

О поступлении и распределении техногенного фтора в снежном покрове и атмосферных осадках в Иркутской области (на примере Братска)

Н.И. Янченко^{1,2 a}, Е.В. Тимкина^{1 b}, Е.В. Носырева^{1 c}, Н.П. Шерстянкина^{2 d}, А.И. Ширшков^{2 e}

¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, ул. Лермонтова 83, Иркутск, Россия

²Байкальский государственный университет, пр. Ленина 1, Иркутск, Россия

^afduecn@bk.ru, ^btimkina.ekaterina@yandex.ru, ^cnev-7@list.ru, ^dNina-21@mail.ru, ^ekluzheva-ou@isea.ru

Статья поступила 11.01.2016, принята 16.02.2016

В Иркутской области основным источником загрязнения окружающей среды техногенным фтором являются фторсодержащие отходы алюминиевых заводов Братска и Иркутска, на которые фтор поступает в виде криолит- и фторсодержащих солей из других областей России и мира. Другой, менее масштабный источник техногенного фтора возникает при сжигании местных углей на предприятиях теплоэнергетики. В связи с тем, что технологические циклы не являются замкнутыми, компоненты сырья, в данном случае фтор, поступают в объекты окружающей среды, в том числе в снежный покров и атмосферные осадки дождя и снега. Таким образом, актуальность данного исследования определяется возможным негативным воздействием техногенного фтора на биоту, снижающим качество жизни населения. Проведен анализ результатов снегохимической съемки, которую Братский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды выполняет в 11 пунктах наблюдений в северной и южной частях города и района. Установлена прямая корреляция между содержанием фтора в фильтрате снеговой воды и количеством осадков за период устойчивого снежного покрова, что позволяет скорректировать подходы к оценке динамики выбросов фторидов на основе мониторинга загрязнения снежного покрова. Также отмечена корреляция между содержанием нерастворимого фтора в твердом осадке и водорастворимым фтором в фильтрате снежного покрова, которая согласуется с большей мощностью выбросов в атмосферу плохо растворимых фторидов по сравнению с мощностью выбросов газообразных фторидов. По данным Иркутского национального исследовательского технического университета, который проводит в Братске определение фтора в суточных пробах осадков в виде дождя и снега, установлено, что в 2009–2013 гг. в отдельных суточных пробах осадков дождя наибольшие концентрации фтора зарегистрированы при северо-западном ветре, в суточных пробах снега — при северо-западном и юго-западном.

Ключевые слова: фтор; снежный покров; дождь; снег; ветер; теплоэнергетика; производство алюминия.

Emission and distribution of industrial fluorine into the snow cover and atmospheric precipitation in Irkutskaya oblast (on the example of the city of Bratsk)

N.I. Yanchenko^{1,2 a}, E.V. Timkina^{1 b}, E.V. Nosyreva^{1 c}, N.P. Sherstyankina^{2 d}, A.I. Shyrshkov^{2 e}

¹Irkutsk National Research Technical University; 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia

²Baikal State University; 1, Lenin St., Irkutsk, Russia

^afduecn@bk.ru, ^btimkina.ekaterina@yandex.ru, ^cnev-7@list.ru, ^dNina-21@mail.ru, ^ekluzheva-ou@isea.ru

Received 11.01.2016, accepted 16.02.2016

It is shown that the main sources of the emission and distribution of industrial fluorine in Irkutskaya oblast are cryolite and fluorine-containing salts from aluminum plants of Bratsk and Irkutsk as well as from other regions of Russia and the world. Another, a smaller-scale source of industrial fluorine proceeds in the environment when there is burning local coal to the thermal power plants in the area. Due to the fact that the production cycles are not closed, the raw material components, in this case it is fluorine, are emitted into the environmental objects, such as snow cover and rain and snow precipitation. So, the relevance of the study is determined by the negative impact of the industrial fluorine on the biota, which reduces the life quality. The survey results have been analyzed for snow-chemical measurement which is performed by Bratsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring in 11 observation points in the northern and southern parts of the city and the whole area. A direct correlation has been found out between the fluorine content in the snow-water filtrate and the quantity of atmospheric precipitation in the period of stable snow cover, which allows adjusting all the approaches to the evaluation of the dynamics for fluorine emissions based on monitoring the pollution of snow cover. A correlation has been found out between the content of the insoluble fluorine in the solid precipitation and the water-soluble fluorine in the snow-cover filtrate, which is of greater power of emissions of poorly soluble fluorine in comparison with the power of emission for gas-soluble fluorine. According to Irkutsk National Research Technical University which measures daily the fluorine content in the snow and rain precipitation, it has been found out that in 2009-2013 in some daily samples of rain precipitation the highest fluorine concentration was recorded under the North-West wind, in the daily snow precipitation it was under the North-West and South-West wind.

Key words: fluorine; snow cover; rain; snow; wind; heating energy; aluminum production.

Введение

Загрязнение окружающей среды соединениями фтора является одной из важных проблем из-за его негативного влияния на человека [1], животных [2] и растений [3; 4]. В этой связи требуют решения проблемы, в равной степени касающиеся обеспечения оптимальной потребности человеческого организма во фторе и защиты от вредного влияния фтора и его соединений населения и персонала предприятий [1]. От эндемического флюороза страдает не только человек, но в еще большей степени животные в связи с их большей зависимостью от геохимических условий среды [2].

Природными источниками фтора в биосфере являются вулканы [3; 4], а источниками антропогенного загрязнения окружающей среды фторидами — предприятия по производству криолита, стекла, эмалей, керамики, фосфорных удобрений, по переработке урановых руд, предприятия черной металлургии и алюминиевой промышленности [3; 4], тепловые электростанции [5]. Наличие и распределение техногенного фтора в Иркутской области обусловлено в основном производством первичного алюминия, для которого фторид алюминия и криолит — это основное фторсодержащее сырье. Так как производственный цикл не является замкнутым, происходят технологические потери, накопление и распределение фтора в объектах окружающей среды.

Использование снежного покрова в качестве объекта исследования позволяет получить информацию о газообразных и аэрозольных веществах в атмосферном воздухе [6]. Известны работы по исследованию снежного покрова в районе Братского алюминиевого завода [7; 8], в районе влияния Иркутского алюминиевого завода (г. Шелехов, «ИрКАЗ-СУАЛ») [9–12]. Братский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (БЦГМС) выполняет снегохимическую съемку в семи районах (в 11 точках) Братска [13].

Район, объекты, предметы и методы исследования. Районом исследования выбрана зона выбросов промышленных предприятий Братска. На распределение выбросов оказывают влияние крупнохолмистый рельеф с перепадами высот в пределах от 402 до 670 м, невысокая скорость ветра — 1–3 м/с в течение года и преобладающий западный ветровой перенос воздушных масс [14]. Как следствие, выбросы направлены на селитебные территории.

Объекты исследования: снежный покров в зоне влияния выбросов промышленной площадки Братска и Братского алюминиевого завода (БрАЗ) [13]; суточные (срочные) осадки дождя и снега; технология получения первичного алюминия; применение угля на предприятиях теплоэнергетики.

Предметы исследования: установление зависимости или тенденций к изменению содержания водорастворимого (фтор в фильтрате) и нерастворимого фтора (фтор в твердом осадке) в снежном покрове, а также изменение содержания фтора в атмосферных осадках в зависимости от направления ветра.

Методы исследования: интерпретация многолетних данных БЦГМС по снегохимической съемке, полученных при ежегодном отборе 11 проб снежного покрова с площадок, расположенных на расстоянии от 3 до 30 км

от ОАО «РУСАЛ-БрАЗ» (в окрестностях с. Кузнецовка, пос. Чекановский, Бикей, Стениха, Падун и в зонах с интенсивным движением автотранспорта — повороты на п. Тарма и с. Анчириково) [13]; определение содержания ионов фтора в суточных (срочных) пробах атмосферных осадков в виде дождя и снега на расстоянии 27 км от БрАЗа.

Обсуждение результатов. В Иркутской области расположен один из крупнейших в мире Братский алюминиевый завод, работающий с 1966 г., с современной производительностью ≈ 1 млн т/год (применяются технология самообжигающихся анодов — Soderberg и содо-бикарбонатный способ очистки электролизных газов) и Иркутский алюминиевый завод работающий с 1962 г., с современной производительностью примерно 380 тыс. т/год (Soderberg, содо-бикарбонатный способ очистки электролизных газов). Различными темпами идет строительство еще двух алюминиевых заводов — Тайшетского (мощность 750 тыс. т/год, обожженные аноды, адсорбционный способ очистки электролизных газов на глиноземе) и Богучанского (мощность 600 тыс. т/год, обожженные аноды, адсорбционный способ очистки электролизных газов на глиноземе).

Известно, что по современной технологии (обоженные аноды) построен завод компании Emirates Aluminium, который расположен на побережье Персидского залива в промышленной зоне столичного эмирата Абу-Даби — Аль-Тавила в ОАЭ (Al Taweelah) [15]. Оператор завода, компания Emirates Aluminium, заявила, что совет директоров одобрил план расширения мощности завода с нынешних 750 тыс. т/год до 1,3 млн т/год к концу 2014 г. Сравнение с БрАЗом показывает, что заводы не только отличаются технологией, но и находятся в разных природных экосистемах, имеющих различную минерализацию природных вод.

Заводы Иркутской области работают в регионе с низкой минерализацией природных поверхностных вод (минерализация о. Байкала менее 0,1 г/л [16]), и это создает нарушение химического состава в элементах локального гидрологического цикла в зоне выбросов промышленных предприятий. Завод в ОАЭ находится в прибрежной зоне, характеризующейся высокой минерализацией атмосферных осадков и высокой влажностью воздуха.

Поступление техногенного фтора в окружающую среду Иркутской области. С учетом расхода F 25 кг F/т Al алюминия [17] и выпуска алюминия в течение 1962–2013 гг. (т. е. примерно 50 лет), по нашим приблизительным подсчетам, приход F в составе сырья для производства первичного алюминия в Иркутской области составил 1,25 млн т [18]. На БрАЗе в 2013 г. с учетом расхода и выпуска примерно 970 тыс. т алюминия приход фтора составил 24 250 т. По данным ежегодника [19], в 2013 г. в атмосферный воздух Братска поступило 1,44 тыс. т HF и 1,85 тыс. т плохорастворимых фторидов. Таким образом, в атмосферу города поступило $\approx 13,6\%$ от прихода F в производство. В 2013 г. от «ИрКАЗ – СУАЛ» в атмосферу поступило 416 т газообразных фторидов и 693,5 т плохорастворимых фторидов, что составляет 11,7 % от прихода F на завод ($380\,000\text{ т Al} \cdot 0,025\text{ т F/т Al} = 9\,500\text{ т F}$)

Поступление в окружающую среду техногенного фтора связано с работой ТЭЦ на углях. В 2013 г. на предприятиях ОАО «Иркутскэнерго» (Ново-Иркутская ТЭЦ в Иркутске и Шелехове, Усолье-Сибирском, Черемхово, Ангарске, РК «Кировская»), расположенных в экологической зоне атмосферного влияния Байкальской природной территории (ЭЗАВ БПТ), расход угля составил 4 678 322 т у.т./г [20], с учетом ориентировочного пересчета [21] на натуральный уголь расход составил 8 187 064 т. При возможном расчетном содержании 500 г F в 1 т угля [5] техногенное поступление F на данную территорию ЭЗАВ БПТ составил 4 093 т.

В ЭЗАВ БПТ находится и Шелехов. В 2013 г. приход F на ИркАЗ составил 9 500 т. На шелеховский участок Ново-Иркутской ТЭЦ поступило 1 252 599 т у.т. [20]. С учетом ориентировочного пересчета [21] на натуральный уголь расход составил 2 192 048 т угля. При содержании 500 г F в 1 т угля [5] техногенное поступление F на данную территорию составило 1 096 т, или 11,5 % от прихода фтора на алюминиевый завод. Вопрос о количестве фтора в выбросах ТЭЦ после очистки в данной работе не обсуждается.

Распределение техногенного фтора в снежном покрове, атмосферных осадках (АО), атмосфере. Предполагаем, что при проведении многолетнего мониторинга мощности выбросов БрАЗа по данным об изменении содержания водорастворимого фтора в снежном покрове необходимо учитывать и количество выпавших атмосферных осадков, иначе отклонения в концентрациях (мг/л) можно принять за однозначное снижение или увеличение мощности выбросов соединений фтора. Это подтверждается установленной тенденцией (рис. 1) к уменьшению содержания ионов фтора в фильтрате снежного покрова при увеличении количества осадков, выпавших от момента образования устойчивого снежного покрова до отбора проб, которая прослеживается по данным наблюдений в пунктах БЦГМС в марте 2000–2014 гг., кроме 2006 и 2007 гг., когда количество осадков в марте было 126 и 146 мм соответственно. Ранее установлено, что содержание водорастворимого фтора в фильтрате снежного покрова увеличивается при уменьшении приземной температуры атмосферного воздуха [22], так как известно, что растворимость газообразных соединений в воде, в данном случае в атмосферной влаге, увеличивается при уменьшении температуры [22].

В работе [19] за 2013 г. и за другие годы указано, что на БрАЗе мощность выбросов твердых фторидов выше, чем фтористого водорода. Это превышение подтверждено и откликом экосистемы, в данном случае анализом снежного покрова. Установлена корреляция интенсивности нагрузки водорастворимого фтора в фильтрате и фтора в твердом осадке (нерастворимые фториды) снежного покрова, определенная на основании данных снегохимической съемки БЦГМС за 2000–2005 гг. в 11 пунктах отбора (рис. 2) ($R = 0,56$; $N = 66$) [13]. На рисунке показано, что при отсутствии водорастворимого фтора интенсивность нагрузки нерастворимых фторидов (фтора в твердом осадке снежного покрова) равна примерно $0,6 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$ в период устойчивого снежного покрова. В Иркутском национальном исследовательском техническом университете получе-

ны аналогичные зависимости по другим результатам, с коэффициентами корреляции $R = 0,85$ и $R = 0,84$.

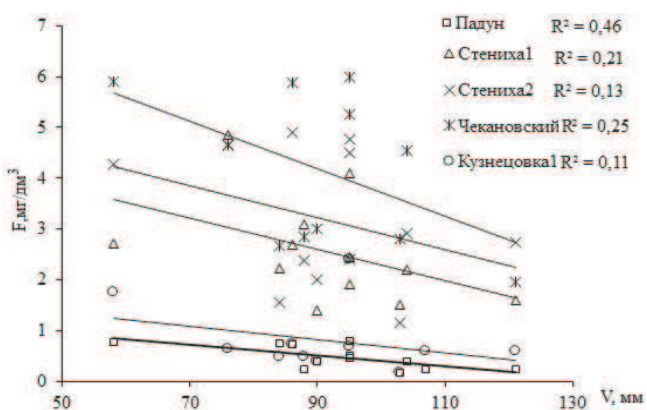


Рис. 1. Содержание F в фильтрате снежного покрова в зависимости от количества осадков, выпавших за период устойчивого снежного покрова

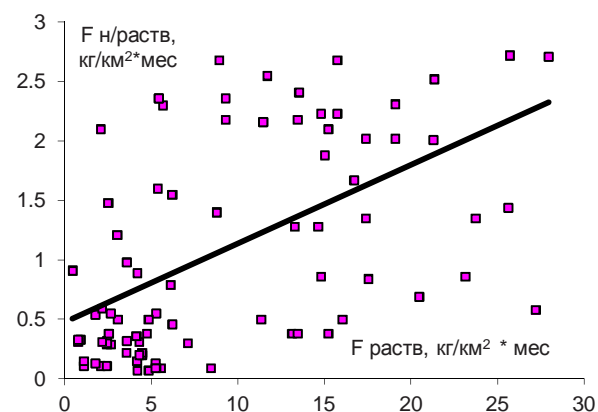


Рис. 2. Корреляция между интенсивностью нагрузки нерастворимого фтора и водорастворимого фтора в снежном покрове

По данным непрерывных наблюдений в Братске в 2009–2013 гг. содержание фтора определено в 239 пробах дождя и 248 пробах снега на расстоянии 27 км от БрАЗа. Присутствие фтора в этих осадках обусловлено в основном выбросами алюминиевого производства, так как выбросы ближайшей ТЭЦ не направлены на место сбора осадков. Впервые установлено, что наибольшее количество осадков дождя при западном ветре (N 46), при северном, южном, юго-западном и переменном направлении ветра число проб находится в интервале от 20 до 30. Полученные результаты говорят о том, что наибольшее число дней, в которые отмечались осадки, характеризуется западным переносом воздушных масс. Этот факт согласуется с тем, что наибольшее количество дней с осадками в период с апреля по октябрь приходится на дни, в которых отмечается западный ветер [14]. Также впервые установлено, что наибольшее количество осадков в виде снега отмечено при западном ветре (N 124), а при северо-западном, северном, южном, юго-западном и переменном направлении число проб (N) находится в интервале от 20 до 47.

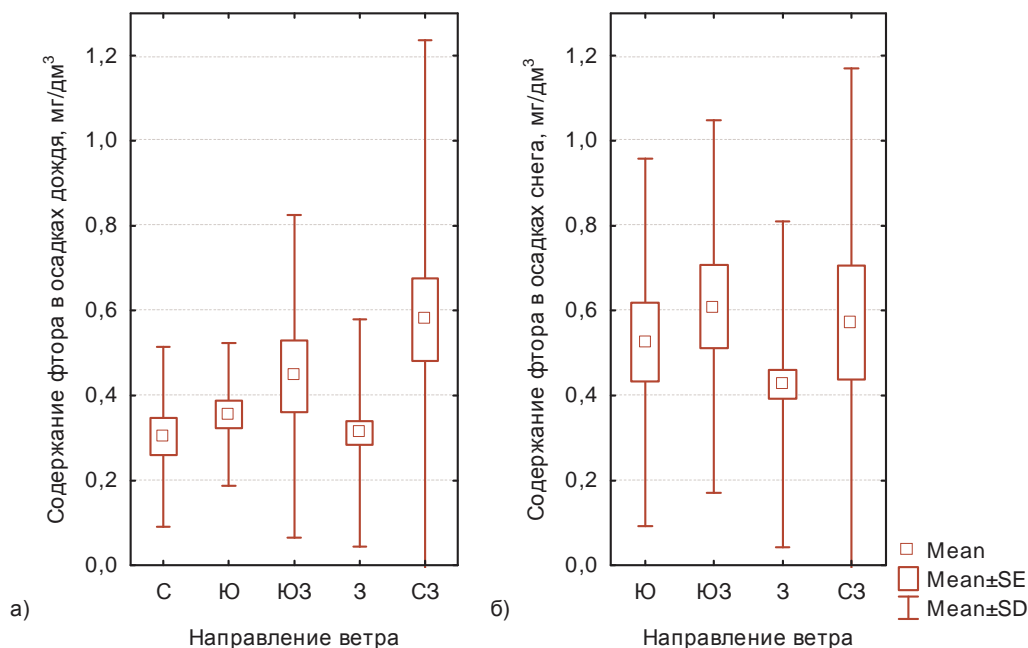


Рис. 3. Содержание фтора в суточных пробах дождя (а) и снега (б) при различных направлениях ветра в Братске

Обработка результатов измерений содержания фтора в атмосферных осадках проводилась в программе STATISTICA (рис. 3). Так как исходные выборки не удовлетворяют нормальному распределению, для проверки влияния направления ветра на содержание фтора в осадках был использован непараметрический дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса.

По результатам анализа критерий Краскела – Уоллиса значим (для дождя $p = 0,0274$, для снега $p = 0,0451$). Таким образом, характеристики различных экспериментальных групп значительно отличаются друг от друга. На диаграмме (рис. 3) показаны характеристики содержания фтора в осадках при различных направлениях ветра (mean — среднее значение, SE — стандартная ошибка среднего, SD — среднеквадратическое отклонение). Получено, что в срочных пробах осадков дождя концентрация фтора выше $0,4 \text{ мг/дм}^3$ наблюдается при ЮЗ и СЗ ветре, наибольшие концентрации $\approx 0,6 \text{ мг/дм}^3$ — при СЗ ветре (рис. 3а). В срочных (суточных) осадках снега концентрация фтора выше $0,4 \text{ мг/дм}^3$ при Ю, ЮЗ, З и СЗ ветре, наибольшие концентрации $\approx 0,6 \text{ мг/дм}^3$ — при СЗ и ЮЗ ветре (рис. 3б). Концентрация фтора в отдельных суточных пробах выше (рис. 3), чем средневзвешенные концентрации фтора за месяц, так по данным 2009–2012 гг. установлено, что наибольший процент проб ($N 15...33$) имеет средневзвешенную концентрацию фтора в месяц в интервале $0,25...0,30 \text{ мг/дм}^3$. Для сравнения приведено содержание фтора в осадках в Пекине [23].

В Пекине 35 проб влажных атмосферных выпадений имеют концентрацию $12\text{--}36 \text{ мкг-экв/л}$ [23], или $0,228\text{--}0,684 \text{ мг/л}$ (пересчет авторов). Указано, что присутствие фтора в атмосферных осадках обусловлено сжиганием бурого угля.

Заключение

1. Обосновано, что основными источниками загрязнения окружающей среды техногенным фтором в Иркутской области являются трансформация криолита и фторсодержащих солей в технологии получения первичного алюминия с образованием фторсодержащих твердых и газообразных отходов на заводах Братска и Иркутска, а также сжигание углей на предприятиях теплоэнергетики области.

2. Установлена прямая корреляция между содержанием фтора в фильтрате снеговой воды и количеством осадков за период устойчивого снежного покрова.

3. Отмечена корреляция между содержанием нерастворимого фтора в твердом осадке и водорастворимым фтором в фильтрате снежного покрова, которая согласуется с большей мощностью плохо растворимых фторидов по сравнению с мощностью газообразных фторидов в выбросах БрАЗа.

4. В Братске в отдельных суточных пробах осадков в виде дождя наибольшие концентрации фтора регистрируются при СЗ ветре, в суточных осадках в виде снега — при СЗ и ЮЗ ветре.

Часть результатов получена при финансировании ФЦП (уникальный идентификатор ПНИЭР RFMEFI57715X0190) и госзадания № 127 Министерства науки и образования.

Литература

1. Шалина Т.И., Васильева Л.С. Влияние соединений фтора на морфогенез бедренных костей плодов человека // Сиб. мед. журн. 2009. № 1. С. 42-45.
2. Kierdorf U, Kierdorf H. Temporal variation of fluoride concentration in antlers of roe deer (*Capreolus capreolus*) living in an area exposed to emissions from iron and steel industry, 1948—2000 гг. // Chemosphere. 2003. Vol. 52, №. 10. P. 1677-1681.

3. Final report . Aluminium fluoride. Summary risk assessment report (environment) report, 2008. Final report, 2008. The Netherlands. Final approved version. European Communities, [ECB: year of publication]. URL. <http://www.each.europa.eu> (дата обращения: 14.10. 2014).
4. Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry. Data for the year 2010. Life Cycle Inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe. URL: <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2011/10/Environmental-Profile-Report-for-the-European-Aluminium-Industry-April-2013.pdf> (дата обращения: 1.02.2016).
5. Крапивенцева В.В. Металлоносность углей Приамурья // Тихоокеанская геология. 2005. Т. 24, № 1. С. 73-84.
6. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 183 с.
7. Давыдова Н.Д. Биоиндикация реакции геосистем на атмосферное загрязнение фторидами // Экология и биология почв: проблемы диагностики и индикации: материалы междунар. науч. конф. Ростов на Дону, 19-21 апр. 2006 г. Ростов н/Д.: Ростиздат, 2006. С. 129-133.
8. Киселев В.Я., Мясников А.А., Малевич Л.В., Юшков Н.Н. Геоэкологические исследования техногенного загрязнения атмосферы и почв города Братска // Инженерная экология. 2008. № 4. С. 51-61.
9. Сараев В.Г., Белозерцева И.А. Фтор в геосистемах вблизи ИРКАЗА // Современные проблемы экологии, природопользования и ресурсосбережения Прибайкалья. Иркутск, 1998. С. 81-82.
10. Белозерцева И.А. Особенности элементного химического состава снежного покрова и почв в зоне влияния Иркутского алюминиевого завода // Геохимия. 2003. № 6. С. 681-685.
11. Онищук Н.А., Ходжер Т.В., Оболкина В.А. Химический состав снежного покрова в городах юга Иркутской области // Материалы VI Международной научной конференции «Экологические и гидометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон». Иркутск, 2012. С. 142-143.
12. Головных Н.В., Бычинский В.А., Филимонова П.М., Глазунов О.М. Геоэкологические исследования загрязненности почв в зоне действия алюминиевого завода // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2014. № 3. С. 224-232.
13. Состояние загрязнения почв Иркутской области токсикантами промышленного происхождения в 2000 г.: ежегодник / ФС Рос. Федерации по гидрометеорологии и мониторингу окр. среды; Иркут. тер. упр-е по гидрометеорологии и мониторингу окр. среды; Иркут. тер. центр по мониторингу загрязнения окр. среды. Иркутск, 2001. 70 с.
14. Климат Братска [Электронный ресурс] / под ред. Ц.А. Швер, В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеоздат, 1985. 168 с. URL:<http://www.mineral.ru/News/53556.html>. (дата обращения: 1.02.2016)
16. Гребенщикова В.И., Лустенберг Э.Е., Китаев Н.А., Ломоносов И.С. Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический регион). Новосибирск: Гео, 2008. 234 с.
17. Терентьев В.Г., Школьников Р.М., Гринберг И.С. Производство алюминия. Иркутск: Папирус-АРТ, 1998. 350 с.
18. Янченко Н.И., Баранов А.Н. Технологическо-геоэкологические аспекты распределения фтора при получении алюминия в Байкальском регионе // Проблемы региональной экологии. 2012. № 2. С. 51-55.
19. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2013 году: гос. докл. М.: Изд-во Ин-та географии им. В.Б.Сочавы. СО РАН, 2014. 389 с.
20. О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2013 году: гос. докл. Иркутск: Сиб. филиал ФГУНПП и Росгеолфонд, 2014. 462 с.
21. Тепловой расчет котлов. Нормативный метод. СПб.: ЦКТИ – ВТК, 1998. 259 с.
22. Янченко Н.И., Баранов А.Н., Баяндин В.В. Абсорбция фтористого водорода поверхностью водохранилищ в зоне влияния выбросов алюминиевых заводов // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24, № 2. С. 145-148.
23. Feng, Y.W., Ogura, N., Feng, Z.W., Zhang, F.Z., Shimizu H. The concentrations and sources of fluoride in Atmospheric depositions in Beijing, China // Water, Air, and Soil Pollution. 2003. Vol. 145. P. 95–107.

References

1. Shalina T.I., Vasil'eva L.S. The influence of fluoride on the femoral bones morphogenesis of the human fetus // Sib. med. zhurn. Irkutsk, 2009. № 1. P. 42-45.
2. Kierdorf U, Kierdorf H . Temporal variation of fluoride concentration in antlers of roe deer (*Capreolus capreolus*) living in an area exposed to emissions from iron and steel industry, 1948-2000 gg. // Chemosphere. 2003. Vol. 52, №. 10. P. 1677-1681.
3. Final report. Aluminium fluoride. Summary risk assessment report (environment) report, 2008. Final report, 2008. The Netherlands. Final approved version. European Communities, [ECB: year of publication]. URL. <http://www.each.europa.eu> (data obrashcheniya: 14.10. 2014).
4. Environmental Profile Report for the European Aluminium Industry. Data for the year 2010. Life Cycle Inventory data for aluminium production and transformation processes in Europe. URL: <http://www.alueurope.eu/wp-content/uploads/2011/10/Environmental-Profile-Report-for-the-European-Aluminium-Industry-April-2013.pdf> (data obrashcheniya: 1.02.2016).
5. Krapiventseva V.V. Metal content of coals in Priamurye // Russian Journal of Pacific Geology. 2005. Т. 24, № 1. P. 73-84.
6. Vasilenko V.N., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring of snow cover pollution. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 183 p.
7. Davydova N.D. Bioindication of ecosystem response to atmospheric pollution by fluorides // Ekologiya i biologiya pochv: problemy diagnostiki i indikatsii: materialy mezhdunar. nauch. konf. Rostov na Donu, 19-21 apr. 2006 g. Rostov n/D.: Rostizdat, 2006. P. 129-133.
8. Kiselev V.Ya., Myasnikov A.A., Malevich L.V., Yushkov N.N. Geoenvironmental investigations of technogenic pollution of the atmosphere and soil of Bratsk // Engineering Ecology. 2008. № 4. P. 51-61.
9. Saraev V.G., Belozertseva I.A. Fluoride in the ecosystems of near IrkAZ // Sovremennye problemy ekologii, prirodnopol'zovaniya i resursosberezheniya Pribaikal'ya. Irkutsk, 1998. P. 81-82.
10. Belozertseva I.A. Chemical element composition of the snow cover in the influence zone of the Irkutsk Aluminum Production Plant // Geokhimiya. 2003. № 6. P. 681-685.
11. Onishchuk N.A., Khodzher T.V., Obolkina V.A. The chemical composition of snow cover in the cities of Irkutsk south region // Materialy VI Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Ekologicheskie i gidrometeorologicheskie problemy bol'shikh gorodov i promyshlennykh zon». Irkutsk, 2012. P. 142-143.
12. Golovnykh N.V., Bychinskii V.A., Filimonova P.M., Glazunov O.M. Geoecological studies of soil contamination in the area of aluminum plant // Geoekologiya. 2014. № 3. P. 224-232.

13. State of pollution of soils of the Irkutsk region by toksikants of an industrial origin in 2000: ezhegodnik / FS Ros. Federatsii po gidrometeorologii i monitoringu okr. sredy; Irkut. ter. upr-e po gidrometeorologii i monitoringu okr. Sredy; Irkut. ter. tsentr po monitoringu zagryazneniya okr. sredy. Irkutsk, 2001. 70 p.
14. Klimat Bratska [Elektronnyi resurs] / pod red. Ts.A. Shver, V.N. Babichenko. L.: Gidrometeoizdat, 1985. 168 p. URL:<http://www.mineral.ru/News/53556.html>. (data obrashcheniya: 1.02.2016).
16. Grebenshchikova V.I., Lustenberg E.E., Kitaev N.A., Lomonosov I.S. Environmental Geochemistry of the Baikal region (Baikal ecological region). Novosibirsk: Geo, 2008. 234 p.
17. Terent'ev V.G., Shkol'nikov R.M., Grinberg I.S. Production of aluminum. Irkutsk: Papirus-ART, 1998. 350 p.
18. Yanchenko N.I., Baranov A.N. Technological and geo-ecological aspects of the distribution of fluoride when receiving aluminum in Baikal region // Regional Environmental Issues. 2012. № 2. P. 51-55.
19. On the state and environment protection of the Irkutsk region in 2013: gos. dokl. M.: Izd-vo In-ta geografii im. V.B.Sochavy. SO RAN, 2014. 389 p.
20. About Lake Baikal status and measures for its protection in 2013: gos. dokl. Irkutsk: Sib. filial FGUNPP i Rosgeolfond, 2014. 462 p.
21. Teplovoj raschet kotlov. Normativnyj metod. Izd-e pererabotannoe i dopolnennoe. SPb.: CKTI – VTK, 1998. 259 s.
22. Yanchenko N.I., Baranov A.N., Bayandin V.V. Fluoric hydrogen absorption by a water basin surface within the zone of aluminium plant emissions // Atmospheric and Oceanic Optics. 2011. T. 24, № 2. P. 145-148.
23. Feng, Y.W., Ogura, N., Feng, Z.W., Zhang, F.Z., Shimizu H. The concentrations and sources of fluoride in Atmospheric depositions in Beijing, Shina // Water, Air, and Soil Pollution. 2003. Vol. 145. P. 95-107.