

Экспериментальные исследования и численное моделирование процессов распространения фтора в регионе г. Братск

Н.И. Янченко¹, В.Л. Макухин², А.Н. Баранов^{3*}

¹ГОУ ВПО «БрГУ»

г. Братск, ул. Макаренко, 40

²Лимнологический институт СО РАН

г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

³Иркутский государственный технический университет

г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Поступила в редакцию 3.12.2007 г.

Проведены расчеты полей концентраций фторидов в районе БрАЗа с помощью математической модели. Проанализированы результаты сравнения данных измерений и модельных расчетов. Выполнены оценки интенсивности осаждения фтора на подстилающую поверхность Братского района.

Ключевые слова: концентрация фторидов, алюминий, Братск, распространение, осаждение, математическое моделирование.

Алюминиевый завод в Братске работает с 1966 г. и применяет технологию с самообжигающимися анодами (технология Содерберга) и системой «мокрой» газоочистки. В составе отходящих газов присутствуют полиароматические углеводороды, перфторуглероды, CO₂, SO₂, HF, SiF₄, твердые фториды (криолит, фторид кальция, фторид алюминия) и другие соединения. Основная часть фтора улавливается в системе «мокрой» газоочистки и возвращается в процесс в виде вторичного криолита, другая часть фтора поступает в окружающую среду [1].

Современные технологии применяют обожженные аноды и систему «сухой газоочистки» для снижения выбросов. За рубежом рекомендуемая мощность завода 200–300 тыс. т в год [2]. В 2005 г. выпуск алюминия на БрАЗе составил примерно 975 тыс. т.

Избыток фтора в организме человека вызывает костное заболевание флюороз, недостаток фтора — кариес. В работе [3] установлено, что уровень заболеваемости болезнями костно-мышечной системы у населения Братска на 43,8% выше, чем среди населения Иркутской области. Опасны биологически активные подвижные формы фтора, способные включаться в звенья трофической цепи, накапливаться в растениях [4]. В связи с этим исследования пространственно-временных изменений концентраций газообразных фторидов (в пересчете на фтор) и оценка величины его осаждения на подстилающую поверхность являются актуальными.

Братск находится в южной части Среднесибирского плоскогорья, состоит из отдельных жилых массивов, расположенных по правому и левому берегам Братского водохранилища (рис. 1).



Рис. 1. Расположение городских поселков Братска и ближайших населенных пунктов

Климат резко континентальный, устойчивый снежный покров сохраняется с октября по март, продолжительность залегания 150–180 дней [5]. Рельеф в районе крупнохолмистый, с перепадами высот в пределах от 400 до 670 м. Южнее и юго-восточнее завода расположен Долгий хребет. Преобладающие направления ветра — западное и юго-западное, со скоростью 1–5 м/с. Таким образом, большее число дней в году выбросы распространяются в сторону жилых районов.

Исследование переноса атмосферного аэрозоля различных фракций над Братском и вычисление функции опасности загрязнения города были выполнены ранее в [6]. В данной статье представлены

* Наталья Ивановна Янченко (fduescn@bk.ru); Владимир Леонидович Макухин (aerosol@lin.irk.ru); Анатолий Никитич Баранов (a_baranow@mail.ru).

результаты исследования процессов распространения и осаждения фторидов, выбрасываемых Братским алюминиевым заводом, с использованием данных измерений [7, 8] и расчетов по математической модели [9]. Сведения о концентрациях фтористого водорода в атмосферном воздухе и данные о направлении и скорости ветра были взяты из [5, 7].

Для моделирования распространения выбросов фторидов использовалась численная модель распространения и трансформации примесей. Была выбрана область площадью $60 \times 40 \text{ км}^2$ и высотой 2400 м над поверхностью Братского водохранилища. Расчеты проводились при следующих значениях параметров. Шаги по времени и горизонтали составляли 5 мин и 2 км соответственно; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 400 м от поверхности водохранилища он равнялся 50 м, до высоты 600 м – 100 м, далее 300, 500 и 1000 м.

Первая серия численных экспериментов проводилась для исследования влияния скорости и направления ветра на распространение фторидов в исследуемом районе. Мощность выбросов фтора определена на основании методики расчета материального баланса. Получено, что Долгий хребет, расположенный к югу и юго-востоку от источника, оказывает влияние на рассеивание выбросов фторидов. При северном ветре на одном и том же удалении от источника значение концентрации фторидов по потоку меньше, чем в случаях восточного и запад-северо-западного ветра. Отметим, что ветровые потоки северного и восточного направлений чаще наблюдаются в осенне-летний период.

На рис. 2 представлены изолинии рассчитанных усредненных приземных концентраций фтористого водорода в исследуемом районе.

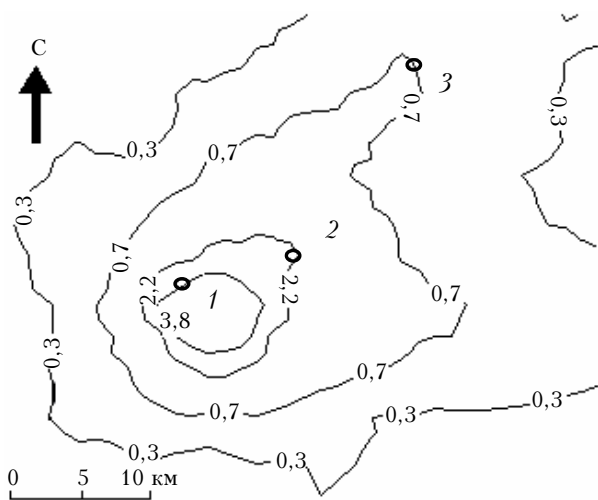


Рис. 2. Изолинии рассчитанных усредненных приземных значений концентраций фтористого водорода в районе г. Братск, $\text{мкг}/\text{м}^3$: 1 – пос. Чекановский; 2 – Телецентр; 3 – Падун

Учитывалось изменение направления ветра по 16 градациям. Для подтверждения достоверности результатов численного моделирования проведено сравнение рассчитанных значений концентраций фто-

ристого водорода с данными БЦГМС об усредненных за 2002 г. концентрациях HF в атмосферном воздухе различных районов города Братска (табл. 1).

Таблица 1
Сравнение экспериментальных и расчетных значений концентраций фтора в атмосферном воздухе

Номер пункта отбора пробы	Значения концентрации фтора, $\text{мкг}/\text{м}^3$	
	измеренные	рассчитанные
1	3,8	3,8
2	1,9	2,2
3	0,95	0,7

Сравнение рассчитанных и измеренных на постах БЦГМС значений концентраций фтористого водорода показало их удовлетворительное соответствие.

Вторая серия численных экспериментов проводилась для определения интенсивности осаждения фторидов на подстилающую поверхность Братского района. Оценка скорости осаждения фтора была выполнена с использованием сведений о содержании фтористого водорода в воздухе и данных об интенсивности осаждения водорастворимого фтора на рассматриваемую территорию. Получено, что значение скорости оседания фтора находится в интервале 0,1–0,6 $\text{см}/\text{с}$. При расчетах скорость осаждения фтора была принята 0,2 $\text{см}/\text{с}$. Учитывалась повторяемость различных градаций ветра по направлениям. На рис. 3 приведены изолинии рассчитанных значений интенсивностей осаждения фтора в районе г. Братск в $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$.

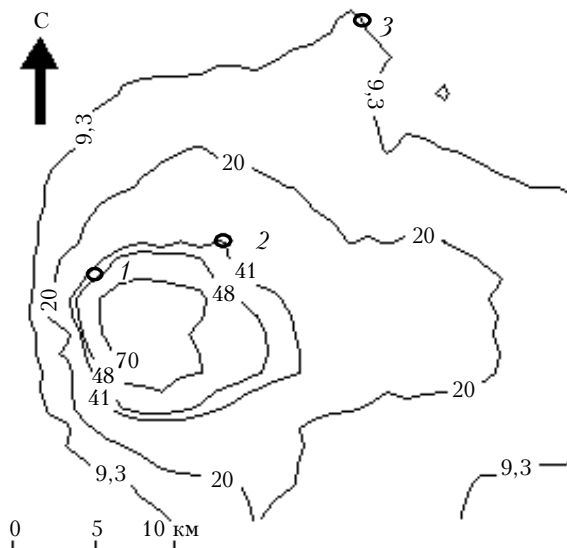


Рис. 3. Изолинии рассчитанных значений интенсивностей осаждения фтора в районе г. Братск, $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$

Интенсивность осаждения фтора, превышающая $40 \text{ кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$, отмечается в районе БрАЗа на площади примерно 125 км^2 , а $70 \text{ кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$ – 35 км^2 .

Для подтверждения достоверности оценки интенсивности осаждения растворимого фтора с помощью модели полученные значения сравнивали со среднегодовыми значениями данных планшетных

наблюдений в период с 2000 по 2005 г. [8] (табл. 2). Сравнение измеренных и расчетных значений в районе БрАЗа показало их удовлетворительное соответствие.

Таблица 2

Сравнение измеренных и расчетных значений интенсивности осаждения растворимого фтора на территорию Братского района в зимний период

Номер пункта отбора пробы	Интенсивность осаждения фтора, кг/(км ² · мес)	
	Данные измерений	Расчет по модели
1	58	48
2	50	41
3	15	9,3

На основе результатов проведенных расчетов и данных измерений выполнены оценки значения массы осевшего в исследуемом районе фтора. Получено, что в районе влияния Братского алюминиевого завода на поверхность площадью 60×40 км² за год оседает примерно 17% выбрасываемого фтора. Приблизительно третья часть этого количества задерживается неровностями рельефа. На гладкую поверхность такой же площади за год осаждалось бы 12% выбрасываемого в атмосферу БрАЗом фтора. Отметим, что по результатам снегохимической съемки в районах Новокузнецкого и Братского алюминиевых заводов на площади радиусом 15 км осаждалось около 15% общего количества фтора, поступившего в атмосферу с выбросами [10].

Таким образом, проведенное исследование расширило имеющиеся представления об условиях распространения и осаждения соединений фтора в регионе г. Братск. Оценены количественные характеристики осаждения фтора на подстилающую поверхность исследуемого района. Сравнение рассчитанных по математической модели и измеренных значений концентраций фтористого водорода в атмосферном воздухе и значений интенсивностей осаждения растворимого фтора показало их удовлетворительное соответствие. Показано, что рельеф местности препятствует переносу выбросов южнее и западнее завода.

N.I. Janchenko, V.L. Makukhin, A.N. Baranov. Experimental study and numerical modeling of fluoride distribution in the Bratsk region.

Fluorine concentration fields in the vicinity of Bratsk Aluminium Plant were calculated with the use of mathematical model. Calculational and modeling results are compared. The intensity of fluorine sink on the underlying surface of the Bratsk region is estimated.

1. Баранов А.Н., Янченко Н.И., Гавриленко Л.В., Гусева Е.А. Новые технологии в производстве алюминия, повышающие безопасность жизнедеятельности в Байкальском регионе // Безопасность жизнедеятельности. 2006. № 1. С. 24–28.
2. Анищиц А.Г., Поляков П.В., Кучеренко А.В., Крюковский В.А., Сафарова Л.А. Экологические проблемы производства алюминия электролизом: Аналитический обзор. Новосибирск: Изд-во ГПНТБ СО АН СССР, 1991. 92 с.
3. Савченков М.Ф., Юшков Н.Н., Горева Е.Л., Муратова Н.М., Макаров О.А., Ведерников В.А. Определение зависимости между загрязнением атмосферного воздуха фтористыми соединениями и содержанием фтора в организме // Охрана окружающей среды в муниципальных образованиях на современном этапе. Братск: БрГУ, 2002. С. 285–290.
4. Михайлова Т.А., Бережная Н.С., Афанасьева Л.В. Воздействие фторсодержащих соединений на состояние хвойных лесов Предбайкалья // Лесоведение. 2005. № 2. С. 38–45.
5. Климат Братска / Под ред. Ц.А. Швер, В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеониздат, 1985. 168 с.
6. Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Лушиников А.А., Загайнов В.А. Мезомасштабная атмосферная циркуляция и перенос коагулирующего аэрозоля над Братском // Оптика атмосф. и океана. 1998. Т. 11. № 5. С. 526–539.
7. Состояние загрязнения атмосферного воздуха городов на территории деятельности Иркутского УГМС в 2002 г. Иркутск: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2003. 190 с.
8. Состояние загрязнения почв Иркутской области токсикантами промышленного происхождения в 2002 г. Иркутск: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2003. 104 с.
9. Arguchintsev V.K., Makukhin V.L. Simulation on the spreading and transformation of sulphur and nitrogen compounds in the atmosphere of the southern region around Lake Baikal // Proc. SPIE. 2000. V. 4341. P. 593–599.
10. Зырин Н.Г., Обухов А.И., Садовникова Л.К., Малахов С.Г., Лоханков Э.П. Импактное загрязнение почв металлами и фторидами. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 162 с.