

## СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ КАК ИНДИКАТОР ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА АПАТИТЫ

Макеев И.А.

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
119991, Москва, Россия

*e-mail: [mackeevilja@yandex.ru](mailto:mackeevilja@yandex.ru)*

Статья посвящена оценке техногенного загрязнения территории города Апатиты (Мурманская область) с использованием снежного покрова как интегрального индикатора. Цель исследования – определить уровень и пространственное распределение микроэлементов и макрокомпонентов в снеге для выявления основных источников антропогенной нагрузки. В ходе работы в марте 2025 года было отобрано 25 проб снега в различных функциональных зонах города. Концентрации элементов (Al, Fe, Zn, Cu, Pb, Sr, Mo, As, SO<sub>4</sub> и др.) определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

Результаты показали значительное превышение фоновых концентраций по ряду показателей: алюминий (>100 раз), железо (>50 раз), цинк (>20 раз) и сульфаты (>150 раз). Расчет суммарного индекса загрязнения (СИЗ) и пространственный анализ позволили выделить основные очаги загрязнения: промышленные зоны (Fe, Al, Sr, Mo), автодороги (Zn, Cu, Pb, Cd) и район ТЭЦ (V, Ni, As, SO<sub>4</sub>). Установлено, что, хотя абсолютные концентрации большинства элементов не превышают ПДК для воды, их кумулятивный эффект и миграция при таянии снега создают потенциальную угрозу для экосистем и здоровья населения.

На основе проведенного анализа предложен комплекс природоохранных мер, включающий модернизацию систем очистки на предприятиях, развитие электротранспорта, внедрение снегоплавильных установок с очисткой стоков, а также организацию системы постоянного экологического мониторинга. Исследование подтверждает возможность использования снежного покрова как репрезентативного индикатора для оценки и управления техногенной нагрузкой в условиях промышленного города Крайнего Севера.

**Ключевые слова:** снежный покров, техногенное загрязнение, тяжёлые металлы, сульфаты, Апатиты, суммарный индекс загрязнения, экологический мониторинг, охрана окружающей среды.

## SNOW COVER AS AN INDICATOR OF TECHNOGENIC POLLUTION OF THE TERRITORY OF APATITY

Makeev I.A.

*Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russia*

The article is devoted to assessing the technogenic pollution of the territory of Apatity (Murmansk region) using the snow cover as an integral indicator. The aim of the study was to determine the level and spatial distribution of microelements and macrocomponents in snow to identify the main sources of anthropogenic load. In March 2025, 25 snow samples were collected from various functional zones of the city. The concentrations of elements (Al, Fe, Zn, Cu, Pb, Sr, Mo, As, SO<sub>4</sub>, etc.) were determined using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS).

The results showed a significant excess of background concentrations for a number of indicators: aluminum (>100 times), iron (>50 times), zinc (>20 times), and sulfates (>150 times). Calculation of the total pollution index (TPI) and spatial analysis identified the main pollution hotspots: industrial zones (Fe, Al, Sr, Mo), roads (Zn, Cu, Pb, Cd), and the area of the thermal power plant (V, Ni, As, SO<sub>4</sub>). It was established that, although the absolute concentrations of most elements do not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) for water, their cumulative effect and migration during snowmelt pose a potential threat to ecosystems and public health.

Based on the analysis, a set of environmental protection measures is proposed, including the modernization of purification systems at enterprises, the development of electric transport, the introduction of snow-melting installations with effluent treatment, greening, and the organization of a system for continuous environmental monitoring. The research confirms the effectiveness of snow cover as a representative indicator for assessing and managing technogenic load in the conditions of an industrial city in the Far North.

**Keywords:** snow cover, technogenic pollution, heavy metals, sulfates, Apatity, total pollution index (TPI), environmental monitoring, environmental protection.

### Введение

Город Апатиты, расположенный в центральной части Кольского полуострова, является одним из крупнейших промышленных и научных центров Мурманской области РФ. Наличие горнодобывающих и перерабатывающих предприятий, а также интенсивное движение автотранспорта создают значительную антропогенную нагрузку на окружающую среду. Оценка состояния атмосферы по

степени загрязнения снегового покрова является традиционным методом геоэкологического изучения городских экосистем. Снеговой покров, как информационный носитель атмосферных выпадений, характеризует уровень загрязнения воздуха. В моменты оттепелей и весной при массовом снеготаянии на городских территориях и за их пределами различные токсичные вещества (тяжёлые металлы, полициклические ароматические углеводороды)

попадают в природные среды (открытые водоемы и подземные воды), вызывая загрязнение, представляющее опасность для живых организмов [1]. Одним из методов, позволяющих оценить степень техногенной нагрузки на окружающую среду, является мониторинг загрязнения атмосферных осадков. Для комплексной характеристики антропогенного воздействия, как правило, используется оценка загрязнения депонирующих сред, таких как донные отложения водоёмов, почвы и снежный покров. Благодаря высокой сорбционной способности снег накапливает в своём составе практически все вещества, поступающие в атмосферу. В связи с этим, его можно рассматривать как репрезентативный индикатор загрязнения окружающей природной среды [2]. Снежный покров отражает существующее загрязнение атмосферного воздуха, тогда как химический состав поверхностного слоя почв является суммирующим результатом геохимических особенностей материнской почвообразующей породы и биогеохимических процессов, происходящих в почве, а также многолетнего воздействия загрязнения атмосферы, колебания уровней загрязнения, связанные с изменениями технологического процесса, эффективностью пылегазоулавливания, влиянием метеорологических и других факторов [3].

Загрязнение снега происходит в два этапа. При образовании снежинки вбирают в себя загрязняющие вещества из атмосферы, поэтому выпавший снег уже является загрязнённым. Далее происходит ещё большее загрязнение уже выпавшего снега, на него загрязняющие вещества оседают из атмосферы, а также поступают из подстилающих почв и горных пород [4]. Можно сделать вывод, что загрязнение снега происходит по тем же причинам, что и загрязнение атмосферного воздуха. К таким причинам относятся: выхлопные газы, промышленные выбросы и так далее.

Целью данного исследования была оценка уровня и пространственного распределения техногенных микроэлементов в снежном покрове г. Апатиты с использованием современных методов аналитической химии и оценка уровня и пространственной дифференциации техногенной нагрузки на территорию г. Апатиты по данным химического

анализа макрокомпонентов снегового покрова.

#### Методы исследования

В период с 17.03.2025 по 17.03.2025 г. было отобрано 25 проб снега на территории г. Апатиты и его окрестностей. Точки отбора охватывали различные функциональные зоны города: селитебные территории, районы вблизи промышленных объектов и автотрасс. Пробы отбирались в пластиковые контейнеры с соблюдением мер предосторожности для предотвращения вторичного загрязнения.

Концентрации микроэлементов определялись методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) на приборе Agilent 7900. Анализировались следующие элементы: алюминий, титан, ванадий, хром, марганец, железо, никель, медь, цинк, мышьяк, стронций, иттрий, ниобий, молибден, кадмий, свинец, натрий, калий, аммоний, магний, кальций, хлориды, нитриты, нитраты, фосфаты, сульфаты. Для обеспечения контроля качества проводились измерения холостых проб (Blank) и калибровочных стандартов (STD) с известными концентрациями (10 и 100 ppb). Процедура включала три параллельных измерения для каждой пробы, что позволило оценить воспроизводимость и погрешность метода. Стандартное отклонение (СКО) для большинства элементов в пробах не превышало 10%, что свидетельствует о высокой надежности полученных данных.

#### Результаты исследования

Результаты анализа показали значительную вариабельность концентраций микроэлементов в снежном покрове (таблица 1).

Наиболее высокие концентрации наблюдались для алюминия и железа, что может быть связано с выбросами предприятий горнодобывающего и металлургического комплексов, а также с абразивным износом дорожного покрытия и шин автотранспорта. Значительные содержания цинка и свинца традиционно связывают с работой автотранспорта и износом шин. Повышенные концентрации стронция и молибдена указывают на возможное влияние специфических промышленных процессов.

Был рассчитан для каждой точки суммарный индекс загрязнения (СИЗ) по формуле:

Таблица 1

Средние, минимальные и максимальные концентрации микроэлементов в снежном покрове г. Апатиты (ppb)

| Элемент | Среднее | Min  | Max   | Превышение фона |
|---------|---------|------|-------|-----------------|
| Al      | 28.5    | 0.35 | 90.2  | >100x           |
| Fe      | 95.8    | 1.30 | 283.9 | >50x            |
| Zn      | 16.2    | 1.41 | 41.7  | >20x            |
| Sr      | 12.1    | 0.02 | 32.2  | >10x            |
| Cu      | 1.4     | 0.06 | 3.1   | >5x             |
| Pb      | 0.11    | 0.01 | 0.38  | >3x             |
| Mo      | 0.12    | 0.02 | 0.64  | >10x            |
| As      | 0.65    | 0.01 | 1.21  | >5x             |

$$\text{СИЗ} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_i}$$

где  $C_i$  – концентрация металла в  $\text{ppb}$  ( $\text{мкг/л}$ ). СИЗ рассчитывался для всех 24 точек и учитывал такие металлы, как железо, алюминий, цинк, медь, никель, хром, свинец, кадмий, ванадий, марганец, мышьяк, молибден. Категории по СИЗ были следующими: 10 и более – критическое, 5-10 – высокое, 2-5 – среднее,  $< 2$  – низкое.

Построение карт-схем распределения элементов позволило выявить несколько очагов загрязнения: пробы №12, №13, №19, находящиеся около промышленной зоны, характеризовались аномально высокими содержаниями железа, алюминия, стронция и молибдена. Пробы, отобранные вблизи основных автодорог (№7, №15), показали повышенные концентрации цинка, меди и свинца. Некоторые пробы на периферии города (№1) демонстрировали относительно низкие уровни большинства элементов, что позволяет рассматривать их как условно-фоновые для данной местности.

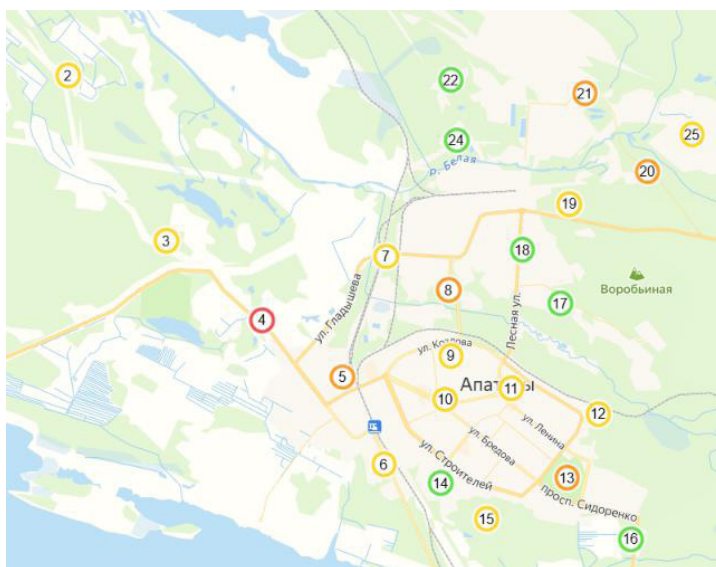
Рассчитанные коэффициенты концентрации  
(отношение фактической концентрации к фоновой)

для таких элементов, как железо, свинец, мышьяк и молибден, превышали фоновые значения в 3-20 раз, что свидетельствует о значительном техногенном вкладе. Хотя абсолютные концентрации большинства элементов не превышают ПДК для водных объектов, их кумулятивный эффект и способность к миграции в почвы и грунтовые воды в период снеготаяния представляют потенциальную опасность для экосистем и здоровья населения.

Результаты химического анализа представлены в таблице 2. Концентрации ионов NO<sub>2</sub>- и PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> во всех пробах находились ниже предела обнаружения методики (<0.001 мг/кг), что указывает на отсутствие значимого загрязнения нитритами и фосфатами.

### Анализ данных выявил несколько значимых тенденций

Наибольшая аномалия наблюдается по сульфатам. Фоновая концентрация составляет 0.011 мг/кг, в то время как во всех городских пробах значения многократно превышают фон – от 0.25 мг/кг (точка №2) до 3.585 мг/кг (точка №21). Средняя концентрация по городу (1.72 мг/кг) более чем в 150 раз превышает фоновую. Высокие концентрации сульфатов связаны с выбросами предприятий энергетики, сжиганием угля и мазута.



**Рис. 1.** Карта точек отбора снега и их суммарный индекс загрязнения. Красный цвет – Критическое (СИЗ > 10). Оранжевый – Высокое (СИЗ 5-10). Желтый – Среднее (СИЗ 2-5). Зеленый – Низкое (СИЗ < 2)

### Таблица 2

Сводные данные по концентрациям основных ионов и катионов в пробах снега (мг/кг)

| Показатель | Фон   | Min   | Max   | Среднее |
|------------|-------|-------|-------|---------|
| Na+        | 3.68  | 3.01  | 3.69  | 3.38    |
| K+         | 0.22  | 0.18  | 0.36  | 0.24    |
| NH4+       | 0.153 | 0.115 | 0.52  | 0.22    |
| Mg2+       | 0.13  | 0.12  | 0.28  | 0.18    |
| Ca2+       | 0.77  | 0.46  | 1.93  | 1.10    |
| Cl-        | 3.16  | 1.08  | 3.16  | 2.03    |
| NO3-       | 0.76  | 0.24  | 0.76  | 0.35    |
| SO42-      | 0.011 | 0.25  | 3.585 | 1.75    |

Концентрация кальция также существенно выше фонового значения (0.77 мг/кг) на большинстве точек, достигая максимума 1.93 мг/кг (точка №12). Средняя концентрация (1.10 мг/кг) превышает фон в 1.4 раза. Повышенное содержание кальция может быть обусловлено как техногенными факторами (строительная пыль, выбросы предприятий), так и естественными (почвенная пыль).

Концентрации  $\text{Cl}^-$  в городских пробах (среднее 2.03 мг/кг) ниже, чем на фоновой точке (3.16 мг/кг), что, вероятно, связано с влиянием морских аэрозолей на фоновую территорию. Относительно стабильные концентрации  $\text{Na}^+$  по всем точкам (3.01-3.69 мг/кг) также подтверждают его преимущественно природное (морское) происхождение.

Содержание нитратов в городских пробах (среднее 0.35 мг/кг) ниже, чем на фоновой точке (0.76 мг/кг). Это может указывать на локальный характер загрязнения нитратами на фоновой точке или на сложные процессы трансформации азотсодержащих соединений в снежном покрове.

Концентрации аммония варьируются, демонстрируя отдельные очаги повышенного содержания (до 0.52 мг/кг, точка №14), что может быть связано с коммунально-бытовыми выбросами и работой автотранспорта.

Пространственный анализ показывает, что наиболее высокие концентрации сульфатов наблюдаются в центральной и южной частях города (точки №5, 6, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25), что позволяет предположить расположение основных источников загрязнения в данном направлении или влияние розы ветров.

Были обнаружены некоторые закономерности по загрязнению. По причине эрозии почв и промышленной и транспортной пыли максимальные уровни содержания железа были обнаружены в пробах 5, 8, 4, 1, 20. Повышенные концентрации ванадия, наиболее вероятно от сжигания мазута на ТЭЦ, найдены в точке 4. В пробах 1 и 8 было зафиксировано большое количество цинка из-за износа шин, металлообработки. Большие концентрации алюминия были обнаружены почти везде, но особенно в пробах 5, 20, 22, 14, что связано с почвенной и строительной пылью.

В городе Апатиты и окрестностях находятся горно-обогатительные комбинаты и хвостохранилища, что вызывает пыление, приводящее к повышенным концентрациям железа, алюминия и марганца. Автотранспорт также вносит свой вклад в ухудшение экологической обстановки. Так, например, использование зимней резины и износ покрышек приводят к выбросам цинка, меди и кадмия. Сжигание угля и мазута на ТЭЦ, котельных увеличивают содержание в атмосфере и снеге ванадия, никеля и мышьяка. Например, в самой неблагоприятной точке 4 наибольший вклад в расчёте суммарного индек-

са загрязнения приходится на ванадий, что напрямую указывает на выбросы от угольной Апатитской ТЭЦ.

В восточных районах (пробы 13,16) были зафиксированы максимальные значения железа, алюминия и стронция. Вероятными источниками могут быть промышленные предприятия. В центральных районах, особенно в пробе №9 были обнаружены повышенные концентрации цинка, меди и свинца. Это связано с интенсивным автомобильным движением.

В северо-западных и южных окраинах выявлены минимальные концентрации всех металлов, причиной этому является отсутствие значимых источников загрязнения. Локальный максимум достигается в районе пробы №7, в которой обнаружено повышенное содержание железа и цинка.

### Заключение

На основе проведённого исследования снежного покрова г. Апатиты, выявившего значительное техногенное загрязнение тяжёлыми металлами и сульфатами, можно предложить комплекс взаимосвязанных мер для улучшения экологической ситуации. Первоочередным направлением должно стать снижение выбросов от промышленных предприятий, в частности горнодобывающего и металлургического комплексов, а также ТЭЦ. Это может быть достигнуто за счёт внедрения современных систем газо- и пылеочистки, перевода энергообъектов на более экологичное топливо и минимизации пыления через применение закрытых технологий транспортировки и хранения материалов.

Параллельно необходимо снижать негативное воздействие автотранспорта, который является источником цинка, меди, свинца и кадмия. Этому будет способствовать развитие электротранспорта и общественного транспорта, постепенный отказ от шипованных шин, а также регулярная мойка и уборка улиц для удаления осевшей пыли. Важным дополнением станет контроль за выбросами от строительной деятельности и износа дорожного покрытия через использование малопылящих материалов и технологий.

Для эффективного управления рисками требуется создать систему постоянного экологического мониторинга снега, почвы и воздуха, особенно в зонах с критическим и высоким индексом загрязнения. Данные мониторинга, нанесённые на карты с учётом розы ветров, позволят оперативно корректировать природоохранные мероприятия и планировать городское развитие, избегая размещения жилой застройки в наиболее загрязнённых районах. В этих же районах следует проводить рекультивацию почв, в том числе с использованием методов фиторемедиации.

Одним из способов решения проблемы загрязнения снега является мобильная снегоплавильная

установка, описанная в патенте № RU 2695676 E01H 5/10. Предлагаемое устройство предполагает плавление и проведение механической и химической очистки снежных масс, что поможет улучшить экологическую ситуацию. Кроме того, установка имеет возможность мобильного перемещения посредством ходовой части. Внедрение мобильной снегоплавильной установки поможет снизить загрязнение окружающей среды и уменьшить воздействие отрицательных факторов на организм человека. Улучшится обстановка с избытком снега в труднодоступных районах для малых нужд, например, придомовые территории, территория школ, участков и т.п. [5].

Во избежание попадания вредных веществ при таянии снега весной в почвы, а в дальнейшем в растения и организмы животных, предлагается создать в окрестностях города Апатиты специальные снегоплавильные станции и полигоны. С помощью профессионального оборудования отходы будут измельчаться и нагреваться до полного расплавления. Полученные водные массы будут обрабатываться и очищаться. Только после этого полученная жидкость сбросится в канализацию [6].

Для уменьшения количества пыли и выхлопных газов от автомобилей необходимо в зимний период правильно утилизировать снег, а летом высаживать вдоль дорог больше деревьев и кустарников [7].

Проведённое исследование снежного покрова города Апатиты подтвердило его высокую информативность в качестве индикатора техногенного загрязнения территории. Анализ 25 проб снега, отобранных в различных функциональных зонах, выявил значительное превышение фоновых концентраций для ряда микро- и макроэлементов. Наиболее выраженные аномалии установлены для алюминия (превышение фона более чем в 100 раз), железа (>50 раз), цинка (>20 раз) и особенно, сульфатов (>150 раз). Пространственный анализ и расчёт суммарного индекса загрязнения (СИЗ) позволили чётко идентифицировать основные источники загрязнения и зоны их влияния. Промышленные зоны (пробы №12, 13, 19) характеризуются аномально высокими содержаниями железа, алюми-

ния, стронция и молибдена, что напрямую связано с деятельностью горнодобывающих, обогащательных и металлургических предприятий, а также с пылением от хвостохранилищ. Транспортные магистрали (пробы №7, 9, 15) являются очагами повышенных концентраций цинка, меди, свинца и кадмия, источником которых служит износ шин, дорожного покрытия и выхлопные газы автотранспорта. Энергетический комплекс (ТЭЦ) идентифицирован как ключевой источник поступления ванадия, никеля, мышьяка и сульфатов в атмосферу и снег, что особенно ярко проявилось в пробе №4 с критическим значением СИЗ.

Хотя абсолютные концентрации большинства исследуемых элементов не превышают установленных ПДК для водных объектов, их кумулятивный эффект и способность к миграции в почвы и грунтовые воды в период снеготаяния создают реальную потенциальную угрозу для городских экосистем и здоровья населения. На основе полученных результатов сформулирован комплекс практических рекомендаций, направленных на снижение техногенной нагрузки. Для промышленного сектора приоритетными являются модернизация систем газо- и пылеочистки, внедрение закрытых технологий транспортировки и хранения сырья, а также рассмотрение перевода энергообъектов на более экологичные виды топлива. Для транспортной системы целесообразно развитие электротранспорта и общественного транспорта, постепенный отказ от шипованных шин, регулярная мойка улиц и озеленение придорожных территорий. Для управления снежными массами критически важным является внедрение современных методов утилизации снега, таких как использование мобильных снегоплавильных установок с последующей очисткой талых вод, что предотвратит массированное поступление загрязняющих веществ в окружающую среду весной.

Таким образом, исследование не только диагностировало существующий уровень загрязнения территории г. Апатиты, но и определило научно обоснованные пути минимизации экологических рисков, связанных с техногенной деятельностью в условиях Крайнего Севера.

## Список литературы

1. Салтан Н.В. Оценка загрязнения снежного покрова урбоэкосистем Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов / Н.В. Салтан, Е.А. Святковская, Н.Н. Тростенюк // Экология и промышленность России. 2022. Т. 26. №12. С. 78-83.
2. Першина Н.А., Семенец Е.С., Павлова М.Т., Свистов П.Ф. (2021) Влияние погодных условий на химический состав снежного покрова // Климат и природа. 41(4). С. 26-34.
3. Wang F., Zhang X., Wang F., Song M., Li Z., Ming J. (2022) Urban air quality in Xinjiang and snow chemistry of Urumqi Glacier No. 1 during COVID-19's restrictions. Environ. Sci. Pollut. Res. 29. 76 026-76 035.
4. Соловьева Н.Е. Исследование талой воды (снега) как показатель загрязнения атмосферы урбанизированной среды / Н.Е. Соловьева, Е.А. Олькова, А.А. Алябьева, О.В. Краева. Текст: непосредственный // Молодой ученый. 2015. №14 (94). С. 668-672.
5. Патент на изобретение РФ №2695676, 09.01.2018. Смирнова С.В., Потапов К.А., Мушарапов Р.Н., Мингазетдинов И.Х. Мобильная снегоплавильная установка // Оpubл. 25.07.2019 г. Бюл. №21.
6. АртТранс [Электронный ресурс] // URL: <https://artranss.ru/company/articles/a-zachem-voobshe>.
7. Рубанова В.А. Грязный снег у автомобильных трасс – опасен ли он для растений?: исследовательская работа / В.А. Рубанова, Д.Ф. Мамедова. ГБОУ Школа №171. Москва. 2022. 17 с.

## References

1. N.V. Saltan, E.A. Svyatkovskaya, N.N. Trostenyuk. Assessment of pollution of snow cover of urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway sidings. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2022. V. 26. No. 12. Pp. 78-83.
2. Pershina N.A., Semenets E.S., Pavlova M.T., Svistov P.F. (2021) The influence of weather conditions on the chemical composition of snow cover. *Klimat i priroda*. 41(4). Pp. 26-34.
3. Wang F., Zhang X., Wang F., Song M., Li Z., Ming J. (2022) Urban air quality in Xinjiang and snow chemistry of Urumqi Glacier No. 1 during COVID-19's restrictions. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 29. 76 026-76 035.
4. N.E. Solovyova, E.A. Olkova, A.A. Alyabyeva, O.V. Kraeva. Study of melt water (snow) as an indicator of atmospheric pollution in an urban environment. *Molodoy uchenyy*. 2015. No. 14 (94). Pp. 668-672.
5. Patent for invention of the Russian Federation No. 2695676, 09.01.2018. Smirnova S.V., Potapov K.A., Musharapov R.N., Mingazetdinov I.Kh. Mobile snow-melting unit. Published July 25, 2019. Bulletin No. 21.
6. ArtTrans [Electronic resource]. URL: <https://artranss.ru/company/articles/a-zachem-voobshch>.
7. V.A. Rubanova, D.F. Mamedova. *Gryaznyy sneg u avtomobil'nykh trass – opasen li on dlya rasteniy?: issledovatel'skaya rabota* [Is dirty snow along highways dangerous for plants? Research suggests]. State Budgetary Educational Institution School No. 171, Moscow. 2022. 17 p.

### Сведения об авторах Принадлежность к организации

#### Макеев Илья Андреевич

аспирант кафедры рационального природопользования географического факультета МГУ им. Ломоносова, 119991, Москва, Россия

### Information about authors Affiliations

#### Makeev Ilya Andreevich

Postgraduate Student, Department of Environmental Management Faculty of Geography Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, Russia

Поступила в редакцию 25.01.2026 г.