

Т.В. Ходжер, Л.П. Голобокова, В.А. Оболкин, В.Л. Потемкин, О.Г. Нецветаева

## МЕЖСУТОЧНАЯ И СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ИОННОГО СОСТАВА АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ НА ЮГЕ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Рассматривается распределение главных ионов в аэрозолях на основе экспериментальных данных по станциям мониторинга Байкальского региона.

По результатам наблюдений установлено, что выбранные пункты отбора проб аэрозолей характеризуют региональный аэрозольный фон в зависимости от сезона года. Станция «Монды» (хребет Хамар-Дабан, 2000 м над уровнем моря) представляет «фоновый континентальный аэрозоль», в составе которого в течение всего года не отмечено влияние региональных или локальных антропогенных источников.

### Введение

За последние несколько лет получено довольно много новых сведений о химическом составе атмосферных аэрозолей в Байкальском регионе [1–4], однако практически все они относятся к летнему периоду года. Между тем сезонные различия в составе и концентрации аэрозолей могут быть велики в связи со значительными изменениями как интенсивности источников, так и метеорологических условий рассеяния примесей.

В 1994–1995 гг. при финансовой поддержке Фонда ИНТАС начаты регулярные сезонные наблюдения за химическим составом аэрозолей над азиатской территорией бывшего СССР. В частности, в Байкальском регионе ведется отбор проб аэрозолей в нескольких пунктах. Их местоположение выбиралось так, чтобы они характеризовали, по возможности, различные условия: глобальный или региональный фон, а также антропогенное влияние на состав аэрозолей.

Анализ собранных проб проводится различными методами в нескольких российских и зарубежных научных учреждениях с тем, чтобы получить возможно более разнообразные данные о составе аэрозолей. В данной статье рассматриваются результаты, касающиеся растворимой фракцией аэрозолей – главных ионов, анализ которых велся в Лимнологическом институте СО РАН.

### Методика работы

Схема расположения станций мониторинга аэрозолей в Байкальском регионе показана на рис. 1.

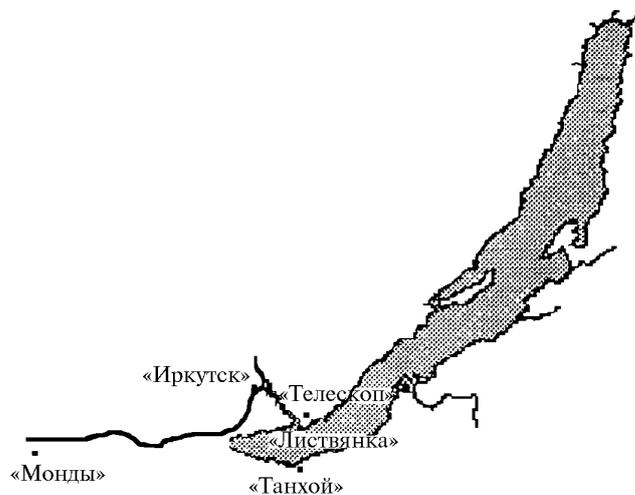


Рис. 1. Схема расположения станций отбора аэрозоля в районе озера Байкал

«Монды» – астрономическая обсерватория Института солнечно-земной физики СО РАН, расположена на одной из плоских вершин (около 2000 м над уровнем моря) хребта Хамар-Дабан. Станция снабжается промышленным электричеством, поэтому каких-либо существенных собственных источников загрязнения атмосферы не имеет. Ближайшие населенные пункты – в нескольких десятках километров от станции, от крупных промышленных центров (Иркутск, Байкальск) станция удалена более чем на 200 км.

«Листвянка» – обсерватория, для наблюдений использовалась территория астрофизической станции этого же института. Пункт отбора проб расположен на вершине прибрежного холма (около 300 м над Байкалом) в нескольких километрах к северо-востоку от пос. Листвянка (западный берег озера).

Листвянка (поселок) – территория метеостанции «Исток Ангары», расположенная в черте поселка. Использовалась для сравнения с пунктом «Листвянка» (обсерватория) и для оценки влияния населенного пункта на результаты наблюдений.

«Танхой» – на восточном берегу Байкала, напротив п. Листвянка. Отбор проб велся не в самом поселке, а на одной из полевых баз Байкальского государственного заповедника, за пределами поселка.

«Иркутск» – пробы отбирались на территории Лимнологического института СО РАН, в Академгородке (на левом берегу р. Ангары), т.е. в черте города.

Для анализа ионного состава аэрозолей отбирались суточные или двухсуточные пробы на фильтры «Wathman-41» вакуумными насосами со скоростью прокачки 40–50 л/мин. Растворимая фракция аэрозолей после экстракции с фильтра бидистиллированной водой анализировалась на анионы методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (хроматограф «Милихром»), на катионы – атомно-абсорбционным методом (прибор ASS-30), погрешность обоих методов не более 10%.

### Обсуждение результатов

В табл. 1 представлены средние концентрации основных ионов, а на рис. 2 суммарная концентрация всех ионов в атмосферных аэрозолях на перечисленных выше станциях за несколько летних и несколько зимних месяцев 1995–1996 гг.

Таблица 1

Средние сезонные концентрации  $C$  (мкг/м<sup>3</sup>) и стандартные отклонения  $\sigma$  основных ионов в аэрозольных частицах, собранных в Байкальском регионе в 1995–1996 гг.

Ионы	Станции проб отбора									
	«Иркутск»		Листвянка (поселок)		«Листвянка» (обсерватория)		«Танхой»		«Монды»	
Зима										
	$C$	$\sigma$	$C$	$\sigma$	$C$	$\sigma$	$C$	$\sigma$	$C$	$\sigma$
Na <sup>+</sup>	0,12	0,10	0,15	0,17	0,12	0,11	0,18	0,12	–	–
K <sup>+</sup>	0,18	0,09	0,11	0,08	0,06	0,03	0,07	0,06	0,02	0,01
Ca <sup>2+</sup>	0,44	0,31	0,32	0,51	0,08	0,07	0,07	0,16	0,02	0,09
Mg <sup>2+</sup>	0,13	0,09	0,11	0,09	0,04	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,96	1,84	1,74	1,80	0,78	0,72	0,42	0,11	0,09	0,04
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	–	–	0,15	0,26	0,07	0,07	0,08	0,12	0,05	0,08
Cl <sup>-</sup>	0,20	0,18	0,10	0,12	0,02	0,03	–	–	–	–
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,29	1,32	2,07	1,46	1,14	0,83	0,27	0,25	0,02	0,02
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	3,98	5,79	6,76	5,56	2,51	1,69	2,33	1,04	0,28	0,19
Лето										
Na <sup>+</sup>	0,04	0,06	0,02	0,03	0,08	0,07	0,05	0,05	0,04	0,08
K <sup>+</sup>	0,17	0,06	0,05	0,02	0,11	0,09	0,06	0,03	0,12	0,07
Ca <sup>2+</sup>	0,71	0,32	0,12	0,09	0,23	0,24	0,02	0,03	0,04	0,04
Mg <sup>2+</sup>	0,22	0,09	0,07	0,04	0,08	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,73	0,30	0,44	0,15	0,43	0,17	0,34	0,31	0,22	0,13
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,10	0,12	0,05	0,13	0,04	0,11	–	–	0,03	0,04
Cl <sup>-</sup>	0,04	0,07	–	–	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,05
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,38	0,23	0,20	0,18	0,44	0,24	0,09	0,05	0,10	0,09
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,28	0,66	0,83	0,46	1,53	1,01	0,45	0,30	0,51	0,44

Из этих данных видно, что на станции «Монды», наиболее удаленной от промышленных центров, концентрации основных ионов в аэрозолях наименьшие по сравнению со всеми остальными станциями как в летнем, так и в зимнем сезонах. Это может быть связано не только с удаленностью станции от антропогенных источников, но и в связи с ее высотным расположением (с влиянием вертикальных градиентов аэрозолей).

Суммарная концентрация ионов на этой станции в летнем сезоне выше, чем зимой (рис. 2), в отличие от других станций, где это соотношение обратное – суммарная концентрация ионов зимой значительно выше, чем летом. Причинами столь резких различий в сезонном ходе концентрации ионов в аэрозолях между станцией «Монды» и другими станциями могут быть следующие два фактора: ослабление генерации почвенных аэрозолей зимой за счет снежного покрова и ухудшение условий для рассеяния примесей от антропогенных источников (из-за преобладания инверсионной стратификации атмосферы в этом сезоне), что ведет к росту концентраций загрязнений вблизи источников и, соответственно, уменьшению их вклада в глобальный фон. Поэтому понижение концентрации ионов в зимнем сезоне на станции «Монды» является свидетельством того, что выбросы от региональных антропогенных источников (мощность которых хотя и возрастает) не достигают этой станции и она отражает глобальный аэрозольный фон.

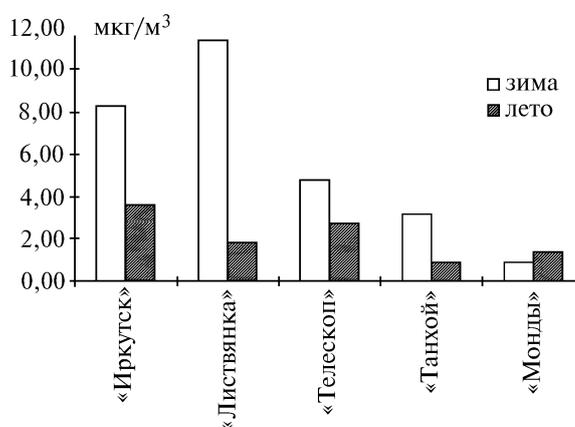


Рис. 2. Массовая концентрация ионной фракции аэрозоля по сезонам на байкальских станциях

Эта мысль подтверждается ситуацией на других станциях. В Иркутске концентрация ионов зимой, наоборот, повышается по сравнению с летом в 2–3 раза, соотношение ионов при этом меняется мало (несколько возрастает доля сульфатов). Главные причины ясны – увеличение сжигания топлива и ухудшение атмосферных условий рассеяния примесей.

В пунктах Южного Байкала, удаленных от Иркутска на несколько десятков километров, также наблюдается рост концентрации ионов от лета к зиме, но уже в значительно меньшей степени (1–1,5 раза) – и также главным образом за счет сульфатов (табл. 1), которые содержатся в основном в частицах мелкой фракции и поэтому переносятся на большие расстояния.

Хотя ряд станций пробоотбора старались располагать за пределами населенных пунктов, было важно оценить, насколько хорошо отражают они региональный аэрозольный фон (создаваемый, в том числе, и крупными удаленными источниками, такими как Иркутск) и испытывают влияние мелких локальных источников, расположенных в этих населенных пунктах. Для этой цели использовались параллельные наблюдения на станциях «Листвянка» (обсерватория), Листвянка (пос.) и г. Иркутск.

В черте самого пос. Листвянка вклад многочисленных мелких локальных источников (многочисленных печей частных домов) зимой оказался очень большим. Так, концентрации рассматриваемых ионов в атмосфере в пос. Листвянка возросли зимой в 5–10 раз по сравнению с летом (при 1,5-кратном увеличении их за пределами поселка – на территории обсерватории) (см. рис. 2). Однако остается неясным соотношение вкладов местных и удаленных антропогенных источников в аэрозоли на станции «Листвянка» (обсерватория).

Попытки связать изменчивость состава аэрозолей с направлениями ветра (от потенциальных источников) и метеоусловиями не дали определенных результатов (скорее всего по причине того, что время отбора одной пробы составляет сутки или двое, а за это время метеоситуация обычно меняется несколько раз). Не удалось также обнаружить влияния дальних пере-

носов (по обратным траекториям движения воздушных масс) на концентрацию и соотношение ионов в пунктах наблюдений. Вероятно, данные об ионном составе аэрозолей не могут быть полезными для трассерных исследований (для этих целей лучше использовать данные об элементном составе). Изменчивость среднесуточных концентраций ионов больше, по-видимому, связана с общими условиями состояния пограничного слоя атмосферы (его устойчивостью или рассеивающей способностью в районе наблюдений), чем с конкретными направлениями переноса.

В связи с этим для выявления возможных источников ионов в аэрозолях были предприняты попытки статистических оценок вклада различных населенных пунктов в концентрацию ионов на станции «Листвянка» (обсерватория).

Корреляционный анализ показал, что в зимний период ионный состав аэрозолей на ст. «Листвянка» (обсерватория) формируется практически целиком за счет антропогенных источников пос. Листвянка: коэффициент корреляции по соотношению ионов составил с Листвянкой (поселок) – 0,8, с Иркутском – 0,0. Тогда как в летний период соотношение ионов в этом пункте лучше коррелируется с более удаленными источниками (корреляция с Иркутском 0,6, с Листвянкой 0,0). Таким образом, станции пробоотбора, расположенные вблизи даже небольших населенных пунктов (как, например, Листвянка и Танхой), могут характеризовать региональный аэрозольный фон только в летний период года, зимой ионный состав аэрозолей в этих пунктах, в связи с отопительным сезоном, испытывает сильное антропогенное влияние местных источников.

Таблица 2

**Наиболее вероятные химические соединения, образующие ионную фракцию аэрозолей в различных пунктах Байкальского региона**

Сезон	Листвянка (поселок)	«Листвянка» (обсерватория)	«Танхой»	«Монды»
Зима	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> NH <sub>4</sub> HCO <sub>3</sub>
Лето	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> KNO <sub>3</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub> (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> KCl	(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub>

Степень корреляции между катионами и анионами была взята за критерий для оценки наиболее вероятных типов химических соединений в ионной фракции аэрозолей на рассматриваемых пунктах. В табл. 2 приведены перечни тех соединений, для которых корреляция анионов и катионов составила выше 0,5 (в порядке убывания корреляции). Из полученных данных видно, что зимой на всех станциях в аэрозоле преобладает сульфат аммония, летом лидерство сульфата аммония сохраняется только на фоновой станции «Монды» (что обычно для фоновых районов [5]), на остальных – на первое место выходят другие соединения, указывающие на существенное влияние почвы. В пунктах Южного Байкала – «Листвянка» и «Танхой» – в зимний период значительна вероятность появления в аэрозолях сульфата натрия, источником которого может являться Байкальский целлюлозный комбинат. Отметим также, что в наших данных не определялись ионы водорода, поэтому не исключено, что значительное место среди перечисленных соединений могут занимать кислоты: H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HNO<sub>3</sub>. На это, в частности, указывает частое отсутствие гидрокарбонат-иона в водных экстрактах аэрозольных проб (он полностью расходуется на нейтрализацию кислот при pH раствора ниже 5,2–5,4 [6]). Частота таких случаев в наших наблюдениях составила следующие величины (%):

	«Иркутск»	«Листвянка» (обсерватория)	«Танхой»	«Монды»
Зима	87	53	25	47
Лето	40	75	93	36

Межсуточная изменчивость концентрации ионов в аэрозолях в большинстве случаев имеет распределение со значительной положительной асимметрией (от 0,3 до 2 и более) и, видимо, более репрезентативными для характеристики средних концентраций будут средние геометрические, а не средние арифметические величины.

## Заключение

Выбранные пункты отбора проб аэрозолей характеризуют региональный аэрозольный фон в разной степени в зависимости от сезона года. Станция «Монды» в наибольшей степени представляет «фоновый континентальный аэрозоль», в составе которого в течение всего года не наблюдается влияния региональных или локальных антропогенных источников. Пункты «Листвянка» и «Танхой» пригодны для исследования регионального фона в летнее время, однако в зимнем сезоне аэрозоли на этих станциях могут испытывать существенное влияние локальных антропогенных источников. Данная работа выполнена при финансовой поддержке ИНТАС (грант 93-01-82).

1. Брускина И.М., Игнатьева А.А., Краса А.Н., Сисигина Т.И., Фрыгин В.Ф. Содержание двуокиси серы, сульфатов и металлов в приземном слое атмосферы и выпадениях на планшеты в некоторых районах Байкала//Региональный мониторинг состояния оз. Байкал. Л.: Гидрометиздат, 1987. С. 79–88.
2. Khodzher T.V., Potemkin V.L., Obolkin V.A. Chemical composition of aerosol and trace gases in the atmosphere over Lake Baikal// J. Atmos. Ocean. Opt. 1994. V. 7. N 8. P. 566–569.
3. Оболкин В.А., Потемкин В.Л., Ходжер Т.В. Элементный состав и основные источники атмосферного аэрозоля Южного Байкала//География и природные ресурсы. 1994. N 4. С. 75–81.
4. Koutsenogii P., Bufetov N., Drosdova V., Golobokova V., Khodzher T., Koutsenogii K., Makarov V., Obolkin V. and Potemkin V. Ion composition of atmospheric aerosol near lake Baikal // Atmospheric Environment. 1993. V. 27A. N 11. P. 1629–1633.
5. Мониторинг состояния озера Байкал/ Под ред. Ю.А. Израэля, Ю.А. Анохина. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 258 с.
6. Израэль Ю.А., Анохин Ю.А., Петрухин В.А., Остромогильский А.Х., Афанасьев М.И., Белова Н.И., Виженский В.А., Пословин А.Л. Комплексный мониторинг и современные фоновые уровни содержания загрязняющих веществ в природной среде Прибайкалья//Региональный мониторинг состояния оз. Байкал. Л.: Гидрометиздат, 1987. С. 5–13.
7. Wright R. F. Acidification of freshwaters in Europe//Water quality Bulletin. 1983. N 8. P. 137–142.

Лимнологический институт СО РАН,  
г. Иркутск

Поступила в редакцию  
16 января 1997 г.

T.V. Khodzher, L.P. Golobokova, V.A. Obolkin, V.L. Potemkin, O.G. Netsvetaeva.  
**Diurnal and Seasonal Variability of Ion Composition of Atmospheric Aerosol in the South of Eastern Siberia.**

Distribution of main ions in aerosols is examined based on experimental data obtained from stations of the Baikal region monitoring.

It is found that the chosen sites of the aerosol sampling characterize regional aerosol background depending on the season. Station «Mondy» (mountain range Chamar-Daban 2000 m over sea level) is «background continental aerosol», the composition of which is not exposed to action of regional or local anthropogenic sources during the year.