

## Оценка загрязнения снегового покрова урбоэкосистем Кольского Севера в зоне влияния железнодорожных отводов

© 2022. Н. В. Салтан, к. б. н., с. н. с.,  
Е. А. Святковская, н. с.,  
Н. Н. Тростенюк, н. с.,

Полярно-альпийский ботанический сад-институт  
им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,  
184209, Россия, г. Апатиты, Академгородок, д. 15а,  
e-mail: saltan.natalya@mail.ru

Впервые изучен химический состав (рН, содержание главных неорганических ионов, Ni, Cu, Pb, Fe) снежного покрова на территории железнодорожных вокзалов городов Мурманской области (Мурманск, Оленегорск, Апатиты, Полярные Зори, Кандалакша) и на условно-фоновом участке. Снеговые пробы отобраны на расстоянии 3–6 м от железнодорожного полотна в конце марта – начале апреля 2019 г. Выявлено, что талая вода имеет реакцию от нейтральной до слабокислой. Концентрации ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  превышают условный фон, особенно в г. Мурманске и г. Оленегорске. Проанализированы две фазы нахождения элементов (растворённая и твёрдая) в снеге. Установлено, что выпадение соединений металлов в зимний период происходит преимущественно в твёрдофазной форме, что свидетельствует о техногенном происхождении источников поступления. Самая высокая доля поступления твёрдой фазы характерна для Fe (> 98%). Рассмотрены эколого-геохимические показатели загрязнения снега. Обнаружено, что общие концентрации элементов 1 и 2 классов опасности в 3–28 раз превышают фоновые значения. По суммарному показателю нагрузки привокзальные территории гг. Полярные Зори ( $Z_c = 19$ ), Апатиты ( $Z_c = 25$ ), Кандалакша ( $Z_c = 28$ ) отнесены к низкому уровню загрязнения, г. Мурманск ( $Z_c = 77$ ) – среднему, г. Оленегорск ( $Z_c = 183$ ) – высокому (за счёт функционирования комбината по производству железорудного концентрата). Показано, что эксплуатирование железных дорог приводит к увеличению поступления в атмосферу нерастворимых форм тяжёлых металлов, главным образом Fe.

**Ключевые слова:** загрязнение снегового покрова, урбоэкосистемы, железнодорожный транспорт, Кольский Север.

## Assessment of snow cover pollution in urban ecosystems of the Kola North in the zone of influence of railway branches

© 2022. N. V. Saltan ORCID: 0000-0002-5905-9774\*  
E. A. Sviatkovskaya ORCID: 0000-0002-4069-7020\*  
N. N. Trostenyuk ORCID: 0000-0002-6574-9624\*

Polar-Alpine Botanical Garden-Institute of Kola Science Centre of RAS,  
15a, Academic Campus, Apatity, Russia, 184209,  
e-mail: saltan.natalya@mail.ru

The chemical composition (pH, the content of the principal cations and anions, Ni, Cu, Pb, Fe) of snow cover on the territory of railway stations in the cities of the Murmansk region (Murmansk, Olenegorsk, Apatity, Polyarnye Zori, Kandalaksha) and in the background area was first studied. The snow sampling was carried out from late March to early April 2019 at a distance of 3–6 m from the railway track. It has been revealed that the acidity of urban melt water corresponded to weakly acidic and neutral values. Compared to the melt water of background territories, the concentrations of ions such as  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  were significantly increased, especially in Murmansk and Olenegorsk. Two forms of the presence of heavy metal (dissolved and solid) in the snow were analyzed. It has been established that metals during the winter period were received to the atmosphere mainly in solid form, which indicates the technogenic origin of their sources of supply. The highest proportion of solid phase is typical for Fe (> 98%). Ecological and geochemical indicators (values of the concentration coefficients, the total contamination index  $Z_c$ ) of snow pollution were considered. It has been found that the total concentrations of elements of hazard classes 1 (Pb) and 2 (Ni, Cu) are 3–28 times higher than background values. According to the total contamination index, railway station territories of the cities Polyarnye Zori ( $Z_c = 19$ ), Apatity ( $Z_c = 25$ ), Kandalaksha ( $Z_c = 28$ ) were characterized by a low level of pollution, Murmansk ( $Z_c = 77$ ) – medium, Olenegorsk ( $Z_c = 183$ ) – high (due to the functioning of the iron ore concentrate production plant). It has been shown that railway transport contributes to the entry into the atmosphere of insoluble forms of heavy metals, mainly Fe.

**Keywords:** snow cover pollution, urban ecosystem, railway transport, Kola North.

Оценка состояния атмосферы по степени загрязнения снегового покрова является традиционным методом геоэкологического изучения городских экосистем [1–7]. 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 водоёмы и подземные воды), вызывая загрязнение, представляющее опасность для живых организмов [8–12].

Мурманская область – важнейший стратегический регион Арктики, в котором транспортировка добываемого минерального сырья и продуктов его переработки (фосфорные удобрения, чёрный металлический никель и пр.) осуществляется железнодорожным транспортом. Эксплуатация железных дорог оказывает влияние на окружающую среду [13]. Самыми распространёнными поллютантами при данном типе воздействия являются органические вещества, продукты их сгорания и тяжёлые металлы [14]. Несомненный интерес представляет химический состав снега в городских агломерациях, в том числе в зоне влияния железнодорожных объектов.

Целью работы является оценка загрязнения снегового покрова на урбанизированных территориях Мурманской области в зоне воздействия железнодорожного транспорта.

### Объекты и методы исследования

Железнодорожный транспорт в Мурманской области развивается с 1917 г. Крупными железнодорожными узлами являются г. Мурманск (локомотивное депо, более 15 железнодорожных путей и пр.) и г. Апатиты (более 15 путей; сортировочный, грузовой, приёмоотправочный парк). Узловые станции с достаточной транспортной нагрузкой представляют г. Оленегорск (17 путей) и г. Кандалакша (локомотивное депо и 10 путей). Город Полярные Зори – пассажирская станция (7 путей), характеризуется минимальным антропогенным воздействием.

Известно, что преобладающая часть поллютантов, поступающих от подвижного железнодорожного состава, оседает в 10 м от полотна [15]. Пробы снега отбирали на расстоянии 3–6 м от железнодорожного по-

лотна в конце марта – начале апреля 2019 г. на привокзальных территориях (по обе стороны от вокзала) г. Мурманск (участок № 1), Оленегорск (участок № 2), Апатиты (участок № 3), Полярные Зори (участок № 4) и Кандалакша (участок № 5), а также в питомнике Полярно-альпийского ботанического сада-института (ПАБСИ), принятого за условно-фоновый участок (№ 6).

На выбранных площадях (10 м × 10 м) делали замеры высоты и описание снежного покрова, средняя мощность которого на момент отбора проб составила в Мурманске и Оленегорске 51–52 см, Апатитах – 77 см, Полярных Зорях – 86 см, Кандалакше – 39 см; на условно-фоновой территории – 110 см. Пробы отбирали согласно методике [16] с использованием пластиковой трубы длиной 140 см и диаметром 10 см. В среднем одна снеговая проба состояла из 4–5 кернов (полная мощность снега, кроме нижних 3 см) общим весом 5–6 кг. Пробы снега хранили в замороженном состоянии до момента доставки в лабораторию, где их оттаивали при комнатной температуре и фильтровали через фильтр средней плотности («синяя лента»).

В талой воде определяли рН и содержание важнейших неорганических ионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) согласно Государственному реестру методик количественного химического анализа для оценки состояния объектов окружающей среды, допущенных для государственного экологического контроля и мониторинга (ПНД Ф 14.1:2:4.121-97, ПНД Ф 14.1:2:4.157-99, ПНД Ф 14.1:2:4.138-98, ПНД Ф 14.1:2:3.1-95).

Полученный осадок на фильтре минерализовали путём обработки фильтра концентрированной азотной кислотой с добавлением пергидроля до исчезновения тёмных частиц осадка и осветления раствора. Раствор переносили в мерную колбу на 50 мл и доводили до метки дистиллированной водой. В фильтрах и растворах, полученных от разложения твёрдого остатка на фильтре, определяли приоритетные металлы-загрязнители (Ni, Cu, Pb, Fe) атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Shimadzu AA-6800.

Для прямого сопоставления жидкой и твёрдой фаз нахождения металлов, результаты анализов осадка на фильтре пересчитывали на мг/л, зная объём отфильтрованной воды, вес осадка на фильтре и концентрацию металла в растворе, полученном при разложении твёрдого остатка. Для расчётов при значениях концентрации элемента ниже предела обна-

ружения прибора использовали 1/2 данной величины.

Оценку загрязнения снегового покрова тяжёлыми металлами проводили по расчётам коэффициентов концентрации ( $K_c$ ) и суммарного показателя загрязнения ( $Z_c$ ) согласно методике [17]. Последний показатель равен сумме коэффициентов концентрации химических элементов:

$$Z_c = K_{c_1} + \dots + K_{c_n} - (n - 1),$$

где  $n$  – количество учитываемых химических элементов;  $K_{c_i}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го компонента загрязнения, превышающий единицу. Значения  $Z_c$  от 32 до 64 соответствуют низкому уровню загрязнения снега, 64–128 – среднему, 128–256 – высокому; более 256 – очень высокому. Статистическую обработку данных осуществ-

ляли с помощью программного пакета Microsoft Excel 2007.

Относительная погрешность измерений (%) при  $P = 0,95$  для элементов оценивалась 11–23%, по водородному показателю абсолютная погрешность составила не более  $\pm 0,06$ .

### Результаты и обсуждение

Результаты химического анализа талых вод свидетельствовали об изменении pH и ионного состава по сравнению с условно-фоновой территорией (табл. 1). Величины pH снеговой воды варьировали в диапазоне слабокислых и близких к нейтральным значениям от 6,4 до 6,9. Высокие концентрации гидрокарбонатов в снеге обнаружены в гг. Мурманск и Полярные Зори. Повышенные концентрации ионов  $Na^+$  и  $Cl^-$  за счёт применения антигололёдных реагентов (соляная смесь) определены

Таблица 1 / Table 1  
Химический состав снега (мг/л) / Snow chemical composition (mg/L)

Показатели Indicators	Фаза Phase	№ участка / Site number					
		1	2	3	4	5	6
pH, ед.	Mw	6,7	6,6	6,4	6,9	6,7	6,0
$SO_4^{2-}$	Mw	4,02	2,82	2,01	0,92	1,61	0,77
$HCO_3^-$	Mw	11,59	4,27	2,44	7,32	4,88	2,44
$Cl^-$	Mw	6,28	5,70	2,41	1,52	0,94	1,22
$NO_3^-$	Mw	0,77	1,12	0,82	1,11	0,61	0,65
$Ca^{2+}$	Mw	5,39	1,81	1,10	2,25	1,77	0,40
$Mg^{2+}$	Mw	1,12	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
$Na^+$	Mw	2,73	2,37	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
$K^+$	Mw	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00	< 1,00
$NH_4^+$	Mw	0,930	0,64	0,55	0,12	0,23	0,20
Ni	Mw	0,026	0,012	0,003	< 0,001	0,005	0,002
	Fr	0,172	0,066	0,006	0,006	0,021	0,005
	$\Sigma$	0,198	0,078	0,009	0,006	0,026	0,007
Cu	Mw	0,003	0,017	0,005	0,003	< 0,001	0,001
	Fr	0,080	0,149	0,043	0,029	0,021	0,006
	$\Sigma$	0,083	0,166	0,048	0,032	0,021	0,007
Pb	Mw	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
	Fr	0,005	0,004	0,002	0,001	0,002	0,0002
	$\Sigma$	0,005	0,004	0,002	0,001	0,002	0,0002
Fe	Mw	0,060	0,080	0,050	< 0,05	< 0,05	< 0,05
	Fr	17,98	165,74	14,89	15,08	17,63	1,27
	$\Sigma$	18,04	165,82	14,94	15,08	17,63	1,27

Примечание: Mw – снеговая талая вода (растворённая фаза); Fr – осадок на фильтре (твёрдая фаза);  $\Sigma$  – суммарная концентрация.

Note: Mw – melt water (dissolved phase); Fr – filter cake (solid phase);  $\Sigma$  – total concentration.

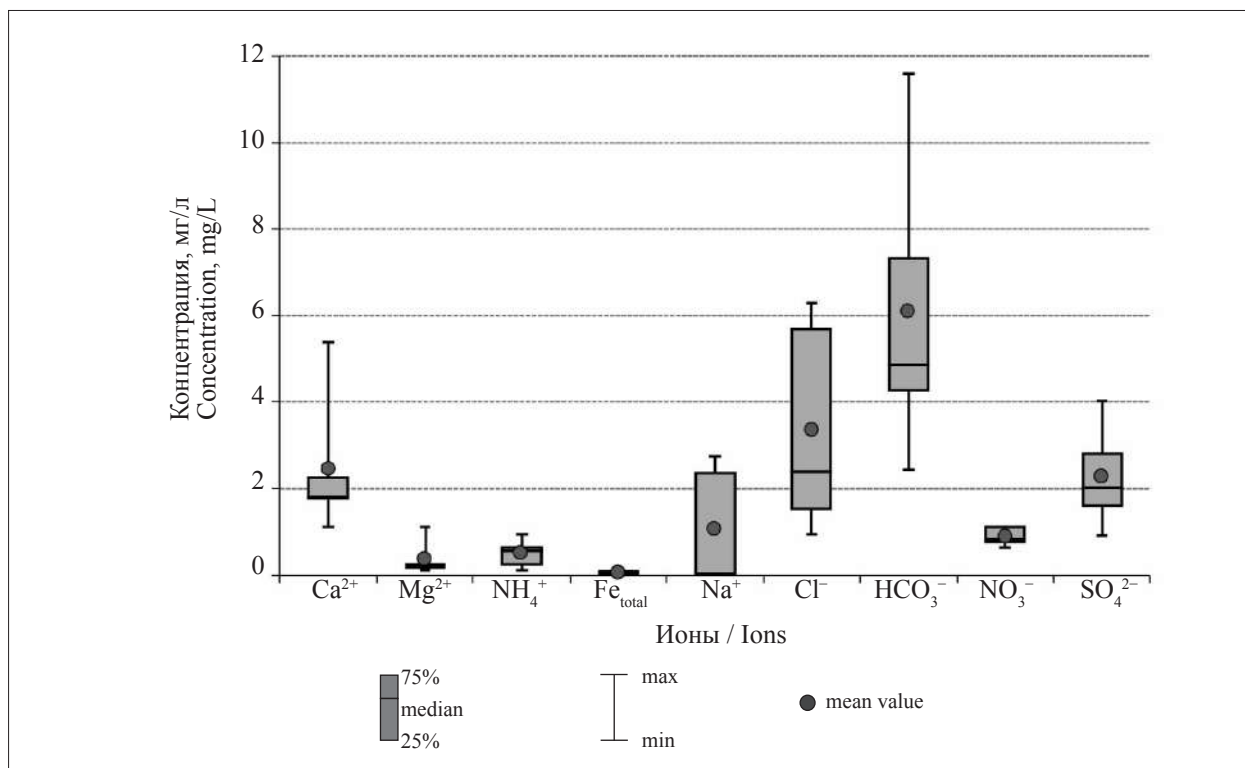


Рис. 1. Распределение концентраций растворимых форм компонентов в снеговой воде  
 Fig. 1. Distribution of water-soluble components concentration in melt water

Таблица 2 / Table 2

Загрязнение снегового покрова привокзальных территорий  
 Snow contamination of railway station territories

Участок Site	K <sub>c</sub> (Ni)			K <sub>c</sub> (Cu)			K <sub>c</sub> (Pb)			K <sub>c</sub> (Fe)			Z <sub>c</sub>
	Mw	Fr	Σ	Mw	Fr	Σ	Mw	Fr	Σ	Mw	Fr	Σ	
1	13,0	34,4	28,3	3,0	13,3	11,9	–	25,5	25,5	2,4	14,2	14,2	77
2	6,0	13,2	11,1	17,0	24,8	23,7	–	20,9	20,9	3,2	130,5	130,6	183
3	1,5	1,2	1,3	5,0	7,2	6,9	–	7,8	7,8	2,0	11,7	11,8	25
4	0,3	1,2	0,9	3,0	4,8	4,6	–	4,1	4,1	–	11,9	11,9	19
5	2,5	4,2	3,7	0,5	3,5	3,0	–	10,6	10,6	–	13,9	13,9	28

Примечание: «–» – концентрации ниже предела обнаружения.  
 Note: A strikethrough means concentration below instrument detection limit.

в г. Мурманске и г. Оленегорске. Наличие азотсодержащих веществ в снеге (особенно ионов аммония в Мурманске и Оленегорске) обусловлено антропогенным воздействием, источниками их появления могут быть продукты сгорания органического топлива городских котельных, твёрдые фракции сгоревшего топлива и др. В целом в снеговой воде среди анионов преобладали гидрокарбонат- и хлорид-ионы, среди катионов – ионы кальция (только в г. Оленегорске – натрий) (рис. 1). Специфических особенностей химического состава снега по макрокомпонентам в зоне влияния железнодорожного транспорта не выявлено.

Известно, что растворимые формы тяжёлых металлов значительно опаснее, чем твёр-

дофазные выпадения, поскольку они быстро включаются в обменные процессы живых организмов. Коэффициенты концентрации, рассчитанные для жидкой фазы, продемонстрировали, что наибольшую опасность представляют Ni (г. Мурманск) и Cu (г. Оленегорск) (табл. 2). Их концентрации на условно-фоновой территории выше, чем в некоторых привокзальных объектах (табл. 1). Вследствие того, что концентрации Pb в снеговой воде менее 0,001 мг/л, контаминация данным металлом для растворённой фазы отсутствует. Содержание Fe в фильтрате талого снега изменялось в городах незначительно, в гг. Полярные Зори и Кандалаксе оно в пределах фона, в остальных городах превысило условно-фоновую величину в 2–3 раза.

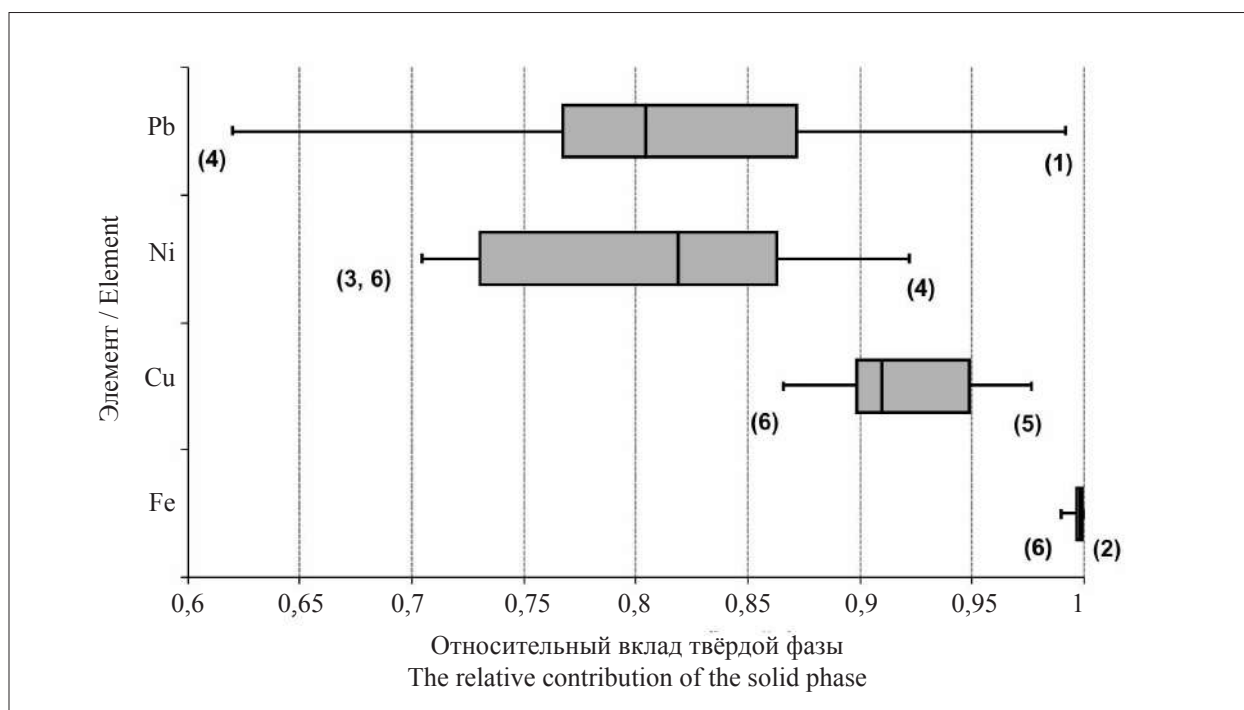
С экологической точки зрения значительный интерес представляет анализ содержания тяжёлых металлов в твёрдой фазе снега, где, как правило, содержится большая часть металлов техногенного происхождения, поступающих в слабо растворимой форме [15, 18]. Определение состава твёрдой (осадок на фильтре, Fr) и жидкой (талая вода, Mw) фаз снега даёт возможность оценить в них соотношение концентраций (рис. 2). Отношение  $Fr/(Mw+Fr)$  демонстрирует относительную долю твёрдой формы (Fr) в общем составе выпадений [18]. Низкое значение этого показателя указывает на преобладание растворённых элементов; высокое свидетельствует, что твёрдая фаза (взвешенные частицы) является доминирующей в снежном покрове.

Показано, что на незагрязнённых территориях большинство элементов, включая Ni, Cu, Pb выпадает в растворённой форме, для Fe соотношение двух фаз оценивается в равных долях [18]. В наших исследованиях выявлено, что Ni (70–92%), Cu (87–98%) и, в большей степени, Fe (98,0–99,9%), выпадали в твёрдой форме, в том числе на условно-фоновой территории. Твёрдая форма выпадения Pb в городских условиях варьировала от 62% (г. Полярные Зори) до 99% (г. Мурманск), и только в зоне условного фона преобладала

растворённая форма (более 99%, на рисунке 2 для удобства отображения эти данные не приведены). Таким образом, можно констатировать, что основной вклад в выпадение соединений металлов, особенно Fe, принадлежит техногенным источникам.

Содержание тяжёлых металлов в составе пылеватых частиц, поступающих в зимний период на территории железнодорожных вокзалов, значительно превысило их условно-фоновые величины (табл. 2). Максимальные коэффициенты концентраций всех металлов выявлены в снеге гг. Мурманска и Оленегорска (особенно  $K_{Fe} = 130,5$ ). Суммарный показатель загрязнения ( $Z_c$ ) варьирует от 19 (г. Полярные Зори) до 183 (г. Оленегорск). Низкому уровню загрязнения соответствует снеговой покров привокзальных территорий гг. Апатиты, Полярные Зори и Кандалакша, среднему – г. Мурманск, высокому – г. Оленегорск.

Среди антропогенных источников негативного воздействия, помимо железнодорожного транспорта в г. Мурманске, выделены разные виды промышленности (пищевая, судоремонт, металлообработка и др.). В г. Оленегорске функционирует Оленегорский горно-обогатительный комбинат с производством железорудного концентрата, обуславливающий высокую долю твёрдофазного выпадения Fe.



**Рис. 2.** Относительный вклад ( $Fr/(Mw+Fr)$ ) твёрдой фазы в общую концентрацию металлов. Ранжирование в порядке увеличения значения медианы концентрации, цифры в скобках – номера участков  
**Fig. 2.** Relative contribution ( $Fr/(Mw+Fr)$ ) of solid phase to total metal concentration. Ranking in order of increasing median concentration, number in parentheses is the site number

**Заклучение**

Химический макрокомпонентный состав талых вод привокзальных территорий характеризовался изменением рН и ионного состава по сравнению с условным фоном. Показатель кислотности соответствовал слабокислой и нейтральной областям. Выявлено, что в снеговой воде наиболее превышают фон концентрации ионов Na<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, особенно в гг. Мурманске и Оленегорске. По суммарному показателю загрязнения снегового покрова территории железнодорожных вокзалов гг. Полярные Зори (Z<sub>c</sub> = 19), Апатиты (Z<sub>c</sub> = 25), Кандалакша (Z<sub>c</sub> = 28) отнесены к низкому уровню загрязнения. Средняя величина уровня загрязнения выявлена в г. Мурманске (Z<sub>c</sub> = 77). Самый высокий показатель загрязнения снега обнаружен в г. Оленегорске (Z<sub>c</sub> = 183).

Установлено, что выпадение металлов в зимний период происходит в твёрдофазной форме, что свидетельствует о техногенном происхождении источников поступления. Самая высокая доля твёрдой фазы характерна для Fe. Пылеватые частицы, содержащие высокие концентрации металлов после снеготаяния аккумулируются в почвах, загрязняя их и оказывая негативное влияние на биоту.

*Исследования проводились в рамках научно-исследовательской работы «Коллекционные фонды Полярно-альпийского ботанического сада-института, как основа сохранения биоразнообразия, развития биотехнологий, оптимизации условий городской среды, фиторемедиации и экологического образования» (Рег. № 122011900097-6).*

**References**

1. Kuoppamaki K., Setala H., Rantalainen A-L., Kotze D.J. Urban snow indicates pollution originating from road traffic // *Environmental Pollution*. 2014. V. 195. P. 56–63. doi: 10.1016/j.envpol.2014.08.019

2. Onwudiegwu C.A., Ezech G.C., Obioh I.B. Trace metals in total atmospheric depositions (TAD) of a Nigerian Island // *Journal of Atmospheric Pollution*. 2016. V. 4. No. 1. P. 15–22. doi: 10.12691/jap-4-1-2

3. Melaku S., Morris V., Raghavan D., Hosten C. Seasonal variation of heavy metals in ambient air and precipitation at a single site in Washington, DC // *Environmental Pollution*. 2008. V. 155. No. 1. P. 88–98. doi: 10.1016/j.envpol.2007.10.038

4. Skugoreva S.G., Adamovich T.A., Kantor G.Ya., Savinykh V.P., Ashikhmina T.Ya., Izmetstieva A.V. Assessment of the degree of snow cover contamination in

the area of influence Kirovo-Chepetsky Chemical Plant // *Theoretical and Applied Ecology*. 2011. No. 1. P. 31–36 (in Russian). doi: 10.25750/1995-4301-2011-1-031-036

5. Engelhard C., De Toffol S., Lek I., Rauch W., Dallinger R. Environmental impacts of urban snow management – the alpine case study of Innsbruck // *Sci. Total. Environ.* 2007. V. 382. P. 286–294. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.04.008

6. Thurston G.D., Ito K., Lall R. A source apportionment of U.S. fine particulate matter air pollution // *Atmospheric Environment*. 2011. V. 45. P. 3924–3936. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.070

7. Wang A., Fallah-Shorshani M., Xu J., Hatzopoulou M. Characterizing near-road air pollution using local-scale emission and dispersion models and validation against in situ measurements // *Atmospheric Environment*. 2016. V. 142. P. 452–464. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.04.070

8. Wichmann H.-E. Health effects of particles in ambient air // *J. Hyg. Environ. Health*. 2004. V. 207. No. 4. P. 399–407.

9. Preciado H.F., Li L.Y. Evaluation of metal loadings and bioavailability in air, water and soil along two highways of British Columbia, Canada // *Water Air Soil Pollution*. 2006. V. 172. P. 81–108.

10. Cezary K., Bal N.S. Fractionation and mobility of copper, lead and zinc in the vicinity of a copper smelter // *Journal of Environmental Quality*. 2001. V. 30. P. 485–492.

11. Yu B., Wang Y., Zhou Q. Human health risk assessment based on toxicity characteristic leaching procedure and simple bioaccessibility extraction test of toxic metals in urban street dust of Tianjin, China // *PLoS ONE*. 2014. V. 9. No. 3. Article No. e92459. doi: 10.1371/journal.pone.0092459

12. Nagajyoti P.C., Lee K.D., Sreekanth T.V.M. Heavy metals, occurrence and toxicity for plants: a review // *Environmental Chemistry Letters*. 2010. V. 8. No. 3. P. 199–216.

13. Borda-de-Agua L., Barrientos R., Beja P., Pereira H.M. *Railway ecology*. Springer International Publishing [Internet resource] <https://www.springer.com/gp/book/> (Accessed: 10.03.2020). doi: 10.1007/978-3-319-57496-7

14. Pavlova E.I. *Ecology of transport*. Moskva: Transport, 2000. 248 p. (in Russian).

15. Korkina S.V., Akimenko Ya.V., Rutsky V.M., Purygin P.P. A study of the emissions of rolling stock of railway transport intensity of pollution of snow cover // *Vestnik SamGU*. 2003. No. 2. P. 127–134 (in Russian).

16. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Friedman M.D. *Monitoring snow pollution*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 181 p. (in Russian).

17. Revich B.A., Saet Yu.E., Smirnova R.S., Sorokina E.P. *Guidelines for the geochemical assessment of urban pollution by chemical elements*. Moskva: IMGRE, 1982. 112 p. (in Russian).

18. Reimann C., Niskavaara H., Caritat P., Finne T.E., Ayras M., Chekushin V.A. Regional variation of snowpack chemistry in the vicinity of Nickel and Zapoljarnij, Russia, northern Finland and Norway // *The Science of the Total Environment*. 1996. V. 182. No. 1. P. 147–158.