

УДК 551.510.42

В. Л. ПОТЕМКИН, В. Л. МАКУХИН

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ЛАНДШАФТОВ В КОТЛОВИНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ ПРИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРАХ

Выполнен анализ концентраций оксидов азота, полученных при измерении с помощью газоанализатора над акваторией Байкала летом 2005 г., в сопоставлении с метеорологическими условиями за этот же период. С использованием численной модели распространения и трансформации примесей выявлены области повышенного загрязнения соединениями азота в регионе оз. Байкал. Анализируется ситуация по распространению дымового шлейфа от лесных пожаров на северо-западном побережье озера.

© 2007 Потемкин В. Л., Макухин В. Л.

An analysis is made of the concentrations of nitrogen oxides obtained from measurements with the gas analyzer above the water surface of Lake Baikal in the summer of 2005, in comparison with meteorological conditions for the same period. A numerical model for the spread and transformation of pollutants was used to reveal regions of increased pollution by nitrogen compounds in the area of Lake Baikal. The situation with the spread of the smoke plume from forest fires along the lake's northwestern coast is examined.

Любой пожар чреват опасностью неблагоприятных экологических последствий. Помимо экономического ущерба при горении часто образуются различные токсичные соединения, сильнодействующие ядовитые вещества, крайне отрицательно влияющие на здоровье и жизнь людей. Многие из них обладают канцерогенным, мутагенным, тератогенным, токсичным эффектом [1, 2]. Оседая на подстилающую поверхность, токсиканты загрязняют реки, водоемы и почву. Важно установить, как распространяются эти примеси в атмосфере. Решение этой проблемы путем проведения инструментальных исследований, тем более экспериментов, в реальных условиях сопряжено с определенными трудностями.

Пожары возникают внезапно, неожиданно, предсказать их и подготовиться к ним чрезвычайно сложно. При возникновении пожара все усилия направлены на борьбу с ним, а для проведения каких-либо инструментальных измерений и исследований нет времени. Следует отметить, что полученные с помощью приборов ряды значений физических и химических характеристик окружающей среды существенно дискретны в пространстве и времени. Серьезной проблемой представляется выделение разномасштабных процессов, поскольку в результате их наложения друг на друга оценить вклад каждого из них инструментальными методами очень трудно.

Для проведения качественных измерений распределения концентраций загрязняющих веществ необходимы современные дорогостоящие приборы, а для получения детальной информации о загрязнении достаточно густая сеть станций и постов, оснащенных такими приборами, что очень сложно, поэтому данные измерений следует дополнять результатами расчетов по современным нестационарным пространственным математическим моделям, описывающим процессы распространения и трансформации аэрозолей и газовых примесей, образующихся в атмосфере при пожарах. Их разработка ведется как у нас в стране, так и за рубежом. Опубликован достаточно полный обзор современных моделей, используемых для исследования процессов распространения и трансформации загрязняющих веществ, выбрасываемых в атмосферу при пожарах на предприятиях [3].

Распространение дымового шлейфа при лесных пожарах с параметрическим учетом процессов горения исследовалось с помощью численной негидростатической модели атмосферного пограничного слоя, основанной на уравнениях глубокой конвекции [4]. Оценивалось также влияние пожаров на процессы облако- и осадкообразования [5].

Нами изучалось распределение оксидов азота и других малых газовых составляющих в приводном слое атмосферы оз. Байкал. С помощью землюминесцентного газоанализатора Р-310А (погрешность измерений 25 %), установленного на научно-исследовательском судне «Г. Ю. Верещагин», измерялись концентрации диоксида и оксида азота над акваторией озера за период с 26 июля по 6 августа 2005 г. Измерения велись непрерывно, круглосуточно, как и компьютерная запись результатов. Чтобы исключить влияние посторонних источников загрязнения, забор проб осуществлялся на высоте трех метров над поверхностью воды.

В работе использовалась нелинейная нестационарная пространственная математическая модель эйлера типа [6, 7]. Ранее она применялась при изучении процессов распространения и трансформации аэрозолей и газовых компонентов, выбрасываемых промышленными предприятиями, расположенными в районе южного Байкала и в долине Ангары [8–10]. При сравнении результатов расчетов с данными инструментальных измерений выявлено их удовлетворительное количественное соответствие [11, 12].

Как показали измерения, почти на всей акватории озера концентрации оксида и диоксида азота изменяются очень мало: диоксида — от 4 до 8 мкг/м³, оксид не достигает 1 мкг/м³. Значения концентраций диоксида азота в 4–8 мкг/м³ преобладали над акваторией Южной котловины Байкала (6–8 мкг/м³ в 10-километровой прибрежной зоне, 4 мкг/м³ в центральной части котловины, между станциями Мишиха и Танхой), значения 4–6 мкг/м³ характерны для Средней котловины озера (4 мкг/м³ в ее центральной части). Поблизости от берега, где сказывается влияние и береговых источников, и дизельных выхлопов судна, содержание диоксида азота возрастает на порядок, оксид азота — более чем на два порядка. В нескольких десятках метров от берега концентрации оксида и диоксида быстро уменьшались и достигали своих обычных значений над акваторией озера.

Более сложная картина наблюдалась на северном Байкале из-за начавшихся лесных пожаров на его западном берегу (рис. 1). До их начала здесь, как и на среднем Байкале, преобладали концентрации диоксида азота 4 ± 2 мкг/м³. Над северной оконечностью озера, в районе Северобайкальска и Нижнеангарска, они составляли 6 мкг/м³. 2 августа в 16 км восточнее мыса Слюдянского (Северная



Рис. 1. Снимок из космоса района северного Байкала (<http://geol.irk.ru>). Замкнутыми контурами выделены очаги лесных пожаров.

котловина озера) отмечено сильное задымление склонов Байкальского хребта с выносом дымового шлейфа на акваторию озера. Концентрации диоксида азота составляли 40 ± 11 мкг/м³, достигая 59 мкг/м³, оксида азота — 70 ± 45 мкг/м³ (максимум 162 мкг/м³).

Дымовые шлейфы от пожаров 2 августа прослеживались на 16 км южнее мыса Слюдянского, 3 августа примерно в середине разреза между мысами Бол. Коса и Урбакан концентрации измеряемых ингредиентов стали возрастать — от 4 до 38 мкг/м³ (диоксид азота) и от 0,4 до 78 мкг/м³ (оксид азота). Содержание диоксида азота более 8 мкг/м³ наблюдалось на протяжении 20 км над серединой северного Байкала, затем к югу оно понизилось до 6 мкг/м³.

С помощью нелинейной нестационарной пространственной эйлеровой модели проведено математическое моделирование

процессов распространения и трансформации продуктов горения в регионе северного Байкала [6]. Для определения координат очагов горения использованы карты, помещенные на сайте geol.irk.ru (см. рис. 1).

Процессы распространения примесей моделировались на площади 250×300 км² и до высоты четырех километров над поверхностью Байкала. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с и 1 км; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 200 м он составлял 50 м, до высоты 700 м — 100 м, до высоты 1000 м — 300 м, до высоты 2000 м — 500 м, далее — 1000 м. Начальная концентрация молекулярного азота N₂ принималась в 0,93 кг/м³, молекулярного кислорода O₂ — 0,3 кг/м³, водяного пара H₂O — 0,7 г/м³, молекулярного водорода H₂ — 0,1 мг/м³, озона O₃ — 60 мкг/м³, диоксида азота NO₂ — 0,8 мкг/м³.

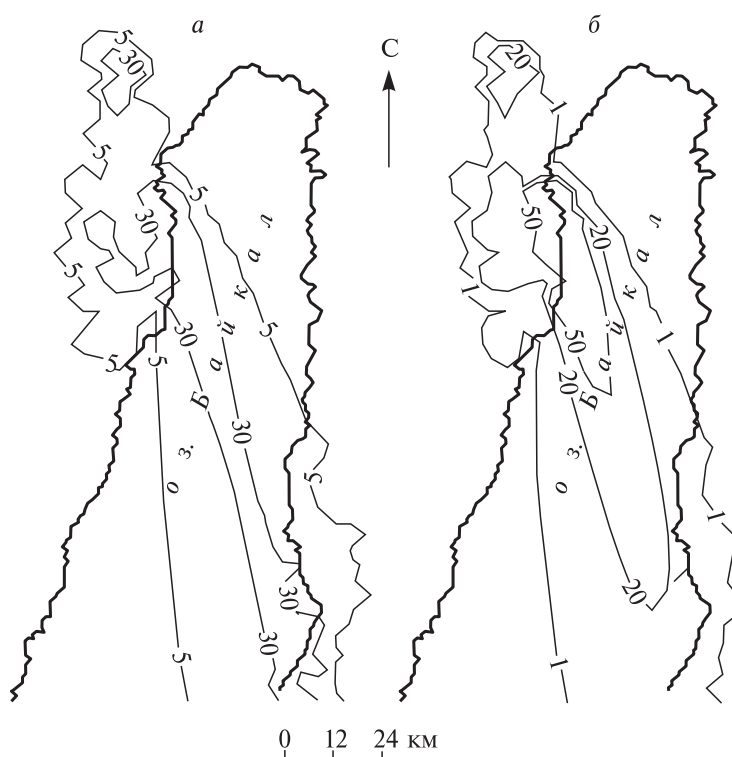
Предполагалось, что в воздухе постоянно содержится перекись водорода H₂O₂, и ее концентрация в 1 мкг/м³ не меняется в пространстве и во времени. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [7]. Опубликован блок химических реакций, учитывавшихся при численных экспериментах [8]. Суммарный массовый расход диоксида азота, как и оксида, принимался в 6 кг/с, при этом предполагалось, что расположение и интенсивность источников с течением времени не менялись.

За период измерений на судне анализировалась синоптическая обстановка. С 26 июля по 6 августа 2005 г. район озера находился под влиянием передней части высотного гребня атмосферного давления, ориентированного с районов Монголии на Лено-Ангарское плато. На высоте ведущего потока (3–5 км) наблюдались северо-восточные ветры со средней скоростью 8–11 м/с, сменившиеся в начале августа северо-западными. У поверхности Земли господствовала малооблачная погода со слабым ветром восточной четверти.

Продольный ветер над Байкалом был вызван локальным барическим градиентом, возникшим из-за различий приземного давления в северной и южной частях озера. В дневные часы на наветренных склонах хребтов наблюдалось развитие орографической облачности. В соответствии с траекторией воздушной частицы, выявленной методом ведущего потока, на акваторию Байкала поступали воздушные массы из районов Патомского и Станового нагорий (конец июля) и Ангарского кряжа (начало августа).

Рассматривалась реальная метеорологическая ситуация, наблюдавшаяся при пожарах в Предбайкалье. На западном берегу озера ветровой поток имел северо-западное направление и скорость 5 м/с, на восточном побережье преобладал северо-восточный ветер со скоростью 3 м/с. Представлено распределение рассчитанных по модели приземных концентраций соединений азота (рис. 2, а и б). При сравнении рассчитанных и измеренных концентраций оксида и диоксида азота выявлено их удовлетворительное соответствие. Установлено, что наибольшие концентрации оксида азота примерно в

Рис. 2. Изолинии рассчитанных приземных концентраций диоксида азота (а), оксида азота (б) в районе северного Байкала при локальных лесных пожарах (см. рис. 1), мкг/м³.



два раза превышают таковые для диоксида азота, что подтверждают и непосредственные измерения концентраций этих составляющих атмосферы с помощью газоанализатора.

Таким образом, исследования показали, что при наличии мощных источников выбросов оксидов азота, возникающих при лесных пожарах, содержание диоксида азота увеличивается более чем на порядок, концентрации оксида азота на два порядка. Интенсивность выбросов оксидов азота при лесных пожарах превышает суммарный выброс источников небольшого города, например Байкальска.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (05-05-97232-р Байкал).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грушко Я. М. Вредные органические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. — Л.: Химия, 1986.
2. Бретшнайдер Б., Курфюрст И. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль. — Л.: Химия, 1989.
3. Тимофеева С. С., Макухин В. Л., Малыхин А. В., Тупицын А. А. Численное моделирование распространения и трансформации загрязняющих веществ в атмосфере при пожарах на нефтехимических предприятиях // Вестн. ВСИ МВД России. — 1999. — № 3 (10).
4. Мальбахов В. М., Шлычков В. А., Леженин А. А., Дубровская О. А. Численная модель распространения дымового шлейфа при лесных пожарах с параметрическим учетом процессов горения // География и природ. ресурсы. — 2004. — Спец. вып.
5. Дубровская О. А., Леженин А. А., Мальбахов В. М. и др. О влиянии пожаров на процессы облако- и осадкообразования // География и природ. ресурсы. — 2004. — Спец. вып.
6. Arguchintsev V. K., Makukhin V. L. Simulation of the spreading and transformation of sulphur and nitrogen compounds in the atmosphere of the southern region around Lake Baikal // Proceedings of SPIE. — 2000. — Vol. 4341.
7. Аргучинцев В. К., Макухин В. Л. Математическое моделирование распространения аэрозолей и газовых примесей в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосферы и океана. — 1996. — Вып. 9, № 6.
8. Potemkin V., Makukhin V. Mathematical modeling of processes of aerosol pollution over Lake Baikal // Proceedings of SPIE. — 2004. — № 5743.
9. Потемкин В. Л., Макухин В. Л. Математическое моделирование процессов аэрозольного загрязнения в регионе озера Байкал // Оптика атмосферы и океана. — 2005. — Вып. 18, № 1-2.
10. Латышева И. В., Макухин В. Л., Потемкин В. Л. Исследование характеристик Азиатского максимума и его влияния на загрязнение атмосферы в регионе оз. Байкал // Оптика атмосферы и океана. — 2005. — Вып. 1818, № 5-6.
11. Аргучинцев В. К., Макухин В. Л., Оболкин В. А. и др. Исследование распределения соединений серы и азота в приводном слое оз. Байкал // Оптика атмосферы и океана. — 1996. — Вып. 9, № 6.
12. Аргучинцев В. К., Куценогий К. П., Макухин В. Л. и др. Экспериментальное исследование и численное моделирование аэрозолей и газовых примесей в атмосфере Южного Байкала // Оптика атмосферы и океана. — 1997. — № 6.