

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ АТМОСФЕРЫ, ГИДРОСФЕРЫ
И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

УДК 551.551.510

Ю.С. Балин¹, А.Д. Ершов¹, И.Э. Пеннер¹, В.Л. Макухин², И.И. Маринайте²,
В.Л. Потемкин², Г.С. Жамсуева³, А.С. Заяханов³, В.П. Бутуханов³

**Экспериментальные и модельные исследования
пространственного распределения атмосферного аэрозоля
над акваторией оз. Байкал**

¹*Институт оптики атмосферы СО РАН, г. Томск*

²*Лимнологический институт СО РАН, г. Иркутск*

³*Отдел физических проблем при президиуме БНЦ СО РАН, г. Улан-Удэ*

Поступила в редакцию 28.08.2006 г.

Представлены результаты комплексных корабельных исследований пространственного распределения аэрозольных полей с использованием средств лазерного зондирования и локального контроля. На основе прямого забора проб аэрозоля, с последующим определением в них концентраций отдельных фракций полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) методом хроматографии, построена карта распределения концентраций над акваторией оз. Байкал. Обнаружено, что средние суммарные концентрации ПАУ близки к фоновым, а пространственное распределение весьма неоднородно. Из совместного анализа с двумерными пространственными лидарными разрезами аэрозольных полей выявлены характерные тенденции в пространственных флуктуациях этих величин.

В дополнение к инструментальным исследованиям были проведены модельные расчеты распределения ПАУ, основанные на численном решении пространственного нестационарного полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии примесей. Сопоставление с данными эксперимента показало, что в основном расчетные концентрации близки к измеренным значениям.

Введение

Для исследования пространственного распределения аэрозольных полей сотрудниками трех организаций СО РАН была проведена комплексная экспедиция «Байкал-02» в июле–августе 2002 г. на НИС «Г. Титов» Лимнологического института СО РАН. В районах акватории Южного и Среднего Байкала проводилось зондирование атмосферы одночастотным аэрозольным лидаром «ЛОЗА-М», выполнялся отбор аэрозольных проб, велась метеорологическая съемка и запись синоптической ситуации.

В настоящей статье приводятся результаты лидарных исследований пространственной структуры аэрозольных полей на основе массива данных, полученного в период корабельной экспедиции. В пробах аэрозоля, собранного по маршруту съемки, было проведено определение 13 ПАУ (полициклических ароматических углеводородов), входящих в число приоритетных экотоксикантов и рекомендованных для постоянного контроля в объектах окружающей среды. Концентрации бенз(а)пирена, как наиболее опасного канцерогена из списка приоритетных ПАУ, обнаруженные в воздухе над акваторией Байкала, близки к фоновым для региона значениям. В дополнение к инструментальным исследованиям были проведены

расчеты по математической модели, основанной на численном решении пространственного нестационарного полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии примесей.

1. Инструментальные исследования

1.1. Дистанционный метод

Лазерное зондирование атмосферы

За период проведения корабельной экспедиции был накоплен обширный массив данных вертикального зондирования тропосферы до уровня высот 5–6 км над акваторией оз. Байкал. Схемы маршрутов, условия проведения экспериментов и общая синоптическая обстановка подробно описаны в ранее опубликованных работах [1, 2].

Зондирование проводилось одночастотным аэрозольным лидаром «ЛОЗА-М» [3] на длине волны лазерного излучения $\lambda = 0,53$ мкм. Запись эхосигналов лидара, работающего с частотой посылок зондирующих импульсов 5 Гц, производилась в виде одномоментных сеансов через каждые 5 мин. Сеанс зондирования оформлялся в отдельный файл данных с временной и пространственной привязкой посред-

ством мобильной системы GPS (Global Positioning System).

Интерпретация данных зондирования одночастотного аэрозольного лидара в задачах исследования высотной структуры аэрозольных полей для условий чистой и слабозамутненной атмосферы основывается на обращении уравнения лазерного зондирования в приближении однократного рассеяния и с учетом в решении высотной зависимости молекулярного рассеяния. Восстановление профилей коэффициентов рассеяния проводилось в соответствии с алгоритмами обработки для двухкомпонентной (аэрозольное и молекулярное рассеяние) среды, которые основываются на методе Ферналда [4]. Нами был использован итерационный вариант метода Ферналда [5], адаптивно учитывающий функциональную зависимость между полным и обратным рассеянием при восстановлении профиля показателя ослабления атмосферы по лидарным данным. Оценки средней расчетной погрешности данного метода, сделанные в работе [5], не превышают 35% и являются наименьшими среди общепотребимых методов восстановления оптических характеристик по данным одночастотного лазерного зондирования слабозамутненной атмосферы.

Из полученных таким образом высотных профилей оптической характеристики атмосферы $\sigma(H)$ (аэрозольного коэффициента ослабления) были составлены двумерные пространственные разрезы аэрозольных полей над акваторией Байкала по маршруту следования корабля. С учетом последующего усреднения в пределах одноминутного сеанса измерений и средней скорости судна около 14 км/ч получается сечение профилей $\sigma(H)$ с горизонтальным разрешением порядка 1 км и вертикальным разрешением 6 м. Верхняя граница сечения составляла ~3 км, а нижняя ~0,2 км.

На основе анализа продольных вдоль береговой линии Байкала и поперечных высотных разрезов аэрозольных полей было выявлено, что существенное влияние на формирование пространственной структуры поля оказывают орографические особенности местности [1]. Так, методами корреляционного анализа высотного распределения аэрозольной оптической толщи вдоль маршрута следования корабля и пространственного профиля вершин Приморского хребта обнаружено, что наибольшая взаимосвязь наблюдается в нижнем слое атмосферы — 0,5 ÷ 1,5 км.

Качественные и количественные оценки влияния берегового ландшафта проводились в предположении геострофического переноса воздушных масс, определяемого из синоптических условий. Поэтому для более детального анализа разрезов аэрозольного поля был привлечен аппарат непрерывного вейвлет-преобразования, который позволил выявить характерные частотные масштабы и тренды в пространственных флуктуациях $\sigma(H)$ [2]. Отметим здесь лишь основные выводы, сделанные нами в работе [2]. Так, высотный уровень, выше и ниже которого поведение

вейвлет-коэффициентов различается, близок к значению высоты коррелированности, которую можно принять равной высоте слоя перемешивания. Влияние горного хребта на структуру аэрозольного поля, выраженное в образовании подветренных волн, гораздо сильнее проявляется в более высокогорной средней части озера. Здесь наблюдаются в аэрозольном поле волновые движения различных пространственных масштабов на протяжении всего участка галсов от одного берега к другому.

В южной части озера мелкомасштабные возмущения, образующиеся за хребтом, распространяются на незначительное удаление от берега и загухают к середине озера. Характерной особенностью для низкочастотных атмосферных колебательных процессов является наличие линейного частотного тренда (уменьшение частоты колебаний при движении с запада на восток).

В дальнейшем, для сопоставимого анализа двумерного пространственного распределения аэрозоля (по лидарным данным) и одномерного распределения концентраций ПАУ (по данным измерений из контактного забора проб аэрозоля) по площади акватории озера, рассматривалась АОТ (аэрозольная оптическая толщина) атмосферного слоя высотой до 1,5 км. Она наиболее полно отражает флуктуации пограничного слоя атмосферы, связанные с влиянием берегового рельефа на трансграничный перенос промышленных атмосферных примесей, трассером которых выступает антропогенный аэрозоль. С использованием программного пакета Surfer Mapping System [6] была создана карта (рис. 1) пространственного распределения АОТ, осредненной по всем дням проведения лидарной съемки с координатной привязкой по акватории оз. Байкал.

При построении карты учитывались выводы об основных тенденциях пространственных флуктуаций аэрозоля, сделанные нами ранее в работах [1, 2], что позволило в условиях неравномерного и неполного покрытия измерениями по площади акватории Байкала интегрально и главным образом адекватно отразить пространственные вариации высотных профилей оптической толщи на отдельных маршрутных галсах.

Из рис. 1 видно, что имеются достаточно равномерное заполнение аэрозолем южной части акватории Байкала и характерные для высокогорной части Среднего Байкала (возле о. Ольхон) масштабы вариаций оптической толщи. Кроме того, выявляются локальные районы повышенных значений (относительно среднего фонового уровня) оптической толщи — это разрез в направлении истока Ангары и середина озера на разрезе м. Крестовский — м. Облом. Следует отметить, что значения фонового уровня АОТ (а в наших оценках они приведены с вычетом вклада компоненты молекулярного рассеяния) для километрового слоя атмосферы не превышают 0,01 для условий, когда над озером метеорологическая дальность видимости может достигать 200 км. Одним из источников повышения мутности атмосферы над акваторией оз. Байкал могут являться привнесенные антропогенные примеси.

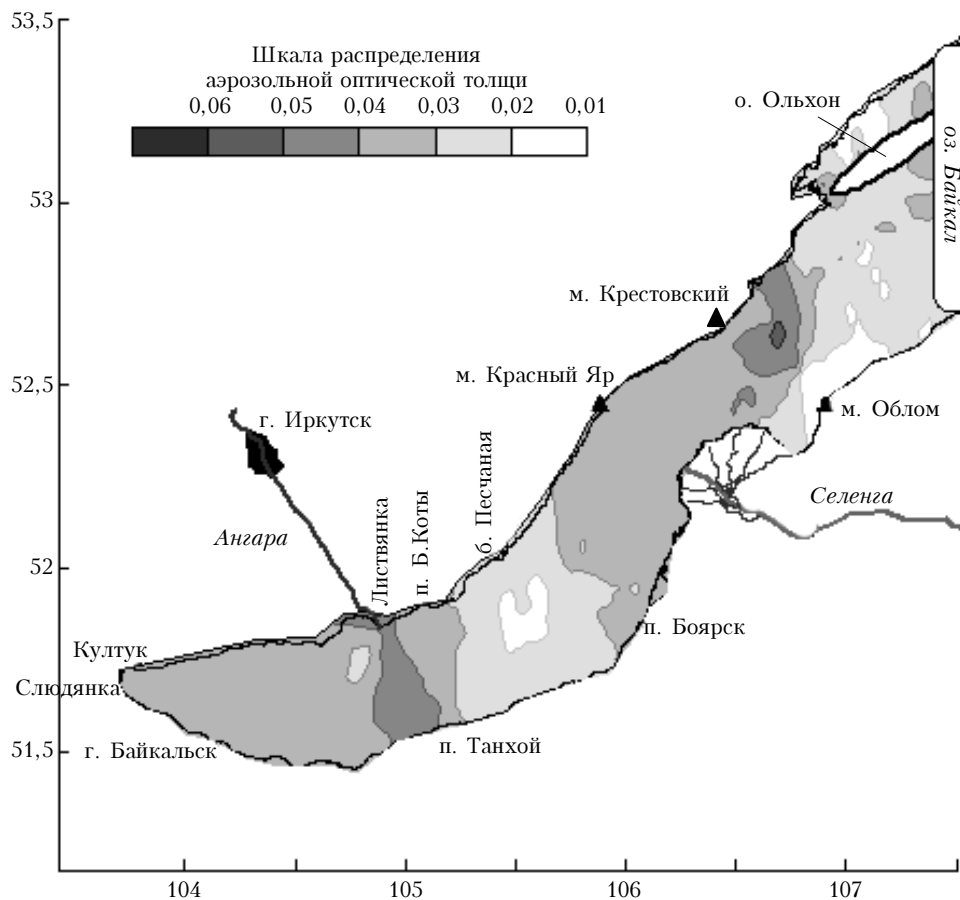


Рис. 1. Карта пространственного распределения аэрозольной оптической толщи атмосферного слоя высотой до 1,5 км над акваторией оз. Байкал. По осям координат нанесены градусы северной широты и восточной долготы

1.2. Контактный метод

Локальный отбор аэрозоля.

Методика определения концентраций отдельных фракций ПАУ в аэрозольных пробах

Среди антропогенных примесей, загрязняющих атмосферу, почвы и природные воды, особое место занимают полициклические ароматические углеводороды. В атмосфере ПАУ преимущественно сорбированы на твердых частицах аэрозоля. В пробах аэрозоля, собранного по маршрутам съемки, было проведено определение 13 ПАУ.

Пробы аэрозоля собирали на стекловолоконные фильтры «Whatman EPM 2000 High purity glass microfibre filters» размером 17×21 см с помощью насоса PM-10 фирмы «Andersen Samplers, Inc», имеющего производительность 2 м³/мин. Объем прокачанного воздуха через фильтр составлял 200–650 м³. Пробоотборник устанавливали в носовой части корабля на высоте 10 м над водной поверхностью озера.

Фракцию ПАУ из проб аэрозоля выделяли 3-кратной экстракцией ацетонитрилом в ультразвуковой ванне при комнатной температуре. Полученный экстракт концентрировали до объема 0,1–0,2 мл и хроматографировали на хромато-масс-спектрометре «Agilent, GC 6890, MSD 5973 Network» при следующих условиях: капиллярная колонка длиной 50 м и внутрен-

ним диаметром 0,32 мм, фаза SE-30 (SE-54) с эффективностью не менее 100000 т.т.; температура инжектора 280 °С, температура колонки 50 °С в течение 5 мин, затем градиент температуры 15 °С в 1 мин в диапазоне от 50 до 300 °С и далее 300 °С в течение 15–30 мин.

Пики ПАУ на хроматограммах идентифицировали по временам удерживания и масс-спектрам по библиотеке данных. Количественные измерения ПАУ проводили с применением внутренних стандартов фирмы «Supelco» (США): фенантрена d_{10} , хризена d_{12} и перилена d_{12} . Погрешность измерений не превышала 10%. Полученные данные представлены в табл. 1. По всем полученным данным суммарных значений ПАУ построена карта (рис. 2) пространственного распределения концентраций ПАУ над акваторией оз. Байкал. Максимальные концентрации суммарного количества идентифицированных ПАУ характерны для Южного Байкала в районах г. Байкальск и п. Танхой, а для Среднего Байкала в районе м. Облом.

Бенз(а)пирен относится к наиболее опасному канцерогену из списка приоритетных ПАУ. В России он рекомендован для постоянного контроля в объектах окружающей среды. Концентрации бенз(а)пирена (1–64 пг/м³), обнаруженные в воздухе над акваторией Байкала, близки к фоновым для региона значениям (20–100 пг/м³), выявленным над территорией Баргузинского заповедника [7].

Таблица 1

Диапазон концентраций ПАУ в аэрозоле (нг/м³) над акваторией оз. Байкал в июле–августе 2002 г.

Место и дата отбора проб аэрозоля	Фенантрен	Антрацен	Пирен	Флуорантен	Бенз-(а)-антрацен	Хризен	Бенз-(b)-флуорантен	Бенз-(k)-флуорантен	Бенз-(e)-пирен	Бенз-(a)-пирен	Перилен	Индено-(1,2,3c,d)-пирен	Дибенз-(a,h)-антрацен	Бенз-(g,h,i)-перилен	Сумма ПАУ
п. Большие Коты, 28.07.02	25,7	4,6	5,7	15,0	2,9	2,2	4,6	4,5	3,6	4,5		18,0	3,8	18,0	113,0
б. Песчаная, 28–29.07.02	75,3	9,4	11,1	25,4			1,1	1,2	0,7	0,8		2,0		1,6	128,5
б. Песчаная – Боярск, 29.07.02	114,7	18,8	20,3	56,2			2,5	3,0	2,2	2,9		17,5	3,2	18,8	260,1
б. Боярск – Листвянка, 29.07.02	18,8	4,2	5,9	11,3	1,7	1,4	1,8	1,4	1,1	1,3		3,4		2,4	54,7
п. Б. Коты – Голоустное, 30.07.02	44,9	3,9	4,6	1,4											54,8
п. Бугульдейка – б. Ая, 30.07.02	64,5	9,8	10,9	37,6											122,8
м. Облом, 30.07.02	313,6	42,3	52,9	277,2											686,0
м. Хобой – п. Хужир, 31.07.02	3,4	6,4	14,0	32,8		4,7									61,3
пролив Ольхонские ворота – м. Красный Яр, 31.07.02	86,2	7,2	73,1	77,5	3,5	39,1	33,2	13,0	17,8	6,0		26,4	5,2	20,3	408,5
м. Красный Яр – середина озера, 1.08.02	63,7	12,9	79,1	136,4	5,3	27,6	46,9	17,3	25,8	9,4		41,9	7,8	33,5	507,8
п. Танхой – п. Листвянка, 1.08.02	100,3	11,5	43,8	54,2	14,1	25,1	46,7	21,9	27,9	16,4	5,5	68,7	17,7	67,0	520,8
п. Б. Коты – г. Байкальск, 1.08.02	52,7	8,8	15,5	37,3	4,2	31,0	10,1	5,9	6,7	4,4		9,3		8,3	194,4
г. Байкальск, 1.08.02	30,9		12,5	12,7	12,5	7,5	23,5	23,0	22,0	29,0	9,5	195,7	39,5	224,8	643,0
г. Байкальск – п. Танхой, 2.08.02	30,9	4,8	17,6	23,7	2,9	7,6	12,0	5,9	6,9	3,9	1,0	18,4	4,3	16,4	156,1
п. Голоустное – п. Байкальск, 1.08.02	44,0	4,3	28,5	34,7	2,6	10,7	15,4	6,3	8,3	3,8		9,9		7,0	175,5
п. Байкальск, 2.08.02	98,9	12,2	69,7	51,7	11,6	24,5	47,8	29,1	27,9	25,0		99,3	22,1	92,1	611,9
м. Посольский сор – п. Танхой – п. Б. Коты, 31.08.02	33,9	5,0	14,9	39,3	2,2	5,0	7,1	0,4	3,9	3,5		6,3		4,9	126,3
п. Б. Коты – б. Песчаная, 3.08.02	37,5	7,0	8,4	21,1	1,9	2,1	2,4	1,8	1,3	1,9				3,1	88,6

При идентификации источников по относительным концентрациям ПАУ в атмосфере, а также при мониторинге окружающей среды следует учитывать относительную стабильность ПАУ. Согласно [8] самым реакционно-способным ПАУ является бенз(а)пирен, а самым инертным – бенз(е)пирен. Источники горения испускают оба изомера в равных концентрациях. Для аэрозольных проб, собранных вблизи источников загрязнения, отношение

$$R = \text{бенз(е)пирен} / [\text{бенз(е)пирен} + \text{бенз(а)пирен}]$$

составляет 0,50–0,57 [9, 10]. В процессе фотохимического разрушения концентрация бенз(а)пирена снижается, и в пробах аэрозоля, собранных на значительном расстоянии от источников ПАУ, отношение R меняется в пределах от 0,70 до 0,83 [11, 12].

Рассчитанные отношения R в воздухе над регионом оз. Байкал меняются от 0,43 до 0,76 в зависимости от удаленности станции отбора от источника загрязнения (табл. 2).

Таблица 2

Нормированная концентрация бенз(е)пирена по сумме концентраций бенз(е)пирена и бенз(а)пирена (R) над акваторией оз. Байкал в июле–августе 2002 г.

Район отбора	R
г. Байкальск	0,43
б. Песчаная	0,45
п. Боярский	0,48
п. Большие Коты	0,54
Разрез Байкальск – Танхой	0,64
Разрез Танхой – Листвянка	0,63
Разрез Ольхонские ворота – м. Красный Яр	0,75
Разрез м. Красный Яр – середина озера	0,73
Разрез м. Крестовский – м. Облом	0,76

Отдельные значения R приведены на рис. 2 в средних точках маршрута отбора аэрозольных проб. Как видно, согласно вышесказанному характерные небольшие значения R получены для прибрежных точек Южного Байкала, экстремально приближенные

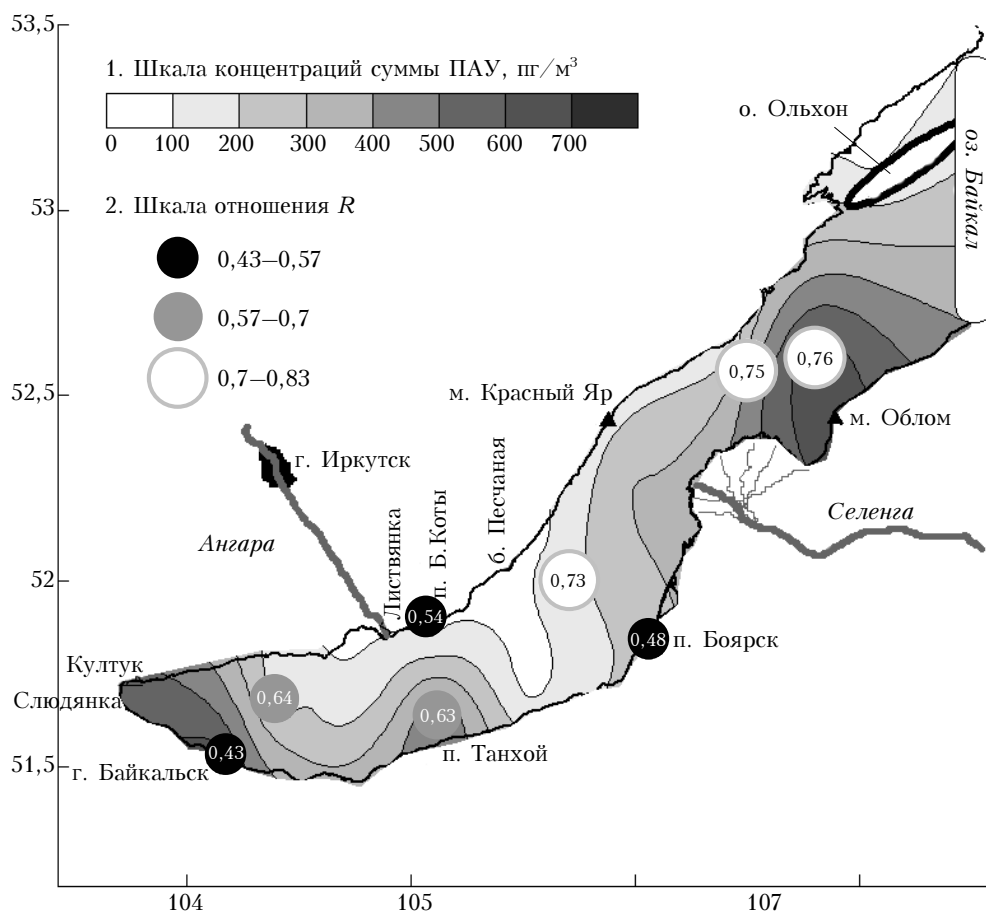


Рис. 2. Шкала 1 – пространственное распределение концентрации суммы ПАУ, $\mu\text{г}/\text{м}^3$; шкала 2 – нормированная концентрация R бенз(е)пирена по сумме концентраций бенз(е)пирена и бенз(а)пирена в средних точках маршрута отбора аэрозоля

к источнику – в г. Байкальске и промежуточные значения – в районе п. Танхой. Максимальные концентрации ПАУ в районе м. Облом согласно значениям R характерны для наиболее удаленных источников.

2. Модельные исследования

2.1. Расчет по математической модели

В дополнение к инструментальным исследованиям были проведены расчеты по математической модели, основанной на численном решении пространственного нестационарного полуэмпирического уравнения турбулентной диффузии примесей [13]. Рассматривалось распространение основных ПАУ, выбрасываемых стационарными источниками и автотранспортом Иркутска, Слюдянки, Байкальска, Каменска, Селенгинска. Источниками выбросов ПАУ также являлись автомобильный и железнодорожный транспорт на трассе Иркутск – Улан-Удэ. Оценки массового расхода ПАУ были выполнены на основе работ [14–19]. Статистические характеристики поля ветра, использованные в расчетах, были получены при обработке данных многолетних наблюдений вектора скорости ветра [20, 21].

Концентрации суммы 13 ПАУ рассчитывались в области площадью 500×250 км и высотой 5,5 км над

поверхностью оз. Байкал. Шаги по времени и горизонтали составляли соответственно 150 с и 5 км; шаг по вертикали задавался следующим образом: до высоты 600 м он равнялся 50 м, далее – 200, 200, 1000, 1500 и 2000 м. Коэффициенты турбулентной диффузии рассчитывались с использованием соотношений полуэмпирической теории турбулентности [13].

На рис. 3, а представлены некоторые результаты первой серии численных экспериментов. Максимальные расчетные концентрации ПАУ в районах м. Облом и г. Слюдянка того же порядка, что и измеренные (см. рис. 2). Рассчитанные концентрации ПАУ в районе Танхой низкие (менее $100 \mu\text{г}/\text{м}^3$).

С целью объяснить большие значения измеренных концентраций суммы ПАУ в районе п. Танхой была проведена следующая серия численных экспериментов. Предполагалось, что в районе Танхой действует источник выбросов ПАУ, массовый расход которого составляет $25 \text{ мг}/\text{с}$. Один из результатов расчетов представлен на рис. 3, б. Видно, что конфигурация изолиний рис. 3, б схожа с конфигурацией изолиний рис. 2. Для подтверждения (или опровержения) гипотезы о действующем в районе п. Танхой достаточно мощном источнике ПАУ необходимы дальнейшие комплексные исследования.

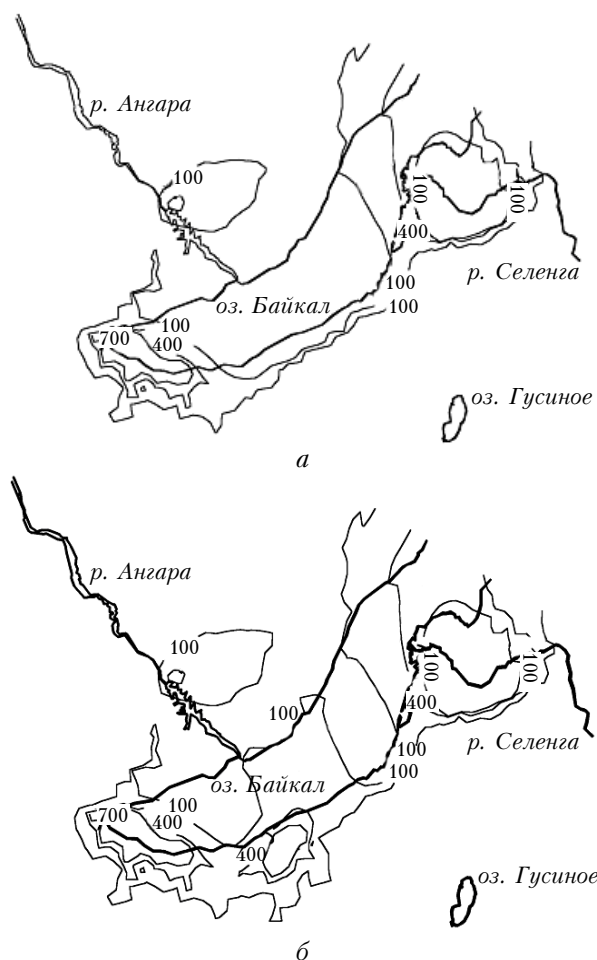


Рис. 3. Изолинии рассчитанных усредненных приземных концентраций ($\text{нг}/\text{м}^3$) суммы ПАУ в регионе оз. Байкал (а); то же, но с источником выбросов в районе п. Танхой (б)

2.2. Анализ обратных траекторий переноса воздушных масс

Сопоставимые тенденции проявляются и при анализе обратных траекторий переноса воздушных масс в исследуемые районы (рис. 4). Рассматривая дополнительно разрезы вертикальных потоков на различных высотных уровнях вдоль расчетных траекторий, можно определить вероятностную картину заноса антропогенных аэрозольных примесей, индикатором которых выступают ПАУ.

Так, для района м. Облом наиболее вероятной является траектория уровня (1,5 км) пограничного слоя (рис. 4, а), привносящая примеси нисходящими потоками в район измерений.

Воздушные массы переносятся с расстояний в сотни километров: проходят над транспортной магистралью восточного берега Байкала и расположенными там населенными пунктами и подпитываются из слоя перемешивания (500 м) восходящими потоками. Менее вероятностным является занос примесей воздушными потоками с уровня свободной атмосферы (3000 м) с направлений северо-западного берега Байкала, так как на всем пути прослеживания траектории определяются восходящие потоки, приво-

дящие к возможному образованию облачности, что и наблюдалось в синоптических условиях того периода. Отметим также явную перемежаемость восходящих и нисходящих потоков на уровне границы пограничного слоя, что отмечалось нами ранее [1, 2] при анализе распределения пространственной структуры оптической толщи в зависимости от синоптической ситуации и влияния прибрежного рельефа гор.

Анализ температурных разрезов и разрезов вертикальных движений вдоль обратных траекторий в направлении п. Танхой (рис. 4, б) указывает на устойчивую стратификацию атмосферы в пограничном слое на период проведения измерений. Незначительные масштабные вариации вертикальных потоков обусловлены в основном суточным ходом температуры и не выходят за пределы пограничного слоя. То есть основной вклад антропогенной примеси поступает по траектории приземного уровня (100 м), а менее значительный — по траектории уровня слоя перемешивания (500 м). И соответственно этим высотам дальность переноса определяется не более чем десятками километров и обусловлена локальной внутрикотловинной циркуляцией. Основной источник антропогенной примеси, индикатором которой являются обнаруженные повышенные значения концентраций суммы ПАУ, поступающих по траекториям приземного слоя, располагается в прибрежной зоне пос. Танхой. Дополнительным источником служит атмосферный канал, соответствующий траектории переноса примесей с северо-западного направления вдоль истока Ангары, что также подтверждается картой распределения оптической плотности привнесенного аэрозоля (см. рис. 1).

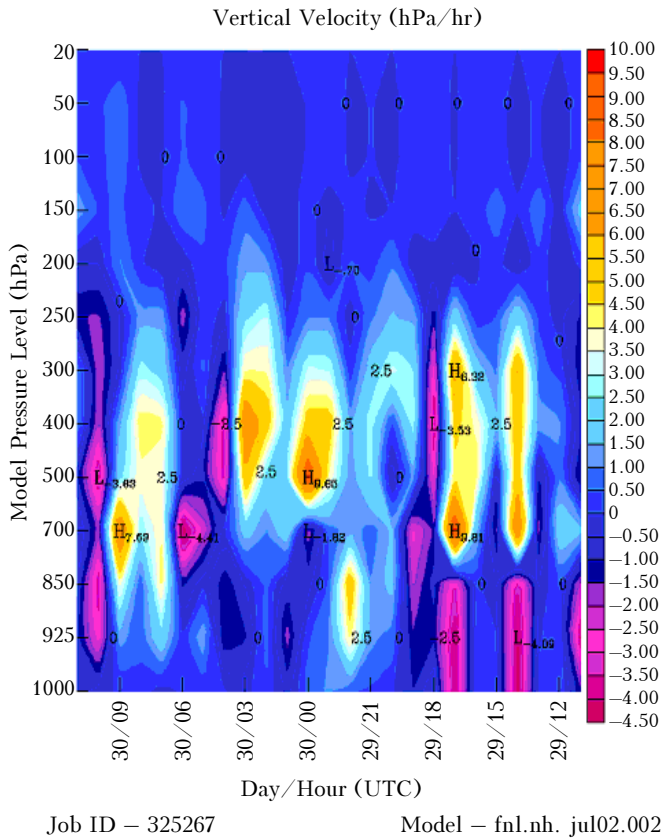
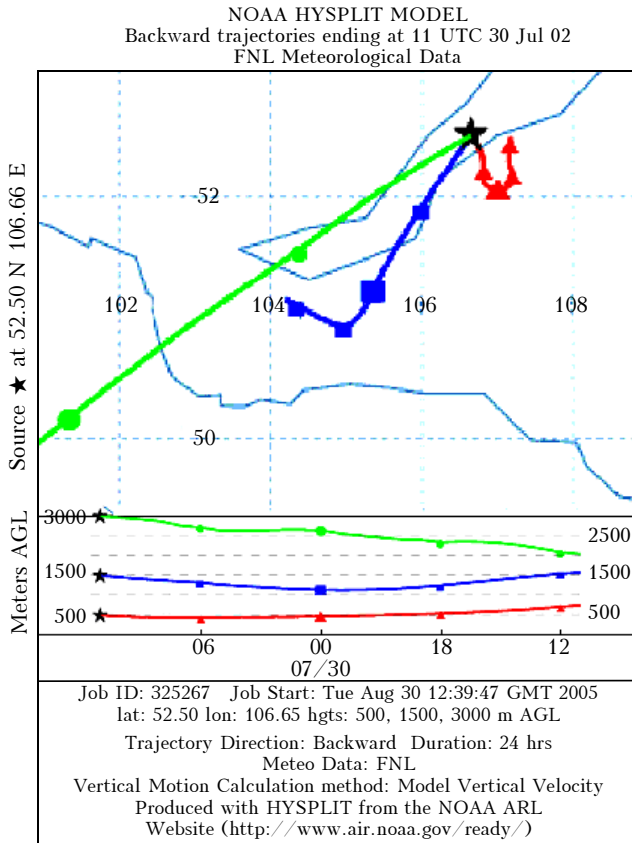
Таким образом, рассчитанные отношения R над акваторией оз. Байкал напрямую зависят от расстояния между станцией отбора и источником загрязнения.

Заключение

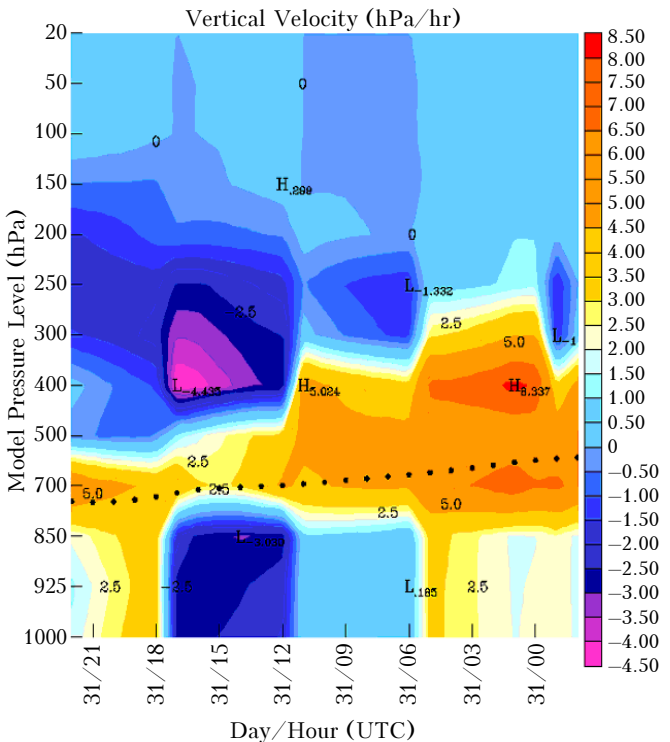
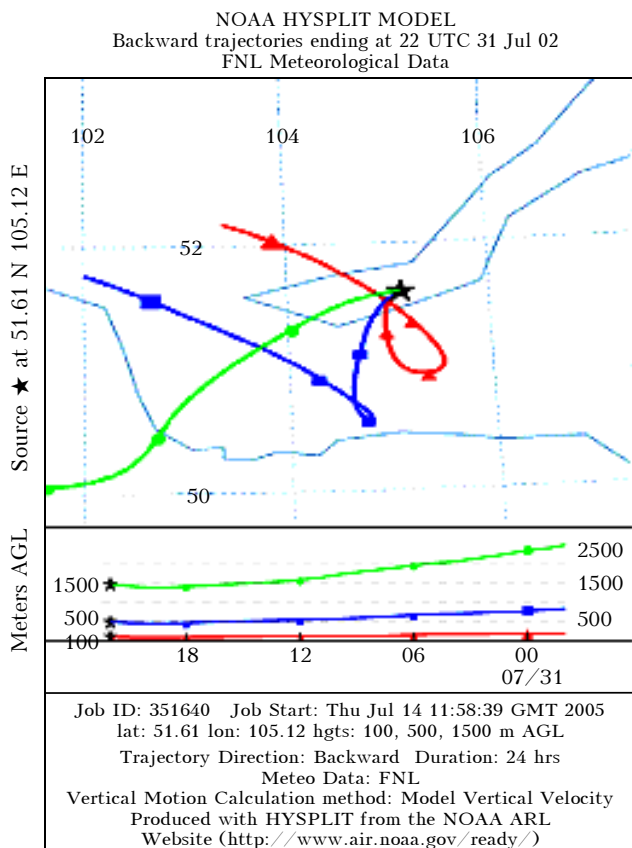
Показано, что зарегистрированные средние суммарные концентрации приоритетных ПАУ в окружающем воздухе над акваторией Байкала близки к значениям, определенным в фоновых районах. Тем не менее пространственное распределение достаточно неоднородно. Имеются места как с меньшими, так и с большими концентрациями, что видно на пространственных картах распределения ПАУ в атмосфере над акваторией оз. Байкал.

Рассчитанные отношения R над акваторией оз. Байкал адекватно соответствуют зависимости удаленности станции отбора от источника загрязнения. И для значений R в пределах от $> 0,65$ (район акватории Южного Байкала) до $< 0,75$ (район акватории Среднего Байкала) соответствуют мезометорологическому масштабу атмосферных движений на дистанции от нескольких десятков (> 10 км) до нескольких сотен километров (< 300 км).

Анализ карт пространственного распределения АОТ (см. рис. 1), ПАУ (см. рис. 2), синоптической ситуации и карт обратных траекторий (см. рис. 4) воздушных переносов в исследуемом районе показывает характерные тенденции в пространственных флуктуациях этих величин. Благодаря этому можно



a



b

Рис. 4. Обратные траектории переноса воздушных масс в район м. Облом (а), в район п. Танхой (б). Вертикальные движения для расчетных траекторий на высотном уровне 1,5 км

осуществить идентификацию (с учетом распределения оценки R) источников поступления аэрозольных загрязняющих примесей в акваторию оз. Байкал через атмосферный канал в процессе трансграничного переноса воздушных масс.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 05-05-39014, 05-05-97240.

1. *Балин Ю.С., Ершов А.Д., Пеннер И.Э.* Лидарные корабельные исследования аэрозольных полей в атмосфере оз. Байкал. Часть 1. Продольные разрезы // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16. № 5–6. С. 438–446.
2. *Балин Ю.С., Ершов А.Д., Пеннер И.Э.* Лидарные корабельные исследования аэрозольных полей в атмосфере оз. Байкал. Часть 2. Поперечные разрезы // Оптика атмосфер. и океана. 2003. Т. 16. № 7. С. 587–597.
3. *Байрашин Г.С., Балин Ю.С., Ершов А.Д., Пеннер И.Э.* Сканирующий лидар «ЛОЗА-М» для контроля аэрозольных полей в атмосфере // Наука – производству. 2003. № 9(65). С. 20–23.
4. *Fernald F.G.* Analysis of atmospheric lidar observations: some comments // Appl. Opt. 1984. V. 23. N 5. P. 652–653.
5. *Балин Ю.С., Ершов А.Д., Самойлова С.В.* Обращение лидарных данных при исследовании оптических характеристик слабозамутненной атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 2002. Т. 15. № 10. С. 894–899.
6. *Golden Software, Inc.*, <http://www.goldensoftware.com>
7. *Состояние и комплексный мониторинг природной среды и климата. Пределы измерений* / Под ред. Ю.А. Израэля. М.: Наука, 2001. 242 с.
8. *Nikolaou K., Masclat P., Mouvier G.* Sources and chemical reactivity of polynuclear aromatic hydrocarbons in the atmosphere // Environ. Sci. and Technol. 1984. V. 32. N 2. P. 103–132.
9. *Omar N.Y.V.J., Abas M.R.B., Ketuly K.A., Tahir N.M.* Concentrations of PAHs in atmospheric particles (PM-10) and roadside soil particles collected in Kuala Lumpur, Malaysia // Atmos. Environ. 2002. V. 36. P. 247–254.
10. *Nielsen T., Jorgensen H.E., Larsen J.C., Poulsen M.* City air pollution of polycyclic hydrocarbons and other mutagens: occurrence, sources and health effects // Sci. Total Environ. 1996. V. 189/190. P. 41–49.
11. *Fang M., Zeng M., Wang F., To K.L., Jaafar A.B., Tong S.L.* The solvent-extractable organic compounds in the Indonesia biomass burning aerosols-characterization studies // Atmos. Environ. 1999. V. 33. P. 783–795.
12. *Zeng M., Wan T.S.M., Fang M., Wang F.* Characterization of the non-volatile organic compounds in the aerosols of Hong Kong-identification, abundance and origin // Atmos. Environ. 1997. V. 31. P. 227–237.
13. *Аргучинцев В.К., Макухин В.Л.* Математическое моделирование распространения аэрозолей и газовых примесей в пограничном слое атмосферы // Оптика атмосфер. и океана. 1996. Т. 9. № 6. С. 804–814.
14. *Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1996 году* / Гл. ред. Ю.Н. Удодов. Иркутск: Гос. комитет по охране окр. среды Иркутской обл., 1997. 231 с.
15. *Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 1995 году* / Под ред. Ю.Н. Удодова и др. Иркутск: Гос. комитет по охране окр. среды Иркутской обл., 1996. 131 с.
16. *Государственный доклад. Экологическая обстановка в Иркутской области в 1994 году* / Под ред. А.Л. Малевского. Иркутск: Иркут. обл. комитет по охране окр. среды и природных ресурсов минприроды РФ, 1995. 198 с.
17. *Экологическая обстановка в Иркутской области в 1993 г.* Ежегодный доклад. Иркутск: Иркут. обл. комитет по охране окр. среды и прир. ресурсов, 1994. 204 с.
18. *Суздорф А.Р., Морозов С.В., Кузубова Л.И., Анишиц Н.М., Анишиц А.Г.* // Химия в интересах устойчивого развития. 1994. Т. 2. № 2–3. С. 511–540.
19. *Филитов С.П., Павлов П.П., Кейко А.В., Горшков А.Г., Бельх Л.И.* Экологические характеристики теплоисточников малой мощности. Препр. / ИСЭМ СО РАН. Иркутск, 1999. № 5. 48 с.
20. *Метеорологические* ежемесячники. Вып. 22. Ч. 2. Новосибирск, 1985–1994.
21. *Метеорологические* ежемесячники. Вып. 23. Ч. 2. Чита, 1985–1994.

Yu.S. Balin, A.D. Ershov, I.E. Penner, V.L. Makukhin, I.I. Marinaite, V.L. Potemkin, G.S. Zham-sueva, A.S. Zayakhanov, V.P. Butukhanov. Experimental and model studies of atmospheric aerosol spatial distribution above Lake Baikal.

Results of complex ship studies of the spatial distribution of aerosol fields conducted with the use of the laser sensing and local control are presented. Based on immediate aerosol sampling followed by determination of concentrations of individual fractions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) by the chromatography method, the map of the concentration distributions above Lake Baikal was constructed. It was found that PAH summarized mean concentrations are close to the background ones and their spatial distribution is rather non-uniform. The simultaneous analysis of 2-D spatial lidar cuts of aerosol fields has shown characteristic tendencies in spatial fluctuations of these parameters.

In addition to instrumental investigations, model calculations of the PAH distributions were conducted based on the numerical solution of the spatial nonstationary semiempirical equation of the admixture turbulent diffusion. The comparison with the experiment has shown the calculated concentrations to be close to the measured ones.