

© Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф., 2021

УДК 556.124:669.711:614.7

## Уровень загрязнения снегового покрова фтористыми соединениями в зоне выбросов алюминиевого производства

Л.Г. Лисецкая, С.Ф. Шаяхметов

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», г. Ангарск-27, а/я 1170, Иркутская область, 665827, Российская Федерация

**Резюме:** *Введение.* Фтористые соединения являются одним из основных компонентов промышленных выбросов при производстве алюминия. Выпадение с атмосферными осадками фтористых соединений приводит к их накоплению в почве и поверхностных водах. В зимнее время года аккумуляция атмосферных выпадений позволяет оценить степень загрязнения фтористыми соединениями. *Целью* нашей работы явилось изучение содержания фторсодержащих компонентов в снежном покрове в зоне выбросов алюминиевого производства в г. Шелехове Иркутской области. *Материалы и методы.* Отбор снеговых проб производили в девяти точках на разном расстоянии от предприятия. Исследование проводили в водной фракции и твердом осадке. Измерение содержания фторидов осуществляли потенциометрическим методом с ионоселективным электродом. *Результаты исследования.* Водная фракция представляет собой раствор гидрофторида и фтористого натрия. Нерастворимые фториды являются смесью фторида алюминия, фтористого кальция, криолита и тетрафторалюминия. Во всех исследованных пробах доля растворимых фторидов превышала 90 %. В пределах городской агломерации загрязнение снега распределяется дифференцированно. Суммарное содержание фтористых соединений в жилых районах города в 14–21 раз выше соответствующего показателя в контрольной точке. В то же время в районе пригородного сельского поселения, которое расположено по направлению приоритетных для территории ветров, оно достигало 33-кратного превышения. *Выводы.* Основным источником загрязнения окружающей среды в Шелеховском районе Иркутской области является переработка криолита и фторсодержащих солей в технологическом цикле получения первичного алюминия с образованием фторсодержащих газообразных и твердых выбросов. На содержание техногенных примесей в атмосферных выпадениях существенное влияние оказывает удаленность от источника выбросов и преобладающие направления ветров. Показан вклад предприятия теплоэнергетики в техногенную нагрузку фтористых соединений на экосистему региона.

**Ключевые слова:** растворимые фториды, нерастворимые фториды, снеговой покров, производство алюминия, теплоэнергетика.

**Для цитирования:** Лисецкая Л.Г., Шаяхметов С.Ф. Уровень загрязнения снегового покрова фтористыми соединениями в зоне выбросов алюминиевого производства // Здоровье населения и среда обитания. 2021. № 3 (336). С. 41–46. DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-336-3-41-46>

### Информация об авторах:

✉ **Лисецкая** Людмила Гавриловна – к.б.н., научный сотрудник лаборатории аналитической экотоксикологии ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»; e-mail: [lis\\_lu154@mail.ru](mailto:lis_lu154@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0876-2304>.

**Шаяхметов** Салим Файзылович – д.м.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории аналитической экотоксикологии ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»; e-mail: [Salimf53@mail.ru](mailto:Salimf53@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>.

## The Level of Snow Cover Contamination with Fluoride Compounds in the Emission Zone of a Primary Aluminum Smelter

L.G. Lisetskaya, S.F. Shayakhmetov

East-Siberian Institute of Medical and Environmental Research,  
PO Box 1170, Angarsk-27, Irkutsk Region, 665827, Russian Federation

**Summary.** *Background:* Fluoride compounds are one of the main components of industrial emissions from aluminum production. Natural deposition of fluorides with precipitation leads to their accumulation in soil and surface waters. In winter, the snow cover enables an assessment of industrial pollution with fluoride compounds. *The objective* of our work was to study fluoride levels in the snow cover in the emission zone of the primary aluminum smelter in the town of Shelekhov, Irkutsk Region. *Materials and methods:* Snow sampling was performed at nine points at different distances from the plant and fluoride concentrations were then measured in the aqueous fraction and solid precipitate by a potentiometric method with ion-selective electrode. *Results:* The aqueous fraction was a solution of hydrofluoride and sodium fluoride. Insoluble fluorides were found as a mixture of aluminum fluoride, calcium fluoride, cryolite, and aluminum tetrafluoride. We established that the soluble fraction exceeded 90 % in all snow samples. Within the urban agglomeration, snow pollution was distributed differentially. The total fluoride level in residential areas of Shelekhov was 14 to 21 times higher than that at the reference point. At the same time, in the area of a suburban rural settlement located downwind of the smelter, it reached a 33-fold excess. *Conclusion:* The main source of environmental pollution in the Shelekhovsky district of the Irkutsk Region is the processing of cryolite and fluoride salts in the primary aluminum production technological cycle generating fluorine-containing gaseous emissions and solid wastes. Concentrations of industrial pollutants in snow correlated with the distance from the source of emissions and the prevailing wind directions. Contribution of a heat power engineering enterprise to the industrial pollution of the local environment with fluorides was also revealed.

**Keywords:** soluble fluorides, insoluble fluorides, snow cover, aluminum production, thermal power engineering.

**For citation:** Lisetskaya LG, Shayakhmetov SF. The level of snow cover contamination with fluoride compounds in the emission zone of a primary aluminum smelter. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2021; (3(336)):41–46. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2021-336-3-41-46>

### Author information:

✉ **Lyudmila G. Lisetskaya**, Candidate of Biological Sciences, Researcher, Laboratory of Analytical Ecotoxicology, East-Siberian Institute of Medical and Environmental Research; e-mail: [lis\\_lu154@mail.ru](mailto:lis_lu154@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0876-2304>.

**Salim F. Shayakhmetov**, D.M.Sc., Professor, Leading Researcher, Laboratory of Analytical Ecotoxicology, East-Siberian Institute of Medical and Environmental Research; e-mail: [Salimf53@mail.ru](mailto:Salimf53@mail.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8740-3133>.

**Введение.** Фтористые соединения являются одним из наиболее опасных компонентов промышленных выбросов при производстве алюминия [1–4]. По данным мониторинга, среднемесячные концентрации фторидов в атмосферном воздухе стабильно превышают санитарные нормы<sup>1,2</sup>. Выпадение вместе с атмосферными осадками фтористых соединений приводит к их накоплению в почве и поверхностных водах. В зимнее время года они аккумулируются в снежном покрове и накапливаются в течение 5–6 месяцев. Вследствие этого изучение снежного покрова как депо-нирующей среды экотоксикантов является надежным объектом для оценки загрязнения приземного слоя атмосферы и установления путей транспортировки загрязнителей от их источника [5–7].

Исследованию загрязнения снежного покрова различных районов Прибайкалья посвящен ряд работ, проведенных за последние 10–15 лет [5, 8, 9]. В них дана, главным образом, оценка содержания полициклических ароматических соединений и тяжелых металлов. Однако Прибайкалье характеризуется высокой концентрацией производств по выпуску первичного алюминия благодаря наличию доступной и дешевой электроэнергии ГЭС. Братский и Иркутский алюминиевые заводы, входящие в систему, на протяжении 40 с лишним лет вырабатывают более 1 миллиона тонн алюминия в год. Кроме того, коммерческими планами предусмотрены пуск и эксплуатация двух новых заводов в г. Тайшете и п. Богучаны. Приоритетными загрязнителями окружающей среды от алюминиевого производства являются твердые и газообразные фториды [10]. Масштабная оценка геоэкологических аспектов распределения фтористых соединений проведена только для г. Братска [11–13]. В перечень загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу Братска, наряду с прочими, значатся гидрофторид и твердые фториды, которые не расшифровываются<sup>2</sup>. В изученной нами ранее технологии электролитического получения алюминия, применяемой на данном предприятии, основным компонентом реакционной массы является расплав криолита  $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ , в котором растворен глинозем  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [14]. Кроме того, в состав исходного сырья входят различные добавки, в том числе содержащие фтористые соединения. К ним относятся фтористый алюминий  $\text{Al}_2\text{F}_3$  и фтористый (плавиковый) шпат  $\text{CaF}_2$ . Реакционная смесь загружается в открытые электролизные ванны в виде сухих компонентов. В результате процесса электролиза происходит выделение большого количества гидрофторида HF. Необходимо отметить, что все процессы протекают при очень высокой температуре (960 °C), в результате чего, кроме исходных компонентов, образуются и другие вещества. Например, в процессе рекристаллизации аэрозоля электролита появляются волокна натрий-алюминий тетрафторида [15]. Технологические операции осуществляются

при недостаточной герметизации оборудования, и все эти соединения, становясь компонентами производственных выбросов, попадают в атмосферу. Таким образом, пылевые и газовые аэрозоли часто имеют сложный смешанный состав, содержащий гидрофторид, фторид натрия, фториды из криолита (в форме частиц и газа), фтористый алюминий, частицы натрий-алюминий тетрафторида, фторид кальция. Как уже было отмечено, в качестве источника техногенных фторидов в атмосфере г. Шелехова рассматривается алюминиевое производство. Однако, по данным Y.W. Feng с соавторами, отмечены высокие концентрации фторидов в аэрозольных выбросах, образующихся при сжигании угля, особенно возрастающие в зимнее время [3]. Промышленная площадка г. Шелехова наряду с алюминиевым производством включает в себя Шелеховский участок Ново-Иркутской ТЭЦ (ТЭЦ-5) – основной источник системы теплоснабжения города – мощность которого составляет 18 МВт. На ТЭЦ Южного Приангарья используется, в основном, уголь, добываемый в Иркутской области. Элементный состав данного вида топлива не учитывается при расчете выбросов в атмосферу. О поступлении техногенных фторидов в атмосферу при сжигании местного угля на предприятиях теплоэнергетики г. Братска указывали ранее Н.И. Янченко с соавторами [12].

**Цель исследования.** Целью нашей работы явилось изучение содержания фторсодержащих компонентов в снежном покрове в зоне выбросов алюминиевого производства в г. Шелехова Иркутской области.

**Материалы и методы.** Отбор проб снега проводили в марте 2018 года в девяти точках города на разном расстоянии и в различных направлениях от предприятия по производству алюминия. Точка 1 – 0,14 км от центральной проходной на северо-восток; точка 2 – 0,35 км к югу, непосредственно за территорией предприятия; точка 3 – 2,1 км в юго-восточном направлении (окрестности п. Олха); точка 4 – центр города, жилые дома расположены на расстоянии 1,8 км к северо-востоку от производственной площадки; точка 5 – центр города в 2 км к северу; точка 6 – центр города, 2,2 км в северном направлении; точка 7 – жилые дома на расстоянии 1,4 км в направлении север – северо-запад; точка 8 – жилые дома в северо-западном направлении на расстоянии 1,4 км от производства; точка 9 – загородный поселок в лесной зоне к северо-западу на расстоянии 9 км. В связи с тем, что для гигиенической оценки территории имеет значение влияние выбросов на селитебную зону, 5 точек отбора из 9 (4, 5, 6, 7, 8) расположены на городской жилой территории. Точки отбора 1, 2 и 3 находятся в стороне от городской застройки по разные стороны от заводской территории. Точка 9 выбрана в качестве контрольной как наиболее отдаленная. В западном, юго-западном и восточном направлениях от промышленной зоны жилые строения отсутствуют, поэтому в

<sup>1</sup> Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия в Иркутской области в 2015 году»: [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://usolie-raion.ru/vlast/federalnye> (дата обращения: 03.06.2019).

<sup>2</sup> Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 03.06.2019).

нашем исследовании загрязнение природной среды в этих направлениях не изучалось. Все точки отбора были выбраны на расстоянии не менее 100 м до автомагистралей во избежание загрязнения снежного покрова выбросами автотранспорта. Отбор проб производили на всю глубину снежного покрова в виде кернов с площадью основания 100 см<sup>2</sup>. В каждой точке отбирали 5 проб в виде конверта размером 25 м<sup>2</sup>, которые в последующем объединяли и после растаивания снега усредняли. Для анализа брали 1 л талой воды, из которой тщательно убирали растительные остатки. Пробу фильтровали через беззольный фильтр «синяя лента». Для определения нерастворимых фторидов фильтр с осадком высушивали, промывали дистиллированной водой и сжигали в муфельной печи при температуре 400 °С в платиновом тигле. Полученную золу плавляли со смесью карбоната натрия и борной кислоты, плав растворяли в воде, подкисленной соляной кислотой. Измерение содержания фторидов в пробах осуществляли потенциометрическим методом с ионоселективным электродом на фоне цитратного буферного раствора.

**Результаты исследования.** Результаты определения фтористых соединений в снежном покрове представлены в табл. 1.

Максимальное количество фтористых соединений в пробах обнаружено в непосредственной близости от производственной площадки, причем их содержание в составе атмосферных осадков, выпавших в северном и южном направлениях, существенно не отличалось. На расстоянии до 1,5 км в направлении север – северо-запад в жилых кварталах центральной части города общее содержание фтористых соединений в снежном покрове снижалось в 2,5–2,8 раза. При удалении до 2 км их количество уменьшалось в 3,9–4,4 раза. В то же время в юго-восточном направлении на расстоянии 2 км суммарная концентрация фтористых соединений была в 1,7 раза ниже, чем вблизи промплощадки.

Как видно на рисунке, в структуре атмосферных выпадений твердые фториды в большей степени присутствовали в точках 1 и 2, что легко объясняется их близким расположением к промплощадке. Точки отбора № 5, 6, 7 соответствуют жилому району центра города. В них найдено наименьшее количество растворенных

и твердых фторидов. В контрольной точке на расстоянии 9 км к северо-западу от промплощадки концентрация фторидов снижалась в 53 раза по сравнению с территорией, прилегающей к промплощадке, и в 20 раз – по сравнению с крайней городской точкой, обследованной в этом направлении (4 км).

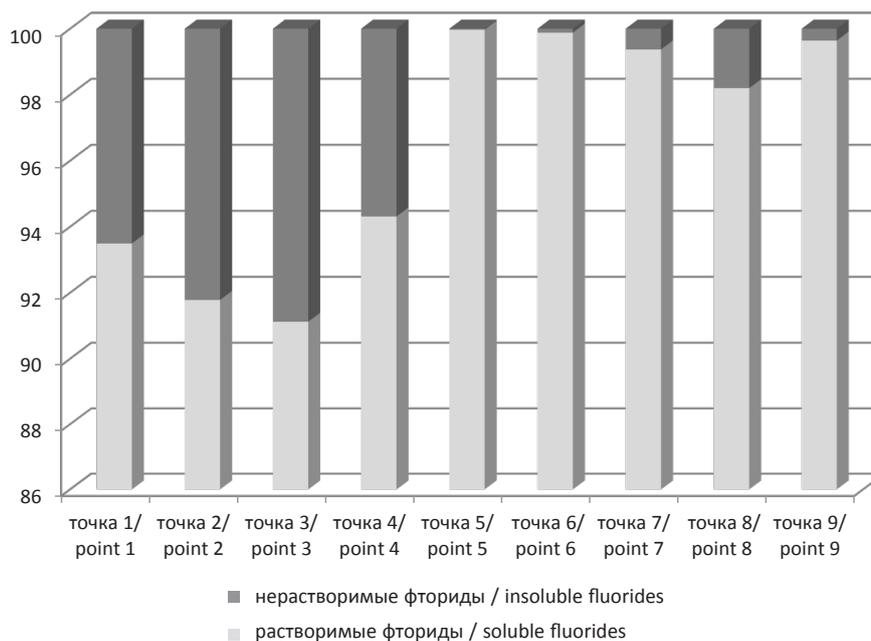
**Обсуждение результатов.** Структура атмосферных выпадений фторидов имеет водную фракцию, представленную растворимыми формами, и нерастворимую, образованную твердыми фторидами. Во всех исследованных пробах доля растворимых фторидов превышала 90 %. Исходя из состава производственных выбросов, можно предположить, что они представляют собой смесь гидрофторида и фтористого натрия. Нерастворимые фториды являются смесью фторида алюминия, фтористого кальция, криолита и тетрафторалюмината натрия.

Многолетние усредненные данные свидетельствуют, что в г. Шелехове доминирующими направлениями ветров являются северо-западные, западные и юго-восточные (табл. 2), что согласуется с высоким уровнем накопления фторидов на соответствующих направлениях.

Расчеты показали, что оседание фторидов в снежном покрове имеет отрицательную зависимость от частоты повторяемости ветров (коэффициент корреляции –0,89). Так, при ветрах в северном и северо-восточном направлении с повторяемостью 2,7 и 6,2 % в год на расстоянии 2 км оседает 26 % фторидов по сравнению с расположенной вблизи к источнику выбросов. На том же расстоянии от источника выбросов в северо-западном направлении (повторяемость 21,4 %) оседает 40 % токсиканта, а в юго-восточном направлении (повторяемость 26,6 %) – уже 66 %. Представляет интерес тот факт, что значительное количество твердых фторидов отмечено на расстоянии свыше 2 км к юго-востоку от предприятия в окрестностях п. Олха (точка 3). Перенос твердых веществ на такое расстояние обусловлен, по-видимому, преобладанием ветров с северо-запада (24–26,6 %). Доминирование северо-западных и юго-восточных ветров способствует тому, что большая часть территории г. Шелехова находится за пределами основной зоны рассеивания выбросов предприятия по производству алюминия. Тем не менее, ветра с юго-востока, частота которых

Таблица 1. Количество фтористых соединений в снежных пробах г. Шелехова  
Table 1. Fluoride concentrations in snow samples taken in the town of Shelekhov

Точка отбора / Sampling point	Концентрация фторсодержащих соединений в снежном покрове, мг/дм <sup>3</sup> / Fluoride concentration in snow cover, mg/dm <sup>3</sup>		Сумма фторсодержащих соединений, мг/дм <sup>3</sup> / Total fluoride concentration in snow cover, mg/dm <sup>3</sup>
	Растворимые фториды / Soluble fluorides	Нерастворимые твердые фториды / Insoluble solid fluorides	
1	29,46 ± 0,71	2,04 ± 0,024	31,51 ± 0,68
2	25,23 ± 0,56	2,26 ± 0,02	27,49 ± 0,52
3	16,62 ± 0,35	1,62 ± 0,056	18,24 ± 0,31
4	7,57 ± 0,10	0,47 ± 0,06	8,076 ± 0,10
5	7,00 ± 0,05	0,002 ± 0,001	7,00 ± 0,07
6	8,31 ± 0,19	0,004 ± 0,001	8,31 ± 0,18
7	12,54 ± 0,09	0,080 ± 0,011	12,62 ± 0,10
8	11,45 ± 0,07	0,22 ± 0,01	11,66 ± 0,06
9	0,55 ± 0,04	0,005 ± 0,001	0,55 ± 0,04



**Рисунок.** Содержание растворимых и нерастворимых форм фтористых соединений в снежных пробах, %  
**Figure.** The proportion of soluble and insoluble fluorides in snow samples, %

составляет 21,4 %, обеспечивает достаточно высокое содержание фтористых соединений в снеговом покрове даже на расстоянии от 2 до 4 км (точки 7 и 8). При этом суммарная концентрация фторсодержащих соединений уменьшилась на 8 %. Аналогичные исследования, проведенные в Братске, показали, что повышение концентрации фтора в суточных пробах дождя наблюдалось при юго-западном и северо-западном ветрах, наибольшие концентрации – при северо-западном ветре, а в суточных осадках снега повышенная концентрация фтора отмечена при южном, юго-западном, западном и северо-западном ветрах, наибольшие концентрации – при северо-западном и юго-западном ветрах [11]. Таким образом, несмотря на то, что расстояние между этими городами составляет 520 км, сходные климато-географические условия обуславливают и сходный характер оседания промышленных загрязнителей в окружающей среде.

Нами произведен ориентировочный пересчет техногенного поступления фтора на территорию Шелеховского района. По данным Государственного доклада<sup>4</sup>, в атмосферный воздух г. Шелехова в 2018 г. поступило 400,626 т газообразных и 605,734 т плохо растворимых фторидов. За этот же период на Шелеховском участке Ново-Иркутской ТЭЦ использовано угля в количестве 120 722 т условного топлива<sup>5</sup>. С учетом коэффициента пересчета условного топлива в натуральный Черемховский уголь<sup>6</sup> расход составил 160 534,6 т. При содержании в 1 т угля 500 г F [16] техногенное поступление F от теплоэнергетики на данную территорию составило 0,78 т, что не превышает 0,1 % от поступления фторидов с выбросами алюминиевого производства. Таким образом, предприятия теплоэнергетики в г. Шелехова ввиду невысокой мощности вносят незначительный вклад во фтористую нагрузку на экосистему региона. Однако на близко расположенных

**Таблица 2.** График ветров в г. Шелехове с усредненными значениями<sup>3</sup>  
**Table 2.** The wind pattern in the town of Shelekhov with averaged values<sup>3</sup>

Направление – откуда дует ветер / Meteorological wind direction	Север / North	Северо-восток / Northeast	Восток / East	Юго-восток / Southeast	Юг / South	Юго-запад / Southwest	Запад / West	Северо-запад / Northwest
Частота повторяемости ветров, % / Frequency of wind direction occurrence, %	6,3	4,4	9,4	21,4	2,7	6,2	23,1	26,6

<sup>3</sup> Архив погоды в Шелехове [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://world-weather.ru/archive/russia/shelekhov/> (дата обращения: 03.09.2020).

<sup>4</sup> Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://irkobl.ru/sites/ecology/picture> (дата обращения: 03.09.2020).

<sup>5</sup> Государственный доклад о состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2017 году. М., 2018 329 с.

<sup>6</sup> Приказ Росстата от 16.11.2017 № 761 «Об утверждении Указаний по заполнению формы федерального статистического наблюдения №4-ТЭР «Сведения об использовании топливно-энергетических ресурсов» [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_283734/a5ee539295f012817da4e3804ebad6a17ae](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_283734/a5ee539295f012817da4e3804ebad6a17ae) (дата обращения: 03.09.2020).

ТЭЦ в городах Иркутске и Ангарске потребление угля выше в 8 и 16 раз соответственно.

Атмосферные выпадения приводят к накоплению поллютантов в почвенном покрове, что способствует их аккумуляции в пищевых продуктах и кормах для сельскохозяйственных животных. Многолетняя эмиссия фторидов с выбросами алюминиевых производств привела к деградации хвойных лесов в Норвегии, пастбищ в Канаде, проявлению флюороза у сельскохозяйственных животных в Шотландии, Англии и Уэльсе [17, 18]. В пищевых цепочках продукты животноводства и растениеводства служат дополнительным источником поступления фторидов в организм человека. Многочисленные исследования показали, что даже в случае содержания фторидов в сельскохозяйственной продукции, не превышающего национальные стандарты, при отсутствии индивидуального риска необходимо подразумевать высокий уровень неканцерогенного риска для здоровья и хронической токсичности для детей и взрослых [19, 20].

#### Выводы

1. Основным источником загрязнения окружающей среды в Шелеховском районе Иркутской области является предприятие по электролитическому разложению криолита и фторсодержащих солей в технологическом цикле получения первичного алюминия с образованием фторсодержащих газообразных и твердых выбросов.

2. В структуре атмосферных выпадений в снежном покрове преобладают растворимые формы фторидов. Суммарное содержание фтористых соединений в жилых районах города в 14–21 раз выше соответствующего показателя в контрольной точке. В то же время в районе пригородного сельского поселения оно достигало 33-кратного превышения. На содержание техногенных примесей в атмосферных выпадениях существенное влияние оказывает удаленность от источника выбросов и преобладающие направления ветров.

3. Сжигание угля на предприятии теплоэнергетики ввиду малой мощности производства в г. Шелехове вносит незначительный вклад в загрязнение фтористыми соединениями, что позволяет считать основным источником загрязнения производство алюминия. При расчете техногенной нагрузки фтористых соединений на экосистему региона в целом необходимо учитывать также суммарные выбросы теплоэнергетики.

4. Результаты исследования могут быть использованы при разработке Гигиенических Рекомендаций по управлению риском для здоровья населения, а также при создании системы эколого-гигиенического мониторинга урбанизированных территорий в оценке качества среды обитания и диагностике факторов риска

**Информация о вкладе авторов:** Лисецкая Л.Г. – разработка дизайна исследования, получение данных для анализа, анализ полученных данных, написание текста рукописи; Шаяхметов С.Ф. – разработка дизайна исследования.

**Финансирование:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Конфликт интересов:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы (пп. 3, 4, 15, 17–20 см. References)

1. Гребенщикова В.И. Геохимическая специфика состава снеговой воды некоторых городов Иркутской области // Вода: химия и экология. 2013. № 2. С. 19–25.
2. Янченко Н.И., Баранов А.Н., Яскина О.Л. и др. Распределение фторсодержащих выбросов в осадках дождя и снега. // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4 (16). С. 163–166.
5. Маринайта И.И., Горшков А.Г. Мониторинг экотоксикантов в объектах окружающей среды Прибайкалья. Часть II. Полициклические ароматические углеводороды в снежном покрове промышленных центров. // Оптика атмосферы и океана. 2002. Т. 15. № 5–6. С. 450–455.
6. Прокачева В.Г., Усачев В.Ф. Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 194 с.
7. Рапута В.Ф., Коковкин В.В. Методы интерпретации данных мониторинга загрязнения снежного покрова // Химия в интересах устойчивого развития. 2002. Т.10. № 5. С. 669–682.
8. Филимонова Л.М., Паршин А.В., Бычинский В.А. Оценка загрязнения атмосферы в районе алюминиевого производства методами геохимической съемки снегового покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 75–84.
9. Янченко Н.И., Баранов А.Н., Яскина О.Л. Распределение компонентов выбросов алюминиевого производства в атмосфере и атмосферных осадках Байкальского промышленного региона // Известия вузов. Цветная металлургия. 2014. № 3. С. 56–60.
10. Головных Н.В., Бычинский В.А., Филимонова Л.М. и др. Геоэкологические исследования загрязненности почв в зоне действия алюминиевого завода. // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 3. С. 224–232.
11. Янченко Н.И., Баранов А.Н., Чебыкин Е.П. и др. Особенности и факторы, влияющие на распределение металлов, редкоземельных элементов, углерода и фтора в фильтрате и твердом осадке снежного покрова города Братска // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2013. № 10 (81). С. 141–148.
12. Янченко Н.И., Тимкина Е.В., Носырева Е.В. и др. О поступлении и распределении техногенного фтора в снежном покрове и атмосферных осадках в Иркутской области (на примере Братска). // Системы. Методы. Технологии. 2016. № 1 (29). С. 152–157.
13. Янченко Н.И., Яскина О.Л., Янюшкин С.А. Закономерности изменения содержания фтора в атмосферных осадках в районе города Братска. // Оптика атмосферы и океана. 2014. Т. 27. № 3. С. 246–249.
14. Шаяхметов С.Ф., Лисецкая Л.Г., Мешакова Н.М. и др. Гигиеническая оценка газо-пылевого фактора на алюминиевом предприятии Восточной Сибири. // Гигиена и санитария. 2016. Т. 95. № 12. С. 1155–1160.
16. Крапивенцева В.В. Металлоносность углей Приамурья // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24. № 1. С. 73–84.

#### References

1. Grebenschikova VI. Geochemical specificity of snow water composition in some cities of the Irkutsk region. *Voda: Khimiya i Ekologiya*. 2013; (2):19–25. (In Russian).
2. Yanchenko NI, Baranov AN, Yaskina OL, et al. Distribution of fluorine-containing emissions in rain

- and snow precipitations. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2012; (4(16)):163–166. (In Russian).
3. Feng YW, Ogura N, Feng ZW, *et al.* The concentrations and sources of fluoride in atmospheric depositions in Beijing, China. *Water Air Soil Pollut*. 2003; 145(1):95–107. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023680112474>
  4. Talovskaya AV, Osipova NA, Filimonenko EA, *et al.* Fluorine concentration in snow cover within the impact area of aluminum production plant (Krasnoyarsk city) and coal and gas-fired power plant (Tomsk city). *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci*. 2015; 27:012043. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/27/1/012043>
  5. Marinayte II, Gorshkov AG. [Monitoring of environmental toxicants in environmental objects of Baikal region. Part 2. Polycyclic aromatic hydrocarbons in snow cover of industrial centers.] *Optika Atmosfery i Okeana*. 2002; 15(5-6):450–455. (In Russian).
  6. Prokacheva VG, Usachyov VF. [*Snow Cover in the Sphere of Influence of the City*.] Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1989. 194 p. (In Russian).
  7. Raputa VF, Kokovkin VV. [Methods of interpretation of snow cover pollution monitoring data.] *Khimiya v Interesakh Ustoychivogo Razvitiya*. 2002; 10(5):669–682. (In Russian).
  8. Filimonova LM, Parshin AV, Bychinskii VA. Air pollution assessment in the area of aluminum production by snow geochemical surveys. *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2015; (10):75–84. (In Russian).
  9. Yanchenko NI, Baranov AN, Yaskina OL. [Distribution of emission components of aluminum production in the atmosphere and precipitation of the Baikal industrial region.] *Izvestiya Vuzov. Tsvetnaya Metallurgiya*. 2014; (3):56–60. (In Russian).
  10. Golovnykh NV, Bychinskii VA, Filimonova LM, *et al.* Geoecological studies of soil contamination in the area of aluminum plant. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya, Gidrogeologiya, Geokriologiya*. 2014; (3):224–232. (In Russian).
  11. Yanchenko NI, Baranov AN, Chebykin EP, *et al.* Features and factors affecting distribution of metals, rare earth elements, carbon and fluorine in snow cover filtrate and solid sediment in Bratsk. *Vestnik Irkutskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta*. 2013; (10(81)):141–148. (In Russian).
  12. Yanchenko NI, Timkina EV, Nosyreva EV, *et al.* Emission and distribution of industrial fluorine into the snow cover and atmospheric precipitation in Irkutskaya oblast (on the example of the city of Bratsk). *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2016; (1(29)):152–157. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18324/2077-5415-2016-1-152-157>
  13. Yanchenko NI, Yaskina OL, Yanyushkin SA. Regularities of alteration of fluorine concentrations in atmospheric precipitations in the vicinity of Bratsk town. *Optika Atmosfery i Okeana*. 2014; (27(3)):246–249. (In Russian).
  14. Shayakhmetov SF, Lisetskaya LG, Meshchakova NM, *et al.* Hygienic assessment of toxic dust factor at the aluminium smelter in Eastern Siberia. *Gigiena i Sanitariya*. 2016; 95(12):1155–1160. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2016-95-12-1155-1160>
  15. Gylseth B, Bjorseth O, Dugstad O, *et al.* Occurrence of fibrous sodium alunumtetrafluoride particles in potrooms of the primary aluminum industry. *Scand J Work Environ Health*. 1984; 10(3):189–195. DOI: <https://doi.org/10.5271/sjweh.2341>
  16. Krapiventseva VV. Metal content of coals in Priamurye. *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2005; 24(1):73–84. (In Russian).
  17. Fuge R. Fluorine in the environment, a review of its sources and geochemistry. *Appl Geochem*. 2019; 100:393–406. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.016>
  18. Yi X, Qiao S, Ma L, *et al.* Soil fluoride fractions and their bioavailability to tea plants (*Camellia sinensis L.*). *Environ Geochem Health*. 2017; 39:1005–1016. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10653-016-9868-3>
  19. Li Y, Wang S, Nan Z, *et al.* Accumulation, fractionation and health risk assessment of fluoride and heavy metals in soil–crop systems in northwest China. *Sci Total Environ*. 2019; 663:307–314. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.257>
  20. Wang M, Li X, Ye WY, *et al.* Distribution, health risk assessment, and anthropogenic sources of fluoride in farmland soils in phosphate industrial area, southwest China. *Environ Pollut*. 2019; 249:423–433. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.03.044>

Статья получена: 08.10.19  
 Принята в печать: 03.03.21  
 Опубликовано: 31.03.21

