

## Комплексная оценка состояния воздушного бассейна над Прибайкальем и озером Байкал

Б. Д. Белан\*, В. Е. Зуев\*, В. К. Ковалевский\*,  
М. В. Панченко\*, Е. В. Покровский\*, А. В. Поданев\*,  
Т. М. Рассказчикова\*, Г. Н. Толмачев\*

Приводится распределение газовых и аэрозольных примесей над Прибайкалем и Байкалом, построенное по данным самолетного зондирования. Установлено, что в период эксперимента значительная часть загрязняющих веществ поступила на территорию озера от иркутской промышленной зоны и в системе круговой циркуляции распространялась над всей акваторией. В результате наложения ряда факторов над оз. Байкал создается инверсионное распределение примесей по вертикали и опасность загрязнения воды озера из атмосферы.

Озеро Байкал — одно из величайших озер мира, в котором сосредоточена значительная часть запасов пресной воды, имеющейся на Земле. Вместе с тем в этом регионе и в непосредственной близости к его акватории расположены крупные промышленные объекты, выбрасывающие в атмосферу большое количество загрязняющих веществ, которые оказывают воздействие на чистоту воды в озере. В сентябре 1991 г. ПГО "Бурятгеология" и Институт оптики атмосферы СО РАН провели комплексное обследование состояния воздушного бассейна Прибайкалья и оз. Байкал. Целью работы являлось исследование распределения примесей в воздухе над указанной территорией и оценка возможности загрязнения воды озера из атмосферы.

В ходе эксперимента использовался самолет-лаборатория Ан-30 "Оптик-Э", состав аппаратуры которого и набор регистрируемых параметров детально описаны в [10]. В настоящей статье речь пойдет в основном об измерении газовых и аэрозольных компонентов воздуха, поэтому кратко напомним некоторые сведения о применяемых для этих целей приборах и методах.

Для оперативного измерения содержания озона, оксида и диоксида углерода на борту были установлены газоанализаторы 3-02 П и ГИАМ-15. Остальные газы сразу же после полета идентифицировались на газовом хроматографе по пробам, отобранным в контейнеры. В связи с тем, что пробы анализировались в полевых условиях, пороги обнаружения многих газов оказались высокими. Их уровни соответствовали концентрациям, характерным для загрязненной атмосферы. Технические характеристики вышеупомянутых газоанализаторов описаны в литературе, поэтому здесь не приводятся.

Дисперсный состав аэрозоля измерялся в помощью фотоэлектрического счетчика АЗ-5, модернизированного с учетом рекомендаций [5], и диффузионного спектрометра аэрозоля, изготовленного в ИХКГ СО РАН.

\* Институт оптики атмосферы Сибирского отделения РАН.

Это позволяло охватить диапазон размеров частиц от 3 нм до 10 мкм по 23 каналам.

Для анализа химического состава частиц аэрозоль предварительно концентрировался на фильтры типа АФА. Одновременно экспонировалось три фильтра: АФА-ХА-20, АФА-ХП-20 и АФА-ВП-20. Через каждый из них прокачивалось 3—5 м<sup>3</sup> воздуха. Такой объем был определен ранее экспериментально [10] и обусловлен тем, что при меньших расходах получается навеска аэрозоля, недостаточная для идентификации ряда веществ, а при больших объемах начинается расходование тела самого фильтра.

Отобранные пробы аэрозоля обрабатывались затем на кафедре аналитической химии Томского государственного университета с применением методов, перечисленных в табл. 1, в которой указаны также идентифицируемые элементы, пороги обнаружения и погрешности.

Данные оперативных измерений обрабатывались бортовой системой регистрации с частотой 1 Гц. Также в полете вычислялись координаты места, скорость и направление ветра по навигационному треугольнику.

Самолетное зондирование атмосферы над Прибайкальем и Байкалом выполнялось с 20 по 28 сентября 1991 г. по схеме, приведенной на рис. 1. Обследование подверглась территория площадью около 250 тыс. км<sup>2</sup>. Маршруты самолета выбирались так, чтобы они пересекали основное (западно-восточное) направление переноса воздуха, проходили над Байкалом и по долинам крупных рек (Селенга, Джиды, Уда, Баргузин). Расстояние между маршрутами было 90—180 км. Маршруты в свою очередь делились на участки, длина которых определялась продолжительностью отбора проб газов и аэрозоля и составляла 120—150 км. Все маршруты выполнялись на высотах 400 и 900 м над рельефом местности, включая котловину

Таблица 1

Методы, применявшиеся для определения химического состава частиц аэрозоля, и показатели их точности

Элемент	Метод	Порог обнаружения, мкн/фильтр	Погрешность, %
Al, Co, Cr, Mo, Ni, Ti, Zn, B, Si	Атомно-эмиссионный	0,02	20
Ag, Ba, Cu, Pb, Sn, V, Mg, Mn	То же	0,01	20
Fe, Ga, W	"	0,1	20
Ca, Cd	"	0,2	20
In	"	0,002	20
As, Ag, Zn	Инверсная вольт-амперометрия	0,02	15
Cd <sup>2+</sup>	То же	0,04	15
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup>	Пламенная фотометрия	0,20	10
Fe, Cl <sup>-</sup>	Высокоэффективная жидкостная хроматография	0,20	10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	То же	2,00	15
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	"	0,60	10
F <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ионометрия	0,20—0,60	10

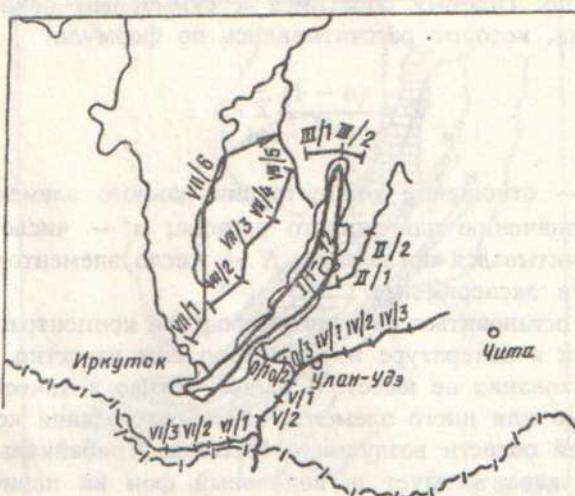


Рис. 1. Схема самолетного зондирования Прибайкалья.

Римскими цифрами обозначены номера маршрутов, арабскими — номера участков.

озера и долины рек. Полеты выполнялись из аэропортов Иркутск и Улан-Удэ.

Опыт, полученный нами при проведении подобных исследований [2—4], свидетельствует о том, что при изучении состава воздуха важную роль играет синоптическая обстановка, в которой проводился эксперимент. Во-первых, фоновая концентрация загрязнений в конкретном регионе в значительной степени определяется типом воздушной массы и траекторией ее движения. Во-вторых, термическая стратификация и режим ветра, характерные для каждого типа воздушной массы, определяют интенсивность рассеивания примесей и высоту слоя перемешивания, в котором они рассеиваются. В-третьих, при смене воздушных масс (обычно в зоне фронтов) наблюдаются осадки, которые вызывают очищение воздуха. Поэтому важен интервал времени, в течение которого на территории региона сохраняется воздушная масса одного типа. По нашим данным [4, 5], восстановление поля газовых компонентов после прохождения фронта осуществляется в течение 1—2 суток, восстановление поля аэрозоля происходит за 4—5 суток.

Не приводя детальный синоптический анализ, дадим общую характеристику состояния атмосферы в период эксперимента. В целом во время зондирования Прибайкалья преобладала погода, обусловленная малоградиентным барическим полем с неустойчивыми воздушными массами. Вследствие этого на территории региона местами наблюдались кратковременные осадки, что, на наш взгляд, может несколько занизить оценку концентрации аэрозольных компонентов.

На основании выполненных измерений в ПГО "Бурятгеология" было построено по 50 карт для каждой высоты, на которые наносились данные об одном газе или элементе состава аэрозоля. Естественно, что в рамках одной статьи такой большой объем материала привести и проанализи-

ровать невозможно. Поэтому обратимся к суммарным показателям загрязнения воздуха, которые рассчитывались по формуле

$$Z = \frac{(n - 1)}{N} \sum_{i=1}^n K_i$$

где  $K_i = K_c/K_\phi$  — отношение концентрации данного элемента в пробе к ее фоновому значению для данного региона;  $n$  — число элементов, по которым рассчитывался показатель;  $N$  — число элементов или газов, определявшихся в эксперименте.

Здесь уместно остановиться на понятии фоновой концентрации, которое часто обсуждается в литературе и, насколько нам известно, до сих пор однозначного толкования не имеет. В нашем случае в качестве фоновой концентрации того или иного элемента взята его средняя концентрация в наиболее чистой области воздушного бассейна Прибайкалья, т. е. величина, которая характеризует региональный фон на период эксперимента.

На рис. 2 приведены интегральные показатели содержания газов в воздушном бассейне Прибайкалья на высотах 400 и 900 м над уровнем оз. Байкал. При расчете этих показателей учитывались следующие газы:  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ , а также ацетон, ацетилен, бензин, бензол, ксиол, толуол.

По данным рис. 2б видно, что газовые составляющие поступают на акваторию озера от иркутской промышленной зоны в его южной части, где отсутствуют горные хребты, а затем распространяются по всей территории вдоль его восточного побережья. В целом же концентрация газовых примесей в воздухе на высоте 900 м не очень велика, о чем свидетельствует величина интегрального показателя, не превышающая 50.

На уровне 400 м (рис. 2а) содержание газовых примесей в воздухе над озером увеличилось ( $Z = 80$ ). При этом изменилась и конфигурация изолиний над акваторией.

Увеличение индекса  $Z$ , по-видимому, связано с действием местных источников выбросов, каковыми являются Байкальский и Селенгинский ЦБК.

Изменение конфигурации поля индекса загрязнения воздуха связано с двумя причинами. Во-первых, на этой высоте (400 м) не должно наблюдаться прямое попадание шлейфов выбросов от иркутской промышленной зоны, так как рельеф их отсекает. Во-вторых, в котловине озера имеется своя внутренняя циркуляция, способствующая распространению примесей над акваторией озера. Эта циркуляция была обнаружена при самых первых попытках обработки данных и описана нами в [9]. На рис. 3 видно, что вдоль восточного берега озера поток воздуха перемещается с юга на север, а вдоль западного, наоборот, с севера на юг. Причем интенсивность циркуляции несколько больше на высоте 400 м, чем на 900 м.

Если сопоставить рис. 2а и 3 и предположить, что внешних источников примесей нет, а в системе циркуляции переносятся вещества, поступившие сверху или в пределах зоны ее действия, то получим поле концентраций, приведенное на рис. 2а.

Для построения рис. 4, представляющего интегральные показатели содержания токсичных элементов в составе частиц аэрозоля, использовались

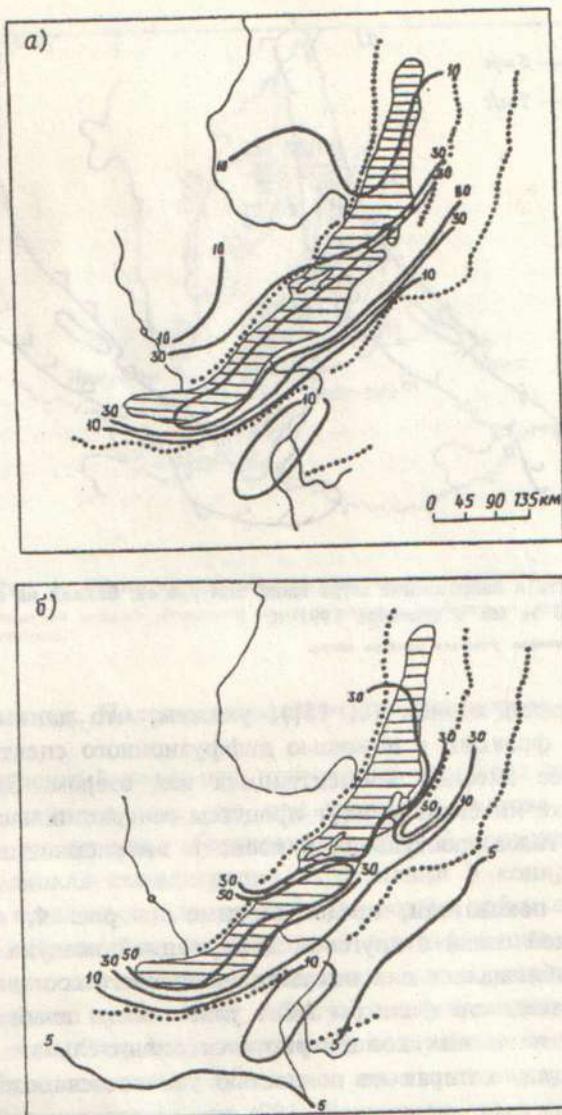


Рис. 2. Интегральный показатель загрязнения воздуха газами на высоте 400 (а) и 900 м (б).  
Точками обозначены осевые линии хребтов.

данные по следующим элементам и ионам:  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $Hg^{2+}$ ,  $As^{5+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Fe$ ,  $Mn$ ,  $Mg$ ,  $Pb$ ,  $Cr$ ,  $Sn$ ,  $Ni$ ,  $Al$ ,  $Ti$ ,  $Cu$ ,  $V$ ,  $Mo$ ,  $Co$ ,  $Ca$ ,  $Si$ ,  $Ba$ ,  $Be$ ,  $B$ ,  $Sb$ . Распределение аэрозоля над озером и окрестностями по сравнению с газами менее однородно, а интегральные показатели имеют большую величину. В большей степени это проявляется на уровне 900 м, где  $Z$  достигает значений 500.

Такая картина наблюдается, по-видимому, по следующим причинам. Во-первых, на территорию озера приносится извне намного больше аэрозоля, чем образуется над ним. Об этом свидетельствуют и данные работы [15]. Во-вторых, не приводя данных о дисперсном составе аэрозоля (он

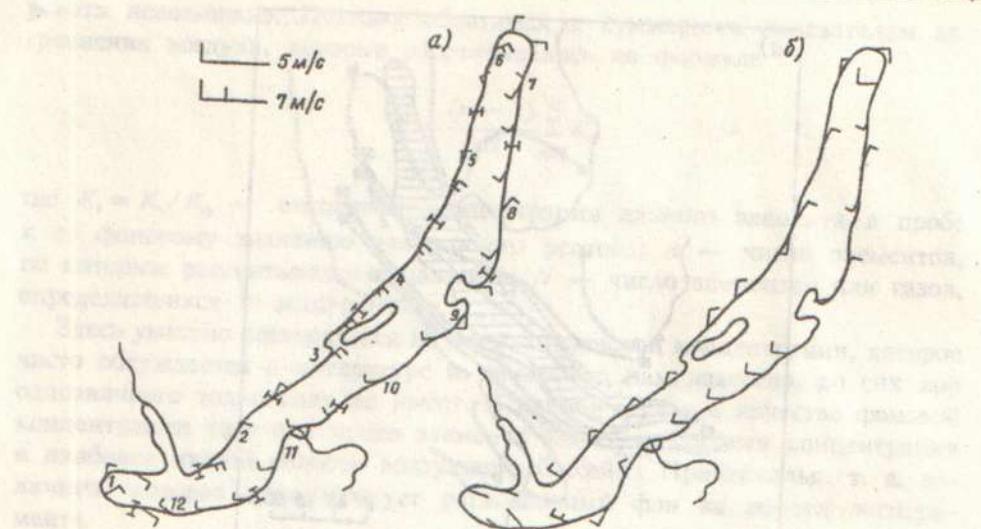


Рис. 3. Скорость и направление ветра вдоль контура оз. Байкал на высотах 400 (а) и 900 м (б) в сентябре 1991 г.

Цифры 1—12 — номера участков контура озера.

относительно хорошо изучен [8, 15]), укажем, что данные измерений мелкодисперсной фракции с помощью диффузионного спектрометра свидетельствуют о ее высоких концентрациях над озером. Это говорит о том, что в воздухе интенсивно идут процессы генерации частиц из аэрозолеобразующих газов, поступающих извне и выбрасываемых над акваторией.

Интегральные показатели, представленные на рис. 4, не выявляют также такой тесной связи с круговой циркуляцией воздуха в котловине озера, которая наблюдалась для показателей газового состава. Возможно, это обусловлено тем, что фильтры АФА улавливают почти все частицы  $\geq 0,1 \text{ мкм}$  [13] и на них концентрируется значительная часть грубодисперсной фракции, которая не полностью увлекается воздушными потоками. Однако высокие значения  $Z$  (100) над северными районами озера (рис. 4а), где не имеется собственных источников антропогенного аэрозоля, невозможно объяснить, если исключить из рассмотрения круговую циркуляцию воздуха в котловине озера.

Таким образом, примеси воздуха, поступающие на территорию оз. Байкал в системе западно-восточного переноса от иркутской промышленной зоны, затем попадают в систему круговой циркуляции и разносятся по всей его акватории. Кроме того, направление этой циркуляции вдоль восточного берега озера (с юга на север) способствует тому, что загрязняющие вещества заполняют долины рек, впадающих в озеро с восточной стороны, о чем можно судить по повышенным значениям интегральных показателей в долинах рек Баргузин и Селенга (см. рис. 2 и 4). Последнее обстоятельство фиксировалось даже визуально в ходе полетов.

Исследование состава воздуха над оз. Байкал в таком масштабе выполнено впервые. Поэтому сравнить полученные данные с другими ре-

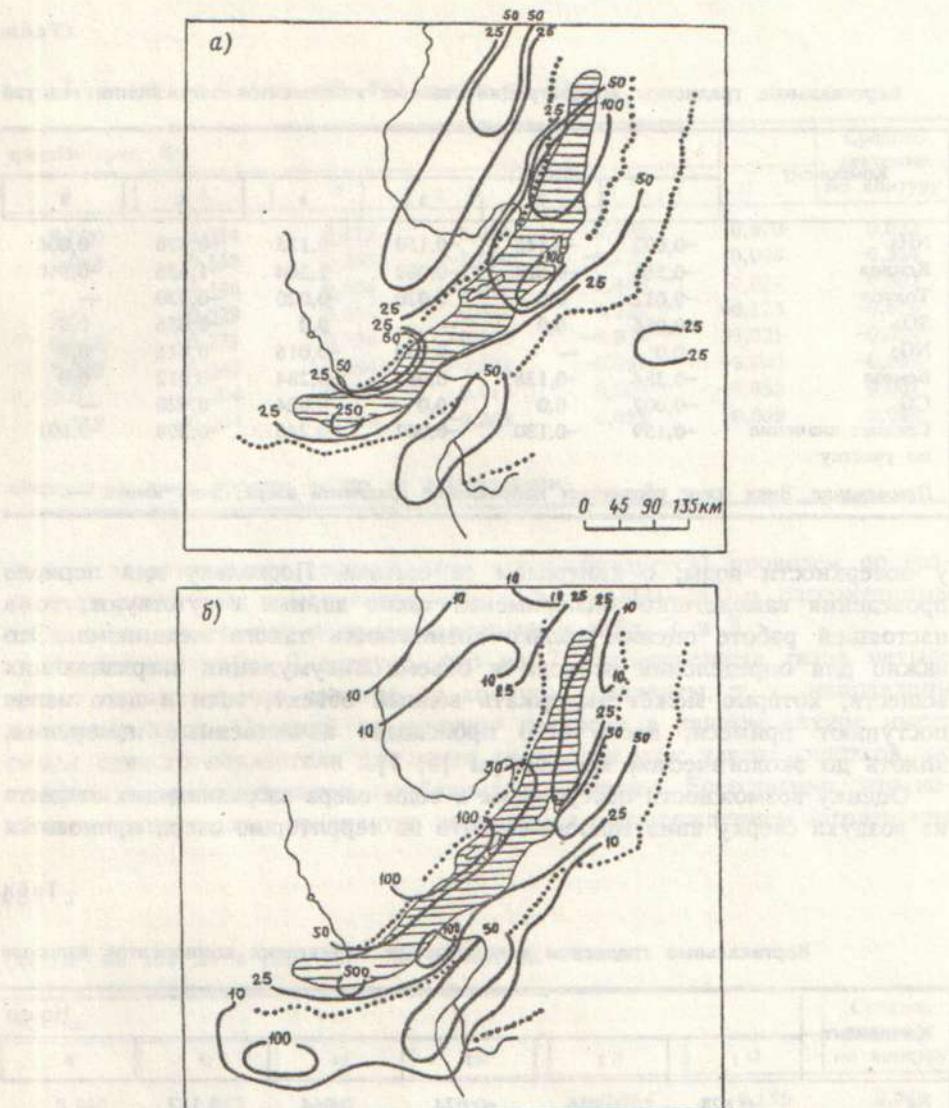


Рис. 4. Интегральный показатель загрязнения воздуха токсичными элементами на высоте 400 (а) и 900 м (б).

зультатами измерений невозможно. Однако для этого региона имеются данные численного моделирования функций чувствительности, полученные Г. И. Марчуком с коллегами [11, 12]. Если отбросить мелкие детали на рис. 2 и 4, то изолинии интегральных показателей, приведенные здесь, и изолинии функций чувствительности оказываются хорошо совпадающими по конфигурации, что в определенной степени подтверждает неслучайный характер измеренных пространственных распределений при месей.

Для однозначного ответа на вопрос о загрязнении оз. Байкал через атмосферу необходим специально поставленный эксперимент, предполагающий проведение самолетного зондирования и синхронных измерений

Табл

Вертикальные градиенты концентрации газовых компонентов загрязнения воздуха

Компонент	Номер					
	1	2	3	4	5	6
NH <sub>3</sub>	-0,092	-0,148	-0,150	-0,125	-0,376	0,006
Ксилол	-0,586	-0,624	-0,002	-1,304	-1,656	-0,010
Толуол	-0,012	0,0	0,020	-0,020	-0,020	-
SO <sub>2</sub>	-0,086	0,0	-	0,0	-0,056	0,0
NO <sub>2</sub>	0,0	-	-0,250	-0,016	0,016	0,0
Бензол	-0,334	-0,138	-0,084	-0,284	-0,012	0,0
CO	-0,002	0,0	0,0	0,024	0,020	-
Среднее значение по участку	-0,159	-0,130	-0,067	-0,246	-0,298	-0,001

*Примечание.* Знак плюс обозначает направление градиента вверх, знак минус -

у поверхности воды, с контролем ее состава. Поскольку для периода проведения самолетного эксперимента такие данные отсутствуют, то в настоящей работе оценим только возможность такого механизма. Это важно для определения периода и объема аккумуляции загрязняющих веществ, которые может выдержать водный объект, если в него извне поступают примеси, после чего происходят качественные изменения, вплоть до экологической катастрофы [6, 7].

Оценку возможности поступления в воды озера загрязняющих веществ из воздуха сверху вниз (напомним, что на территорию озера приносится

Табл

Вертикальные градиенты концентрации химических компонентов аэрозоля

Компонент	Номер					
	1	2	3	4	5	6
Na <sup>+</sup>	-0,128	0,056	-0,024	0,064	0,182	-
K <sup>+</sup>	0,048	-	-0,006	-0,012	0,006	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	-
As <sup>5+</sup>	-	0,016	-	-0,018	-	-0,018
Zn <sup>2+</sup>	0,016	0,082	0,218	0,048	-0,024	-0,134
Fe	0,024	0,132	-0,362	0,702	-	-0,218
Mn	-0,004	-0,016	-0,142	0,0	0,016	-0,002
Mg	-0,018	-0,028	-0,030	0,0	0,006	0,004
Cr	0,002	-0,062	-0,088	0,146	-	-0,014
Ni	-0,010	-0,020	-0,044	0,060	0,196	-0,004
Ti	-0,004	0,0	-0,016	0,010	0,012	0,012
Cu	-0,008	0,022	-0,006	-0,036	0,024	-0,006
Si	0,008	-0,010	-0,048	0,036	-0,008	0,006
Al	0,172	0,808	-0,882	-1,724	-2,100	0,566
Среднее значение по участку	0,007	0,070	-0,101	-0,052	-0,121	0,067

*Примечание.* Обозначения те же, что и в табл. 2.

ица 2

(мг/м<sup>3</sup> на 100 м) в слое 400—900 м над оз. Байкал

участка (рис. 3а)						Среднее значение по контуру
7	8	9	10	II	12	
0,020	0,064	0,175	0,064	0,170	0,670	0,023
0,048	0,568	0,350	-1,034	-0,120	0,004	-0,364
—	-0,446	0,624	-0,608	0,446	0,034	0,002
0,0	-0,028	0,096	0,022	-0,020	-0,124	-0,016
0,016	-0,221	0,124	-0,268	-0,024	-0,021	-0,054
0,040	0,040	0,096	-0,022	-0,086	-0,042	-0,069
0,0	-0,004	-0,004	0,012	0,004	-0,038	0,001
0,018	-0,004	0,209	-0,262	0,053	0,069	-0,068

направление вниз, прочерк — газ не зафиксирован.

больше загрязняющих веществ, чем здесь образуется) проведем по градиентам различных компонентов воздуха в слое 400—900 м, рассчитанным по данным измерений и представленным в табл. 2 и 3.

Из данных табл. 2 следует, что из 7 рассмотренных газов четыре имеют отрицательные средние по контуру градиенты, т. е. направлены в сторону воды. Средний по контуру градиент в данном случае имеет смысл единого показателя для всего озера, так как длины участков, по которым он рассчитывался, приблизительно равны. Естественно, что наличие отрицательных градиентов не является подтверждением загрязнения

ица 3

(мкг/м<sup>3</sup> на 100 м) в слое 400—900 м над оз. Байкал

участка						Среднее значение по контуру
7	8	9	10	II	12	
0,310	0,082	—	—	-0,064	0,156	0,048
0,082	-0,068	—	—	-0,322	-0,034	-0,030
—	—	-0,242	-0,344	-0,188	-0,308	-0,090
0,164	-0,010	-0,016	—	—	0,004	0,010
-0,212	0,122	0,058	-0,448	-0,058	-0,056	-0,032
0,330	0,332	0,524	-0,092	0,144	-0,770	0,062
0,014	0,014	0,006	-0,004	0,004	-0,010	-0,010
0,0	0,022	-0,004	—	—	0,032	-0,001
0,040	0,046	0,138	0,008	0,002	-2,302	-0,174
0,048	0,048	0,044	0,0	0,026	-0,024	0,027
0,006	0,006	0,004	0,0	0,006	0,002	0,003
0,038	0,002	0,0	0,002	0,026	0,004	0,006
0,014	-0,012	0,006	—	-0,306	0,016	-0,025
1,874	2,012	-0,022	0,200	-0,018	0,032	-0,018
0,193	0,185	0,035	-0,048	-0,053	-0,233	-0,016

воды, так как имеют еще значение направление турбулентных потоков и растворимость газов в воде. Однако на возможность переноса этих компонентов загрязнения воздуха к поверхности озера с последующей аккумуляцией они указывают.

Градиенты, рассчитанные для отдельных участков, имеют условный характер и показывают, в каких частях озера может произойти поступление газов к поверхности. Из табл. 2 видно, что отрицательные градиенты наблюдаются в основном над западным побережьем, где внутренняя циркуляция воздуха направлена с севера на юг [9] и куда поступают шлейфы выбросов иркутской промышленной зоны.

Если же рассматривать градиенты концентрации отдельных газов на разных участках (см. табл. 2), то можно отметить отклонения от указанных общих тенденций. Возможно два объяснения такому разнородному распределению. Во-первых, в котловине озера имеются собственные источники газов, в результате чего происходит наложение полей, обуславливающее усиление или ослабление общих закономерностей. Во-вторых, в системе круговой циркуляции воздуха в котловине озера не очень развиты турбулентные движения, о чем свидетельствовало отсутствие болтанки самолета-лаборатории в период эксперимента. Поэтому процессы рассеивания примесей и их перемешивания здесь не столь интенсивны и шлейфы выбросов отдельных источников сохраняют некоторую индивидуальность.

Химический состав аэрозольного компонента загрязнения распределен над озером подобным образом (табл. 3). У девяти из 14 рассмотренных компонентов средний по контуру градиент имеет отрицательное значение, т. е. указывает на возможность их поступления в воду.

Распределение знака градиентов компонентов аэрозоля по контуру озера несколько иное. Они оказались положительными над противоположными берегами: юго-западным и северо-восточным. Это отражает, с одной стороны, действие круговой циркуляции в котловине озера. С другой стороны, отличие от распределения градиентов газовых компонентов указывает на то, что аэрозольные примеси поступают от других источников, т. е. еще раз подчеркивается вывод, что шлейфы выбросов индивидуальных источников сохраняют в атмосфере над Байкалом определенную индивидуальность. Отметим, что вывод о сохранении индивидуальности шлейфов выбросов сделан нами не гипотетически, а на основании более ранних работ, посвященных лидарному зондированию выбросов предприятий и их распространению в атмосфере, которые выявили сохранение отдельных струй в шлейфах на протяжении десятков километров [1].

Подводя итог этой части статьи, отметим, что и газовые, и аэрозольные компоненты загрязнений, по крайней мере в слое 400—900 м, указывают на возможность загрязнения озера через атмосферу.

Косвенным подтверждением сохранения отрицательных градиентов отдельных примесей до поверхности воды могут стать данные табл. 4, составленной по данным наших измерений на высоте 400 м и результатам судовых измерений, опубликованным в [14, 15]. Видно, что концентрация почти всех сопоставляемых компонентов на высоте 400 м больше (иногда во много раз), чем у поверхности воды. Это говорит о том, что возможность загрязнения оз. Байкал под действием подобного механизма вполне реальна.

Таблица 4

Концентрации химических компонентов аэрозоля ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) над оз. Байкал

Элемент	Уровень, м	Часть озера		
		зог	центр	север
Ca	400	0,85	0,42	—
	10	0,40	0,33	0,40
Na <sup>+</sup>	400	0,78	0,56	1,22
	10	0,48	0,15	0,20
K <sup>+</sup>	400	0,34	0,12	0,14
	10	0,35	0,10	0,11
Cr	400	0,22	0,81	0,18
	10	0,002	—	—
Cu	400	0,12	0,22	0,11
	10	0,09	0,02	0,01
Zn	400	0,42	0,05	0,06
	10	0,01	0,002	0,003
Fe	400	2,10	6,50	2,00
	10	0,32	0,14	0,06

Таким образом, приведенные в настоящей статье данные свидетельствуют о том, что в атмосфере над Байкалом наблюдается инверсионное распределение примесей по вертикали, которое может оказаться источником загрязнения его водной массы. В период данного эксперимента значительная масса примесей поступала извне, из иркутской промышленной зоны. Однако при другом типе циркуляции не исключено поступление загрязняющих веществ из Бурятии и Читинской области.

В заключение работы укажем, что приведенные данные были получены и обработаны сравнительно давно. Однако их противоречие с общепринятым мнением о чистоте воздуха над Байкалом и невозможность со-поставления с другими результатами оставляли у авторов некоторое сомнение. В 1995 г. при поддержке Международного научного фонда (грант NY2000), Российского фонда фундаментальных исследований (грант 95-05-16562) и объединенного гранта Международного научного фонда и Правительства РФ (NY2300) был проведен самолетный эксперимент на Байкале, детальная обработка результатов которого проводится в настоящее время. Но уже первые данные подтверждают правомерность полученных ранее результатов. Поэтому авторы, выражая свою искреннюю признательность этим фондам, считают, что без их поддержки появление данной работы было бы невозможно.

#### Литература

- Белан Б. Д., Бурков В. В., Панченко М. В., и др. Некоторые результаты зондирования промышленных выбросов бортовым лидаром Макрель-2М. — Оптика атмосферы, 1992, т. 5, № 2, с. 186—192.
- Белан Б. Д., Задде Г. О., Ковалевский В. К. и др. Аэросиноптические условия периода экспериментов и режим аэрозоля по самолетным дан-
- ным./В кн.: Результаты комплексных экспериментов "Вертикаль-86" и "Вертикаль-87". — Томск, ТНЦ СО АН СССР, 1989, с. 3—17.
- Белан Б. Д., Задде Г. О., Пхалагов Ю. А., Рассказчикова Т. М. О временной трансформации вертикального распространения аэрозоля в нижней атмосфере. — Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана, 1987, т. 23, № 6, с. 622—628.

4. Белан Б. Д., Микушев М. К., Панченко М. В. и др. Особенности прохождения photoхимических процессов в воздухе промышленных центров. — Оптика атмосферы, 1991, т. 4, № 9, с. 995—1005.
5. Беляев С. П., Гончаров Н. В., Дубровин М. А. Исследование характеристик и модернизация счетчика аэрозольных частиц АЗ-5. — Труды ИЭМ, 1980, вып. 25(93), с. 31—37.
6. Вахромеев Г. С. Экологическая геофизика — новый вид комплексного мониторинга. Тезисы докладов международной конференции "Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды". — Томск, 1995. с. 24.
7. Григорьев А. А. Экологические уроки исторического прошлого и современности. — Л., Наука, 1991, 252 с.
8. Загайнов В. А., Лушников А. А., Никитин О. Н. и др. Фоновый аэрозоль над Байкалом. — Доклады АН СССР, 1989, т. 308, № 5, с. 1087—1090.
9. Зуев В. Е., Антонович В. В., Белан Б. Д. и др. Феномен круговой циркуляции воздуха в котловине озера Байкал. — Доклады РАН, 1992, т. 325, № 6, с. 1146—1150.
10. Зуев В. Е., Белан Б. Д., Кабанов Д. М. и др. Самолет-лаборатория Ан-30 "Оптик-Э" для экологических исследований. — Оптика атмосферы и океана, 1992, т. 5, № 10, с. 1012—1021.
11. Марчук Г. И. Математическое моделирование в задачах экологии. — Препринт ОВМ АН СССР, 1989, № 234, 36 с.
12. Пенеко В. В., Алоян А. Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. — Новосибирск, Наука, 1985, 256 с.
13. Фильтры АФА. Каталог-справочник. — М., Атомиздат, 1970, 43 с.
14. Ходжер Т. В., Потемкин В. Л., Оболкин В. А. Химический состав аэрозоля и малые газовые примеси в атмосфере над Байкалом. — Оптика атмосферы и океана, 1994, т. 7, № 8, с. 1059—1066.
15. Khodzer T. V. and Obolkin V. A. Present state and main results of atmosphere monitoring in Baikal region. — Workshop Siberian Haze. Institut fur Experimentalphysik der Universität Wien, 1991, pp. 58—76.

Поступила  
3 I 1996

## INTEGRATED ASSESSMENT OF THE AIR BASIN CONDITION OVER THE BAIKAL REGION AND LAKE BAIKAL

B. D. Belan, V. E. Zuev, V. K. Kovalevskii, M. V. Panchenko, E. V. Pokrovskii,  
A. V. Podanev, T. M. Rasskazchikova, and G. N. Tolmachev

*The distribution of gaseous and aerosol pollutants over the Baikal region and Lake Baikal based on aircraft sounding data is presented. It is found that during the experiment a considerable portion of pollutants over the lake area came from the Irkutsk industrial zone and spread over the entire water area within the circulation system. The superposition of a number of factors results in a vertical inversion distribution of pollutants over Lake Baikal and creates a danger of water pollution from the atmosphere.*