. Элементный анализ частиц определяли с помощью микроанализатора Bruker.

Результаты исследования и их обсуждение

В исследуемых образцах снега обнаружены частицы отмерших частей растений, горных пород и минералов, частицы техногенного происхождения (металлы, их сплавы, оксиды, хлориды, сульфиды, а также шлаки, спеки и труднодиагностируемые, но явно неприродного происхождения частицы) (рис. 2). Для пробы из Первомайского парка (А) характерно обилие частиц неправильной формы с шероховатой поверхностью, встречаются сферы горения. В пробе из сквера Водников (Б) преобладают волокнистые биогенные частицы (растительный детрит) и мелкие минеральные зёрна. Проба Городского дендрария (В) содержит крупные агрегаты литогенного материала с включениями оксидов железа. Образец из Городского парка культуры и отдыха (Г) отличается большим количеством алюмосиликатных частиц и единичными сферулами. Парк Мира (Д) и парк Дружбы (Е) показывают смешанный тип загрязнения с преобладанием тонкодисперсных частиц, предположительно сажево-минерального состава.

 © Авторы статьи / Authors of the article

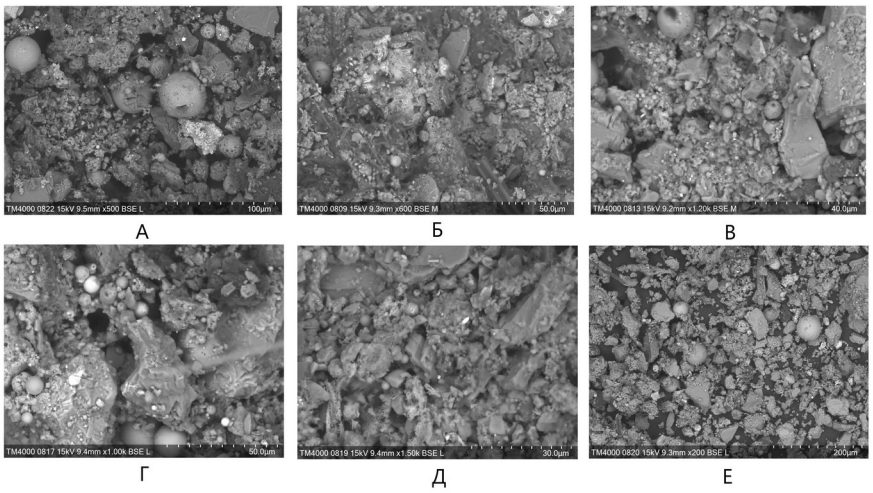

Рисунок 2 - Фотографии образцов нерастворимого осадка
DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.2.2

Примечание: А – Первомайский парк, Б – сквер Водников, В – Городской дендрарий, Г – Городской парк культуры и отдыха, Д – парк Мира, Е – парк Дружбы

При интерпретации содержаний тяжёлых металлов и металлоидов учитывали отсутствие утверждённых нормативов ПДК для снежного покрова. Для анализа элементного состава твердых частиц в шести пробах (точки 1–6) рассчитаны следующие статистические параметры: стандартное отклонение (σ), характеризующее разброс значений между точками отбора, коэффициент вариации (CV, %), позволяющий оценить степень пространственной неоднородности распределения элементов (табл. 2). Матрица парных корреляций для параметров талого снега рекреационных зон г. Благовещенска представлена в таблице 3.

Антропогенным источником углерода в атмосфере являются сажа, образующаяся в результате неполного сгорания угля на ТЭЦ и котельных, выхлопные газы автомобилей, дорожная пыль, износ шин. Природным источником служит органическое вещество почвы, растительные остатки [16], [17]. Концентрация углерода в талой воде снега колеблется от 0 масс. % в Первомайском парке и Городском дендрарии до 42,25 масс. % в сквере Водников. Высокая концентрация углерода 42,13 масс. % также характерна для парка Мира (табл. 1). Высокое значение коэффициента вариации 80,12 % говорит о сильной изменчивости и указывает на локальное загрязнение (табл. 2). Отсутствие углерода в талой воде снега из Первомайского парка и Городском дендрарии вероятно связано с тем, что его концентрация находится ниже порога определения прибором.

Таблица 1 - Состав микрочастиц в талой воде снега рекреационных зон г. Благовещенска по данным энергодисперсионного анализа

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.2.3

Элемент	Первомайский парк		Сквер Водников		Городской дендрарий		Городской парк культуры и отдыха		Парк Мира		Парк Дружбы	
	Масс. %	Атомн. %	Масс. %	Атомн. %	Масс. %	Атомн. %	Масс. %	Атомн. %	Масс. %	Атомн. %	Масс. %	Атомн. %
C	0	0	42,25	55,54	0	0	34,63	42,70	42,13	46,08	28,77	36,15
O	32,85	64,10	33,86	33,41	40,29	65,13	44,70	41,70	51,49	42,28	48,08	45,36
Al	5,84	6,76	4,74	2,77	8,51	8,16	6,19	3,42	6,23	3,03	6,81	3,81
Si	17,36	19,30	9,07	5,10	20,6	18,75	15,80	8,40	14,50	6,78	19,59	10,53
P	0,15	0,15	0,06	0,03	0,01	0,01	0	0	0,07	0,03	0,04	0,02
S	0,09	0,09	0,12	0,06	0,12	0,10	0,09	0,04	0,04	0,01	0	0
K	0,82	0,65	0,69	0,28	1,82	1,21	1,14	0,44	0	0	1,37	0,53
Ca	4,72	3,68	2,93	1,15	2,61	1,68	2,90	1,08	2,43	0,80	2,32	0,87
Ti	0,32	0,21	0,18	0,06	0	0	0,36	0,11	0,07	0,02	0	0
Mn	0,16	0,09	0,19	0,05	0,17	0,08	0,07	0,02	0,11	0,03	0,10	0,03
Co	0,08	0,04	0,11	0,03	0,06	0,03	0,08	0,02	0,04	0,01	0,03	0,01
Fe	7,93	4,43	4,83	1,37	4,36	2,02	3,81	1,02	3,01	0,71	4,01	1,08
As	1,05	0,44	0,56	0,12	1,13	0,39	0,87	0,17	1,00	0,17	0,39	0,08

 © Авторы статьи / Authors of the article

Таблица 2 - Статистические параметры распределения элементов в сухом остатке проб талой воды снега из рекреационных зон г. Благовещенска

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.2.4

Элемент	Стандартное отклонение (σ)	Коэффициент вариации (CV, %)	Средние арифметические значения (μ)
C	19,73	80,12	24,63
O	7,58	18,09	41,88
Al	1,14	17,84	6,39
Si	4,15	26,00	16,15
P	0,05	98,08	0,06
S	0,05	62,10	0,08
K	0,63	64,21	0,97
Ca	0,88	29,63	2,99
Ti	0,116	95,30	0,15
Mn	0,05	35,07	0,13
Co	0,03	44,16	0,07
Fe	1,71	36,78	4,66
As	0,29	35,41	0,83

Таблица 3 - Матрица парных корреляций для параметров талого снега рекреационных зон г. Благовещенска

DOI: https://doi.org/10.60797/JAE.2026.72.2.5

	C	O	Al	Si	P	S	K	Ca	Ti	Mn	Co	Fe	As
C	1,0												
O	0,5	1,0											
Al	-0,6	0,3	1,0										
Si	-0,7	0,3	**0,9**	1,0									
P	-0,3	-0,5	-0,5	-0,2	1,0								
S	-0,3	-0,7	-0,1	-0,3	0,0	1,0							
K	-0,6	-0,2	**0,7**	**0,7**	-0,5	0,2	1,0						
Ca	-0,5	-0,7	-0,3	0,0	**0,8**	0,4	-0,1	1,0					
Ti	0,0	-0,4	-0,6	-0,3	0,3	0,4	-0,2	**0,7**	1,0				
Mn	-0,4	-0,8	-0,1	-0,3	0,4	**0,6**	0,1	0,3	-0,2	1,0			
Co	0,0	-0,8	-0,6	-0,7	0,2	**0,8**	-0,1	0,5	**0,6**	**0,5**	1,0		
Fe	-0,7	-0,8	-0,2	0,1	**0,8**	0,3	0,1	**0,9**	0,5	**0,5**	0,4	1,0	
As	-0,5	-0,1	0,4	0,3	0,2	0,5	0,0	0,4	0,2	0,1	0,0	0,2	1,0

Кислород входит в состав минералов и оксидов, имеет как природное, так и антропогенное происхождение. Кислород входит в состав продуктов горения (зола, шлаки), дорожной и почвенной пыли [18]. Концентрация кислорода изменяется от 32,85 масс. % в талой воде снега из Первомайского парка до 51,49 масс. % в парке Мира. В среднем содержание кислорода в талой воде снега в рекреационных зонах составило 41,87 масс. %. Высокая концентрация кислорода тесно связана с повышенным содержанием в пробах этих рекреационных зон Al и Si. Следовательно, основным источником кислорода является минеральная пыль (оксид кремния и алюмосиликаты) (табл. 1). В рекреационных зонах кислород распределен равномерно (CV =18,09%) и является фоновым элементом (табл. 2).

Алюминий — это основной компонент литосферы, входит в состав глины, полевых шпатов, слюд. Источником антропогенного происхождения является строительная пыль (цемент, кирпич, бетон) [19], [20]. Наибольшая концентрация алюминия отмечена в Городском дендрарии 8,51 масс. %. В парках Дружбы, Мира и Городском парке культуры и отдыха содержание алюминия в талой воде снега колеблется от 6,19 до 6,81 масс. % и в среднем составляет 6,41 масс. %. В сквере Водников алюминия в талой воде снега содержится в 1,8 раза меньше по сравнению с Городским дендрарием. Алюминий, кремний и калий входят в состав полевых шпатов и слюд [21]. Высокое

 © Авторы статьи / Authors of the article

содержание алюминия тесно связано с повышенным содержанием кремния и калия в пробе снега из Городского дендрария и парка Дружбы. В парке Мира при повышенном содержании Al и Si концентрация калия ниже предела определения прибора (табл. 1). Выявлена высокая положительная корреляция между алюминием и кремнием (r=0,9) и алюминием и калием (r=0,7) (табл. 3), следовательно, источником является алюмосиликатная пыль. Алюминий характеризуется слабой вариацией (CV =17,84%), распределен по паркам и скверу равномерно и не является техногенным загрязнителем (табл. 2).

Кремний — это основной элемент минеральной составляющей литосферы. В природе в чистом виде не встречается, только в виде силикатов и алюмосиликатов, диоксида (кварца). Также кремний может иметь техногенное происхождение — отходы стекольных, цементных, керамических заводов, зола от сжигания каменного угля [22]. Среднее содержание кремния — 16,15 масс. %. Коэффициент вариации равен 26,0%, следовательно, кремний распределен равномерно и является фоновым элементом (табл. 2). Наименьшее содержание кремния выявлено в талой воде снега из сквера Водников — 9,07 масс. %. В остальных пробах концентрация кремния колеблется от 20,6 масс. % в Городском дендрарии до 14,5 масс. % в парке Мира. Коэффициент корреляции между алюминием и кремнием равен 0,9 (табл. 3), следовательно, кремний в снег поступает вместе с алюмосиликатной пылью. Выявлена высокая корреляция между кремнием и калием (r=0,7), что характерно для полевых шпатов, за исключением парка Мира, где калий не обнаружен либо его концентрация ниже порога обнаружения (табл. 1). Равномерное распределение кремния в совокупности с высокой корреляцией с алюминием и калием говорит о его природном происхождении.

Высокая концентрация фосфора отмечена в талой воде снега из Первомайского парка — 0,15 мас. %, минимальное значение показателя в Городском парке — 0 мас. % (ниже порога определения прибором). В среднем содержание фосфора в рекреационных зонах составляет 0,06 мас. %. Фосфор в природе часто связан с кальцием и входит в состав апатитов, фосфоритов [23], [24]. Соотношение фосфор-кальций в пробах низкое (0,02-0,03), что говорит об отсутствии связи между фосфором и кальцием в форме фосфатов. Однако высокий коэффициент корреляции между фосфором и кальцием (r=0,8) (табл. 3) говорит о том, что эти элементы поступают в снежный покров территорий совместно. Не выявлено тесной взаимосвязи между содержанием фосфора и углерода, следовательно, источником фосфора не является дым от сжигания угля. Фосфор и калий входят в состав комплексных удобрений. Нами не выявлена взаимосвязь между фосфором и калием, следовательно, высокие концентрации фосфора в Первомайском парке не связаны с внесением фосфорно-калийных удобрений и требуется дальнейшее проведение исследования для выявления причины высокого содержания фосфора в пробах талой воды снега. (табл. 1). Установлена высокая положительная корреляция между фосфором и кальцием (r=0,8) и фосфором и железом (r=0,8) (табл. 3). Фосфор по рекреационным зонам г. Благовещенска распределён неравномерно. Коэффициент вариации равен 98,08%, что говорит о локальном загрязнении (табл. 2). Высокие концентрации фосфора могут иметь антропогенное происхождение. Для получения достоверной информации необходимо проведение дополнительного исследования.

Источником серы в атмосфере служат ТЭЦ и котельные, работающие на угле, выхлопные газы, противогололедные реагенты, строительная и почвенная пыль [25]. Концентрация серы в пробах колеблется от 0 масс. % в парке Дружбы до 0,12 масс. % в сквере Водников и Городском дендрарии. Содержание серы во всех рекреационных зонах, за исключением парков Мира и Дружбы составляет 0,09-0,12 масс. %. В парке Дружбы концентрация серы ниже порога определения. В сквере Водников высокая концентрация серы связана с повышенным содержанием углерода в пробе, возможно это связано с поступлением серы от сжигания угля. В сквере Водников и Городском дендрарии выявлено повышенное содержание серы и кальция, которые входят в состав строительной пыли. В 2024–2025 гг. на данных территориях проведен капитальный ремонт, что возможно привело к локальному загрязнению. Проведенный анализ выявил два источника серы: сжигание угля и строительная пыль (табл. 1). Выявлена умеренная корреляция серы и марганца (r=0,6) и сильная между серой и кобальтом (r=0,8) (табл. 3). Кроме этого, установлена умеренная корреляция между серой и мышьяком (r=0,5) (табл. 3), что говорит о том, что у них общий источник поступления. Источником поступления серы, марганца, кобальта и мышьяка является сжигание угля на ТЭЦ. Коэффициент вариации равен 62,10%. Сера в рекреационных зонах распределена неравномерно, что говорит о локальном загрязнении (табл. 2).

Природным источником калия является почва, где он входит в состав полевых шпатов, слюд, антропогенным — сжигание угля, выхлопные газы автотранспорта и промышленность (металлургия, цементные и стекольная промышленность), удобрения, содержащие калий [26]. Среднее содержание калия по рекреационным зонам города составляет 0,97 масс. %. Коэффициент вариации 64,2% — сильная вариация. Калий распределен неравномерно и присутствует его локальный источник (табл. 2). Концентрация калия в пробах колеблется от 1,82 масс. % в Городском дендрарии до 0,69 масс. % в сквере Водников. В парке Мира содержание калия ниже порога обнаружения прибора, при том, что здесь высокая концентрация алюминия и кремния (табл. 1). Ранее отмечено, что содержание алюминия и кремния сильно коррелирует с калием (табл. 3), можно предположить, что калий имеет природное происхождение — полевые шпаты алюмосиликатной пыли. Отсутствие корреляции с углеродом и фосфором свидетельствует о том, что калий не поступает в снежный покров от сжигания угля и внесения комплексных минеральных удобрений.

Кальций в окружающей среде имеет природные (нерастворимые карбонаты, фосфаты) и антропогенные (строительная пыль, реагенты и др.) источники [27], [28]. В пробах среднее содержание кальция составляет 2,99 масс. %. Коэффициент вариации 29,6% (табл. 2), следовательно, он может иметь природное происхождение. Однако высокие корреляции с железом и фосфором указывают на возможное антропогенное происхождение кальция. Источником может служить строительная пыль, образующаяся в результате проведения реконструкций в зонах отдыха (обновление тротуарной плитки, укладка бордюрного камня). Лидером по содержанию кальция в снежном покрове является Первомайский парк — 4,72 масс. %. В остальных городских зонах отдыха его концентрация существенно не изменяется (2,32–2,93 масс. %) (табл. 1). Выше отмечена высокая корреляция кальция с фосфором (r=0,8). Выявлена сильная корреляция кальция с железом (r=0,9) и титаном (r=0,7) и умеренная корреляция с кобальтом (r=0,5). Эти

 © Авторы статьи / Authors of the article

элементы входят в состав дорожной пыли. Железо и кобальт образуются в результате износа шин и тормозных колодок автомобилей. Титан входит в состав дорожной краски. Установлена слабая корреляция кальция и мышьяка (r=0,4) (табл. 3), следовательно, они поступают из разных источников.

Титан в рекреационных зонах г. Благовещенска распределен неравномерно (CV =95,3%), что указывает на локальный источник загрязнения (табл. 2). Концентрация титана в пробах снега колеблется от 0 масс. % в Городском дендрарии и парке Дружбы до 0,32 и 0,36 масс. % в Первомайском и Городском парках соответственно (табл. 1). В среднем в пробах снега исследуемых рекреационных зон титана содержится 0,15 масс. % (табл. 2). Выявлена умеренная корреляция между содержанием титана, кобальта и железа (r=0,5). Отсутствие корреляции титана и углерода подтверждает, что сжигание угля на ТЭЦ не является источником титана в снеге (табл. 3). Вероятнее всего попадание титана в снег — дорожная пыль, содержащая микрочастицы краски дорожной разметки. Содержание титана ниже порога определения прибором в пробах, отобранных в Городском дендрарии и парке Дружбы, позволяет предположить его техногенное происхождение на других рекреационных территориях.

Марганец входит в состав почвенных минералов, в дорожную пыль попадает в результате износа шин и тормозных колодок. Источником марганца является ТЭЦ, работающие на угле [29], [30]. В среднем в пробах снега содержатся 0,13 масс. % марганца, коэффициент вариации характеризуется как умеренный и равен 35,1%. По территории рекреационных зон марганец распределен с заметной, но не экстремальной неравномерностью (табл. 2). Минимум марганца выявлен в пробе талой воды снега из Городского парка (0,07 масс. %). В сквере Водников, Городском дендрарии и Первомайском парке концентрация марганца в пробах снега колеблется от 0,16 до 0,19 масс. %, с максимумом в сквере Водников (табл. 1). Установлена умеренная корреляция между марганцем и кобальтом и железом (r=0,5) (табл. 3). Эти три элемента тесно связаны между собой в геохимических циклах и содержатся в почве, откуда могут попадать в снежный покров с пылью [30]. Однако умеренные значения коэффициентов вариации указывают на то, что помимо природного источника существует и техногенное поступление этих элементов.

В почве собственные породообразующие минералы кобальта отсутствуют, он входит в состав минералов мышьяка, серы и селена, но чаще железа [30]. Поэтому следует предположить, что кобальт — это элемент, имеющий почти всегда техногенное происхождение. Он также входит в состав дорожной пыли, как микропримесь содержится в саже ТЭЦ [29]. Кобальт в рекреационных зонах распределен с заметной неравномерностью, что говорит о локальном техногенном загрязнении (CV =44,2 %) (табл. 2). Максимум концентрации кобальта выявлен в сквере Водников (0,11 масс. %), где также отмечена высокая концентрация марганца и железа. В Первомайском и Городском парках, Городском дендрарии содержание кобальта колеблется от 0,08 до 0,06 масс. %. Невысокое содержание кобальта выявлено в пробах снега из парков Дружбы и Мира (0,03 и 0,04 масс. % соответственно) (табл. 1). В среднем в рекреационных зонах концентрация кобальта составляет 0,07 масс. % (табл. 2). Нами не выявлена корреляция между содержанием кобальта и углерода, следовательно, можно предположить, что кобальт поступает в снежный покров не в результате сжигания угля на ТЭЦ. Установлена слабая корреляция между кобальтом и железом (r=0,4), умеренная между кобальтом и марганцем (r=0,5) и сильная между кобальтом и серой (r=0,8) (табл. 3). Исходя из корреляционной зависимости (Co-S), можно предположить, что кобальт в снежный покров поступает от автотранспорта в составе дорожной пыли.

Основным резервуаром железа является почва, где железо входит в состав магматических пород [30]. К источникам техногенного происхождения железа можно отнести дорожную пыль (износ тормозных колодок, кузовов автомобилей), строительную пыль (железобетон, арматура), сжигание угля на ТЭЦ и коррозию [31], [32]. Железо по степени изменчивости близко к марганцу и мышьяку, коэффициент вариации равен 36,8%, что характеризуется как умеренная вариация и соответствует заметной, но не экстремальной неравномерности. В среднем в пробах содержание железа составляет 4,66 масс. % (табл. 2). Минимальное содержание железа выявлено в парке Мира (3,01 масс. %), в 2,6 раза выше концентрация железа в Первомайском парке. В пробах снега других исследуемых рекреационных зон концентрация железа колеблется от 3,81 до 4,83 масс. % (табл. 1). Выявлена высокая корреляция железа с кальцием и фосфором (r=0,9 и r=0,8 соответственно). Сильная корреляция с кальцием дает возможность предположить, что эти элементы имеют общее техногенное происхождение и скорее всего это дорожная пыль. Установлена умеренная отрицательная связь железа с углеродом, следовательно, оба элемента поступают в снежный покров из разных источников и сжигание угля на ТЭЦ не является основным носителем железа в снежном покрове. Также определена отрицательная связь железа и кислорода, скорее всего, железо присутствует в пробах в восстановленной форме, что типично для техногенного происхождения железа (табл. 3).

Мышьяк — это токсичный элемент и в городской среде всегда имеет техногенное происхождение [29]. Основными источниками мышьяка являются ТЭЦ и котельные, промышленные предприятия [33], [34]. Для распределения мышьяка по рекреационным зонам характерна умеренная вариация (CV =35,4 %), есть заметный разброс. В среднем в пробах содержится 0,83 масс. % мышьяка (табл. 2). Минимальное количество мышьяка отмечаем для парка Дружбы, данная зона находится севернее промышленной зоны города. Высокое содержание мышьяка установлено для Городского дендрария 1,13 масс. %. В Городском парке, парке Мира и Первомайском парке концентрация мышьяка колеблется от 0,87 до 1,05 масс. % соответственно. В сквере Водников 0,56 масс. % (табл. 1). Согласно литературным данным фоновое загрязнение мышьяком составляет 2,4 мкг/г [10]. Полученные в результате исследования проб снега рекреационных зон значения содержания мышьяка говорит о техногенном загрязнении этих территорий. Выявлена умеренная корреляция мышьяка с серой (r=0,5) (табл. 3), можно предположить, что у этих элементов один источник поступления. Согласно результатам исследований, проведенных Д.В. Юсуповым и др. (2014 г.) выявлено превышение содержания мышьяка, что также подтверждается нашими исследованиями. В пробах, отобранных в районе воздействия опытно-промышленного завода, специализирующегося на переработке золотосодержащих сульфидных руд, обнаружен арсенопирит [10].

 © Авторы статьи / Authors of the article

Заключение

В твердых частицах снежного покрова рекреационных зон Благовещенска выявлен растительный детрит, минералы, частицы горных пород, металлы, оксиды, шлаки, сульфиды. Для алюминия и кислорода характерное низкое значение коэффициента вариации (17,8% и 18,1% соответственно), что говорит о равномерном распределении элементов. Высокие показатели коэффициента вариации углерода, фосфора, серы, калия и титана (62,1–95,3%) указывают на локальный источник загрязнения. Кремний, кальций, марганец, кобальт, железо характеризуются умеренным коэффициентом вариации (25–50%), что свидетельствует о смешанном источнике поступления в снежный покров. Во всех образцах обнаружен мышьяк (0,39–1,13 масс. %). Коэффициент вариации для мышьяка составляет 35,4 %. Выявлена умеренная корреляция мышьяка с серой (r=0,5), возможно у этих элементов один источник поступления — опытно-промышленный завод, специализирующийся на переработке золотосодержащих сульфидных руд. Выявлена сильная корреляция r=0,9 для Ca-Fe и Al-Si, r=0,8 для Ca-P и S-Co. Основными источниками загрязнения являются ТЭЦ и котельные города, дорожная и строительная пыль (Ca, Fe, Ti, Co, Mn). Для рекреационных зон г. Благовещенска характерно смешанное природно-техногенное загрязнение снежного покрова и необходим дальнейший экологический мониторинг.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Голохваст К.С. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных частиц в атмосферном воздухе / К.С. Голохваст, Н.К. Христофорова, П.Ф. Кику [и др.] // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. — 2011. — № 40. — С. 94–100.

2. Голохваст К.С. Исследование загрязнения атмосферы города Благовещенска частицами PM1, PM10, PM50 / К.С. Голохваст, В.В. Кодинцев, В.В. Кутай [и др.] // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. — 2018. — № 67. — С. 41–44.

3. Сергеева А.Г. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе санитарно-экологического мониторинга / А.Г. Сергеева, Н.Г. Куимова // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. — 2011. — № 40. — С. 100–104.

4. Чагарова О.В. Контроль качества снежного покрова на территории рекреационных зон как основа комфортной городской среды / О.В. Чагарова, О.А. Косицына, П.Е. Осипов [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2025. — № 5(155). — DOI: 10.60797/IRJ.2025.155.37. — EDN: HZGUML.

5. Чагарова О.В. Оценка техногенного загрязнения снежного покрова г. Благовещенска по данным химического анализа талой снеговой воды / О.В. Чагарова, А.П. Пакусина, О.А. Косицына // Естественные и технические науки. — 2024. — № 7(194). — С. 52–56. — EDN: KWQZXZ.

6. Радомская В.И. Многомерный статистический анализ содержаний элементов в снеговом покрове г. Благовещенска / В.И. Радомская, Д.В. Юсупов, Л.М. Павлова [и др.] // Региональная экология. — 2018. — № 2(52). — С. 15–28. — DOI: 10.30694/1026-5600-2018-2-15-28. — EDN: YIZDXN.

7. Радомская В.И. Макрокомпонентный состав снежного покрова г. Благовещенска / В.И. Радомская, Д.В. Юсупов, Л.М. Павлова // Вода: химия и экология. — 2014. — № 8(74). — С. 95–103. — EDN: STWQUT.

8. Голохваст К.С. Вещественный анализ атмосферных взвесей Благовещенска / К.С. Голохваст, Т.Н. Чапленко, И.Э. Памирский // Экология человека. — 2014. — № 4. — С. 16–21.

9. Юсупов Д.В. Минеральный и геохимический состав твердого осадка в снеговом покрове г. Благовещенск (Амурская область) / Д.В. Юсупов, В.А. Степанов, Н.В. Трутнева [и др.] // Известия Томского политехнического университета. — Томск, 2014. — Т. 324, № 1. — С. 184–189.

10. Юсупов Д.В. Геохимические аномалии и формы нахождения тяжелых металлов в снеговом покрове г. Благовещенска (Амурская область) / Д.В. Юсупов, С.С. Ильенок, А.А. Могилев // Проблемы геологии и освоения недр : труды XVIII Международного симпозиума им. акад. М.А. Усова студентов и молодых ученых, Томск, 7–11 апреля 2014 г. — Томск : Изд-во ТПУ, 2014. — Т. 1. — С. 781–783.

11. Численность населения по полу и возрасту по городскому округу г. Благовещенску на 1 января 2022 года: бюллетень / Амурстат. — Благовещенск, 2022. — 32 с.

12. Бородина Н.А. Содержание различных форм Cu, Zn и Mn в почвах города Благовещенск (Амурская область) / Н.А. Бородина, В.И. Голов // Вестник ДВО РАН. — 2013. — № 5(171). — С. 69–76.

13. Опытно-промышленный завод // Petropavlovsk PLC. — 2026. — URL: https://petropavlovskplc.com (дата обращения: 20.05.2026).

14. Стародымова Д.П. Вещественный и элементный состав нерастворимых частиц в снеге северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря / Д.П. Стародымова, В.П. Шевченко, А.Г. Боев // Успехи современного естествознания. — 2016. — № 12-2. — С. 449–453. — EDN: XIQEVH.

15. Ревуцкая И.Л. Качество атмосферного воздуха г. Биробиджана и его влияние на здоровье населения / И.Л. Ревуцкая, В.Ю. Поляков. — Биробиджан : Приамурский гос. ун-т им. Шолом-Алейхема, 2017. — 88 с.

16. Стародымова Д.П. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области / Д.П. Стародымова, В.П. Шевченко, С.К. Белоруков [и др.] // Успехи современного естествознания. — 2018. — № 2. — С. 140–145. — EDN: YRGNML.

17. Рейнольдс З.Л. Микропластик и связанные с ним черные частицы от износа дорожных шин: последствия радиационного воздействия на криосферу и атмосферу / З.Л. Рейнольдс [и др.] // Журнал геофизических исследований: Атмосфера. — 2024. — Т. 129, Вып. 19. — DOI: 10.1029/2024JD041116.

18. Ильин А.П. Состав промежуточных продуктов горения нанопорошка алюминия в воздухе / А.П. Ильин, Л.О. Толбанова, А.В. Мостовщиков // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — № 3. — С. 19–24.

19. Машрыков А.Б. Минеральных и органических соединений в почве / А.Б. Машрыков, Э. Оразов, А. Атаева [и др.] // Инновационная наука. — 2025. — № 3-1. — С. 88–89.

20. Степанов В.С. Оценка интегрального негативного воздействия металлургических процессов на окружающую среду (на примере производства глинозёма) / В.С. Степанов, Т.Б. Степанова // Вестник ИрГТУ. — 2011. — № 6(53). — С. 26–31.

21. Павлова Л.А. Изучение распределения элементов и форм их вхождения в материал стандартных образцов состава горных пород методом электронно-зондового рентгеноспектрального микроанализа / Л.А. Павлова, Е.А. Анчутина // Эталоны. Стандартные образцы. — 2013. — № 2. — С. 23–33.

22. Карманова А.А. Геохимическая характеристика элемента кремния / А.А. Карманова // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». — 2021. — № 1. — С. 96–100.

23. Аширбекова К.Ж. Значение фосфора в природе (обзор литературы) / К.Ж. Аширбекова // Медицина Кыргызстана. — 2015. — № 6. — С. 39–42.

24. Дегтярёв А.П. Фосфор в биосфере и для человечества: на пороге глобального голода / А.П. Дегтярёв // Биосфера. — 2023. — № 3. — С. 167–183.

25. Кесарецких К.С. Состав выбросов теплоэнергетики и их влияние на здоровье населения / К.С. Кесарецких, П.В. Горлов, Е.Н. Бельская // Актуальные проблемы авиации и космонавтики : сборник материалов XVII Международной научно-практической конференции, Красноярск, 12–16 апреля 2021 г. — Красноярск : СибГУ, 2021. — Т. 2. — С. 733–735.

26. Рожков В.А. Опыт разработки национальной системы оценки пригодности земель сельскохозяйственного назначения / В.А. Рожков // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. — 2014. — № 76. — С. 33–51.

27. Шабанов М.В. Изменение физико-химических свойств почв, подверженных техногенной нагрузке (на примере Красноуральского промузла) / М.В. Шабанов, М.С. Маричев // Агрохимический вестник. — 2018. — № 6. — С. 19–25.

28. Антоненко Н.А. Исследование влияния известняковой мелкодисперсной пыли, образующейся при открытых горных работах, на свойства почвы / Н.А. Антоненко, Д.В. Дергунов, Л.Э. Шейнкман // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. — 2017. — № 2. — С. 3–17.

29. Побилат А.Е. Мониторинг микроэлементов в почвах (обзор) / А.Е. Побилат, Е.И. Волошин // Микроэлементы в медицине. — 2021. — Т. 22, № 4. — С. 14–26.

30. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях = Trace elements in soils and plants / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас; под ред. Ю.С. Саета. — Москва : Мир, 1989. — 439 с.

31. Антонова Е.А. Техногенные источники поступления железа и марганца в воды бассейна р. Камы / Е.А. Антонова // Географический вестник. — 2011. — № 2(17). — С. 26–31.

32. Копылова Л.В. Аккумуляция железа и марганца в листьях древесных растений в техногенных районах Забайкальского края / Л.В. Копылова // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2010. — № 1-3. — С. 709–712.

33. Бабошкина С.В. Мышьяк в почвах техногенных ландшафтов Алтая / С.В. Бабошкина, А.В. Пузанов, О.А. Ельчининова [и др.] // Ползуновский вестник. — 2005. — № 4-2. — С. 153–156.

34. Шумилова М.А. Подвижность техногенного мышьяка в почвах Удмуртии под воздействием атмосферных осадков / М.А. Шумилова, В.Г. Петров, О.С. Набокова [и др.] // Химическая физика и мезоскопия. — 2014. — № 4. — С. 627–631.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Golokhvast K.S. Granulometricheskiy i mineralogicheskiy analiz vzveshennykh chastits v atmosfernom vozdukhe [Granulometric and mineralogical analysis of suspended particles in atmospheric air] / K.S. Golokhvast, N.K. Khristoforova, P.F. Kiku [et al.] // Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya [Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration]. — 2011. — No. 40. — P. 94–100. [in Russian]

2. Golokhvast K.S. Issledovaniye zagryazneniya atmosfery goroda Blagoveshchenska chastitsami RM1, RM10, RM50 [Study of atmospheric pollution of the city of Blagoveshchensk with PM1, PM10, PM50 particles] / K.S. Golokhvast, V.V. Kodintsev, V.V. Kutay [et al.] // Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya [Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration]. — 2018. — No. 67. — P. 41–44. [in Russian]

3. Sergeeva A.G. Snezhnyy pokrov kak indikator sostoyaniya atmosfernogo vozdukha v sisteme sanitarno-ekologicheskogo monitoringa [Snow cover as an indicator of atmospheric air condition in the system of sanitary-ecological monitoring] / A.G. Sergeeva, N.G. Kuimova // Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya [Bulletin of Physiology and Pathology of Respiration]. — 2011. — No. 40. — P. 100–104. [in Russian]

 © Авторы статьи / Authors of the article

4. Chagarova O.V. Kontrol' kachestva snezhnogo pokrova na territorii rekreatsionnykh zon kak osnova komfortnoy gorodskoy sredy [Quality control of snow cover in recreational areas as a basis for a comfortable urban environment] / O.V. Chagarova, O.A. Kositsyna, P.E. Osipov [et al.] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2025. — No. 5(155). — DOI: 10.60797/IRJ.2025.155.37. — EDN: HZGUML. [in Russian]

5. Chagarova O.V. Otsenka tekhnogennogo zagryazneniya snezhnogo pokrova g. Blagoveshchenska po dannym khimicheskogo analiza taloy snegovoy vody [Assessment of technogenic pollution of snow cover in Blagoveshchensk based on chemical analysis data of melted snow water] / O.V. Chagarova, A.P. Pakusina, O.A. Kositsyna // Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki [Natural and Technical Sciences]. — 2024. — No. 7(194). — P. 52–56. — EDN: KWQZXZ. [in Russian]

6. Radomskaya V.I. Mnogomernyy statisticheskiy analiz soderzhaniy elementov v snegovom pokrove g. Blagoveshchenska [Multivariate statistical analysis of element contents in the snow cover of Blagoveshchensk] / V.I. Radomskaya, D.V. Yusupov, L.M. Pavlova [et al.] // Regional'naya ekologiya [Regional Ecology]. — 2018. — No. 2(52). — P. 15–28. — DOI: 10.30694/1026-5600-2018-2-15-28. — EDN: YIZDXN. [in Russian]

7. Radomskaya V.I. Makrokomponentnyy sostav snezhnogo pokrova g. Blagoveshchenska [Macro-component composition of snow cover in Blagoveshchensk] / V.I. Radomskaya, D.V. Yusupov, L.M. Pavlova // Voda: khimiya i ekologiya [Water: Chemistry and Ecology]. — 2014. — No. 8(74). — P. 95–103. — EDN: STWQUT. [in Russian]

8. Golokhvast K.S. Veshchestvennyy analiz atmosfernykh vzvesey Blagoveshchenska [Material analysis of atmospheric suspended matter in Blagoveshchensk] / K.S. Golokhvast, T.N. Chaplenko, I.E. Pamirsky // Ekologiya cheloveka [Human Ecology]. — 2014. — No. 4. — P. 16–21. [in Russian]

9. Yusupov D.V. Mineral'nyy i geokhimicheskiy sostav tverdogo osadka v snegovom pokrove g. Blagoveshchensk (Amurskaya oblast') [Mineral and geochemical composition of solid sediment in snow cover of Blagoveshchensk (Amur Region)] / D.V. Yusupov, V.A. Stepanov, N.V. Trutneva [et al.] // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Bulletin of Tomsk Polytechnic University]. — Tomsk, 2014. — Vol. 324, No. 1. — P. 184–189. [in Russian]

10. Yusupov D.V. Geokhimicheskiye anomalii i formy nakhozhdeniya tyazhelykh metallov v snegovom pokrove g. Blagoveshchenska (Amurskaya oblast') [Geochemical anomalies and occurrence forms of heavy metals in snow cover of Blagoveshchensk (Amur Region)] / D.V. Yusupov, S.S. Ilenok, A.A. Mogilev // Problemy geologii i osvoyeniya nedr [Problems of geology and subsoil development] : proceedings of the XVIII International Symposium named after Academician M.A. Usov for Students and Young Scientists, Tomsk, April 7–11, 2014 : in 2 vols. — Tomsk : TPU Publishing House, 2014. — Vol. 1. — P. 781–783. [in Russian]

11. Chislennost' naseleniya po polu i vozrastu po gorodskomu okrugu g. Blagoveshchensku na 1 yanvarya 2022 goda [Population by sex and age for the Blagoveshchensk urban district as of January 1, 2022] : bulletin / Amurstat. — Blagoveshchensk, 2022. — 32 p. [in Russian]

12. Borodina N.A. Soderzhaniye razlichnykh form Cu, Zn i Mn v pochvakh goroda Blagoveshchensk (Amurskaya oblast') [Content of various forms of Cu, Zn and Mn in soils of the city of Blagoveshchensk (Amur Region)] / N.A. Borodina, V.I. Golov // Vestnik DVO RAN [Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]. — 2013. — No. 5(171). — P. 69–76. [in Russian]

13. Opytno-promyshlennyy zavod [Pilot plant] // Petropavlovsk PLC. — 2026. — URL: https://petropavlovskplc.com (accessed: 20.05.2026). [in Russian]

14. Starodymova D.P. Veshchestvennyy i elementnyy sostav nerastvorimykh chastits v snege severo-zapadnogo poberezh'ya Kandalakshskogo zaliva Belogo morya [Material and elemental composition of insoluble particles in snow of the northwestern coast of Kandalaksha Bay of the White Sea] / D.P. Starodymova, V.P. Shevchenko, A.G. Boev // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya [Advances in Modern Natural Science]. — 2016. — No. 12-2. — P. 449–453. — EDN: XIQEVH. [in Russian]

15. Revutskaya I.L. Kachestvo atmosfernogo vozdukha g. Birobidzhana i yego vliyaniye na zdorov'ye naseleniya [Quality of atmospheric air in Birobidzhan and its impact on public health] / I.L. Revutskaya, V.Yu. Polyakov. — Birobidzhan : Sholom-Aleichem Priamursky State University, 2017. — 88 p. [in Russian]

16. Starodymova D.P. Geokhimiya rasseyannogo osadochnogo veshchestva snega v Primorskom rayone Arkhangel'skoy oblasti [Geochemistry of dispersed sedimentary matter of snow in the Primorsky District of the Arkhangelsk Region] / D.P. Starodymova, V.P. Shevchenko, S.K. Belorukov [et al.] // Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya [Advances in Modern Natural Science]. — 2018. — No. 2. — P. 140–145. — EDN: YRGNML. [in Russian]

17. Reynolds Z.L. Mikroplastik i svyazannyye s nim chernyye chastitsy ot iznosa dorozhnykh shin: posledstviya radiatsionnogo vozdeystviya na kriosferu i atmosferu [Microplastics and associated black particles from road tire wear: implications for radiative forcing of the cryosphere and atmosphere] / Z.L. Reynolds [et al.] // Zhurnal geofizicheskikh issledovaniy: Atmosfera [Journal of Geophysical Research: Atmospheres]. — 2024. — Vol. 129, Iss. 19. — DOI: 10.1029/2024JD041116. [in Russian]

18. Ilyin A.P. Sostav promezhutochnykh produktov goreniya nanoporoshka alyuminiya v vozdukhe [Composition of intermediate combustion products of aluminum nanopowder in air] / A.P. Ilyin, L.O. Tolbanova, A.V. Mostovshchikov // Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta [Proceedings of Tomsk Polytechnic University]. — 2008. — No. 3. — P. 19–24. [in Russian]

19. Mashrykov A.B. Mineral'nykh i organicheskikh soyedineniy v pochve [Mineral and organic compounds in soil] / A.B. Mashrykov, E. Orazov, A. Ataeva [et al.] // Innovatsionnaya nauka [Innovative Science]. — 2025. — No. 3-1. — P. 88–89. [in Russian]

20. Stepanov V.S. Otsenka integral'nogo negativnogo vozdeystviya metallurgicheskikh protsessov na okruzhayushchuyu sredu (na primere proizvodstva glinozema) [Assessment of the integral negative impact of metallurgical processes on the

 © Авторы статьи / Authors of the article

environment (on the example of alumina production)] / V.S. Stepanov, T.B. Stepanova // Vestnik IrGTU [Bulletin of Irkutsk State Technical University]. — 2011. — No. 6(53). — P. 26–31. [in Russian]

21. Pavlova L.A. Izucheniye raspredeleniya elementov i form ikh vkhozhdeniya v material standartnykh obraztsov sostava gornykh porod metodom elektronno-zondovogo rentgenospektral'nogo mikroanaliza [Study of the distribution of elements and their occurrence forms in the material of standard rock samples by electron probe X-ray spectral microanalysis] / L.A. Pavlova, E.A. Anchutina // Etalony. Standartnyye obraztsy [Standards. Standard Samples]. — 2013. — No. 2. — P. 23–33. [in Russian]

22. Karmanova A.A. Geokhimicheskaya kharakteristika elementa kremniya [Geochemical characteristics of the element silicon] / A.A. Karmanova // Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh nauk i tekhnologiy "Integral" [International Journal of Applied Sciences and Technologies "Integral"]. — 2021. — No. 1. — P. 96–100. [in Russian]

23. Ashirbekova K.Zh. Znacheniye fosfora v prirode (obzor literatury) [The significance of phosphorus in nature (literature review)] / K.Zh. Ashirbekova // Meditsina Kyrgyzstana [Medicine of Kyrgyzstan]. — 2015. — No. 6. — P. 39–42. [in Russian]

24. Degtyarev A.P. Fosfor v biosfere i dlya chelovechestva: na poroge global'nogo goloda [Phosphorus in the biosphere and for humanity: on the threshold of global hunger] / A.P. Degtyarev // Biosfera [Biosphere]. — 2023. — No. 3. — P. 167–183. [in Russian]

25. Kesaretskikh K.S. Sostav vybrosov teploenergetiki i ikh vliyaniye na zdorov'ye naseleniya [Composition of thermal power emissions and their impact on public health] / K.S. Kesaretskikh, P.V. Gorlov, E.N. Belskaya // Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki [Current problems of aviation and cosmonautics] : collection of materials of the XVII International Scientific and Practical Conference, Krasnoyarsk, April 12–16, 2021. — Krasnoyarsk : SibGU, 2021. — Vol. 2. — P. 733–735. [in Russian]

26. Rozhkov V.A. Opyt razrabotki natsional'noy sistemy otsenki prigodnosti zemel' sel'skokhozyaystvennogo naznacheniya [Experience in developing a national system for assessing the suitability of agricultural lands] / V.A. Rozhkov // Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchayeva [Bulletin of the V.V. Dokuchaev Soil Institute]. — 2014. — No. 76. — P. 33–51. [in Russian]

27. Shabanov M.V. Izmeneniye fiziko-khimicheskikh svoystv pochv, podverzhennykh tekhnogennoy nagruzke (na primere Krasnoural'skogo promuzla) [Changes in the physicochemical properties of soils subjected to technogenic load (on the example of the Krasnouralsk industrial hub)] / M.V. Shabanov, M.S. Marichev // Agrokhimicheskiy vestnik [Agrochemical Bulletin]. — 2018. — No. 6. — P. 19–25. [in Russian]

28. Antonenko N.A. Issledovaniye vliyaniya izvestnyakovoy melkodispersnoy pyli, obrazuyushcheysya pri otkrytykh gornykh rabotakh, na svoystva pochvy [Study of the influence of limestone fine dust generated during open-pit mining on soil properties] / N.A. Antonenko, D.V. Dergunov, L.E. Sheynkman // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle [Proceedings of Tula State University. Earth Sciences]. — 2017. — No. 2. — P. 3–17. [in Russian]

29. Pobilat A.E. Monitoring mikroelementov v pochvakh (obzor) [Monitoring of trace elements in soils (review)] / A.E. Pobilat, E.I. Voloshin // Mikroelementy v meditsine [Trace Elements in Medicine]. — 2021. — Vol. 22, No. 4. — P. 14–26. [in Russian]

30. Kabata-Pendias A. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh [Trace elements in soils and plants] = Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias, H. Pendias ; ed. by Yu.S. Saet. — Moscow : Mir, 1989. — 439 p. [in Russian]

31. Antonova E.A. Tekhnogennyye istochniki postupleniya zheleza i margantsa v vody basseyna r. Kamy [Technogenic sources of iron and manganese input into the waters of the Kama River basin] / E.A. Antonova // Geograficheskiy vestnik [Geographical Bulletin]. — 2011. — No. 2(17). — P. 26–31. [in Russian]

32. Kopylova L.V. Akkumulyatsiya zheleza i margantsa v list'yakh drevesnykh rasteniy v tekhnogennykh rayonakh Zabaykal'skogo kraya [Accumulation of iron and manganese in leaves of woody plants in technogenic areas of the Trans-Baikal Territory] / L.V. Kopylova // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. — 2010. — No. 1-3. — P. 709–712. [in Russian]

33. Baboshkina S.V. Mysh'yak v pochvakh tekhnogennykh landshaftov Altaya [Arsenic in soils of technogenic landscapes of Altai] / S.V. Baboshkina, A.V. Puzanov, O.A. Elchininova [et al.] // Polzunovskiy vestnik [Polzunov Bulletin]. — 2005. — No. 4-2. — P. 153–156. [in Russian]

34. Shumilova M.A. Podvizhnost' tekhnogennogo mysh'yaka v pochvakh Udmurtii pod vozdeystviyem atmosfernykh osadkov [Mobility of technogenic arsenic in soils of Udmurtia under the influence of atmospheric precipitation] / M.A. Shumilova, V.G. Petrov, O.S. Nabokova [et al.] // Khimicheskaya fizika i mezoskopiya [Chemical Physics and Mesoscopy]. — 2014. — No. 4. — P. 627–631. [in Russian]