

# Исследование процессов распространения, трансформации и осаждения соединений фтора и серы в районе г. Братск

В.Л. Макухин<sup>1</sup>, Н.И. Янченко<sup>2</sup>, А.Н. Баранов<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Лимнологический институт СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

<sup>2</sup>Иркутский государственный технический университет  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

Поступила в редакцию 30.12.2009 г.

Дана оценка величин интенсивности осаждения фторидов и сульфатов на подстилающую поверхность региона г. Братска в теплый период года.

*Ключевые слова:* фтор, сульфаты, концентрация, осаждение, Братск, моделирование; fluorine, sulphate, concentration, deposition, Bratsk, simulation.

## Введение

В настоящее время в Байкальском регионе расположены Братский и Иркутский алюминиевые заводы, которые в течение более 40 лет производят свыше 1 млн т алюминия в год. Технология получения алюминия электролитическим способом включает в себя растворение глинозема ( $Al_2O_3$ ) в криолите ( $Na_3AlF_6$ ) при температуре 960 °С [1]. В производстве алюминия расходуются глинозем, фтористые соли (в пересчете на F – 25 кг/т Al), анодная масса (536 кг/т Al с содержанием 0,4–3% серы), кальцинированная и каустическая сода (в пересчете на Na – 20–25 кг/т Al). С 1962 г. на территорию Прибайкалья с сырьем поступило примерно 1,1 млн т фтора, 0,01–0,015 млн т серы и около 1 млн т натрия.

При производстве алюминия происходят значительные выбросы соединений фтора и серы, которые в воздухе распространяются на значительное расстояние от источника. Диоксид серы считается одной из основных действующих составных частей «токсичных туманов» и одним из активных компонентов формирования смога. Сернистый ангидрид может вызывать общее отравление организма, проявляющееся в изменении состава крови, поражении органов дыхания, повышении восприимчивости к инфекционным заболеваниям, нарушение обмена веществ, повышение артериального давления у детей, ларингит, конъюнктивит, ринит, бронхопневмонию, аллергические реакции, острые заболевания верхних дыхательных путей и системы кровообращения.

При кратковременном воздействии диоксида серы возникают: раздражение слизистой оболочки

глаз, слезотечение, затруднение дыхания, тошнота, рвота, головные боли.  $SO_2$  вызывает повышение уровня общей заболеваемости и смертности. Воздействие сернистого ангидрида приводит к повышенной утомляемости, ослаблению мышечной силы, снижению памяти, замедлению реакции, ослаблению функциональной способности сердца, изменению бактерицидности кожи. Диоксид серы может нарушать углеводный и белковый обмен, способствует образованию метгемоглобина, снижению иммунозащитных свойств организма.

Избыток фтора в организме человека вызывает костное заболевание флюороз, недостаток фтора – кариес. Опасны биологически активные подвижные формы фтора, способные включаться в звенья трофической цепи, накапливаться в растениях.

Ранее в работе А.Е. Алояна и др. было выполнено исследование переноса атмосферного аэрозоля различных фракций над Братском и проведено вычисление функции опасности загрязнения города [2]. Н.В. Сириной оценено воздействие предприятий алюминиевой промышленности на атмосферу на примере Шелеховского алюминиевого завода, выделены опасные зоны загрязнения с использованием математических моделей [3].

В работах [4, 5] начаты исследования процессов распространения фтора, выбрасываемого Братским алюминиевым заводом, с использованием математической модели [6]. Проведенное сравнение первых результатов численных расчетов с данными инструментальных измерений показало их удовлетворительное количественное соответствие. В работе [7] дан прогноз воздействия выбросов строящегося Тайшетского алюминиевого завода на окружающую среду.

## Цель и метод исследования

В данной статье рассмотрены процессы распространения, трансформации и осаждения соединений

\* Владимир Леонидович Макухин (aerosol@lin.irk.ru); Наталья Ивановна Янченко (fduccn@istu.edu); Анатолий Никитич Баранов (a\_baranow@mail.ru).

фтора и серы, выбрасываемых Братским алюминиевым заводом (БрАЗ), с использованием численной модели [6]. 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. Интенсивность выбросов фтористого водорода — 2 тыс. т/год, твердых фторидов — 2,2 тыс. т/год,  $\text{SO}_2$  — 2,7 тыс. т/год [8]. Скорость осаждения фторидов принималась равной 0,3 см/с, сульфатов — 0,4 см/с. Начальная концентрация молекулярного азота  $\text{N}_2$  —  $0,93 \text{ кг/м}^3$ , молекулярного кислорода  $\text{O}_2$  —  $0,297 \text{ кг/м}^3$ , водяного пара  $\text{H}_2\text{O}$  —  $2,23 \cdot 10^{-4} \text{ кг/м}^3$ , молекулярного водорода  $\text{H}_2$  —  $10^{-7} \text{ кг/м}^3$ , озона  $\text{O}_3$  —  $6 \cdot 10^{-8} \text{ кг/м}^3$ , перекиси водорода  $\text{H}_2\text{O}_2$  —  $10^{-9} \text{ кг/м}^3$ . Блок химических реакций, учитывавшихся при численных экспериментах, представлен в [6]. Сведения о направлении и скорости ветра были взяты из [9].

По данным Братской зональной гидрометеорологической обсерватории, в зимние месяцы преобладают ветры западного направления, часто наблюдается штиль, скорость ветра, как правило, не превышает 5 м/с, что связано с антициклоническим характером погоды. Весной увеличивается повторяемость южных и юго-западных ветров при сохранении преобладающего западного ветра. Летом при преобладающем западном направлении повторяемость остальных направлений ветра почти равномерна и только восточный ветер отмечается редко; скорость ветра всех направлений невелика (1–5 м/с). Осенью повторяемость западных ветров снова увеличивается по сравнению с летним периодом [9].

### Анализ результатов расчетов

С помощью описанной численной модели были проведены расчеты в выбранной области исследования при различных направлениях и скоростях ветра. На рис. 1 представлены распределения рассчитанных приземных концентраций фтористого водорода и диоксида серы в долях ПДК<sub>с.с</sub> при часто повторяющемся в районе Братска юго-западном потоке, способствующем переносу примеси в сторону города. ПДК<sub>с.с</sub> фтористого водорода равна  $0,005 \text{ мг/м}^3$ , ПДК<sub>с.с</sub> диоксида серы составляет  $0,05 \text{ мг/м}^3$ .

Концентрации НФ, превышающие ПДК<sub>с.с</sub>, отмечены на расстоянии до 15 км от БрАЗа при скорости ветра 1 м/с (рис. 1, а) и до 7 км — при скорости 4 м/с (рис. 1, б). На расстоянии до 3 км от завода при скорости потока 1 м/с наблюдается превышение ПДК<sub>с.с</sub> диоксида серы (рис. 1, в). Расчеты показывают, что при небольших скоростях ветра превышение ПДК<sub>с.с</sub> фтористого водорода отмечается над центральным районом г. Братска, расположенным в 8–9 км северо-восточнее Братского алюминиевого завода.

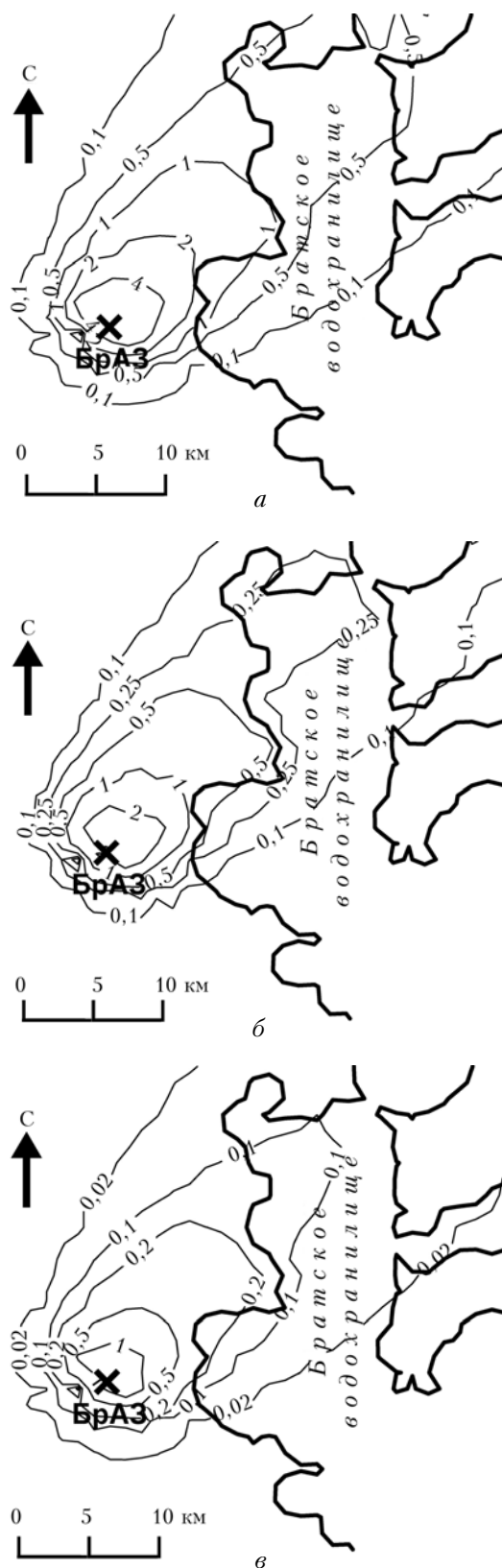


Рис. 1. Изолинии рассчитанных значений концентраций в долях ПДК<sub>с.с</sub> загрязняющих веществ в районе г. Братска при юго-западном ветре: а — фтористого водорода, скорость ветра 1 м/с; б — фтористого водорода, скорость ветра 4 м/с; в — диоксида серы, скорость ветра 1 м/с

С использованием рассчитанных полей концентраций соединений фтора и серы выполнены оценки их плотности массового расхода на подстилающей поверхности рассматриваемого региона. На рис. 2 и 3 приведены изолинии рассчитанных усредненных значений интенсивностей осаждения фторидов и сульфатов в районе г. Братска в теплый период года в  $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$ .

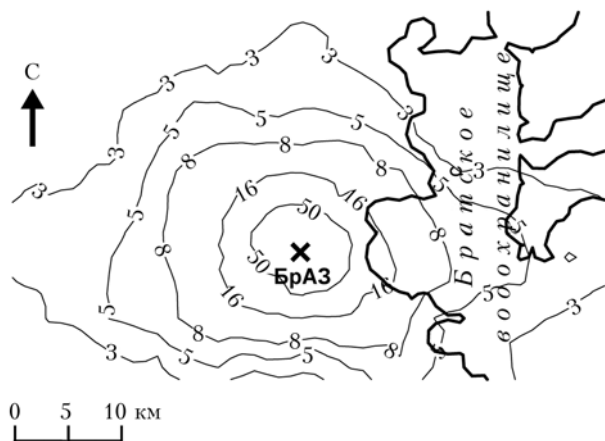


Рис. 2. Изолинии рассчитанных значений интенсивностей осаждения фторидов в районе г. Братска в теплый период года,  $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$

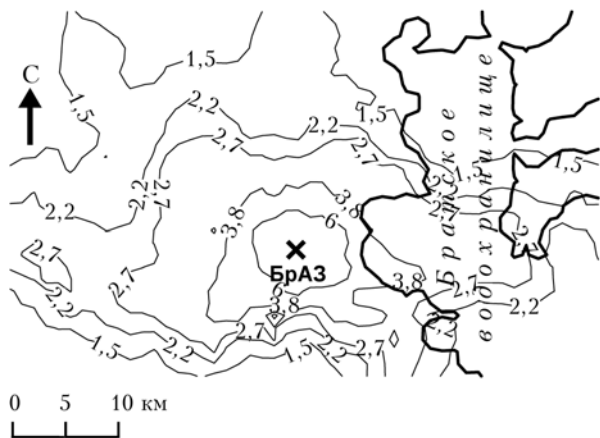


Рис. 3. Изолинии рассчитанных значений интенсивностей осаждения сульфатов в районе г. Братска в теплый период года,  $\text{кг}/(\text{км}^2 \cdot \text{мес})$

В этот период преобладают ветры западного, северо-западного и восточного направлений, поэтому изолинии интенсивности осаждения фторидов и сульфатов вытянуты с запада на восток. Полученные значения по порядку величины хорошо согласуются с экспериментальными оценками интенсивности осаждения фторидов и сульфатов в районе Братского алюминиевого завода [10].

На основе результатов проведенных расчетов выполнены оценки значений массы осевших в исследуемом районе фтора и сульфатов. Получено, что в районе влияния Братского алюминиевого за-

вода на поверхность площадью  $60 \times 40 \text{ км}^2$  в июле оседает примерно 16% выбрасываемого фтора, в октябре — 18%. На поверхность Братского водохранилища площадью  $350 \text{ км}^2$  в августе оседает примерно 1% всего выбрасываемого Братским алюминиевым заводом фтора, в октябре — 2%. Получено также, что за год в районе влияния Братского алюминиевого завода на поверхность площадью  $60 \times 40 \text{ км}^2$  осело 580 т сульфатов. На поверхность Братского водохранилища площадью  $350 \text{ км}^2$  осело 8,5 т сульфатов.

## Заключение

Таким образом, исследования показали, что при небольших скоростях ветра превышение ПДК<sub>с.с</sub> фтористого водорода отмечено на расстоянии до 15 км от Братского алюминиевого завода. При юго-западном ветре над центральным районом г. Братска концентрации HF превышали 2 ПДК<sub>с.с</sub>. Превышение ПДК<sub>с.с</sub> диоксида серы наблюдается на расстоянии до 3 км от завода.

Рассчитаны интенсивности осаждения фторидов и сульфатов в районе г. Братска в теплый период года. Полученные значения по порядку величины хорошо согласуются с экспериментальными оценками интенсивности осаждения фторидов и сульфатов в районе Братского алюминиевого завода. Выполнены оценки доли массы осевшего на поверхность Братского водохранилища фтора из всей выброшенной массы фтора. Получено, что на поверхность Братского водохранилища площадью  $350 \text{ км}^2$  за год оседает примерно 1,5% выбрасываемого фтора.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта 2.1.1/6468 Аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы 2009–2010» Министерства образования и науки РФ.

1. Гринберг И.С., Зельберг Б.И., Чалых В.И., Черных А.Е. Электрометаллургия алюминия. М.: Металлургия, 2009. 350 с.
2. Алоян А.Е., Арутюнян В.О., Лушников 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.
3. Сирина Н.В. Оценка воздействия на атмосферный воздух предприятий алюминиевой промышленности // Изв. ИГУ. Сер. Науки о Земле. 2008. Т. 1. № 1. С. 181–188.
4. Янченко Н.И., Баранов А.Н., Макухин В.Л. Распределение фтора в зоне влияния алюминиевого завода // Экология и промышленность России. 2008. № 6. С. 22–25.
5. Янченко Н.И., Макухин В.Л., Баранов А.Н. Экспериментальные исследования и численное моделирование процессов распространения фтора в регионе г. Братск // Оптика атмосф. и океана. 2008. Т. 21. № 10. С. 841–843.
6. Аргущинцев В.К., Макухин В.Л. Математическое моделирование распространения аэрозолей и газовых

- примесей в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосф. и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 804–814.
7. *Макухин В.Л., Янченко Н.И., Баранов А.Н.* Оценка воздействия выбросов строящегося Тайшетского алюминиевого завода на окружающую среду // Оптика атмосф. и океана. 2009. Т. 22. № 9. С. 859–861.
8. *Государственный доклад.* О состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2007 году. Иркутск: Мин-во природ. ресурсов и экологии Иркутской области, 2008. 354 с.
9. *Климат Братска* / Под ред. Ц.А. Швер, В.Н. Бабиченко. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 167 с.
10. *Состояние загрязнения почв Иркутской области токсикантами промышленного происхождения в 2007 году: Ежегодник.* Иркутск: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2008. 107 с.

*V.L. Makukhin, N.I. Yanchenko, A.N. Baranov. Investigation of the processes of propagation, transformation, and sinking the fluoride and sulfur compound near Bratsk.*

Precipitation intensity of fluorides and sulphates onto the underlying surface of the Bratsk territory was estimated for warm period.