

СУЛЬФАТЫ В ОСАДКАХ И СНЕГЕ ПОБЕРЕЖЬЯ ТАЙМЫРСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Е.И. Котова

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики РАН,
Россия, 163000, г. Архангельск, Наб. Северной Двины, д. 23; *ecopp@yandex.ru*

Резюме. Мониторинг загрязнения снежного покрова и атмосферных осадков позволяет одновременно получать информацию и об уровне загрязнения атмосферного воздуха, и о возможных последствиях этого загрязнения для сопредельных сред – почв, растительности, поверхностных вод, что делает его наиболее показательным. Относительно близкое расположение г. Норильск, предприятия которого являются мощным источником диоксида серы, способным оказывать влияние на отдаленные территории, делает актуальным изучение содержания сульфатов в осадках и снеге для оценки влияния данного источника. В данной работе проведено обобщение данных о содержании сульфатов в осадках и снеге на территории Таймырского полуострова по данным мониторинга Росгидромета. Определено, что в силу особенностей территории в зимний период происходит значительный привнос сульфатов вследствие дальнего переноса, как от природных источников (морской аэрозоль), так и антропогенных. В отдельные годы наблюдается увеличение содержания сульфатов в снежном покрове на порядок, а высокое содержание сульфатов может приводить к закислению осадков.

Ключевые слова. Снежный покров, атмосферные осадки, Арктика, сульфаты, дальний перенос.

SULPHATES IN PRECIPITATION AND SNOW OF TAIMYR PENINSULA COAST

E.I. Kotova

Federal Center for Integrated Arctic Research,
23, Naberezhnaja Severnoj Dviny, 163000, Arhangel'sk, Russia; *ecopp@yandex.ru*

Abstract. Monitoring of pollution of snow cover and atmospheric precipitation allows to obtain at the same time information on pollution of atmospheric air, and on possible consequences of this pollution for the adjacent environment – soils, vegetation, surface water which does it to the most indicative. Rather close arrangement Norilsk which enterprises are the powerful source of dioxide of sulfur capable to exert impact on the remote territories does urgent studying of content of sulfates in rainfall and snow for an assessment of influence of this source. In this work synthesis of data on the content of sulfates in rainfall and snow in the territory of the Taimyr peninsula according to monitoring of Roshydromet is carried out. It

is determined that due to the peculiarities of the territory in the winter period, there is a significant influx of sulphates due to long-range transport, both from natural sources (marine aerosol) and anthropogenic ones. In separate years increase in content of sulfates in snow cover much is observed, and a high content of sulfates can lead to acidification of precipitation.

Keywords. Snow cover, atmospheric precipitation, Arctic, sulfate, long-range transport.

Введение

На земной поверхности происходит постоянный перенос химических веществ воздушными массами, при этом расстояния, на которые перемещаются загрязняющие вещества, могут быть значительными. На территории Арктики происходит разгрузка воздушных потоков от тех загрязнений, которые они накопили в среднеширотных районах. Основными (по массе) антропогенными компонентами аэрозоля в Арктике являются сульфаты, органика и сажа (Виноградова, 2004). Наличие сульфатов в атмосфере приводит к загрязнению и закислению осадков и, соответственно, влияет на химический состав снега, льда, воды и почвы, на которые они выпадают.

Оценка загрязнения окружающей среды по данным о составе снежного покрова и атмосферных осадков широко используется в рамках проведения мониторинга загрязнения окружающей среды. Положение территории в высоких широтах определяет благоприятные предпосылки для исследования химического состава атмосферы, используя атмосферные осадки и снежный покров в качестве природного архива потоков веществ из атмосферы.

Работы по исследованию атмосферных осадков и снежного покрова для оценки степени загрязнения окружающей среды имеют большое распространение, но большинство из них носят локальный характер: (Лопатовская, Максимова, 2010), (Иванов и др., 2010), (Пристова, Василевич, 2011). Исследования аэрозолей приполярного слоя и снежного покрова морей Российской Арктики с целью оценки роли аэрозольного материала в современном осадконакоплении и формировании природной среды Арктики с 1991 г. проводятся под руководством академика А.П. Лисицына и В.П. Шевченко совместно с сотрудниками Института океанологии им. П.П. Ширшова (Шевченко, 2006).

До недавнего времени Арктика рассматривалась в качестве «эталона чистоты» для сравнения с антропогенно деформированными экосистемами. На самом деле нетронутость Арктических экосистем оказалась лишь предположением. В непосредственной близости от района исследований располагается г. Норильск, предприятия которого являются мощным источником диоксида серы, способным оказывать влияние на отдаленные территории, что делает актуальным изучение содержания сульфатов в осадках и снеге для оценки влияния данного источника.

Целью данной работы являлась оценка распространения сульфатов в осадках и снеге прибрежной зоны Таймырского полуострова, определение источников их поступления.

Методы и материалы

Работа выполнена на основе материалов государственного мониторинга загрязнения снежного покрова и атмосферных осадков Росгидромета. На территории Таймырского полуострова отбор проб снежного покрова осуществляется на 4 станциях (Сопочная Корга, Диксон, Стерлегова, им. Е.К. Федорова) (рис. 1), атмосферных осадков – на одной (Диксон).



Рисунок 1. Схема расположения станций отбора проб снежного покрова

В целом анализируются данные за период с 1997 г. по 2014 г. За весь период имеются данные по составу снежного покрова и атмосферных осадков на станции Диксон. Отсутствуют данные о составе снежного покрова для станции Сопочная Корга – за 1997, 1999 гг., для станции Стерлегова – за 2000, 2014 гг., для станции им. Е.К. Федорова – за 1997, 1998, 2000, 2002 гг.

Отбор проб атмосферных осадков и снежного покрова на государственной сети наблюдений проводится по единой методике на основании Руководящего документа (РД) 52.04.186-89 (Руководство ..., 1991). Отбор пробы снежного покрова проводится один раз в год в период максимального накопления влагозапаса в снеге. По данным многолетних наблюдений для данной территории это III декада апреля – I декада мая. Пробу атмосферных осадков собирают в течение всего месяца и анализируют как суммарную за месяц.

Содержание сульфатов определяется колориметрическим методом.

Основной принцип снегосъемки – ландшафтно-маршрутный, при котором параметры снега исследуются на основных элементах ландшафта района.

С целью определения вклада различных источников в загрязнение снежного покрова и атмосферных осадков были рассчитаны коэффициенты обогащения талой фазы снежного покрова элементами по отношению к

атмосферным осадкам над океаном (Добровольский, 2003; Василенко и др., 1985).

Расчет коэффициента обогащения проводился по формуле:

$$KO_A = \frac{\left(\frac{C_{эл}}{C_{Cl^-}} \right)}{\left(\frac{M_{эл}}{M_{Cl^-}} \right)},$$

где KO_A – коэффициент обогащения, $C_{эл}$; C_{Cl^-} – концентрация рассматриваемого иона и хлоридов в талой фазе снежного покрова на станции, $M_{эл}$; M_{Cl^-} – концентрация рассматриваемого иона и хлоридов в атмосферных осадках над океаном (Добровольский, 2003).

Результаты и их обсуждение

Анализ материалов показал, что доля сульфат-ионов в ионном составе снежного покрова рассматриваемой территории, как и в составе атмосферных осадков станции Диксон, невелика (9-18%).

Несмотря на то, что в зимний период прилегающие акватории покрыты льдом, в ионном составе снежного покрова преобладают хлорид-ионы (53-83%). Это связано с тем, что на формирование ионного состава осадков и снежного покрова рассматриваемой территории оказывает воздействие интенсивный западный перенос воздушных масс с Атлантического океана. В результате и в зимний период в составе морских аэрозолей на данную территорию поступают хлорид-, сульфат-ионы, ионы натрия, калия, магния (Котова, Шевченко, 2014).

Значения медианы для концентрации сульфат-ионов в снежном покрове на территории Таймырского п-ова изменяются в интервале от 0.9 мг л⁻¹ на станции Сопочная Корга до 2.0 мг л⁻¹ на станции Стерлегова. И эти значения несколько выше значений, полученных для станций, расположенных на островах Карского моря: 0.5-0.6 мг л⁻¹.

В тоже время, если рассматривать среднее значение концентрации сульфатов, то в районе станции Сопочная Корга оно окажется относительно выше, чем на остальной территории западного сектора Арктики: 6.5 мг л⁻¹ в результате высокого содержания данного иона в отдельные годы (до 58.0 мг л⁻¹ в 2003 г.) (рис. 2). Это значение близко к содержанию сульфатов в снежном покрове в районе крупных городов (Обзор состояния и загрязнения..., 2012).

Высокие концентрации сульфатов в снежном покрове в отдельные годы отмечаются на всех станциях (рис. 2).

Для атмосферных осадков было рассчитано среднее за 1997-2014 гг. значение для каждого месяца (рис. 3).

Содержание сульфатов в годовом ходе на станции Диксон изменяется в пределах от 16.1 мг л⁻¹ в январе до 4.8 мг л⁻¹ в июле, составляя 7.1 мг л⁻¹ в среднем за год. В тоже время в отдельные годы среднегодовое содержание сульфатов в осадках может достигать 20-30 мг л⁻¹, а в отдельных месячных

пробах и $50-60 \text{ мг л}^{-1}$. По данным (Котова, Шевченко, 2014) содержание сульфатов в осадках на станции Диксон значительно выше, чем на остальных прибрежных станциях западного сектора Арктики. Связано это как с влиянием природных, так и антропогенных источников, в том числе переносом загрязнения со стороны Норильска. Средневзвешенное за 2007-2011 гг. значение концентрации сульфатов в осадках по данным станции Норильск составило 81.6 мг л^{-1} (Обзор состояния и загрязнения..., 2012). Влияние г. Норильска на содержание сульфатов в снеге и осадках данного района было показано и другими авторами (Василенко и др., 1985).

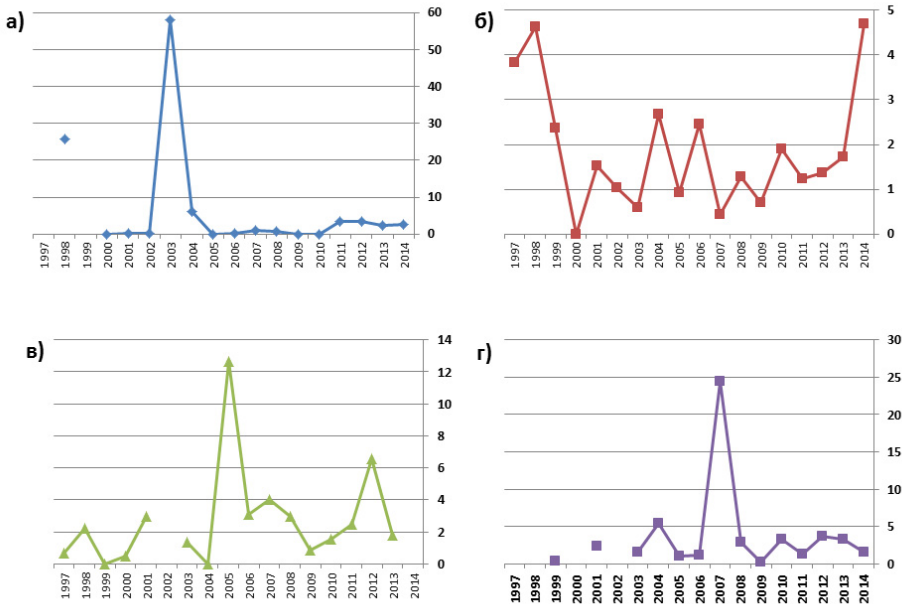


Рисунок 2. Временная динамика содержания сульфатов в снежном покрове, мг л^{-1}
 а) Сопочная Корга; б) Диксон; в) Стерлегова; г) им.Е.К. Федорова

Корреляционный анализ данных выявил тесную связь между содержанием сульфатов в осадках и снеге: коэффициент корреляции составил 0.67.

Учитывая двойственный генезис сульфатов в осадках и снеге, был рассчитан коэффициент обогащения.

Значение коэффициента обогащения снежного покрова сульфатами для станций Диксон и им. Е.К. Федорова составило 1.7, что говорит о появлении дополнительного к морскому источника сульфатов. В районе станции Стерлегова сульфаты преимущественно природного (морского) генезиса, т.к. коэффициент обогащения ниже 1.

Значение коэффициента обогащения осадков сульфатами, рассчитанное по средним концентрациям за рассматриваемый период для станции Диксон, составило 3.8. Если рассматривать изменение данного показателя в течение года, то получим, что с ноября по апрель основной вклад в содержание суль-

фатов вносят антропогенные источники (значения коэффициента обогащения составляют 7.8-13.3). В теплый период года, когда концентрации сульфатов не велики, значения коэффициента обогащения низкие.

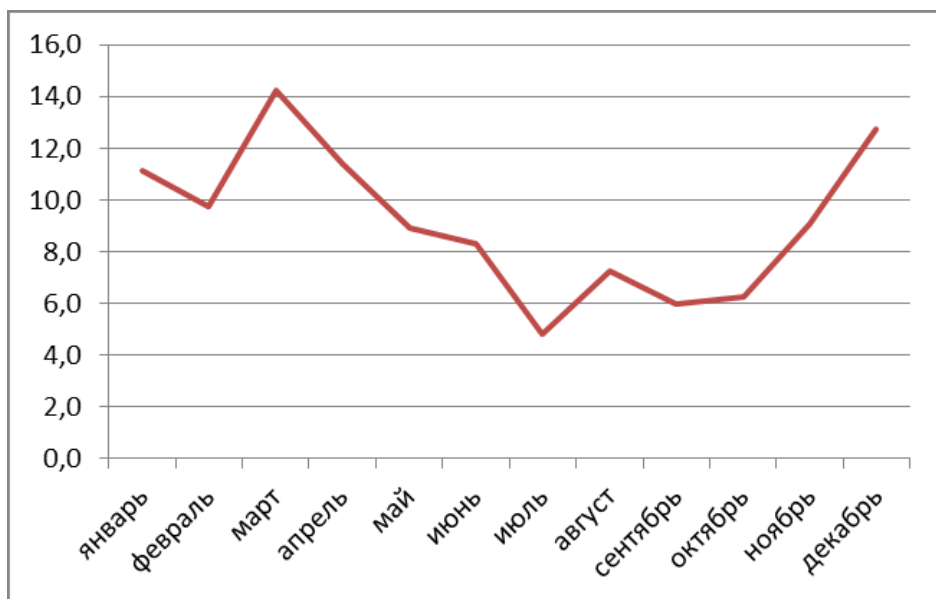


Рисунок 3. Среднее для каждого месяца содержание сульфатов в атмосферных осадках по данным станции Диксон, мг л⁻¹

Высокое содержание сульфатов может приводить к закислению осадков, как например, в ноябре 2014 г., когда при концентрации сульфатов 15.7 мг л⁻¹, рН осадков составил 4.99 ед. рН.

Выводы

В силу особенностей территории в зимний период наблюдается значительное поступление сульфатов в данный район, как от природных источников (морской аэрозоль), так и антропогенных. В отдельные годы наблюдается увеличение содержания сульфатов в снежном покрове на порядок.

По данным станции Диксон содержание сульфатов в атмосферных осадках значительно выше содержания данного иона в снежном покрове. При этом высокие разовые концентрации сульфатов в осадках приводят к увеличению кислотности осадков, что может оказывать негативное воздействие на окружающую среду.

Список литературы

Василенко Н.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. 1985. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л., Гидрометеиздат, 182 с.

Виноградова А.А. 2004. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: диссертация д-ра геогр. наук. – М., 218 с.

Добровольский В.В. 2003. Основы биогеохимии: учебник для студентов высших учебных заведений. – М., Академия, 400 с.

Иванов В.Б., Мухаметдинова Э.А., Королик В.С. 2010. Распределение загрязнения тяжелыми металлами в снежном покрове г. Нижневартовск – Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование, № 3, с. 148-153.

Котова Е.И., Шевченко В.П. 2014. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора российской Арктики. – Фундаментальные исследования, № 12–11, с. 2378-2382.

Лопатовская О.Г., Максимова Е.Н. 2010. Ионно-солевая и альгологическая характеристика снежного покрова как один из элементов оценки состояния окружающей среды. – Проблемы региональной экологии, № 3, с. 35-39.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2011 г. 2012. / Под ред. Академика Ю. А. Израэля и др. – М., Росгидромет, 188 с.

Пристова Т.А., Василевич М.И. 2011. Особенности химического состава снежного покрова в лесных экосистемах средней тайги Республики Коми. – Геохимия, № 2, с. 212-219.

Руководство по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89). 1991. М., Госкомгидромет. – Министерство здравоохранения СССР, 693 с.

Шевченко В.П. 2006. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. – М., Наука, 226 с.

References

Vasilenko N.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. 1985. *Monitoring zagriazneniia snezhnogo pokrova* [Monitoring of snow cover pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 182 p. (In Russian).

Vinogradova A.A. 2004. *Antropogennyi aerazol' nad moriami Severnogo Ledovitogo okeana* [Anthropogenic aerosol over the seas of the Arctic Ocean]. Doctor's thesis. Moscow, 218 p. (In Russian).

Dobrovolskii V.V. 2003. *Osnovy biogeokhimii* [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, Academy Publ., 400 p. (In Russian).

Ivanov V.B., Mukhametdinova E.A., Korolik V.S. 2010. *Raspredelenie zagriazneniia tiazhelymi metallami v snezhnom pokrove g. Nizhnevartovsk* [Distribution of heavy metal pollution in the snow cover of Nizhnevartovsk]. *Vestnik Tiimenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiia i prirodopol'zovanie – Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and nature management.* no. 3, pp. 148-153. (In Russian).

Kotova E.I., Shevchenko V.P. 2014. Vliianie dal'nego atmosfernogo perenosa na formirovanie ionnogo sostava atmosferykh osadkov i snezhnogo pokrova pribrezhnoi zony zapadnogo sektora rossiiskoi Arktiki [Influence of long-range atmospheric transport on the formation of the ion composition of atmospheric precipitation and snow cover in the coastal zone of the Russian Arctic western sector]. *Fundamental'nye issledovaniia – Fundamental research*, no. 12-13, pp. 2378-2382. (In Russian).

Lopatovskaia O.G., Maksimova E.N. 2010. Ionno-solevaia i al'gologicheskaia kharakteristika snezhnogo pokrova kak odin iz elementov otsenki sostoianiia okruzhaiushchei sredy [Ion-salt and algological characteristics of the snow cover as one of the elements of the assessment of the environment state]. *Problemy regional'noi ekologii – Problems of regional ecology*, no.3, pp. 35-39. (In Russian).

Obzor sostoianiia i zagriazneniia okruzhaiushchei sredy v Rossiiskoi Federatsii za 2011 g. [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2011]. 2012. Moscow, Roshydromet Publ., 188 p. (In Russian).

Pristova T.A., Vasilevich M.I. 2011. Osobennosti khimicheskogo sostava snezhnogo pokrova v lesnykh ekosistemakh srednei taigi Respubliki Komi [Peculiarities of the chemical composition of the snow cover in forest ecosystems of the middle taiga of the Komi Republic]. *Geokhimiia – Geochemistry*, no. 2, pp. 212-219. (In Russian).

Rukovodstvo po kontroliu zagriazneniia atmosfery (RD 52.04.186-89) [Manual for the control of atmospheric pollution (WP 52.04.186-89)]. Moscow, the Ministry of health of the USSR Publ., 693 p. (In Russian).

Shevchenko V.P. 2006. *Vliianie aerolei na sredu i morskoe osadkonakoplenie v Arktike* [Influence of aerosols on the environment and marine sedimentation in the Arctic]. Moscow, Science Publ., 226 p. (In Russian).

Статья поступила: 02.05.2017 г.

После переработки: 08.06.2017 г