

УДК 551.57; 556.12

Закономерности изменения содержания фтора в атмосферных осадках в районе города Братска

Н.И. Янченко¹, О.Л. Яскина², С.А. Янюшкин^{3*}

¹Иркутский государственный технический университет
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

²Братский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
664002, г. Братск, ул. Набережная, 74

³Братский государственный университет
664009, г. Братск, ул. Макаренко, 40

Поступила в редакцию 17.04.2013 г.

Получены данные о концентрации фтора в атмосферных осадках дождя и снега в районе выбросов алюминиевого завода. Установлены динамика изменения концентрации фтора в осадках в течение года и закономерность изменения в зависимости от температуры приземного слоя воздуха и интенсивности осадков.

Ключевые слова: фтор, выбросы, атмосферные осадки, температура, интенсивность осадков; fluorine, emissions, atmospheric precipitations, temperature, precipitation intensity.

Введение

Технология производства первичного алюминия электролитическим способом представляет собой сложные химические процессы, при этом расходуется 30–50 кг фтористых солей на 1 т алюминия [1]. В настоящее время в Байкальском регионе расположены крупнейшие в мире Братский и Иркутский алюминиевые заводы (г. Шелехов). Строятся Тайшетский (г. Тайшет) и Богучанский алюминиевые заводы (п. Богучаны Красноярского края). По нашим оценкам, при расходе фтора в производстве алюминия только в количестве 25 кг/т [1] «приход» фтора в Байкальский регион, например в 2007 г., составил 34 тыс. т. В атмосферу городов Братска и Шелехова БрАЗом и ИркАЗом было выброшено 5,37 тыс. т твердых и газообразных фторидов [2], это 15,7% от ежегодного поступления техногенного фтора на завод. Анализ информации о количестве произведенного алюминия на БрАЗе в 2005–2010 гг. (~ 900 тыс. – 1 млн т) и данных Братского центра по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (БЦГМС) о состоянии воздуха позволил установить, что рост производства алюминия сопровождался увеличением загрязнения атмосферы HF (в пересчете фтора на HF) в среднем по городу в интервале от 0,003 до 0,075 мг/м³ [2, 3]. Среднесуточная ПДК и максимальная разовая ПДК (мг/м³) его летучих соединений (SiF₄ и HF) [4] – 0,005 и 0,02.

Выделяющиеся из электролизеров твердые и газообразные фтористые соединения поступают в газо-

очистку («организованные» выбросы), а в воздух электролизных корпусов – «неорганизованные» выбросы, которые через «фонарь» уходят в атмосферный воздух населенных мест и распространяются далее. Таким образом, происходит загрязнение атмосферы и сопряженных сред выбросами соединений фтора и других вредных веществ.

Загрязнение атмосферного воздуха в Братске обусловлено несовершенством технологий и ошибкой при планировании размещения основной промышленной площадки (алюминиевый завод, завод ферросплавов, целлюлозно-бумажный комбинат) и городских поселков, связанной с тем, что не учтен основной перенос воздушных масс. Практически постоянно техногенные выбросы направлены на населенные пункты. Если бы поменяли местами промышленную площадку и городские поселки, то выбросы «уходили» бы в сторону тайги – на восток и северо-восток. Но в настоящее время экологической проблемой является не только загрязнение воздуха, но и изменение химического состава атмосферных выпадений (дождь, снег, аэрозоли) и сопряженных сред (снежный покров, почва, гидросфера и др.) под влиянием техногенных выбросов фторидов и, как следствие, снижение качества жизни в зоне влияния выбросов.

Цель данной работы – установление тенденций и закономерностей распределения техногенного фтора в осадках дождя и снега в районе влияния выбросов Братского алюминиевого завода.

Объект и методы исследования

Известно, что химический состав осадков является одним из показателей экологического состояния объектов окружающей среды [5], в связи

* Наталья Ивановна Янченко (fduescn@bk.ru); Ольга Леонидовна Яскина (olgyaskina@yandex.ru); Сергей Александрович Янюшкин (yanyushkin@brstu.ru).

с этим в качестве объекта исследования выбраны твердые и жидкие атмосферные осадки в зоне выбросов промышленных предприятий Братска. Братский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды проводит постоянный отбор проб атмосферных осадков на расстоянии 26–27 км от БрАЗа в соответствии с руководящими документами Росгидромета [6]. Однако в этих «суточных» пробах БЦГМС осуществляет только оперативный химический контроль рН, без измерения фтора. Материалом для настоящей статьи послужили отобранные «суточные» пробы, в которых мы измерили содержание фтора. Для изучения концентрации фтора в осадках дождя и снега применяли фотометрический метод анализа с ализаринкомплексом. Анализ проводили в аккредитованной лаборатории Братска. Отмечена хорошая сходимость результатов по определению фтора, полученных в этой лаборатории, с результатами, полученными для тех же проб, но по другой фотометрической методике, выполненной в аккредитованной лаборатории Иркутска [7]. Известно, что данные по макросоставу месячной пробы атмосферных осадков, отобранных в Братске, публикуются в «Ежегодных данных по химическому составу осадков...», но без указания содержания ионов фтора [8].

Результаты и обсуждение

На основании анализа фтора в суточных пробах в течение месяца мы выполнили расчет средневзвешенной концентрации ионов фтора ($C_{св}^F$) в пробах осадков снега и дождя. Установлено, что наибольший процент проб 15–33% приходится на концентрацию фтора в интервале 0,25–0,30 мг/л (рис. 1).

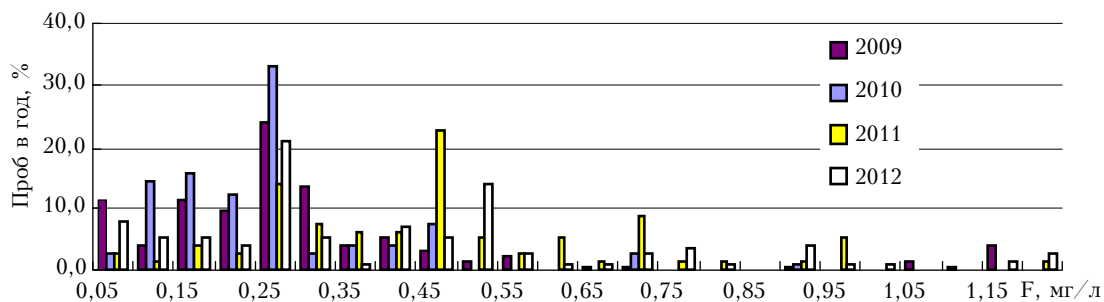


Рис. 1. Количество осадков дождя и снега (%), содержащих фтор (г. Братск)

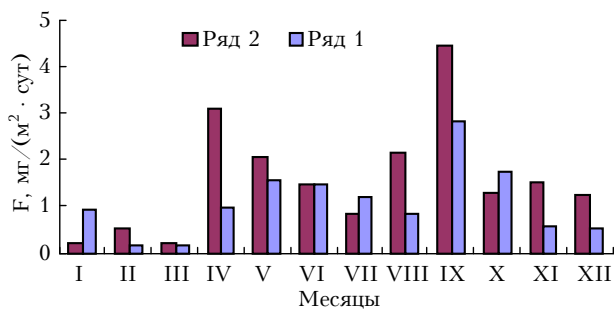


Рис. 2. Динамика интенсивности поступления фтора с осадками дождя и снега на подстилающую поверхность, мг/(м²·сут). Ряд 1 — 2012 г., ряд 2 — 2011 г.

Известно, что содержание фтора в мокрых осадках в городах: Токио — 1,7–1,9 мкг·экв/л; Льюис (США) — 0,3 мкг·экв/л; Шарлоттсвилль (США) — 0,6 мкг·экв/л; Лючжоу (Китай) — 64 мкг·экв/л [9]. В среднем в городах мира по 5 мкг·экв/л. В атмосферных осадках г. Шелехова содержание фтора в дожде равно 19%-экв [10].

Выполнен расчет интенсивности поступления фтора [мг/(м²·сут)] с осадками дождя и снега на подстилающую поверхность (рис. 2).

Определено, что интенсивность поступления фтора с осадками дождя и снега находится в интервале 0,2–4,4 мг/(м²·сут) в отдельные месяцы 2011, 2012 гг. (см. рис. 2). Нами не установлена сезонная закономерность изменения концентрации фтора в осадках дождя и снега, так как в Братске находится постоянный мощный источник выбросов фторидов — алюминиевый завод, имеющий непрерывный технологический цикл. Но известна сезонная и месячная изменчивость концентрации основных ионов в атмосферных осадках Иркутска, пос. Монды, пос. Листвянка, обусловленная влиянием автотранспорта, лесными пожарами, работой предприятий теплоэнергетики и т.д. [11]. В Братске интенсивность поступления фтора с осадками дождя и снега на подстилающую поверхность может быть обусловлена следующими факторами: особенностями технологических режимов производства алюминия и сжигания углеводородного топлива (угля), содержанием соединений фтора в атмосферном воздухе, скоростью и направлением ветра в приземном слое и на высотах, интенсивностью осадков, температурой воздуха и другими факторами, поэтому по рис. 2 пока нельзя однозначно судить, какой фактор наиболее значимый в тот или иной временной период.

Проведено ориентировочное сравнение оценки поступления фтора с осадками дождя и снега с данными планшетных измерений, так как методика планшетных измерений включает оценку всех путей поступления фтора из атмосферы (воздух, атмосферная влага, атмосферные осадки и т.д.) на планшет (дистиллированную воду). По данным планшетных измерений, выполненных БЦГМС, в 2003 г. плотность выпадения фтористых соединений [кг/(км²·мес)] в мае — 4,3; в июне — 2,0; в июле — 7,8; в августе — 2,6 [12]; в 2008 г. в мае — 11,86; в июне — 6,52; в июле — 15,3; в августе — 4,99 [13]. Известно, что влажное осаждение фтора в Пекине находится в интервале 30–1700 мкг/(м²·сут). Наибольшие

выпадения фтора отмечены в январе 1998 г.; как указывают авторы, это связано с использованием угля для отопления [9].

На основании наблюдений 2009–2012 гг. установлено, что средневзвешенная месячная концентрация фтора в осадках дождя уменьшается при увеличении количества осадков в месяц (рис. 3), вероятно за счет разведения, так как чем больше объем, тем меньше концентрация. Здесь учтено суммарное количество осадков дождя, выпавшего в день выполнения измерений фтора в пробах. В некоторые дни не выполнялся анализ на фтор, так как было недостаточно объема пробы. Известно, что измерение интенсивности осадков является одной из наиболее сложных характеристик для определения и адекватного учета количества осадков в прикладных исследованиях (см. [14]). В [9] указано, что концентрация фтора увеличивается при уменьшении температуры и уменьшается с увеличением частоты дождей и количества осадков.

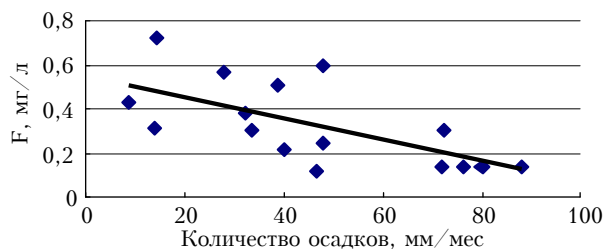


Рис. 3. Изменение концентрации фтора в осадках дождя в зависимости от количества осадков в мае–августе 2009–2012 гг. (г. Братск)

Нами также рассмотрено влияние другого фактора — температуры, но с учетом количества осадков в сутки. На рис. 4, а показано, что при уменьшении температуры приземного слоя (с учетом количества осадков) происходит увеличение содержания фтора в атмосферных осадках (АО) дождя. При построении этой зависимости мы учли и количество осадков в сутки (или интенсивность осадков, мм/сут). Увеличение содержания фтора при снижении температуры воздуха может свидетельствовать о растворении газовых соединений фтора, содержащихся в атмосферном воздухе, так как известно, что при понижении температуры растворимость газов увеличивается.

Для осадков снега (рис. 4, б) отмечена низкая связь между уменьшением содержания фтора в осадках и температурой приземного слоя воздуха, возможно потому, что в подоблачном слое уже преобладают процессы адсорбции, а основные процессы растворения газообразных водорастворимых фторидов в атмосферной влаге происходят в надоблачном слое. В работе [5] указано, что самоочищение атмосферы осадками до разных уровней происходит за год примерно 40 раз. При полной смене влагосодержания на земле за 8–10 дней облака и осадки вбирают в себя многие вещества, содержащиеся в атмосфере в виде газов и аэрозолей [5]. Таким образом в Братске происходит самоочищение атмосферы осадками от соединений фтора.

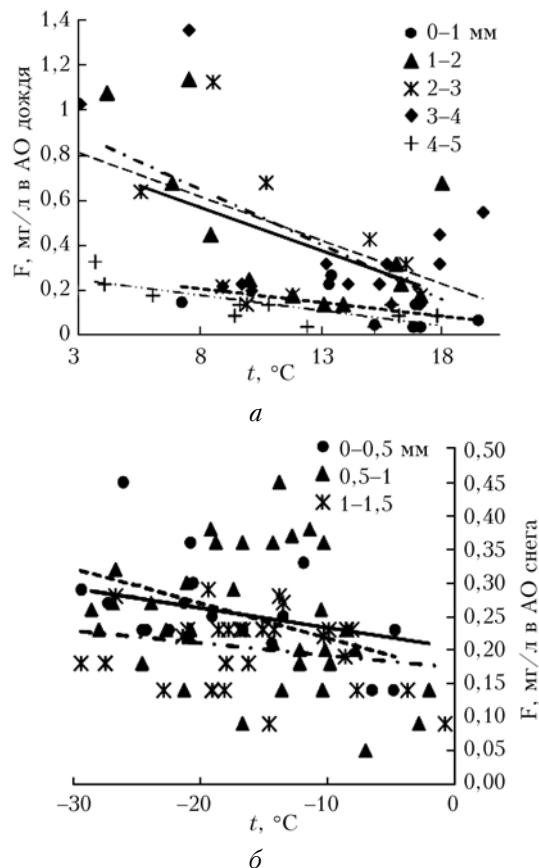


Рис. 4. Зависимость концентрации фтора в осадках дождя (а) и снега (б) от температуры воздуха с учетом разных интервалов интенсивности осадков от 0–1 до 4–5 мм/сут в 2009–2010 гг. (г. Братск)

Заключение

Впервые выполнен сбор системных данных о содержании ионов фтора в суточных осадках дождя и снега в районе влияния выбросов промышленной площадки Братска. На основании постоянных наблюдений в 2009–2012 гг. установлено, что наибольший процент проб (15–33%) приходится на концентрацию фтора в интервале 0,25–0,30 мг/л. Определено, что интенсивность поступления фтора с осадками дождя и снега находится в интервале 0,2–4,4 мг/(м²·сут), а концентрация фтора в осадках дождя увеличивается при уменьшении температуры приземного слоя воздуха и уменьшается с увеличением интенсивности осадков.

Работа выполнена в соответствии с проектами АВЦП 2.1.1/6468, 2.1.1/10862, государственным заданием 5.1678/2011 Министерства образования и науки РФ.

1. Производство алюминия / В.Г. Терентьев, А.В. Сысоев, И.С. Гринберг, А.Е. Черных, Б.И. Зельберг, В.И. Чалых. М.: Металлургия, 1997. 150 с.
2. Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Иркутского УГМС в 2007 г.: ежегодники / ФС РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутское территориаль-

- ное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды. Иркутск, 2008. 101 с.
3. *Состояние* загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Иркутского УГМС в 2000–2005 гг.: ежегодники 2000–2005 гг. / ФС РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды. Иркутск, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006 гг.
 4. *Пределные* допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [Электронный ресурс]: ГН 2.1.6. 1338-03: утв. главн. сан. врач РФ 31.05.03. Введ. 25.06.03. URL: <http://portal-ot-saratov.ru/page.php?166>
 5. *Качественная* оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков) / П.Ф. Свистов, А.И. Полищук, Н.А. Першина // Тр. ГГО. Спец. выпуск № 2. СПб., 2010. 17 с.
 6. *РД 52.04.186–89*. Руководство по контролю загрязнения атмосферы: утверж. 16.05.89 г. Гл. сан. врач СССР; нач. действ. 01.07.91. М.: Госкомгидромет Минздрав. СССР, 1991. 693 с.
 7. *Руководство* по химическому анализу поверхностных вод суши / Под ред. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометиздат, 1997. С. 43–146.
 8. *Ежегодные* данные по химическому составу атмосферных осадков за 2001–2005 гг. (обзор данных). Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Росгидромет. Государственное учреждение «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» / П.Ф. Свистов, Н.А. Першина, А.И. Полищук. М.: Метеоагентство Госгидромет, 2010. 128 с.
 9. *The concentrations* and sources of fluoride in atmospheric depositions in Beijing, China / Y.W. Feng, N. Ogura, Z.W. Feng, F.Z. Zhang, H. Shimizu. Water, Air, and Soil Pollution. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. 2003. V. 145. P. 95–107.
 10. *О состоянии* и об охране окружающей среды Иркутской области в 2003 г.: гос. доклад. Иркутск: Облмашинформ, 2004. 29 с.
 11. *Нецветаева О.Г., Онищук Е.А., Зимник Е.А., Сезько Н.П., Доля-Липина И.Н., Ходжер Т.В.* Динамика химического состава атмосферных осадков в Байкальском регионе // Оптика атмосф. и океана. 2012. Т. 25, № 6. С. 507–512.
 12. *Состояние* загрязнения почв Иркутской области токсикантами промышленного происхождения в 2003 г.: ежегодники / ФС РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды. Иркутск, 2004. 70 с.
 13. *Состояние* загрязнения почв Иркутской области токсикантами промышленного происхождения в 2008 г.: ежегодники / ФС РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутское территориальное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Иркутский территориальный центр по мониторингу загрязнения окружающей среды. Иркутск, 2009. 70 с.
 14. *Иванова Е.В.* Специализированные характеристики интенсивности осадков для прикладных целей: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.30. СПб., 2011. 22 с.

N.I. Yanchenko, O.L. Yaskina, S.A. Yanyushkin. Regularities of alteration of fluorine concentrations in atmospheric precipitations in the vicinity of Bratsk town.

Data on concentration of fluorine in an atmospheric precipitation of a rain and snow around emissions of aluminum plant are obtained. The dynamics of the concentration change of fluorine in the precipitation within a year, the regularity of change depending on temperature of a ground layer of air and intensity of the precipitation is established.