



УДК 504.064

## **Оценки пространственного распределения малых газовых примесей над акваторией озера Байкал в летний период с помощью полевых измерений и результатов математического моделирования**

В. Л. Макухин

*Лимнологический институт СО РАН  
Иркутский государственный университет*

В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин

*Лимнологический институт СО РАН*

И. В. Латышева

*Иркутский государственный университет*

Т. В. Ходжер

*Лимнологический институт СО РАН*

**Аннотация.** С помощью инструментальных и численных методов исследовалось пространственное распределение загрязняющих веществ в атмосфере над оз. Байкал. В июле 2016 г. с борта научно-исследовательских судов проведены прямые измерения концентраций основных загрязняющих веществ ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) над всей акваторией озера. Измерения показали, что в летний период над озером в среднем преобладают низкие, близкие к фоновым концентрации окислов серы и азота (средние суточные концентрации составляли менее  $0,002\text{--}0,005 \text{ мг/м}^3$ ). Однако периодически кратковременно фиксировались высокие концентрации окислов азота (до сотен  $\text{мкг/м}^3$ ), связанные с влиянием выхлопов судовых двигателей. Существенного влияния населенных пунктов центральной зоны (городов Слюдянки, Байкальска, Селенгинска, Каменска) на загрязнение воздуха над озером в летний период не зафиксировано. Для исследования процессов переноса примесей на Байкал от городов центральной зоны были проведены численные расчеты с использованием математической модели распространения и трансформации примесей. Расчеты показывают, что вклад наиболее крупных населенных пунктов центральной зоны – Байкальска, Каменска и Селенгинска – в загрязнение атмосферы над озером окислами серы и азота в летний период сравнительно невелик – от  $0,001$  до  $0,005 \text{ мг/м}^3$ .

**Ключевые слова:** оз. Байкал, атмосферные загрязнения, диоксид серы, численная модель.

### **Введение**

В последние десятилетия проблема загрязнения окружающей среды становится все более актуальной. В результате развития промышленности и увеличения парка автотранспорта в атмосферу выбрасывается огромное ко-

личество загрязняющих примесей. К основным загрязнителям атмосферы, оказывающим вредное воздействие на здоровье человека и окружающую среду, относятся диоксид серы и оксиды азота. Участвуя в фотохимических реакциях с кислородом и углеводородами, эти вещества генерируют другие загрязнители, такие как пероксиацетилнитраты, озон и др. Диоксиды серы и азота, будучи выброшены в атмосферу, участвуют в образовании кислот и солей кислот, т.е. сульфатов и нитратов. Вместе с воздушными массами эти вещества могут переноситься на десятки, сотни, а иногда и тысячи километров и, осаждаясь под действием гравитации и выпадая с осадками в виде кислотных дождей, увеличивают кислотность почв, воды в водоемах и водотоках, что приводит к угнетению и гибели растений и водных обитателей, животных, вызывает различные заболевания у человека.

Уровень сегодняшних требований к системе контроля состояния атмосферы подразумевает не только предоставление информации о концентрациях отдельных компонентов в отдельных точках, но и всестороннее и количественное описание процессов выбросов и образования в атмосфере загрязняющих веществ на больших пространствах, их трансформации, переноса и удаления. Важным методом исследования таких процессов является математическое моделирование.

### **Цель и методы исследования**

Целью данной работы являлось исследование экологического состояния атмосферы в регионе оз. Байкал в зависимости от метеорологических условий и выбросов различных источников загрязнения. Для решения поставленной проблемы использовались как прямые инструментальные измерения с борта научно-исследовательских судов в полевых условиях, так и численные эксперименты с использованием математической модели пространственного распространения примесей.

В полевых условиях с помощью автоматических хемилюминесцентных газоанализаторов фирмы «ОПТЭК» (г. Санкт-Петербург) проводились измерения концентраций основных антропогенных газовых примесей ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{CO}_2$ ) как над всей акваторией озера, так и вблизи основных источников загрязнений. Чувствительность газоанализаторов составляла  $1 \text{ мкг/м}^3$ , временное разрешение – 1–2 мин. Соответственно, при скорости движения судна  $16 \text{ км/ч}$  пространственное разрешение составляет около 300 м.

Исследование процессов распространения и трансформации примесей проводилось также с помощью математической модели, основанной на численном решении трехмерного нелинейного нестационарного полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии примесей [1]. Кроме процессов адвективного и конвективного переноса и турбулентной диффузии, модель учитывает трансформацию малых газовых составляющих атмосферы. Модель успешно применялась ранее при изучении процессов распространения и трансформации аэрозолей и газовых примесей в регионе Южного Байкала [2–5; 7–9]. Информация об интенсивности источников выбросов была взята из работы [6].

### Результаты прямых измерений концентрации загрязняющих веществ над акваторией оз. Байкал

Полевые измерения содержания основных загрязняющих примесей, проведенные в июле 2016 г. (см. табл. 1 на с. 72), показывают, что при отсутствии дальних переносов загрязнений от крупных региональных угольных ТЭЦ средние суточные концентрации исследуемых примесей имеют низкие, близкие к фоновым величины. При этом наблюдаются периодические кратковременные повышения концентраций окислов азота, связанные с влиянием выхлопов судовых дизелей. Растущее количество судов на Байкале и отсутствие какого-либо нормирования выхлопов их двигателей могут способствовать росту концентрации окислов азота в атмосфере озера в перспективе.

Повторяемость (вероятность) различных концентраций окислов серы и азота над акваторией озера представлена в табл. 2. Видно, что вероятность появления высоких концентраций диоксида серы намного ниже, чем окислов азота, что говорит о разных источниках этих примесей в атмосфере Байкала. Источниками диоксида серы являются преимущественно глобальный фон и местные населенные пункты, источниками высоких концентраций окислов азота – выхлопы судовых двигателей.

Таблица 2

Повторяемость различных концентраций ( $\text{мг/м}^3$ ) окислов серы и азота в атмосфере Байкала по данным судовых измерений в июле 2016 г.

Концентрация, $\text{мг/м}^3$	Повторяемость различных концентраций примесей (%)		
	$\text{NO}_2$	$\text{NO}$	$\text{SO}_2$
0,000–0,005	81	91	66
0,006–0,010	6	1	32
0,011–0,020	4	1	2
0,021–0,050	3	1	0
0,051–0,100	3	1	0
0,101–0,200	2	2	0
0,201–0,500	1	2	0
0,500–1,000	0	1	0

Ранее проведенные измерения концентраций диоксида серы по маршруту Иркутск – Южный Байкал [5] в июле 2013 г. при северо-западном переносе показали, что возможно формирование полей повышенных концентраций  $\text{SO}_2$  в Южном Байкале, связанных с переносами шлейфов выбросов угольных ТЭЦ Иркутска и Шелехова. В частности, следы таких шлейфов были выявлены в июле 2013 г. в средней части Иркутского водохранилища (район Бурдаковки – до  $0,04\text{--}0,08 \text{ мг/м}^3$ ) и на Байкале, между поселками Большие Коты и Листвянка (до  $0,020\text{--}0,054 \text{ мг/м}^3$ ). В июле 2014 г. было также зафиксировано поле высоких концентраций  $\text{SO}_2$  (до  $0,2 \text{ мг/м}^3$ ) южнее дельты Селенги, в районе пос. Бабушкин, связанное с выносом загрязнений из долины р. Селенги. Такие случаи, по-видимому, довольно редки и возможны только при формировании особых метеоусловий. Вклад других населенных пунктов в загрязнение атмосферы Байкала авторы данной работы попытались оценить с помощью математического моделирования.

Таблица 1

Средние и экстремальные концентрации газообразных примесей ( $\text{SO}_2$  – ПДК<sub>сс</sub> = 0,05 мг/м<sup>3</sup>;  $\text{H}_2\text{S}$  – ПДК<sub>мр</sub> = 0,008 мг/м<sup>3</sup>;  $\text{NO}_2$  – ПДК<sub>сс</sub> = 0,04 мг/м<sup>3</sup>;  $\text{NO}$  – ПДК<sub>сс</sub> = 0,06 мг/м<sup>3</sup>) в атмосфере Байкала по данным судовых измерений в июле 2016 г.

Дата	Район Байкала	$\text{SO}_2$ , мг/м <sup>3</sup>		$\text{H}_2\text{S}$ , мг/м <sup>3</sup>		$\text{NO}_2$ , мг/м <sup>3</sup>		$\text{NO}$ , мг/м <sup>3</sup>		$\text{CO}_2$ , ppm		
		ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	макс.	ср.	мин.	макс.
19.07	Листвянка – Большие Коты – Большое Голоустное	0,003	0,010	0,001	0,002	0,003	0,034	0,003	0,007	–	–	–
20.07	Б. Песчаная – м. Большой Черемшаный	0,002	0,009	0,001	0,003	0,002	0,031	0,001	0,017	406	353	530
21.07	Горячинская губа – Нижнеангарск	0,002	0,009	0,001	0,007	0,002	0,021	0,000	0,002	383	348	706
22.07	Нижнеангарск – Хакусы	0,002	0,010	0,001	0,004	0,001	0,017	0,000	0,001	407	360	645
23.07	Хакусы – Баргузинский залив	0,004	0,020	0,001	0,004	0,008	0,053	0,000	0,070	464	346	603
24.07	Баргузинский залив – Максимиha	0,004	0,013	0,001	0,003	0,001	0,023	0,000	0,001	410	365	764
25.07	Максимиha – м. Крестовский	0,004	0,018	0,001	0,003	0,002	0,039	0,000	0,013	425	353	572
26.07	Большие Коты – Байкальск	0,004	0,030	0,001	0,003	0,007	0,057	0,000	0,008	411	351	651
27.07	Байкальск – Кулгук – м. Толстый	0,002	0,008	0,001	0,003	0,006	0,092	0,000	0,046	458	363	639
28.07	Мишиха – б. Бабушка	0,002	0,009	0,001	0,004	0,007	0,058	0,001	0,186	474	359	771
29.07	Б. Бабушка – Селенга	0,002	0,008	0,001	0,003	0,014	0,247	0,002	0,659	402	355	577
30.07	Б. Сухая – Большие Коты	0,001	0,006	0,000	0,002	0,004	0,349	0,005	0,398	443	372	520
31.07	Большие Коты	0,002	0,010	0,000	0,002	0,014	0,414	0,019	0,831	427	373	951
01.08	Большие Коты – Листвянка	0,003	0,014	0,000	0,002	–	–	–	–	431	379	598

Примечание: минимальные концентрации окислов серы и азота не приводятся, так как ниже предела обнаружения (т. е. близки к 0 мкг/м<sup>3</sup>).

### **Численное моделирование распространения и трансформации примесей в регионе оз. Байкал**

Моделирование процессов распространения примесей в первой серии численных экспериментов проводилось в области площадью  $100 \times 100$  км<sup>2</sup> и высотой 4 км над поверхностью оз. Байкал. Шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 350 м он равнялся 50, далее – 150, 500, 1000 и 2000 м. Шаги по времени и горизонтали варьировали от 30 до 150 с. и от 200 до 1000 м соответственно. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [1].

Эксперименты были проведены при преобладающем в этом районе северо-западном ветре скоростью 2 м/с для двух величин коэффициента турбулентной диффузии примесей: 1000 и 200 м<sup>2</sup>/с. При горизонтальном коэффициенте диффузии 1000 м<sup>2</sup>/с рассчитанные значения концентраций диоксида серы над водохранилищем у плотины составили 0,002–0,020 мг/м<sup>3</sup>, в районе д. Бурдаковка – 0,06–0,10 мг/м<sup>3</sup>, на Байкале в районе м. Толстый – м. Сытый – 0,018–0,020 мг/м<sup>3</sup>. Модельные значения концентраций хорошо согласуются с измеренными в районах плотины и Бурдаковки, в 2 раза меньше максимальных, измеренных на переходе Большие Коты – Листвянка [5].

При коэффициентах турбулентности, не превышавших 200 м<sup>2</sup>/с, рассчитанные значения концентраций диоксида серы над водохранилищем у плотины составили менее 0,001 мг/м<sup>3</sup>, в районе д. Бурдаковка – 0,02–0,10 мг/м<sup>3</sup>, на Байкале в районе м. Толстый – м. Сытый – 0,02–0,04 мг/м<sup>3</sup>. Модельные значения концентраций значительно меньше измеренных в районе плотины, хорошо согласуются с измеренными в районе Бурдаковки, в 1,4 раза меньше максимальных значений измеренных концентраций на переходе Большие Коты – Листвянка. Рассчитанные значения концентраций диоксида серы по трассе Иркутск – Южный Байкал при коэффициенте диффузии 200 м<sup>2</sup>/с лучше согласуются с данными измерений [5]. Некоторые различия модельных и экспериментальных значений могут быть объяснены тем, что в расчетах не учитывались концентрации диоксида серы, связанные с глобальным фоном.

Во второй серии численных экспериментов моделировались процессы распространения и трансформации диоксида серы в районе Байкальска. Расчеты проводились в области интегрирования площадью  $80 \times 80$  км<sup>2</sup> и высотой 4 км над поверхностью оз. Байкал. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с. и 1000 м; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 350 м он равнялся 50, далее – 150, 500, 1000 и 2000 м. Начальная концентрация молекулярного азота N<sub>2</sub> принималась равной 0,93 кг/м<sup>3</sup>, молекулярного кислорода O<sub>2</sub> – 0,297 кг/м<sup>3</sup>, водяного пара H<sub>2</sub>O –  $7 \cdot 10^{-4}$  кг/м<sup>3</sup>, молекулярного водорода H<sub>2</sub> –  $10^{-7}$  кг/м<sup>3</sup>. Блок химических реакций, учитывавшихся при численных экспериментах, представлен в работе [1]. В отличие от работы [1] расчеты проводились со значением константы скорости реакции R27 (фотохимическая диссоциация диоксида азота), равным  $7,8 \cdot 10^{-4}$  с<sup>-1</sup>. Интенсивность источника выбросов SO<sub>2</sub> составляла 37 г/с.

На рисунке 1 представлены распределения концентраций диоксида серы (в  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) при западном (рис. 1, а), южном (рис. 1, б), юго-восточном (рис. 1, в) и восточном (рис. 1, г) ветрах.

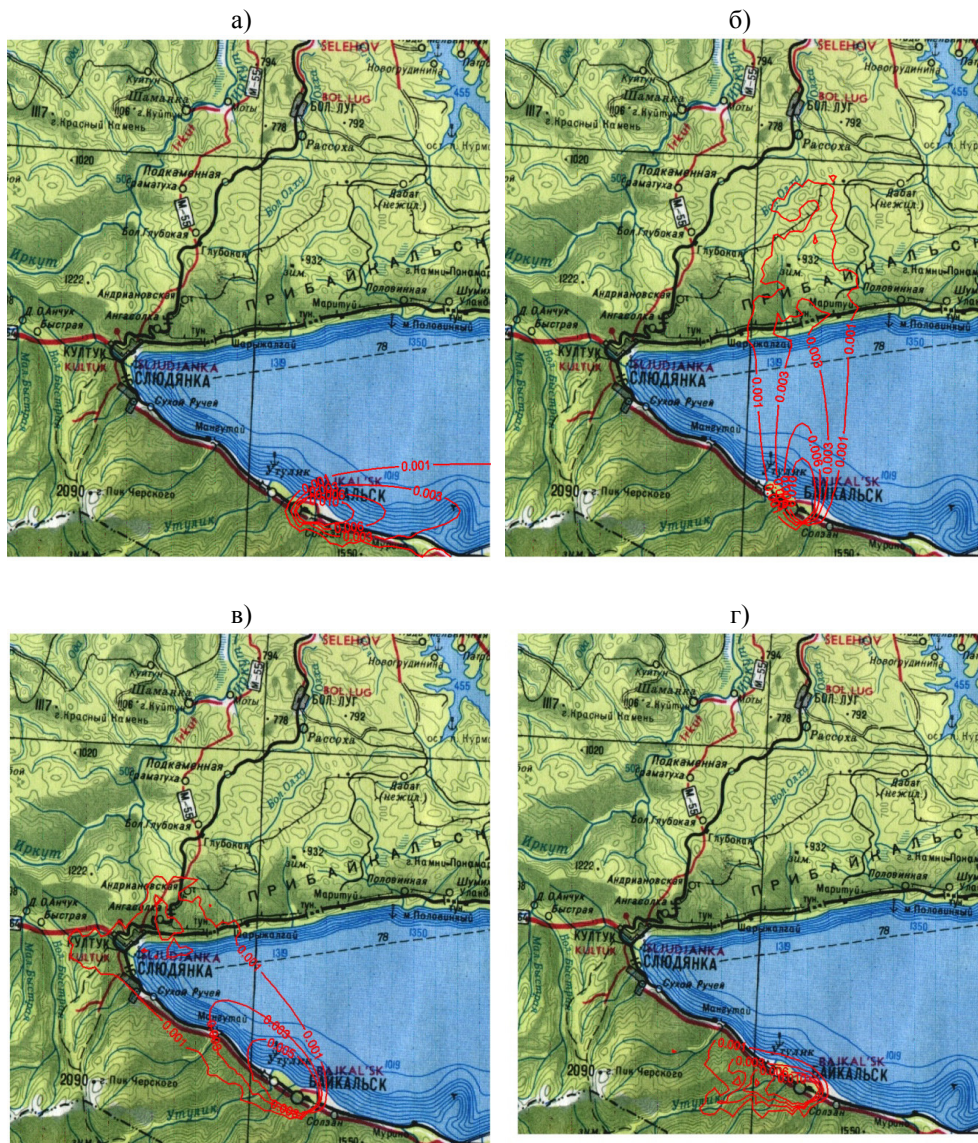


Рис. 1. Изолинии рассчитанных приземных концентраций диоксида серы вокруг г. Байкальска при различных направлениях ветра, в  $\text{мг}/\text{м}^3$

Третья серия численных экспериментов проводилась для исследования распространения выбросов от предприятий Каменска и Селенгинска. Моделирование процессов распространения примесей проводилось в области площадью  $100 \times 60 \text{ км}^2$  и высотой 4 км над поверхностью оз. Байкал. Шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 350 м он равнялся 50, далее – 150, 500, 1000 и 2000 м. Шаги по времени и горизонтали составляли 300 с. и 1000 м соответственно. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [1]. Высота источников выбросов составляла 100 м от поверхности земли.

На рисунке 2 (а, б) представлены распределения рассчитанных с помощью модели значений концентраций диоксидов серы и азота в долине р. Селенги при характерных для периода ноябрь – январь ветровых потоках восточного и восток-северо-восточного направлений скоростью 2 м/с. Горизонтальные коэффициенты турбулентной диффузии примесей не превышали  $1100 \text{ м}^2/\text{с}$ , вертикальный –  $8 \text{ м}^2/\text{с}$ .

Согласно модельным оценкам, представленным на рис. 1 и 2, вклад небольших городов, расположенных на побережье Байкала (Байкальска, Каменска, Селенгинска), в загрязнение атмосферы Байкала сравнительно невелик (единицы  $\text{мкг}/\text{м}^3$ ) и существенно меньше, чем в случаях заноса на Байкал шлейфов загрязнений со стороны Иркутска, Ангарска, Улан-Удэ и Гусиноозерска.

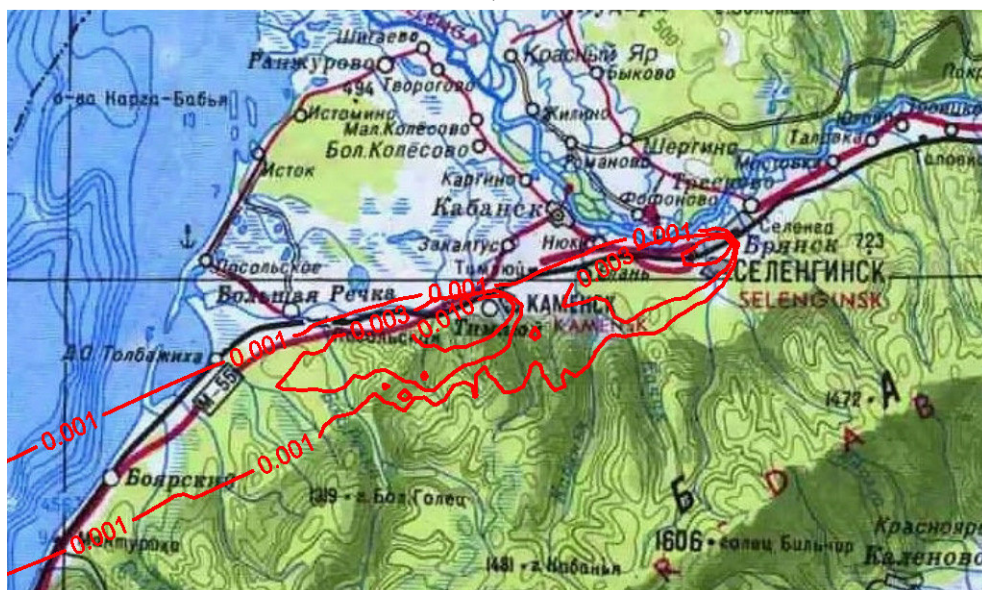
### **Заключение**

По данным судовых измерений лета 2016 г. в атмосфере Байкала преобладают низкие концентрации основных загрязняющих веществ. Средние суточные концентрации окислов серы и азота составляют от 0,001 до 0,005  $\text{мг}/\text{м}^3$ , что близко к фоновым величинам. Однако выхлопы судовых двигателей могут вызывать значительные кратковременные и локальные повышения концентрации окислов азота, иногда превышающие максимальные разовые ПДК. Поскольку количество судов на Байкале быстро увеличивается, их общий вклад в загрязнение атмосферы центральной зоны озера окислами азота может в перспективе существенно возрасти.

Стационарные энергоисточники, находящиеся в центральной экологической зоне (дизельные электростанции, небольшие ТЭЦ), оказывают незначительное, локальное влияние на качество атмосферы над озером. Большее загрязнение атмосферы центральной зоны может быть связано с периодическим влиянием шлейфов атмосферных выбросов угольных ТЭЦ, расположенных вокруг крупных городов в долинах рек Ангары и Селенги (Иркутск, Ангарск, Улан-Удэ, Гусиноозерск). Такие переносы, помимо прямого загрязнения воздуха, могут вызывать закисление атмосферных выпадений в котловине озера. В связи с этим внедрение экологически чистого энергоснабжения населенных пунктов только в центральной экологической зоне Байкала будет недостаточно для улучшения общей ситуации с загрязнением воздушной среды озера. Необходимо снижать выбросы крупных угольных ТЭЦ городов региона. Радикальным решением был бы перевод их в перспективе на газовое топливо.



а)



б)

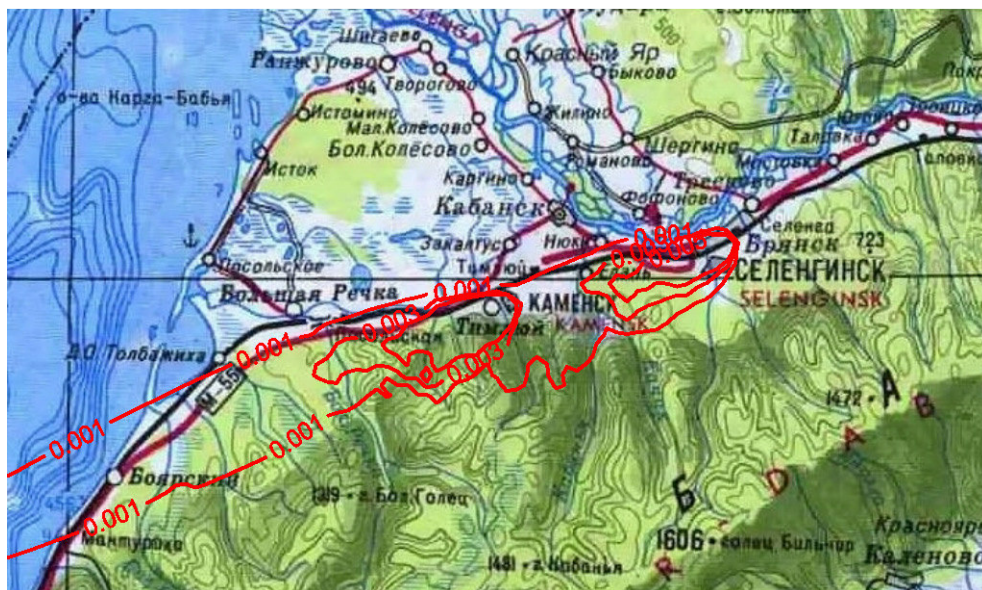


Рис. 2. Изолинии рассчитанных приземных концентраций диоксида серы (а) и азота (б) на восточном побережье Байкала при восток-северо-восточном ветре (скорость 2 м/с), в  $\text{мг}/\text{м}^3$



Результаты расчетов по модели качественно и количественно совпадают с данными полевых измерений. При слабо выраженных турбулентных процессах в атмосфере выбросы предприятий городов, расположенных в долинах рек Ангары и Селенги, могут распространяться узкой полосой на Южный Байкал с соответствующими воздушными потоками. Модельные оценки подтверждают также возможность застоя и накопления выбросов Байкальска, Каменска и Селенгинска на склонах окружающих хребтов и в орографически замкнутых котловинах.

*Работа выполнена в рамках госпрограммы VIII.76.1.5 «Изменения абиотических и биотических характеристик озера Байкал под влиянием природных и антропогенных факторов».*

#### Список литературы

1. *Аргучинцев В. К.* Моделирование мезомасштабных гидротермодинамических процессов и переноса антропогенных примесей в атмосфере и гидросфере региона оз. Байкал / В. К. Аргучинцев, А. В. Аргучинцева. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2007. – 255 с.
2. *Аргучинцев В. К.* Математическое моделирование распространения аэрозолей и газовых примесей в пограничном слое атмосферы / В. К. Аргучинцев, В. Л. Макухин // Оптика атмосферы и океана. – 1996. – Т. 9, № 6. – С. 804–814.
3. Динамика серосодержащих примесей в атмосфере вокруг точечного источника – Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (юго-восточное побережье оз. Байкал) / В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин, Т. В. Ходжер, Л. П. Голобокова, У. Г. Филиппова, В. Л. Макухин, К. Тода, М. Такеучи, Т. Обата, К. Хирота // Оптика атмосферы и океана. – 2009. – Т. 22, № 9. – С. 853–858.
4. Исследование распределения соединений серы и азота в приводном слое оз. Байкал / В. К. Аргучинцев, В. Л. Макухин, В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин, Т. В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. – 1996. – Т. 9, № 6. – С. 748–754.
5. Особенности пространственного распределения диоксида серы в Прибайкалье по данным маршрутных измерений и численных экспериментов / В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин, В. Л. Макухин, Е. В. Чипанина, И. И. Маринайте // Метеорология и гидрология. – 2014. – № 12. – С. 35–41.
6. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2012 г. : гос. докл. – Иркутск : ИГ им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2013. – 337 с.
7. *Потемкин В. Л.* Исследование динамики малых газовых примесей в атмосфере Байкальского региона / В. Л. Потемкин, В. Л. Макухин // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, № 2. – С. 154–157.
8. *Потемкин В. Л.* Распределение малых газовых примесей в атмосфере над озером Байкал / В. Л. Потемкин, В. Л. Макухин // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 80–84.
9. *Arguchintsev V. K.* Simulation of the spreading and transformation of sulphur and nitrogen compounds in the atmosphere of the southern region around Lake Baikal / V. K. Arguchintsev, V. L. Makukhin // Proceedings of SPIE. – 2000. – N 4341. – P. 593–599.

## Estimation of Minor Gaseous Admixtures Spatial Distribution Over the Lake Baikal Water Area in Summer Period by the use of Field Measurements and Mathematical Simulation

V. L. Makukhin

*Limnological Institute SB RAS  
Irkutsk State University*

V. A. Obolkin, V. L. Potemkin

*Limnological Institute SB RAS*

I. V. Latysheva

*Irkutsk State University*

T. V. Khodzher

*Limnological Institute SB RAS*

**Abstract.** Instrumental and simulation methods were used to study spatial distribution of pollutants in the atmosphere over the Lake Baikal. In July of 2016, boat measurements of main anthropogenic admixtures ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ) were conducted above the whole lake water area. Those measurements have shown that in summer period in average in the lake atmosphere low concentrations of pollutants (as low background ones) are prevailed. Daily averages of sulphur and nitrogen compounds were not higher than 2–5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . However sometimes brief but very high concentrations of nitrogen oxides were observed which were caused by boat engine emissions. Any significant influence of settlements situated in central zone (Sludyanka, Baikalsk, Selenginsk, Kamensk) into air pollution over lake water area had not been registered as well. The mathematical model of turbulent diffusion of pollutants was used to estimate possible contribution of Baikalsk, Kamensk and Selenginsk cities into concentrations of sulphur and nitrogen dioxides above the lake water area of South Baikal. Numerical experiments have shown that even largest cities of central zone – Baikalsk, Selenginsk, Kamensk – make insignificant contribution of sulphur and nitrogen oxides in their concentrations over the lake water area – up to 1–5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . The model estimations of  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  values quantitative and qualitative are closed to those measured ones.

**Keywords:** Lake Baikal, sulphur dioxide, measurements, numerical modeling.

### References

Arguchintsev V.K., Arguchintseva A.V. Simulation of meso-scale hydro-thermodynamical processes and anthropogenic admixture transfer in the atmosphere and hydrosphere of the Lake Baikal [Modelirovanie mezomashtabnich gidro-termo-dinamicheskikh processov i perenosa antropogennikh primesey in atmosphere I gidrosfere oz. Baikal]. Irkutsk, 2007. 255 p.

Arguchintsev V.K., Makukhin V.L. Mathematical modeling of aerosols and gaseous admixtures propagation in boundary layer of the atmosphere. [Matematicheskoe modelirovanie rasprostraneniya aerosoley i gazovich primesey v pogranichnom sloe atmosferi]. *Atmospheric and Ocean Optics – Optika amosferi i okeana*, 1996, vol. 9, no 6, pp. 804–814.

Studies of sulphur and nitrogen compounds distribution in the air above water area of Lake Baikal / V.K. Arguchintsev [et al.]. [Issledovanie raspredeleniya soedineniy ceri i azota v privodnom cloe oz.Baikal]. *Atmospheric and Ocean Optics. – Optika amosferi i okeana*, 1996, vol. 9, no 6, pp. 748–754.

State Report “On statement and protection of the Environment in Irkutsk region in 2012” [Gosudarstvenniy doklad “o sostoyanii i okhrane okruzhayushey sredi Irkutskoy oblasti v 2012 godu”]. Irkutsk, 2013. 337 p.

Obolkin V.A. [et al.] Dynamic of sulphur compounds admixtures in the atmosphere around point source – Baikalsk Paper Plant (south-east shore of Lake Baikal). [Dinamika serosoderzhashikh primesey vokrug tochechnogo istochnika – Baikalskogo tcellulosnogo kombinata (yugo-vostochnoe poberezhe oz.Baikal)]. *Atmospheric and Ocean Optics – Optika amosferi i okeana*, 2009, vol. 22, no 9, pp. 853–858.

Obolkin V.A. [et al.] Peculiarities of spatial distribution of sulphur dioxide in Pribaikalie according route measurements and numerical experiments. [Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya dioksida seri v Pribaikalye po dannim marshrutnikh izmerenii i chislennikh eksperimentov]. *Meteorology and Hydrology – Meteorologia i gidrologia*, 2014, no 12, pp. 35–41.

Potemkin V.L., Makukhin V.L. Studies of minor gaseous admixture dynamics in the atmosphere of Baikal region. [Issledovanie dinamiki malikh gazovikh primesey v atmosfere Baikalskogo regiona]. *Atmospheric and Ocean Optics – Optika amosferi i okeana*, 2008, vol. 21, no 2, pp. 154–157.

Potemkin V.L., Makukhin V.L. Distribution of minor gaseous admixture in the atmosphere above the Lake Baikal. [Raspredelenie malikh gazovikh primesey v atmosfere ozera Baikal]. *Geography and Natural Resources – Geogafiya i Prirodnie Resursi*, 2008, no 2, pp. 80–84.

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, pp. 593–599.

*Макухин Владимир Леонидович*  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
664003, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
тел.: (3952) 42-65-02  
доцент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-94  
e-mail: aerosol@lin.irk.ru

*Makukhin Vladimir Leonidovich*  
Candidate of Sciences (Technical),  
Senior Researcher Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-65-02  
Associate Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 52-10-94  
e-mail: aerosol@lin.irk.ru

*Оболкин Владимир Аркадьевич*  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
664003, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
тел.: (3952) 42-65-02  
e-mail: obolkin@lin.irk.ru

*Obolkin Vladimir Arcadieievich*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Senior Research Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st, Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-65-02  
e-mail: obolkin@lin.irk.ru

*Потемкин Владимир Львович*  
кандидат географических наук,  
старший научный сотрудник  
Лимнологический институт СО РАН  
664003, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
тел.: (3952) 42-65-02  
e-mail: climat@lin.irk.ru

*Potemkin Vladimir Lvovich*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Senior Research Scientist  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st, Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-65-02  
e-mail: climat@lin.irk.ru

*Латышева Инна Валентиновна*  
кандидат географических наук, доцент  
Иркутский государственный университет  
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 52-10-94  
e-mail: ababab1967@mail.ru

*Latysheva Inna Valentinovna*  
Candidate of Sciences (Geography),  
Associate Professor  
Irkutsk State University  
1, K. Marks st., Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 52-10-94  
e-mail: ababab1967@mail.ru

*Ходжер Тамара Викторовна*  
доктор географических наук, профессор  
Лимнологический институт СО РАН  
664003, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3  
тел. (3952) 42-80-20  
e-mail: khodzher@lin.irk.ru

*Khodzher Tamara Victorovna*  
Doctor of Sciences (Geography), Professor  
Limnological Institute SB RAS  
3, Ulan-Batorskaya st, Irkutsk, 664033  
tel.: (3952) 42-80-20  
e-mail: khodzher@lin.irk.ru