

В.Л. Макухин, В.Л. Потемкин

Влияние лесных пожаров на процессы распространения и трансформации примесей над оз. Байкал

Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск

Поступила в редакцию 8.02.2006 г.

На основе экспериментальных данных и численного моделирования рассматриваются условия динамики и трансформации минорных газов в атмосфере оз. Байкал. Анализируется ситуация по распространению дымового шлейфа от лесных пожаров на северо-западном побережье озера. Показано, что при наличии мощных источников выбросов оксидов азота, возникающих при лесных пожарах, значения концентрации диоксида азота увеличиваются на порядок, концентрации оксида азота – на 1–3 порядка.

Введение

Пожар можно рассматривать как своего рода неуправляемый реактор, химические превращения в котором протекают с выделением в атмосферу огромного, пропорционального масштабу явления, количества самых разных продуктов горения, пиролиза, термоокислительной деструкции. Пожары приносят колоссальный экономический и экологический ущерб. В состав продуктов горения входят вредные и ядовитые вещества, такие как оксид углерода, различные, в том числе полиароматические, углеводороды, оксиды азота, диоксид серы, серная кислота, сажа, сероводород, синильная кислота, формальдегид, пятиокись ванадия и другие неблагоприятно воздействующие на людей и окружающую среду токсиканты.

В результате процессов адвекции и диффузии эти вещества могут переноситься на десятки и сотни километров. Важно установить, как будут распространяться эти примеси в атмосфере. Решение этой проблемы путем проведения инструментальных исследований, тем более постановки экспериментов в реальных условиях, сопряжено со значительными трудностями. Пожары возникают неожиданно, предсказать их и подготовиться к ним чрезвычайно сложно. При возникновении пожара все усилия направлены на его ликвидацию и для проведения каких-либо инструментальных измерений и исследований нет времени. Отметим, что полученные с помощью приборов ряды значений физических и химических характеристик окружающей среды существенно дискретны в пространстве и во времени. Серьезной проблемой является отделение процессов одного масштаба от другого. В результате наложения различных процессов измерениями невозможно оценить вклад каждого из них в отдельности.

Целью данной работы явилось исследование распределения соединений азота и других малых газовых составляющих над открытой частью акватории оз. Байкал при лесных пожарах.

1. Методы исследования

С помощью хемилюминесцентного газоанализатора-310А фирмы ОПТЭК (г. Санкт-Петербург) измерялись концентрации диоксида и оксида азота над акваторией оз. Байкал за период с 26 июля по 6 августа 2005 г. во время рейса научно-исследовательского судна «Г.Ю. Верещагин» (рис. 1).

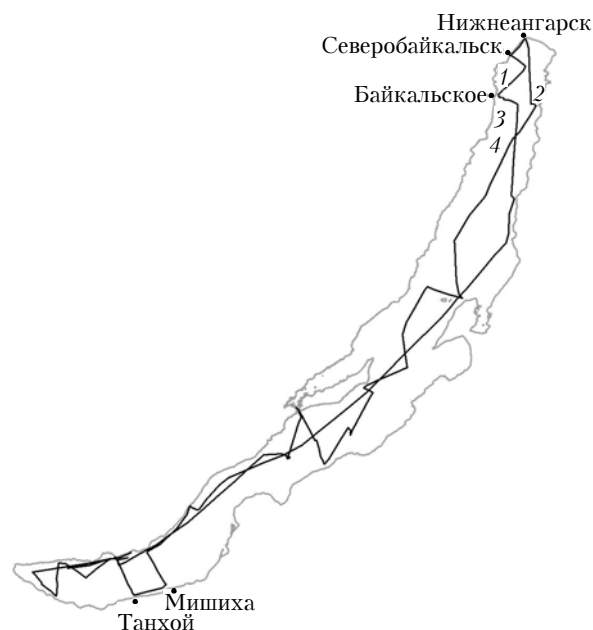


Рис. 1. Маршрут НИС «Г.Ю. Верещагин» в период экспедиционных исследований 26 июля – 6 августа 2005 г.: 1 – м. Слюдянский; 2 – м. Турали; 3 – м. Красный Яр; 4 – м. Котельниковский

Измерения и запись результатов велись непрерывно. Забор проб осуществлялся на высоте 3 м над поверхностью воды таким образом, чтобы избежать возможного влияния дизельных выхлопов судна.

При анализе распределения исследуемых компонентов данные измерений дополнялись результатами расчетов по современным нестационарным пространственным математическим моделям, описывающим процессы формирования полей концентраций и трансформации аэрозолей и газовых примесей, образующихся в атмосфере при пожарах. Разработка таких моделей ведется как у нас в стране, так и за рубежом [1–7].

В данной работе использовалась нелинейная нестационарная пространственная математическая модель эйлера типа [8]. Модель применялась ранее при изучении процессов распространения и трансформации аэрозолей и газовых компонентов, выбрасываемых промышленными предприятиями, расположенными в регионе Южного Байкала и долины р. Ангары [9, 10]. Проведенное сравнение результатов численных расчетов с данными инструментальных измерений показало их удовлетворительное количественное соответствие [11].

2. Результаты измерений и численных экспериментов

Измерения показали, что над акваторией озера, в открытой ее части, значения концентраций оксида и диоксида азота меняются очень мало: концентрация диоксида азота колеблется от 4 до 8 мкг/м³, концентрация оксида азота не достигает 1 мкг/м³. При подходе к берегу, когда сказывается влияние и береговых источников, и дизельных выхлопов судна, концентрации диоксида азота увеличиваются на порядок, концентрации оксида азота — на 1–3 порядка. При отходе судна от берега на несколько десятков метров концентрации оксида и диоксида азота быстро уменьшались и достигали своих обычных над акваторией озера значений: 4–8 мкг/м³ для диоксида азота, менее 1 мкг/м³ для оксида азота. Таким образом, значение концентрации диоксида азота, равное 4 мкг/м³, можно принять в качестве фонового.

На Северном Байкале до начала пожаров преобладали значения концентрации NO₂, равные 4–6 мкг/м³. При прохождении НИС в 16 км восточнее м. Слюдянский (северная котловина озера) 2 августа было замечено сильное задымление склонов Байкальского хребта с выносом дымового шлейфа на акваторию озера. Максимальные значения концентраций диоксида азота достигали 59 мкг/м³, оксида азота — 162 мкг/м³. Дымовые шлейфы от пожаров 2 августа прослеживались на расстоянии до 16 км южнее м. Слюдянский. Утром 3 августа на середине разреза Байкальское–Туралы концентрации измеряемых ингредиентов стали возрастать и достигли максимальных значений 38 мкг/м³ (диоксид азота) и 78 мкг/м³ (оксид азота). Значения концентраций диоксида азота более 8 мкг/м³ наблюдались на протяжении 20 км над серединой Северного Байкала (20 км восточнее м. Красный Яр — 25 км восточнее м. Котельниковский), затем при продвижении на юг концентрации понизились до 6 мкг/м³.

Проведено математическое моделирование процессов распространения и трансформации продуктов горения в регионе Северного Байкала. Для нахождения координат очагов лесных пожаров были использованы оперативные космические снимки, помещенные на сайте geol.irk.ru.

Моделирование процессов распространения примесей проводилось в области площадью 250×300 км и высотой 5 км над поверхностью оз. Байкал. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с и 1 км. Шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 200 м он равнялся 50 м, выше 200 м до высоты 700 м — 100 м, до высоты 1000 м — 300 м, в интервале высот 1000–2000 м шаг равнялся 500 м и далее — 1000 м. Начальная концентрация молекулярного азота N₂ принималась равной 0,93 кг/м³, молекулярного кислорода O₂ — 0,297, водяного пара H₂O — $7 \cdot 10^{-4}$ кг/м³, молекулярного водорода H₂ — 10^{-7} , озона O₃ — $6 \cdot 10^{-8}$ и диоксида азота NO₂ — $8 \cdot 10^{-10}$ кг/м³.

Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности. Блок химических реакций, учитывавшихся при численных экспериментах, представлен в работе [8]. В отличие от [8] расчеты проводились со значением константы скорости реакции R27 (фотохимическая диссоциация диоксида азота), равным $7,8 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Интенсивность всех источников выбросов диоксида азота, образовавшихся в результате лесных пожаров в Северном Прибайкалье, составила 6 кг/с, оксида азота — также 6 кг/с.

На рис. 2 представлены распределения рассчитанных по модели приземных концентраций различных соединений азота. Ветровой поток имел северо-северо-западное направление и скорость 5 м/с. Сравнение рассчитанных и измеренных концентраций оксида и диоксида азота показало их удовлетворительное соответствие.

Вторая серия численных экспериментов заключалась в исследовании влияния метеорологических характеристик на распространение и трансформацию примесей. Варьировались направление и скорость ветра и начальное значение концентрации водяного пара. Выполненные расчеты показали, что влияние изменения начальной концентрации водяного пара на концентрацию атмосферных примесей существенное. При изменении концентрации водяного пара в атмосфере на порядок концентрации OH и HO₂ также изменяются на порядок, концентрации HNO₄ — в 7 раз, концентрации HNO₂ — в 5 раз, концентрации HNO₃ — в 4 раза. Уменьшение скорости северо-западного ветра (до 3 м/с) приводит к увеличению значений концентраций большинства атмосферных примесей. Юго-западный и юго-восточный потоки способствуют очищению атмосферы над Байкалом, они вызывают уменьшение концентраций основных загрязнителей; концентрации водородных радикалов OH[•] и HO₂[•], наоборот, растут, восстанавливаясь до фоновых значений.

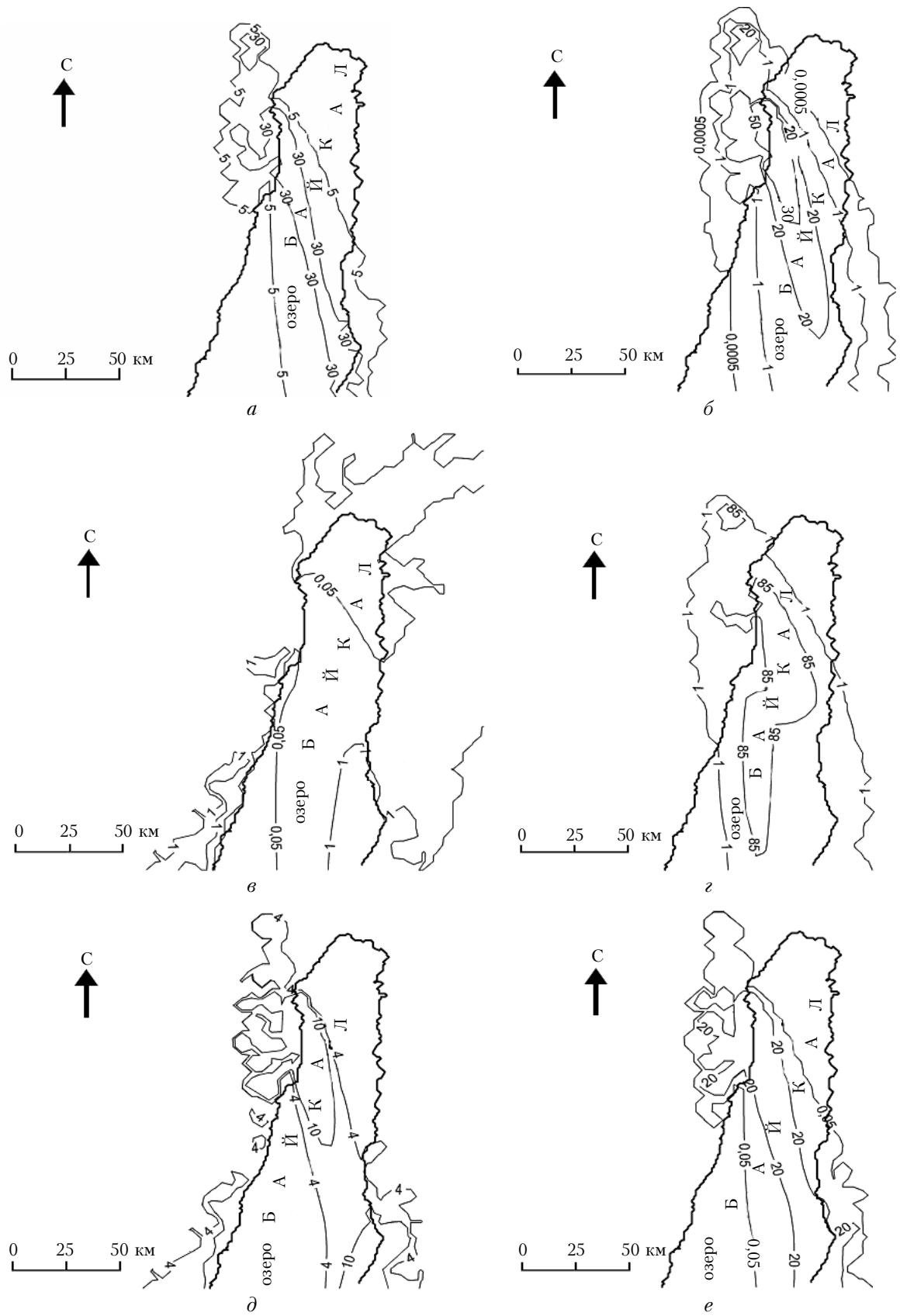


Рис. 2. Изолинии рассчитанных приземных концентраций в регионе Северного Байкала, $\mu\text{г}/\text{м}^3$: а – диоксида азота; б – оксида азота; в – нитрат-ионов; $\text{нг}/\text{м}^3$: г – нитрит-ионов; $\mu\text{г}/\text{м}^3$: д – триоксида азота в газовой фазе; е – пентаоксида диоксида азота

Выводы

Выполненные исследования показали, что при наличии мощных источников выбросов оксидов азота, возникающих при лесных пожарах, значения концентрации диоксида азота увеличиваются на порядок, концентрации оксида азота на 1–3 порядка. Даже при небольших по площади лесных пожарах интенсивность выбросов оксидов азота превышает интенсивность суммарного выброса источников большого города (например, Байкальска).

Работа поддержана РФФИ (грант № 05-05-97232p_байкал).

1. *Strelow R.A., Baker W.E.* The Characterization and Evaluation of Accidental Explosions // *Progr. in Energy and Combustion Sci.* 1976. V. 2. N 1. P. 27–68.
2. *Гришин А.М.* Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск: Наука, 1992. 406 с.
3. *Small R.D., Heires K.E.* Early Cloud Formation by Large Area Fires // *J. Appl. Meteorol.* 1988. V. 27. N 5. P. 654–661.
4. *Kao C., Glatzmaier G., Malone R.* On testing the significance of atmospheric response to smoke from the Kuwait oil fires using the Los Alamos GCM // *J. Geophys. Res. D.* 1994. V. 99. N 7. P. 14503–14508.
5. *Moeng C.H.* Large-eddy-simulation model for the study of planetary boundary layer turbulence // *J. Atmos. Sci.* 1998. V. 40. N 13. P. 1044–1053.
6. *Тимофеева С.С., Макухин В.Л., Малыгин А.В., Тулицын А.А.* Численное моделирование распространения и трансформации загрязняющих веществ в атмосфере при пожарах на нефтехимических предприятиях // *Вестн. ВСИ МВД России.* 1999. № 3 (10). С. 28–42.
7. *Алоян А.Е., Пискунов В.Н.* Моделирование региональной динамики газовых примесей и аэрозолей // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана.* 2005. Т. 41. № 3. С. 328–340.
8. *Аргуинцев 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.
9. *Potemkin V.L., Makukhin V.L.* Mathematical modeling of processes of aerosol pollution over Lake Baikal // *Proc. SPIE.* 2004. V. 5743. P. 379–383.
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 атмосф. и океана.* 2005. Т. 18. № 5–6. С. 466–470.
11. *Аргуинцев В.К., Куценогий К.П., Макухин В.Л., Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Ходжер Т.В.* Экспериментальное исследование и численное моделирование аэрозолей и газовых примесей в атмосфере Южного Байкала // *Оптика атмосф. и океана.* 1997. Т. 10. № 6. С. 598–604.

V.L. Makukhin, V.L. Potemkin. Influence of forest fires on propagation and transformation of minor contaminant gases above Lake Baikal.

Conditions of dynamics and transformation of minor gases in Lake Baikal atmosphere are considered based on experimental data and numerical simulation. An event of forest fire smoke plume propagation at the north-west lake coast is under analysis. It is shown that the presence of high-power sources of nitrogen oxides appeared during forest fires increases the nitrogen dioxide concentration by the order of magnitude and the nitrogen oxide concentration – by 1–3 orders of magnitude.