

**В.А. Казанцев, Л.А. Магаева**

## **Анализ состава снега как метод изучения аэрозолей**

*Институт водных и экологических проблем СО РАН (Новосибирский филиал)*

Поступила в редакцию 28.11.2002 г.

Приведен среднемесячный за зимний сезон химический состав снега в разных зонах и подзонах Западной Сибири, рассчитано количество солей и твердых частиц, поступающих на единицу площади (1 км<sup>2</sup>). Установлены основные источники солей и направления геохимических потоков.

Воздушные массы — самый мощный, переменчивый и мобильный вещественно-энергетический фактор на Земле. Аэральным путем транспортируются громадные массы твердых, жидких, газообразных (сорбированных) в основном тонкодисперсных частиц, которые получили название аэрозолей. Типичными их представителями являются сажа и другие продукты органического сгорания, вулканические экзгалакции, вещества космического происхождения, соли, оксиды металлов, кислоты, частицы лёссов и других рыхлых пород и т.д. [1].

Одним из важнейших компонентов аэрального переноса является водяной пар. Ядрами конденсации для него могут быть другие аэрозоли. С облачной влагой может переноситься значительное количество нерастворимых и растворимых твердых, жидких и газообразных примесей. В дальнейшем часто за сотни и даже тысячи километров от первоисточника происходят «промывание» атмосферы твердыми и жидкими осадками и выпадение аэральных частиц по пути перемещения воздушных масс. Часть аэрозолей выпадает и в «сухом» осаждении при падении энергии ветрового потока на механическом геохимическом барьере (при смене типа рельефа от равнин к возвышенностям и горам, или растительности — от открытых степных пространств к залеженным территориям) [2]. Наиболее четко эти процессы проявляются при направленных геохимических потоках, когда имеет место постоянно ориентированное перемещение воздушных масс.

Такие условия прослеживаются на территории Западной Сибири. Равнинный характер рельефа, преобладание ветров южных и западных направлений (повторяемостью до 70% и более) делают возможным перемещение пыли и солевых компонентов из аридных районов Казахстана и Средней Азии. Этот материал при падении энергии ветрового потока оседает в основном в центральной части Барабинской равнины — области внутреннего стока. Здесь местное перераспределение приносимого аэральным путем материала в конечных пунктах аккумуляции на испарительном и щелочном геохимических барьерах способствует засолению этих участков [3, 4].

Для выявления количественных значений и качественного состава переносимого аэрозольного материала мы изучали химический состав атмосферных осадков (жидких и твердых) в разных природных зонах Западной Сибири — от г. Салехарда на севере (лесотундра) до г. Кулунда в Алтайском крае (степь). В опорных пунктах в основном в пределах Новосибирской области отбор проб, суммарных за месяц, вели наблюдатели на метеостанциях и гидропостах. Маршрутными заездами по намеченным профилям и по сетке точек отбирали отдельные пробы дождей и снега в процессе их выпадения в целом и во временных интервалах от начала до конца выпадения. Пробы снега брали также в начале и в конце зимы во всей снеговой толще поинтервально и в целом [4].

Наиболее показателен, на наш взгляд, отбор проб в зимний период, когда исключены флуктуации химического состава осадков за счет местных поверхностных источников, поскольку зимой поверхность почвы покрыта снегом.

Аналитические определения химического состава снега по разным природным подзонам Западной Сибири приведены в табл. 1.

Однако по этим данным можно судить лишь о тенденции (направленности) галогеохимических процессов в зимний период, поскольку считаем, что для достаточно репрезентативной выборки следует иметь не менее 10 проб на характерных ландшафтах в каждой подзоне (у нас их от 4 до 14). Необходимо отметить следующие особенности аккумуляции солей в снеговом покрове (на основании анализа табл. 1):

1. Зональность распределения по широте.

2. Волновой характер повторяемости (цикличность) содержаний отдельных ионов и общей минерализации от севера к югу, что мы связываем с особенностями функционирования природных систем в зимний период.

3. В лесотундре прослеживаются повышенные концентрации всех ионов солей по сравнению с южнее расположенными подзонами, вплоть до подзоны северной лесостепи. Это обстоятельство, по-видимому, связано с поступлением солей со стороны Северного Ледовитого океана.

Таблица 1

Химический состав снега в разных природных зонах Западной Сибири, мг/дм<sup>3</sup>

Природная зона, пункт отбора, количество проб	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	NH <sub>4</sub>	Минерализация
Лесотундра, у г. Салехарда, 6 проб	1,8	8,3	2,5	2,6	2,3	0,6	1,4	0,9	0,6	21,0
Северная—средняя тайга, севернее г. Ханты-Мансийска, 4 пробы	0,7	4,9	1,2	1,7	1,3	0,4	0,8	0,4	0,3	11,7
Средняя тайга, г. Стрежевой — с. Александровское, 10 проб	0,3	4,1	1,8	1,5	1,2	0,2	1,0	0,3	0,5	10,9
Средняя—южная тайга, район Колпашево, 6 проб	0,6	5,0	1,8	2,3	1,6	0,3	1,3	0,7	0,2	13,8
Южная тайга — подтайга, юг Томской и Тюменской обл., 5 проб	1,9	6,2	1,8	3,6	2,2	0,6	1,2	1,0	0,4	18,9
Северная лесостепь, северо-восточнее оз. Чаны, 8 проб	3,3	16,1	2,9	6,4	4,8	1,2	2,5	2,0	0,4	39,6
Южная лесостепь, юго-восточнее оз. Чаны, 14 проб	3,6	10,1	2,7	6,2	4,7	0,7	1,8	1,6	0,2	31,6
Колочная степь, Карасукская равнина, 7 проб	3,8	8,8	2,5	6,0	4,9	0,6	1,5	0,8	0,3	29,2
Южная лесостепь, свежий снег, 5 проб	след	7,3	2,0	2,9	2,2	0,7	0,5	0,4	0,1	16,1

4. По мере удаленности от океана эти показатели уменьшаются примерно до границы средней — южной тайги — 11 мг/дм<sup>3</sup>, южнее которой вновь отмечаются повышенные значения. Эти изменения мы объясняем поступлением солевых аэрозолей из засоленных аридных и семиаридных территорий при преобладании здесь ветров южных и западных направлений [4].

5. Сказанное выше наглядно видно из данных по северной лесостепи. Здесь на солевой состав снега оказывают влияние карбонаты кальция и магния, сульфаты и хлориды натрия, отмечается и повышенное содержание ионов калия. В этой подзоне концентрация солевых компонентов в снеге наиболее значительна (до 40 мг/дм<sup>3</sup>).

6. Южнее северной лесостепи вновь прослеживается уменьшение концентрации солей. Это связано с меньшим воздействием на эти районы воздушных масс из аридных территорий Казахстана и Средней Азии, падением энергии ветрового потока и незначительным поступлением солей с соленых озер и почв Барабы, поскольку повторяемость ветров северных румбов невелика.

7. Сравнение лежалого и свежавыпавшего снега в подзоне южной лесостепи приводит к выводу,

что соли могут поступать не только при выпадении зимних осадков и в результате метелевого переноса, но возможны и другие источники, о которых мы скажем ниже.

8. Отмечаются повышенные концентрации азотсодержащих ионов (нитратов, аммония) в снеговом покрове перед началом снеготаяния. В свежавыпавшем снеге часто эти значения невелики, что подтверждает концепцию о наличии дополнительных источников поступления.

Большая загрязненность снегового покрова в промышленных комплексах, крупных городах связана с деятельностью ТЭЦ, промышленных предприятий, с бытовыми отходами. При этом даже свежавыпавший снег имеет высокие концентрации солевых компонентов ввиду постоянного наличия в их атмосфере аэрозолей (газ, дым, сажа и др.) (табл. 2).

Загрязненность снегового покрова прослеживается на десятки километров от промышленных центров, что фиксируется на аэрофотоснимках зимнего залета и по нашим наблюдениям с самолета. Конфигурация загрязненных участков овальная, вытянутая по длинной оси по направлению преобладающих ветров (юго-запад — северо-восток).

Таблица 2

Химический состав снега в городах Новосибирской области, мг/дм<sup>3</sup>

Пункт отбора	NO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na	K	Минерализация
Новосибирск, центр	Не опр.	40,7	12,2	18,3	15,8	2,0	8,0	1,1	98,1
Бердск, промышленный комплекс	—	102,5	5,7	51,4	46,5	4,9	2,3	3,5	216,8
Искитим, промышленная зона	2,5	129,4	7,1	15,9	36,1	4,9	2,3	5,1	200,8
Новосибирск, промышленная зона, свежавыпавший снег	5,6	140,3	4,3	16,3	45,1	4,6	2,3	1,2	219,7

Таким образом, солевой состав снегового покрова формируется из компонентов, выпавших непосредственно с зимними осадками, поступившими в результате метелевого переноса и при сухом осаждении, включая промышленные выбросы. Значение рН воды из снега, не подвергшегося испарительному концентрированию, равно 6,2–7,2; свежеснежавший снег иногда имеет значения 5–6; отмечены несколько случаев в лесостепной зоне, когда рН было 3–3,5, что, возможно, связано с промышленным подкислением.

Результаты расчета по аккумуляции солей в снеге и изменения типа химического состава воды из снега по основным природным зонам приведены в табл. 3.

Таблица 3  
Содержание солей и изменение типа химизма воды из снега по природным зонам Западной Сибири, т/км<sup>2</sup>

Зона, подзона	Среднее значение	Пределы	Формула химического состава (по О.А. Алекину)
Лесотундра	1,7	1,2–2,1	H–Cl II Ca, Na
Северная – средняя тайга	1,3	1,0–1,6	H–S–Cl II Ca, Na
Южная тайга	1,7	1,3–2,1	H–S II Ca, Mg
Лесостепь	2,7	2,0–3,5	H–S II–III Ca, Mg, Na
Степь	1,3	1,0–1,6	H–S II Ca, Mg

Анализ приведенных в табл. 3 данных подтверждает изложенные ранее тезисы (п. 2). Северные районы испытывают воздействие океана, лесостепная зона – влияние аэриального переноса из аридных областей. Здесь прослеживаются интенсивная метаморфизация и трансформация химического состава снега вплоть до типа III, который характеризуется превышением содержания хлорида над натрием (появлением в составе солей MgCl<sub>2</sub>).

По содержанию твердых пылевых частиц в снеге четких зональных закономерностей не выявлено. В свежеснежавшем снеге при обильном снегопаде отмечено выпадение от 1 до 5 г/м<sup>2</sup> солей, что соответствует 1–5 т/км<sup>2</sup>. В снеговом покрове в конце

зимы накапливается от 10–15 до 35 т/км<sup>2</sup> твердых частиц, которые в основном отражают метелевый перенос. Аэрозоли дальнего и сверхдальнего переноса не превышают 50% от общего количества. Таким образом, следует заключить, что твердых аэрозолей в снеге содержится до 15–17 г/м<sup>2</sup>, что соответствует слою 0,01 мм. Это количество в 10–30 раз меньше переносимого в теплый период.

Подводя итог изложенному, важно отметить, что даже за короткие геологические промежутки времени (например, за период голоцена 10 тыс. лет) поступление растворенных солей и твердых частиц может быть весьма существенным. Если условно посчитать выпадение компонентов в течение всего голоцена равномерным, то только за зимние периоды на поверхность поступит с аэрозольным переносом на 1 км<sup>2</sup> 150–170 тыс. т твердых частиц и до 50 тыс. т растворенных солей. Это составит слой более 10 см. С учетом переноса в теплый период мощность аэриальных голоценовых отложений может составить 1–3 м, что подтверждено в лёссовой толще Китая [5].

Громадное количество принесенных солей – 100–150 тыс. т на 1 км<sup>2</sup> – способно было бы превратить Западную Сибирь в соляную пустыню, если бы не было обратного процесса – выноса солей. Однако на локальных участках замкнутого стока в условиях затрудненного водного обмена процесс засоления при условии превышения испарения над суммой осадков должен иметь место.

Изучение этих процессов проводилось нами при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 00-04-49487, 02-04-63139).

1. *Химия нижней атмосферы* / Под ред. С. Расула. М.: Мир, 1976. 408 с.
2. *Глазовский Н.Ф.* Современное соленакопление в аридных областях. М.: Наука, 1987. 192 с.
3. *Казанцев В.А.* О происхождении солей в почвах и водах Барабинской и Кулундинской равнин // Почвоведение. 1990. № 12. С. 16–25.
4. *Казанцев В.А.* Проблемы педогалогенеза. Новосибирск: Наука, Сиб. пред-тие РАН, 1998. 280 с.
5. *Кукал З.* Скорость геологических процессов: Пер. с чешск. М.: Мир, 1987. 246 с.

*V.A. Kazantsev, L.A. Magaeva. Analysis of snow composition as a method for studying aerosols.*

The winter season average chemical composition of snow in zones and subzones of Western Siberia is presented; the amount of salts and solid particles deposited per unit area (1 km<sup>2</sup>) is calculated. Main sources of salts and directions of geochemical flows are determined.