

Читать
онлайн
Read
online

Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф.

Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск, Россия

Введение. В зоне крупных промышленных кластеров Иркутской области формируются характерные для каждой территории трассы загрязнения. Исследование снежного покрова позволяет провести ориентировочную оценку уровня элементного состава загрязнения атмосферного воздуха в зимний период, а также установить районы рассеивания выбросов.

Материалы и методы. В пробах талого снега определяли основные анионы и катионы, характерные для выбросов алюминиевого производства, методами фотометрического, титриметрического, турбидиметрического, ионометрического и атомно-абсорбционного анализа. Проведён количественный гранулометрический анализ состава взвесей с помощью лазерного анализатора.

Результаты. Изучено распределение частиц по фракционному составу в районах города, различающихся антропогенной нагрузкой. Субмикроскопические частицы до 1 мкм обнаружены во всех пробах, при этом их доля в общем количестве частиц составляла до 2%. Доля частиц до 10 мкм составила 7–11%. Преобладали частицы размером 10–50 мкм – на их долю приходится 50% взвесей в жилых районах и до 80% вблизи промышленной зоны. Показано, что в зоне влияния транспортной магистрали повышено содержание в снеге сульфатов, нитратов, кальция, магния. Содержание фторидов, алюминия и бериллия в снежном покрове определяется направлением господствующих ветров.

Ограничение исследования. Ограничение исследования связано с отбором проб в жилых массивах города и пригородной сельскохозяйственной территории, охватом зимнего периода 2018–2019 гг. В данной статье мы ограничились анализом неорганических соединений, содержание органических соединений представлено в других работах.

Заключение. Исследование химического состава снегового покрова в различных функциональных зонах г. Шелехова позволяет заключить, что талую воду снеговых осадков можно отнести к гидрокарбонатно-хлоридному кальциевому классу с высокой концентрацией фторидов и нитратов. На характер загрязнения городской среды большое влияние оказывают выбросы промышленных предприятий, автотранспорта и хозяйственная деятельность городских организаций. Общая загрязнённость пригородной сельскохозяйственной территории, несмотря на высокую повторяемость ветра в данном направлении, значительно ниже, чем в жилой зоне города. Господствующие ветра способствуют переносу вредных веществ на большие расстояния, оказывая неблагоприятное воздействие на экосистемы региона.

Ключевые слова: снежный покров; анионы; катионы; загрязнение; гранулометрический анализ частиц; производство алюминия

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф. Оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района в Восточной Сибири. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(12): 1443–1449. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449> <https://elibrary.ru/bpwylc>

Для корреспонденции: Лисецкая Людмила Гавриловна, канд. биол. наук, науч. сотр. ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск. E-mail: lis_lu154@mail.ru

Участие авторов: Лисецкая Л.Г. – концепция и дизайн исследования, сбор материала и обработка данных, математическая обработка, написание текста; Шаяхметов С.Ф. – концепция исследования. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 10.08.2022 / Принята к печати: 08.12.2022 / Опубликована: 12.01.2023

Lisetskaya L.G., Shayakhmetov S.F.

Assessment of the level of pollution of the snow cover with chemical compounds and elements in the territory of the Shelekhov district in Eastern Siberia

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 665827, Angarsk, Russian Federation

Introduction. In the zone of large industrial clusters of the Irkutsk region, pollution tracers are formed, which are characteristic of each territory. The study of the snow cover makes it possible to make an approximate assessment of the level of atmospheric air pollution in the winter period, as well as to determine the areas of dispersion of emissions.

Materials and methods. In samples of melted snow, the main anions and cations characteristic of emissions from aluminum production were determined by photometric and titrimetric methods, turbidimetric, ionometric and atomic absorption analysis. A quantitative granulometric analysis of the composition of suspensions was carried out using a laser analyzer.

Results. The distribution of particles according to the fractional composition in the districts of the city, differing in anthropogenic load, was studied. Submicroscopic particles up to 1 μm were found in all samples, while their share in the total number of particles was up to 2%. The proportion of particles up to 10 μm was 7–11%. The most predominant particle size is 10–50 microns, they account for 50% of suspensions in residential areas and up to 80% near the industrial area. It is shown that in the zone of influence of the transport highway, the content of sulfates, nitrates, calcium, and magnesium in the snow is increased. The content of fluorides, aluminum and beryllium in the snow cover is determined by the direction of the prevailing winds.

Limitations. The limitation of the study is due to a samples located only in residential areas of the city and suburban agricultural territory for a one-year period (winter 2018–2019). In this article, we limited ourselves to the analysis of inorganic compounds only; the content of organic compounds is presented in another article.

Conclusion. The study of the chemical composition of the snow cover in various functional zones of the city of Shelekhov allows us to conclude that the melt water of snow precipitation can be attributed to the hydrocarbonate-chloride calcium class with a high concentration of fluorides and nitrates. The nature of pollution of the urban environment is greatly influenced by emissions from industrial enterprises, vehicles and the economic activities of urban organizations. The overall pollution of the suburban agricultural area, despite the high frequency of wind in this direction, is significantly lower than in the residential area of the city. The prevailing winds contribute to the transfer of harmful substances over long distances, adversely affecting the ecosystems of the region.

Keywords: snow cover; anions; cations; pollution; particle size analysis; aluminum production

Compliance with ethical standards: The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical Ethics Committee or other documents.

For citation: Lisetskaya L.G., Shayakhmetov S.F. Assessment of the level of contamination of snow cover by chemical compounds and elements in the territory of the Shelekhovsky district in Eastern Siberia. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(12): 1443-1449. https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-12-1443-1449 https://elibrary.ru/bpwylyc (in Russian)

For correspondence: Lyudmila G. Lisetskaya, PhD, research fellow, Laboratory of analytical ecotoxicology and biomonitoring of the East-Siberian Institution of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: lis_lu154@mail.ru

Information about authors:

Lisetskaya L.G., https://orcid.org/0000-0002-0876-2304 Shayakhmetov S.F., https://orcid.org/0000-0001-8740-3133

Contribution: Lisetskaya L.G. – concept and design of research, material collection and data processing, mathematical processing, text writing; Shayakhmetov S.F. – concept of research. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest in connection with the publication of this article.

Funding. The study had no sponsorship.

Received: 10.08.2022 / Accepted: 08.12.2022 / Published: January 12, 2023

Введение

В настоящее время общепризнано, что снег является поглолителем загрязняющих веществ, в котором сохраняются выбросы как стационарных, так и передвижных источников [1–3]. Из снежного покрова загрязняющие вещества могут поступать обратно в атмосферу или в наземные и водные экосистемы во время снеготаяния [4]. Примером влияния состава снега на химический состав атмосферы является химия галогенов [5]. Кислые газы и различные соли могут вступать в химическое взаимодействие с галогенами и таким образом способствовать их обратному поступлению в воздушную среду. Детальное изучение химического состава снежного покрова имеет значение для лучшего понимания состава атмосферы.

В Иркутской области в связи с её природно-географическими особенностями расположено значительное количество крупных промышленных предприятий, являющихся потенциальными источниками различных загрязняющих веществ. Особое место занимает расположенный между реками Иркут и Олга в 15 км к юго-западу от Иркутска небольшой город-спутник Шелехов с населением около 50 тыс. человек, имеющий 60-летнюю историю алюминиевого производства. Промышленность его представлена преимущественно предприятиями цветной металлургии, входящими в ОК «РУСАЛ» (Акционерное общество «Объединённая компания РУСАЛ – Торговый дом»). К ним относятся Иркутский алюминиевый завод (ИрКАЗ) – один из крупнейших производителей первичного алюминия, вырабатывающий свыше 400 тыс. тонн алюминия в год, и ООО «Порошковая металлургия» [6]. Кроме того, имеются кабельный и кремниевый заводы, предприятия по производству стройматериалов и теплоэнергетики. В окрестностях города расположены сельскохозяйственные предприятия и коллективные садово-огородные хозяйства. Все промышленные предприятия расположены вблизи жилых построек на расстоянии 1 км. В результате атмосфера города испытывает нагрузку в виде различных газообразных и твёрдых выбросов. По данным Министерства природных ресурсов и экологии Иркутской области, в 2019 г. валовые выбросы только алюминиевого производства составили 25218,84 т/год, а их основную часть составляют пыль неорганическая, фториды газообразные и твёрдые, бенз(а)пирен, оксид углерода, диоксиды серы азота [7].

Изучению загрязнения окружающей среды вокруг алюминиевых заводов посвящено много работ [8–10]. О влиянии ИрКАЗ на окружающую среду также регулярно собирается обширная информация [11, 12]. Проведённые в 2001 г. снежгеохимические съёмки дали возможность рассчитать годовые потоки ионов фтора и натрия, а также сульфат-ио-

нов в Прибайкалье [13]. Для Шелехова поступление ионов фтора составляло 6,9 г/м² в год, сульфат-ионов – 0,44 г/м² в год, ионов натрия – 6,65 г/м² в год. Методом энергодисперсионной спектроскопии исследован твёрдый осадок снеговых проб, что позволило идентифицировать газопылевые выбросы. Установлено, что выбросы алюминиевого производства содержат Al, F, As, Be, Na, Cd, Pb, Ni; выбросы предприятий теплоэнергетического комплекса – Si, Fe, Ca, Al, S, Sr; агропромышленного комплекса – Cu, Hg, Mg, P, Cr [14]. Дальнейшее детальное изучение минерального состава снежного покрова позволит провести ориентировочную оценку уровня загрязнения атмосферного воздуха в зимний период, а также установить районы рассеивания выбросов.

Цель работы – оценка уровня загрязнения снежного покрова химическими соединениями и элементами на территории Шелеховского района.

Материалы и методы

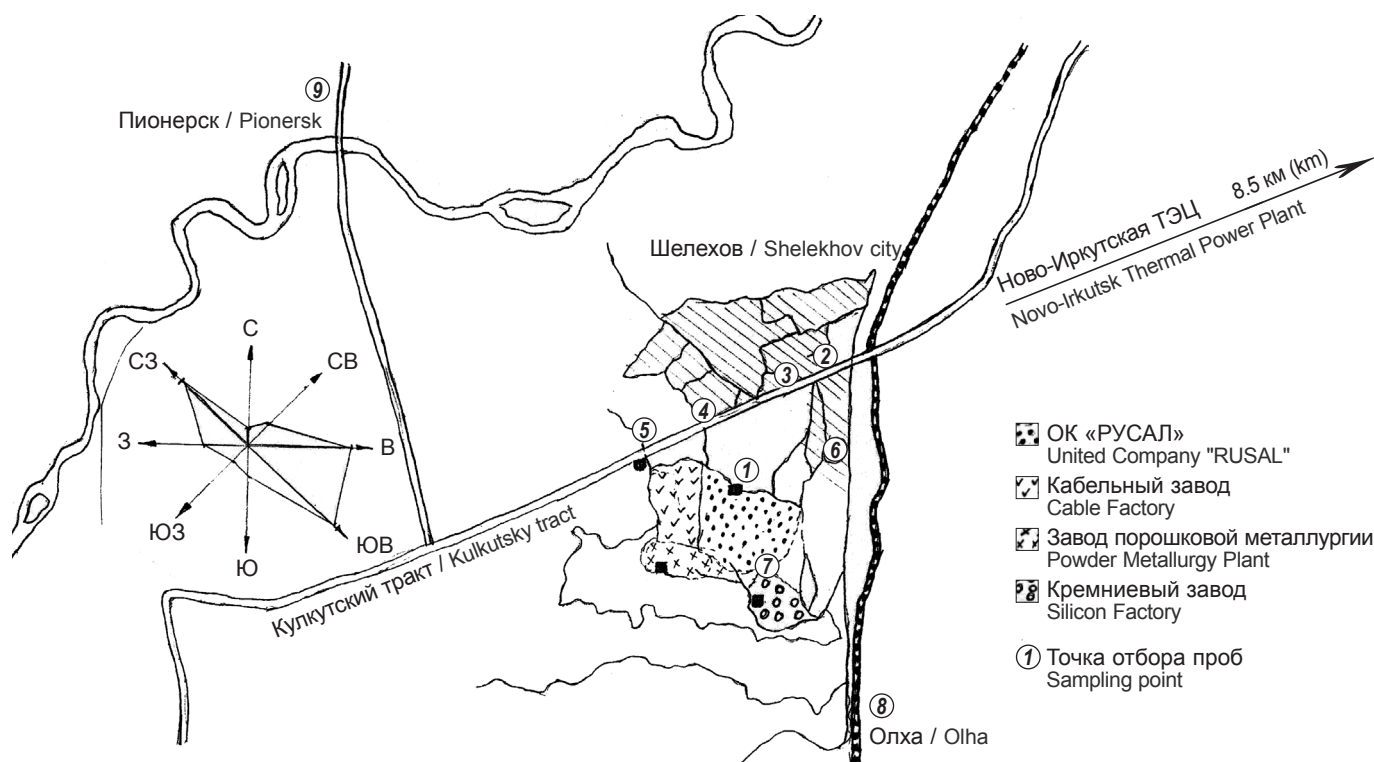
Район исследования представляет собой зону выбросов промышленных предприятий Шелехова, одного из ведущих промышленных центров Иркутской области. Отбор проб снежного покрова проведён в марте 2019 г. Отбор проб выполнен в разных направлениях относительно промплощадки, но преимущественно в северо-восточном направлении, где расположены жилые массивы города. Места (точки) отбора проб представлены на рисунке.

Точки 2, 3, 4, 5, 6 находились в жилой зоне города, при этом только точка 4 расположена вдоль Култукского тракта. Остальные точки отбора выбраны внутри жилых кварталов. Точки 1 и 7 соответствуют промышленной зоне, точка 8 – пригородному сельскохозяйственному посёлку. В качестве фона выбрана точка 9, находящаяся в 10 км от промышленной зоны в лесном массиве.

Пробы отбирали в виде кернов с площадью основания 200×200 мм на всю глубину снега, не менее трёх кернов с каждой точки отбора. Отобранные пробы помещали в полиэтиленовые ёмкости, размораживали при комнатной температуре и тщательно очищали от растительных остатков. Талую воду фильтровали через предварительно взвешенные фильтры, которые после высушивания вновь взвешивали. По разнице в весе рассчитывали содержание твёрдого остатка. В водной фазе определяли содержание основных анионов. Фторид-ионы определяли потенциметрическим методом¹ сульфат-ионы – турбидиметрическим методом²,

¹ ГОСТ 4386–81 Вода питьевая. Методы определения массовой концентрации фтора.

² ГОСТ 4389–72 Вода питьевая. Методы определения сульфатов.



Карта-схема отбора проб в г. Шелехов.
Map-scheme of sampling in Shelekhov city.

нитраты – фотометрическими методами³, гидрокарбонаты и хлориды – титриметрическими⁴. Содержание металлов определяли на атомно-абсорбционном спектрофотометре AAC-240DUO (Agilent Technologies, США)⁵.

Для изучения гранулометрического состава растаявший снег анализировали на базе Дальневосточного федерального университета с помощью лазерного анализатора частиц Analysette 22 NanoTech (FRITSCH). Пробы талого снега объёмом 60 дм³ анализировали в режиме nanotech с установками Carbon/Water 20 °С в трёх повторах.

³ ПНД Ф 14.1; 2.4.4–95. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрат-ионов в питьевых, поверхностных и сточных водах.

⁴ ГОСТ 31957–2012. Вода. Методы определения щёлочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов.

⁵ ГОСТ 18165–2014 Вода, методы определения содержания алюминия. ГОСТ 23268.5–78 Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния.

Результаты

Анализ гранулометрического состава атмосферных взвесей в снежных пробах предполагал оценку размера частиц и их долевого соотношения. Согласно данным лазерного анализатора, атмосферные взвеси разделены на 7 классов: до 1 мкм (соответствует РМ₁), от 1 до 10 мкм (соответствует РМ₁₀), от 10 до 50, от 50 до 100, от 100 до 400, от 400 до 700, от 700 мкм и более. Размеры частиц и их доля представлены в табл. 1.

Результаты анализа проб демонстрируют достаточно равномерное распределение частиц по фракционному составу. Частицы размерностью РМ₁ обнаружены во всех рассматриваемых пробах, и уровень их находится в диапазоне 1,7–2%. Частицы размерностью РМ₁₀ также распределены равномерно по исследованным точкам, их содержание колеблется в пределах 5,8–11,2%. Практически в каждой пробе преобладают частицы размерностью 10–50 мкм. Их содержание составляет 48–71%. Крупноразмерные частицы (более 400 мкм) присутствовали в трёх пробах.

Таблица 1 / Table 1

Гранулометрический состав атмосферных взвесей в снеговых пробах Шелеховского района, %
Granulometric composition of atmospheric suspensions in snow samples from the Shelekhov district, %

Место отбора Place of selection	Размер частиц, мкм / Particle size, µm						
	Менее (less than) 1.0	1.0–10.0	10.0–50.0	50.0–100.0	100.0–400.0	400.0–700.0	Более (over) 700.0
1	1.8	7.1	56.0	30.2	4.9	0	0
2	1.9	10.2	48.9	5.3	5.9	6.8	21.0
3	1.9	9.2	77.7	11.2	0	0	0
4	1.7	8.0	48.0	11.3	0	6.8	24.2
5	1.7	7.3	71.2	19.7	0.1	0	0
6	2.0	11.2	52.9	11.8	3.9	2.7	15.5
7	1.8	5.8	56.3	33.7	2.4	0	0
8	1.9	11.1	65.4	21.0	0.6	0	0

Обнаруженные уровни концентраций химических элементов и веществ в снежном покрове представлены в табл. 2 и 3. Результаты химического анализа указывают на повышенный техногенный уровень загрязнения во всех точках отбора на городской территории.

Результаты химического анализа показали, что по показателям анионного состава территорию, выбранную в качестве фоновой, можно считать таковой условно, поскольку выявленное содержание нитратов, хлоридов, фторидов и гидрокарбонатов на порядок превышает региональный фоновый уровень.

Содержание твёрдого осадка в пробах снега находилось в пределах от 0,07 мг/дм³ (фоновая точка) до 4,5 мг/дм³. Отно-

сительно низкие значения содержания взвешенных веществ отмечены в Привокзальном микрорайоне города (точка 6) и в окрестностях пригородного посёлка Олха (точка 8).

Концентрация нитрат-ионов составляла 12–32 мг/м³ (4,8 мг/м³ в фоновой точке, 0,17 мг/м³ – региональный фоновый уровень). Максимальные значения наблюдались в точках 2, 3 и 4, которые приближены к крупной транспортной артерии – Култукскому тракту. Содержание сульфат-ионов в талой воде в половине проб соответствовало региональным фоновым значениям.

Наиболее загрязнённой оказалась точка отбора 3 (внутри жилой зоны), где суммарная минерализация приближена к

Таблица 2 / Table 2

Содержание анионов в снежных пробах The content of anions in snow samples

Место отбора Place of selection	Концентрация анионов, мг/дм ³ / Anion concentration, mg/dm ³				
	Гидрокарбонаты Bicarbonates	Хлориды Chlorides	Сульфаты Sulfates	Нитраты Nitrates	Фториды Fluorides
1	29.4–31.2 30.5	1.13–5.25 2.5	0 0	19–22 21	14.33–18.77 16.37
2	28.1–31.8 30.5	11.9–26.9 19.4	0–3.2 3.15	20–32 28	13.59–19.64 16.62
3	28.3–31.8 30.5	58.14–80.83 69.01	0–18 11.3	32–33 32.3	15.49–22.04 18.45
4	41.5–47.8 45.75	13.47–16.73 14.6	0–20 8.07	27–32 30	19.37–26.22 23.43
5	43.4–46.6 45.75	9.9–15.6 12.8	0–2 0.7	18–25 22	20.57–22.30 21.25
6	27.9–32.8 30.5	4.3–9.1 6.0	0 0	7.5–27.5 16.3	12.15–13.43 12.79
7	56–66 61	14.2–41.1 27.7	22.4–47 34.7	2.0–32.5 12.3	40.09–44.10 42.39
8	15.3–61 38.2	1.42–7.09 3.1	0 0	17.5–20.0 18.8	15.07–17.72 16.12
9	28.3–31.8 30.5	5.4–7.1 6.2	0 0	0–9 4.8	2.92–3.42 3.11
Фоновый уровень [4, 15, 16] Background level [4, 15, 16]	0.61–14.64 4.2	1.45–6.65 3.32	0.01–19.25 3.77	0.001–5.65 0.17	0.015–0.95 0.09

Примечание. Здесь и в табл. 3: над чертой – минимум–максимум; под чертой – среднее.

Note. Here and in Table 3: above the line – min–max; under the line – average.

Таблица 3 / Table 3

Содержание катионов в снежных пробах The content of cations in snow samples

Точка отбора Place of selection	Концентрация катионов / Cation concentration			
	Кальций, мг/дм ³ Calcium, mg/dm ³	Магний, мг/дм ³ Magnesium, mg/dm ³	Алюминий, мг/дм ³ Aluminum, mg/dm ³	Бериллий, мкг/дм ³ Beryllium, µg/dm ³
1	15.23–16.03 15.5	0.33–0.70 0.56	0.82–2.39 2.14	0.012–0.016 0.014
2	28.06–68.78 48.43	0.17–1.23 1.11	0.69–1.51 1.13	0.035–0.058 0.046
3	42.08–44.09 43.09	0.40–1.49 0.93	0.49–17.27 3.50	0.013–0.179 0.091
4	16.43–17.64 17.04	0.22–0.38 0.32	4.79–18.31 15.51	0.059–0.182 0.103
5	12.02–18.04 14.83	0.21–0.31 0.27	7.37–13.91 11.75	0.017–0.133 0.083
6	16.03–19.24 17.90	0.47–0.68 0.61	2.19–3.05 2.64	0.027–0.053 0.035
7	10.42–24.85 17.94	0.26–0.78 0.30	8.49–20.42 13.01	0.138–0.579 0.289
8	17.23–18.44 17.77	0.24–0.29 0.27	5.40–10.39 7.91	0.021–0.038 0.031
9	8.02–8.82 8.42	0.03–0.11 0.08	0.40–0.66 0.52	0.047–0.082 0.070
Фоновый уровень [4, 15, 16] Background level [4, 15, 16]	0.046–3.020 1.340	0.01–0.03 0.02	0.026–0.085 0.055	0.001–0.004 0.01

самой загрязнённой точке промышленной зоны. Наименее загрязнёнными были точки 6 и 7, которые соответствуют жилой зоне Привокзального микрорайона и южной окраине промзоны.

Повышенный уровень фторидов в талой воде отмечен во всех отобранных пробах. Максимальное количество фтористых соединений в пробах обнаружено в непосредственной близости от производственной площадки, причём их содержание в составе атмосферных осадков, выпавших в северном и южном направлениях, существенно не отличалось. На расстоянии до 1,5 км в северо-северо-западном направлении от промплощадки в жилых кварталах центральной части города общее содержание фтористых соединений в снежном покрове снижалось в 2–3 раза. При удалении до 2 км их количество уменьшалось в 4–4,4 раза. В то же время в юго-восточном направлении на расстоянии 2 км суммарная концентрация фтористых соединений в 1,7 раза ниже, чем вблизи промплощадки.

Наиболее высокие концентрации алюминия и бериллия отмечены в пробах, отобранных в точках 4, 5, 7 и 8. Кальций и магний преобладали в точках 3 и 6.

Обсуждение

Атмосферные осадки, фильтруя воздушную массу, служат индикатором загрязнения. При этом анализ снежных проб может представлять усреднённую картину загрязнения за несколько месяцев. В атмосферных взвешиваемых городах содержится большое количество техногенной пыли. Продолжительное воздействие пылевых взвесей на организм человека может быть причиной различных бронхолегочных и сердечно-сосудистых патологий [17, 18]. Высокая концентрация пылевых частиц возникает вследствие выбросов промышленных предприятий, выхлопов автомобилей, а также может иметь природное происхождение (почвенные аэрозоли, пыль лесных пожаров и др.). Наибольший интерес представляют частицы размером до 1 до 10 мкм, оказывающие наиболее вредное воздействие на организм человека [19]. Их высокая токсичность обусловлена большой удельной площадью поверхности наночастиц [20]. В исследованных нами пробах субмикроскопические частицы до 1 мкм обнаружены во всех пробах, при этом их доля в общем количестве частиц составляла до 2%. Доля частиц с размерами до 10 мкм составляла 7–11% во всех пробах, отобранных на городской и сельскохозяйственной территориях. В меньшей степени (6%) они представлены в снежном покрове вблизи промышленной зоны. Такие частицы могут являться продуктами транспортной нагрузки. Частицы крупных размеров, как правило, имеют техногенное происхождение. Во всех пробах преобладали частицы размером 10–50 мкм, их доля составляла от 50% в жилых кварталах до 80% вблизи промышленной зоны. Наиболее крупные частицы обнаружены в трёх точках, расположенных вблизи Култукского тракта. Можно предположить, что источником атмосферных пылевых взвесей в Шелехове являются выхлопы автотранспорта.

Высокая концентрация минеральной пыли наблюдалась вблизи транспортной и промышленной зон (точки 1 и 2). На наиболее загрязнённых пылью участках превышение уровня в отобранных пробах достигало 50 раз по сравнению с фоном, концентрация катионов кальция была увеличена в 8 и 36 раз по сравнению с фоновой точкой и региональным фоновым уровнем соответственно, магния – в 144 и 46 раз соответственно. Концентрация алюминия превышала таковую в фоновой точке в 30 раз, а региональный фоновый уровень – в 250 раз, для бериллия – в 4 и 10 раз соответственно. Наибольшие значения отмечены внутри жилых микрорайонов. В жилой зоне города содержание хлоридов в снеговой воде превышало фоновый уровень в 10–60 раз. Возможно, это связано с применением в зимний период антигололёдных средств для дорожных покрытий.

Несмотря на модернизацию ИркаЗ и установление современного оборудования на некоторых производственных

линиях, по выбросам загрязняющих веществ в окружающую среду это предприятие остаётся лидирующим в регионе. На большей части производственных линий до сих пор применяются самообжигающиеся аноды Содерберга. Загрязнению окружающей среды вокруг алюминиевых заводов посвящено множество исследований [21, 22]. Наиболее высокий уровень загрязнения отмечен для тех предприятий, где в производственном цикле используется метод Содерберга [23]. Технология получения алюминия основана на сплавлении глинозёма Al_2O_3 с фтористыми солями при температуре 950 °С. Промежуточным продуктом при этом выступает криолит Na_3AlF_6 [24]. Затем в специальных ваннах под действием электрического тока происходит электролиз реагентной массы и выделение чистого алюминия. Однако чаще всего применяют сплавы алюминия с металлами, которые влияют на его физические свойства (твёрдость, плотность, теплопроводность и др.). Добавками служат, как правило, токсичные металлы, такие как бериллий, литий, железо, марганец, свинец, никель [25]. Все указанные компоненты, а также выделяющийся при электролизе гидрофторид попадают в атмосферные выбросы и вызывают токсическое воздействие на организм человека [26, 27].

Вблизи транспортной магистрали и особенно у территории ИркаЗ уровень сульфатов превышал фоновый показатель в жилой зоне в 2 раза, в промышленной – в 6 раз, что обусловлено загрязнением воздуха диоксидом серы. Наименее загрязнёнными являлись точки 6 и 7, которые соответствовали жилой зоне Привокзального микрорайона южной окраины промзоны. Вероятно, этому способствовала низкая частота повторяемости ветров в соответствующих направлениях. Самые низкие концентрации хлоридов (на уровне фоновой точки) наблюдались вдали от городских построек в районе промышленной зоны и пригородного посёлка Олха.

Фтористые соединения являются одним из наиболее опасных компонентов промышленных выбросов при производстве алюминия. По данным мониторинга, среднемесячные концентрации фторидов в атмосферном воздухе стабильно превышают санитарные нормы. Фториды рассматриваются как специфические и приоритетные загрязнения для алюминиевого производства. Превышение регионального фона в фоновой точке отбора составляло 34 раза, в жилой зоне – 140–260 раз, вблизи промышленной зоны – в 470 раз. Следует отметить, что общая минерализация снегового покрова в фоновой точке лишь в 1,5 раза ниже, чем в промышленной зоне и в зоне жилой застройки, несмотря на расположение на расстоянии 9 км от промышленных источников выбросов, поскольку переносу загрязняющих веществ способствуют частые ветра северо-западного направления.

Известно, что снежная масса не является инертной. В ней постоянно происходят химические реакции, и накопленные продукты выбросов могут возвращаться обратно в атмосферу или переходить в другое состояние. Примером таких фазовых переходов являются процессы активации галогенов в снежном покрове с образованием активных форм (молекулярного галогена и оксидной формы) с последующим переносом дальше от места выпадения [5]. Эти реакционно активные формы вновь могут вступать в реакцию с альдегидами, H_2O и летучими органическими веществами с образованием гидрогалогена, который в конечном итоге возвращается в снежный покров, часто в другом месте.

Как видно из многочисленных публикаций, все техногенные загрязнители являются токсичными для человека [17–19, 26, 27]. При этом водорастворимые неорганические компоненты выбросов алюминиевого производства, такие как фториды, бериллий, алюминий, литий, сохраняются в объектах окружающей среды в течение длительного времени и могут оказывать неблагоприятное воздействие на жителей региона, употребляющих загрязнённую питьевую воду и сельскохозяйственную продукцию [28, 29]. Об этом свидетельствует повышенный уровень химических веществ, характерных для выбросов алюминиевого производства, в биологических субстратах населения [30, 31].

Заключение

Исследование химического состава снегового покрова в различных функциональных зонах г. Шелехов позволяет заключить, что талую воду снеговых осадков можно отнести к гидрокарбонатно-хлоридному кальциевому классу с высокой концентрацией фторидов и нитратов. На характер загрязнения городской среды большое влияние оказывают выбросы промышленных предприятий, автотранспорта и хозяйственная деятельность городских организаций. Об-

щая загрязненность пригородной сельскохозяйственной территории, несмотря на высокую повторяемость ветра в данном направлении, значительно ниже, чем жилой зоны города. Это позволяет сделать заключение, что высокий уровень загрязнения городской среды формируется более значительно влиянием автотранспорта по сравнению с сельскохозяйственными территориями. Господствующие ветра способствуют переносу вредных веществ на большие расстояния, оказывая неблагоприятное воздействие на экосистемы региона.

Литература

(п.п. 2, 3, 5, 11, 12, 16–18, 20–22, 24–27, 31 см References)

1. Нестеров Е.М., Зарина Л.М., Маркова М.А., Грачева И.В., Воронцова А.В., Макарова Ю.А. Исследование состояния снегового покрова Санкт-Петербурга. *Экология урбанизированных территорий*. 2019; (1): 29–35. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-11029>
4. Белозерцева И.А., Воробьева И.Б., Власова Н.В., Янчук М.С., Лопатина Д.Н. Химический состав снега акватории озера Байкал и прилегающей территории. *География и природные ресурсы*. 2017; 38(1): 90–9. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1\(90-99\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(90-99))
6. РУСАЛ. Иркутский алюминиевый завод. Доступно: <https://taishet.rusal.ru/production/irkutsk/irkutskiy-alyuminievyy-zavod/>
7. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». Иркутск; 2020.
8. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П. Оценка загрязнения почв и растений в зоне воздействия газовоздушных выбросов алюминиевого завода. *Теоретическая и прикладная экология*. 2015; (4): 64–8.
9. Суходолов А.П., Янченко Н.И., Таловская А.В., Язиков Е.Г. Сравнительный анализ распределения компонентов выбросов алюминиевых заводов Сибири. *Экология и промышленность России*. 2018; 22(3): 51–5. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-3-51-55>
10. Филимонова Л.М., Паршин А.В., Бычинский В.А. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методом геохимической съемки снежного покрова. *Метеорология и гидрология*. 2015; (10): 75–84.
13. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. *Геохимия окружающей среды Прибайкалья*. Новосибирск: Академическое издательство; 2008.
14. Филимонова Л.М., Просекин С.Н. Минеральный состав твердого осадка снегового покрова в зоне влияния алюминиевого завода как индикатор загрязнения окружающей среды. *Вопросы естествознания*. 2018; (4): 94–9.
15. Ветров В.А., Кузнецова А.И. *Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал*. Новосибирск; 1997.
19. Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Задорнов К.С., Голохваст К.С. Влияние твердых взвешенных частиц атмосферного воздуха населенных пунктов на здоровье человека. *Вестник Камчатского государственного технического университета*. 2019; (49): 81–8. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-49-81-88>
23. Портнов А.М. Алюминий везде... Где? *Природа*. 2020; (7): 57–65. <https://doi.org/10.7868/S0032874X20070078>
28. Ефимова Н.В., Мильникова И.В., Парамонов В.В., Кузьмина М.В., Гребенщикова В.И. Оценка химического загрязнения и риск для здоровья населения Иркутской области. *География и природные ресурсы*. 2016; (S6): 99–103. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(99-103\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(99-103))
29. Рукавишников В.С., Ефимова Н.В., Горнов А.Ю., Зароднюк Т.С., Заборцева Т.И., Гребенщикова В.И. и др. Оценка среды обитания и здоровья населения в зоне размещения производства алюминия в условиях Восточной Сибири (на примере города Шелехов). *География и природные ресурсы*. 2016; (S6): 104–8. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(104-107\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(104-107))
30. Шалина Т.И., Николаева Л.А., Савченков М.Ф., Быков Ю.Н., Мануева Р.С. Загрязнение окружающей среды фтористыми соединениями и их влияние на здоровье детей. *Гигиена и санитария*. 2016; 95(12): 1133–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1133-1137>

References

1. Nesterov E.M., Zarina L.M., Markova M.A., Gracheva I.V., Vorontsova A.V., Makarova Yu.A. Study of ecological condition of the snow cover of St. Petersburg. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy*. 2019; (1): 29–35. <https://doi.org/10.24411/1816-1863-2019-11029> (in Russian)
2. Mamontova E.A., Mamontov A.A., Tarasova E.N. Ecological and hygienic assessment of the consequences of the pollution with persistent organic compounds of industrial town (by the example of Usol'e-Sibirskoe): 1. Atmospheric air, snow, and soil. *Russ. J. Gen. Chem.* 2016; 86(13): 2987–96. <https://doi.org/10.1134/S1070363216130107>
3. Grebenshchikova V.I., Efimova N.V., Doroshkov A.A. Chemical composition of snow and soil in Svirsk (Irkutsk region, Pribaikal'e). *Environ. Earth Sci.* 2017; 76(20): 712. <https://doi.org/10.1007/s12665-017-7056-0>
4. Belozertseva I.A., Vorob'eva I.B., Vlasova N.V., Yanchuk M.S., Lopatina D.N. Chemical composition of snow in the water area of lake Baikal and on the adjacent territory. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2017; 38(1): 68–77. <https://doi.org/10.1134/S1875372817010097>
5. Krnavek L., Simpson W.R., Carlson D., Domine F., Douglas T.A., Sturm M. The chemical composition of surface snow in the Arctic: examining marine, terrestrial, and atmospheric influences. *Atmos. Environ.* 2012; 50: 349–59. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.11.033>
6. RUSAL. Irkutsk aluminium plant. Available at: <https://taishet.rusal.ru/production/irkutsk/irkutskiy-alyuminievyy-zavod/> (in Russian)
7. State report «On the state and protection of the environment of the Irkutsk region in 2019». Irkutsk; 2020. (in Russian)
8. Evdokimova G.A., Mozgova N.P. Comparative estimation of soil and plant pollution in the impact area of air emissions from an aluminum plant after technogenic load reduction. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya*. 2015; (4): 64–8. (in Russian)
9. Sukhodolov A.P., Yanchenko N.I., Talovskaya A.V., Yazikov E.G. Comparative assessment of Emission products distribution from Siberian aluminum plants. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018; 22(3): 51–5. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2018-3-51-55> (in Russian)
10. Filimonova L.M., Parshin A.V., Bychinskii V.A. Air pollution assessment in the area of aluminum production by snow geochemical survey. *Russ. Meteorol. Hydrol.* 2015; 40(10): 691–8. <https://doi.org/10.3103/S1068373915100076>
11. Ianchenko N.I., Talovskaya A.V., Zanin A.A. Comparative assessment of fluorine, sodium, and lithium distributions in snow cover in Siberia. *Pure Appl. Chem.* 2021; 94(3): 261–7. <https://doi.org/10.1515/pac-2021-0319>
12. Shikhovsev M.Yu., Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova Ye.V. Multivariate statistical analysis of the chemical composition of the snow in the industrial cities of the Southern Baikal region. In: *Proceedings 27th International Symposium on Atmospheric and ocean optics, Atmospheric Physics*. Moscow; 2021: 119161Q. <https://doi.org/10.1117/12.2600456>
13. Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. *Geochemistry of Pribaykal'e Environment [Geokhimiya okruzhayushchey sredy Pribaykal'ya]*. Novosibirsk: Akademicheskoe izdatel'stvo; 2008. (in Russian)
14. Filimonova L.M., Prosekin S.N. Mineral composition of solid snow precipitate in the zone of the influence of the aluminum plant as the environmental pollution indicator. *Voprosy estestvoznaniya*. 2018; (4): 94–9. (in Russian)
15. Vetrov V.A., Kuznetsova A.I. *Trace Elements in Natural Environments of the Baikal Region [Mikroelementy v prirodnykh sredakh regiona ozera Baykal]*. Novosibirsk; 1997. (in Russian)
16. Khodzher N.V., Gorshkov A.G., Potemkin V.L., Obolkin V.A. The composition of aerosol over the East Siberia. *J. Aerosol Sci.* 1999; 30(1): S271–2.
17. Vitkina T., Veremchuk L., Mineeva E., Gvozdenko T. Assessment of the impact of atmospheric air micro-suspension on the respiratory function of patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Respiratory*. 2021; 26(S3): 147. <https://doi.org/10.1111/resp.14150>
18. Brook R.D., Franklin B., Cascio W., Hong Y., Howard G., Lipsett M., et al. Air pollution and cardiovascular disease: a statement for healthcare professionals from the Expert panel on population and prevention science of the American Heart Association. *Circulation*. 2004; 109(21): 2655–71. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000128587.30041.C8>
19. Kholodov A.S., Kirichenko K.Yu., Zadornov K.S., Golokhvast K.S. Effect of particulate matter in the air of residential areas on human health. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2019; (49): 81–8. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2019-49-81-88> (in Russian)
20. Hoet P.M., Brüske-Hohlfeld I., Salata O.V. Nanoparticles – known and unknown health risks. *J. Nanobiotechnology*. 2004; 2(1): 12. <https://doi.org/10.1186/1477-3155-2-12>

Original article

21. Onishchuk N.A., Netsvetaeva O.G., Molozhnikova E.V. Estimation of the influx of pollutants to the territory of the South Pribaykalye. *Limnology and Freshwater Biology*. 2020; (1): 374–81. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2020-A-1-374>
22. Grebenshchikova V.I., Kuzmin M.I., Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Donskikh I.V., Doroshkov A.A. Chemical contamination of soil on urban territories with aluminum production in the Baikal Region, Russia. *Air, Soil and Water Research*. 2021; 14: 114. <https://doi.org/10.1177/11786221211004114>
23. Portnov A.M. Aluminium is everywhere... where? *Priroda*. 2020; (7): 57–65. <https://doi.org/10.7868/S0032874X20070078> (in Russian)
24. Brough D., Jouhara H. The aluminium industry: a review on state-of-the-art technologies, environmental impacts and possibilities for waste heat recovery. *Int. J. Thermofluids*. 2020; 1: 100007. <https://doi.org/10.1016/j.ijfr.2019.100007>
25. Rambabu P., Prasad N.E., Kutumbarao V., Wanhill R. Aluminium alloys for aerospace applications. In: *Aerospace and Materials Technologies*. Singapore: Springer; 2017: 29–52. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2134-3_2
26. Martin S.C., Lariviere C. Community health risk assessment of primary aluminum smelter emissions. *J. Occup. Environ. Med.* 2014; 56(5 Suppl.): S33–9. <https://doi.org/10.1097/jom.0000000000000135>
27. O'Mullane D.M., Baez R.J., Jones S., Lennon M.A., Petersen P.E., Rugg-Gunn A.J., et al. Fluoride and oral health. *Community Dent. Health*. 2016; 33(2): 69–99. https://doi.org/10.122/CDH_3707O'Mullane31
28. Efimova N.V., Myl'nikova I.V., Paramonov V.V., Kuz'mina M.V., Grebenshchikova V.I. Assessment of chemical pollution and public health risks in the Irkutsk region. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016; (S6): 99–103. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(99-103\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(99-103)) (in Russian)
29. Rukavishnikov V.S., Efimova N.V., Gornov A.Yu., Zarodnyuk T.S., Zabortseva T.I., Grebenshchikova V.I., et al. Assessment of the environment and public health condition in the area of aluminum production facilities, Eastern Siberia (by the example of Shelekhov city). *Geografiya i prirodnye resursy*. 2016; (S6): 104–8. [https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6\(104-107\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2016-6(104-107)) (in Russian)
30. Shalina T.I., Nikolaeva L.A., Savchenkov M.F., Bykov Yu.N., Manueva R.S. Environmental pollution with fluoride compounds and their influence on children health. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2016; 95(12): 1133–7. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1133-1137> (in Russian)
31. Mold M., Umar D., King A., Exley C. Aluminium in brain tissue in autism. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 2018; 46: 76–82. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2017.11.012>