

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ИОННОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО СЕКТОРА АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ

Котова Е. И.¹, Коробов В. Б.¹, Шевченко В. П.²

¹Северо-Западное отделение ФГБУН Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Архангельск, Россия (163061, Архангельск, набережная Северной Двины, 112, корп. 3), e-mail: szioran@mail.ru

²ФГБУН Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, Москва, Россия (117997, Москва, Нахимовский проспект, 36), e-mail: vshevch@ocean.ru

В статье обобщены результаты анализа ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне Белого, Баренцева и Карского морей, выполненного на 43 гидрометеорологических станциях в 1988–2008 гг. Показано, что существенный разброс статистических характеристик и значений концентраций ионов указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова, многофакторность процесса его формирования на данной территории. В прибрежных и морских районах происходит обогащение снежного покрова натрием и хлоридами. Повышенные концентрации сульфатов, обусловленные влиянием моря, фиксируются в прибрежных зонах Баренцева и Белого морей. Вклад антропогенных источников в загрязнение снежного покрова сульфатами является преобладающим в центре Кольского п-ова. В целом, формирование химического состава снежного покрова в исследуемом районе происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров.

Ключевые слова: снежный покров, химический состав, моря Арктики, прибрежная зона, загрязнение окружающей среды.

PECULIARITIES OF FORMATION OF THE ION COMPOSITION OF SNOW COVER IN THE COASTAL ZONE OF WESTERN SEAS OF RUSSIAN ARCTIC

Kotova E. I.¹, Korobov V. B.¹, Shevchenko V. P.²

¹North-Western Branch of P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Arkhangelsk, Russia (163061, Arkhangelsk, Severnoy Dviny embankment, 112, building 3), e-mail: szioran@mail.ru

²P. P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia (117997, Moscow, Nakhimovsky prospect, 36), vshevch@ocean.ru

The results of analysis of ion composition of snow cover in coastal zone of the White, Barents and Kara seas, carried out in 1988–2008 at 43 hydrometeorological stations, are summarized. It has been shown that substantial variability of statistical characteristics and concentration values point out to spatial and temporal heterogeneity of the chemical composition of snow cover, influence of many factors on its formation at studied territory. In coastal and marine regions snow cover is enriched by sodium and chlorides. Increased concentrations of sulfates are registered in coastal zone of the Barents and White seas as a result of influence of marine factor. The input of anthropogenic sources of sulfates to the ionic composition of snow cover dominates in central part of Kola Peninsula. In general, formation of chemical composition of snow cover in studied region occurs under influence of natural and anthropogenic factors, and their ration depends on distance from large industrial centers.

Key words: snow cover, chemical composition, Arctic seas, coastal zone, environment pollution.

Введение. В настоящее время в Арктике практически не остается районов, не испытывающих антропогенного влияния. В загрязнении природной среды здесь большую роль играет перенос загрязняющих веществ воздушными массами [1, 9]. Важное значение для изучения эоловой поставки вещества в экосистемы имеют исследования снежного покрова – природного архива атмосферных выпадений [2, 5, 6, 8]. Цель нашего исследования состоит в выявлении общих закономерностей и частных особенностей формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора Арктических

морей. Район исследования расположен на севере Европейской территории России (ЕТР) и включает побережье и острова Белого, Баренцева и Карского морей [3]. Снежный покров сохраняется здесь большую часть года.

Материалы и методы. Исходными материалами для проведения исследования являлись результаты химического анализа проб снежного покрова на 43 гидрометеорологических станциях (ГМС) водосборных бассейнов Белого, Баренцева и Карского морей на территории ответственности Северного и Мурманского управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в том числе расположенных в прибрежной зоне (рис. 1), за период с 1988 г. по 2008 г. Для оценки вклада морских аэрозолей в состав снежного покрова прибрежной зоны проводилось сравнение с данными, полученными на фоновой станции Сура, расположенной вне зоны прямого влияния промышленных предприятий и воздействия морской среды на границе Архангельской области и Республики Коми.

Отбор и анализ проб снежного покрова на государственной сети наблюдений (ГСН) проводится по единой методике [7]. Отбор пробы снежного покрова проводится один раз в год в период максимального накопления влагозапаса в снеге: на рассматриваемой территории – в III декаде марта – I декаде апреля. Основной принцип снегосъёмки – ландшафтно-маршрутный. Анализ проб проводится по 10 показателям качества: содержание сульфатов, нитратов, хлоридов, гидрокарбонатов, ионов аммония, магния, натрия, кальция и калия, а также уровень pH.

В ходе анализа данных проводился расчет основных статистических показателей: среднее, максимальное и минимальное значения, медиана, разность отклонений, дисперсия, среднеквадратическое отклонение и коэффициент вариации. Корреляционный анализ данных включал построение матриц коэффициентов парной корреляции между концентрациями веществ в снежном покрове в пределах одной станции. Для станций Онега, Нарьян-Мар и Сура также были рассчитаны коэффициенты корреляции между концентрацией вещества в снежном покрове и атмосферных осадках. Для определения степени близости связи использовали вербально-числовую шкалу Харрингтона [4, 10], при помощи которой матрицы коэффициентов корреляции были преобразованы в матрицы ранговых связей.



Рис. 1. Схема расположения станций отбора проб снежного покрова

Результаты и их обсуждение. Возможные пути поступления ионов в снежный покров из атмосферы можно объединить в две группы: влажное выпадение со снегом и сухое выпадение. В период с ноября по январь на рассматриваемой территории формируются основные запасы снега, в связи с чем, основную роль в этот период играет вымывание веществ из атмосферы. В остальные месяцы предполагается преобладание сухого осаднения.

Природное соотношение между отдельными элементами в снежном покрове разных районов различно: преобладающим ингредиентом в снежном покрове приморских районов является хлорид-ион, для материковой части это гидрокарбонатный ион. Антропогенное загрязнение может значительно увеличивать обогащение снега отдельными элементами. С учетом этого был проведен корреляционный анализ содержания химических веществ в снежном покрове. Также учитывался тот факт, что в снежном покрове материковой части среди катионов преобладает кальций, а в прибрежной зоне – натрий.

Вследствие влияния морских аэрозолей, в прибрежной зоне фиксируется значимая корреляция между концентрациями хлоридов и натрия. Исключение составили станции Кольского п-ова, удаленные от побережья, а также промышленный центр – Мурманск. Вне

зоны влияния морской среды и промышленности – на станции Сура – связь между данными ионами также незначительная. На станции Марресале обнаружена значительная корреляция между хлоридами и всеми катионами.

Повышенное содержание хлоридов отмечается на прибрежных станциях, открытых для западного переноса воздушных масс с моря: п-ов Канин, о-в Колгуев, северное побережье Кольского п-ова, восточное побережье Карского моря, где средние концентрации находились в пределах 8,43–17,0 мг/л. Высокие концентрации хлоридов отмечены на островах Карского моря. Зоной относительно низкого содержания хлоридов в снежном покрове можно назвать побережье Белого моря, западное побережье глубоко вдающихся в сушу заливов Карского моря, район станции Нарьян-Мар, где средняя концентрация этого иона составляет 1,24–4,31 мг/л. Данный факт может быть связан с меньшей соленостью вод прилегающих акваторий вследствие распреснения речным стоком. Пониженные концентрации хлоридов отмечены в центральной части Кольского п-ова. Средняя концентрация хлоридов на станции Сура составляет 1,4 мг/л.

Распределение средних концентраций ионов натрия аналогично распределению средних концентраций хлоридов как преобладающих ионов в морской воде. Максимальные средние концентрации ионов натрия отмечены на восточном побережье Карского и Баренцева морей, северо-востоке Кольского п-ова (4,52–12,26 мг/л), островных станциях Карского моря (2,14–7,15 мг/л). На остальной территории средние концентрации натрия находятся в пределах 0,43–3,33 мг/л. На станции Сура, удаленной от морей, концентрация ионов натрия за исследуемый период изменялась от 0,28 мг/л до 1,5 мг/л.

Средние концентрации сульфатов на исследуемой территории составили 0,89–4,65 мг/л. На территории Кольского п-ова наибольшее содержание сульфатов в снежном покрове зафиксировано в районе станции Мончегорск, где средние (максимальные) концентрации составили 7,09 (27,4) мг/л, что в основном является результатом загрязнения выбросами Мончегорского медно-никелевого комбината «Североникель». Повышенные концентрации сульфатов, обусловленные влиянием моря, фиксируются на восточном побережье Баренцева и Белого морей. Высокие концентрации сульфатов в снежном покрове до 12,62–57,98 мг/л в отдельные годы фиксируются на побережье Таймырского автономного округа, вероятно, в результате загрязнения выбросами Норильского медно-никелевого комбината.

Средние концентрации гидрокарбонатов составляли 0,44–8,15 мг/л, ионов кальция 0,32–4,39 мг/л. Максимальные концентрации гидрокарбонатов в снежном покрове отмечаются на станции Ковдор (в среднем 28,77 мг/л). Здесь же отмечается и высокое содержание кальция – 8,74 мг/л. В районе станции Ковдор значимая связь между хлоридами

и гидрокарбонатами имеет обратный характер. Повышенная средняя концентрация гидрокарбонатов отмечается на побережье Белого моря и о-ве Колгуев (Баренцево море), где также отмечена значительная корреляция ионов кальция и гидрокарбонатов. На Кольском п-ове в целом концентрации гидрокарбонатов незначительны. Относительно повышена средняя концентрация кальция в районе Мончегорска.

Корреляция между содержанием гидрокарбонатов и хлоридов, как и с другими анионами чаще всего незначительная. Тесная связь гидрокарбонатов с нитратами и аммоний-ионом отмечена на западном побережье п-ова Канин и в северной части о-ва Северный Колгуев, что свидетельствует о поступлении данных ионов с территории суши.

Средние концентрации нитратов в европейской части рассматриваемого региона увеличиваются с севера на юг от 0,09 мг/л на станции им. Кренкеля (архипелаг Земля Франца-Иосифа) до 1,52–1,75 мг/л на станциях Нарьян-Мар, Мезень, Онега. Средние концентрации аммоний-иона на всей территории составили 0,07–0,91 мг/л. Минимальное содержание ионов аммония отмечается на островных станциях Карского моря, станции Амдерма. Максимальная средняя концентрация аммоний-иона отмечена на станции Териберка (1,09 мг/л).

Связь иона аммония с хлоридами и натрием очень высокой и высокой степени обнаружена в районе станций Онега, Ковда, Ковдор, Мончегорск, Канин Нос, Мезень, Кандалакша, Амдерма, Сеяха, мыс Челюскин. На остальных станциях связь между данными ионами отсутствует. На побережье Кандалакшского залива, западном побережье п-ова Канин, станциях Полярное, Известий ЦИК и Северный Колгуев зафиксирована тесная связь ионов аммония с кальцием.

В пространственном распределении средних концентраций магния прослеживается тенденция, характерная для хлоридов и ионов натрия, – средняя концентрация выше на восточном побережье заливов Карского моря, на станциях открытых для западного переноса воздушных масс с акватории морей, в северо-западной части Кольского п-ова. Максимальные средние концентрации магния отмечены на островных станциях Карского моря и его восточном побережье (1,06–2,97 мг/л). Тесная связь содержания в снежном покрове магния с хлоридами и натрием на станциях, расположенных непосредственно на побережье, говорит о поступлении магния со стороны моря, что подтверждается незначительным содержанием магния в пробах со станции Сура.

На станциях, где проявляется связь натрия и хлоридов прослеживается тесная связь калия с данными ионами, что говорит о поступлении его преимущественно со стороны моря.

В районе Архангельска поступление данного иона происходит со стороны суши, так как высокой степени связь калия с хлоридами и натрием имеет обратный характер.

Увеличение значений рН снежного покрова в большинстве случаев происходит за счет увеличения концентраций гидрокарбонатов. Определяющим фактором пониженных значений рН является снижение в снеге концентраций катионов Na, K, Mg, Ca, нейтрализующих кислоты. На территории Кольского п-ова уровень рН снежного покрова ниже, чем на остальной территории, особенно на станции Мончегорск, что является результатом загрязнения выбросами Мончегорского медно-никелевого комбината, использующего сульфидные руды. Исключение составляет станция Ковдор, где минимальное значение уровня рН составляет 5,85.

На станции Сура по сравнению с другими станциями повышены концентрации нитратов, вследствие близости промышленных предприятий Вологодской области. Содержание азота аммонийного, хлоридов, ионов магния, натрия и калия здесь ниже, чем на прибрежных станциях, из-за удаленности от природного источника данных веществ – морских акваторий.

Статистический анализ концентраций веществ в снежном покрове показал их большую межгодовую изменчивость по всем без исключения элементам. Достаточно высокая величина коэффициента вариации (до 291) указывает на значительно больший разброс значений концентраций веществ в пробах. Данный факт может быть обусловлен непостоянством поступления данных веществ, что связано, в том числе, с воздействием дальнего переноса.

Расчет матриц коэффициентов корреляции между концентрацией вещества в снежном покрове и в атмосферных осадках по данным с одной станции проводился для станций Онега, Нарьян-Мар и Сура, для которых характерны различные климатические условия. В общем случае корреляция между концентрацией вещества в снежном покрове и в атмосферных осадках незначительная, что говорит о различии в процессах формирования ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова. Кроме того, это может свидетельствовать о значительном вкладе поступления химических веществ в снежный покров в результате сухого осаждения. Преимущественно связь имеет прямой характер. Обратная корреляция для хлоридов, ионов натрия и кальция отмечается в районе Онеги и Суры, для калия – в районе Нарьян-Мара.

Тесная связь между содержанием сульфатов в снежном покрове и атмосферных осадках проявляется на станции Онега и Нарьян-Мар. В районе Нарьян-Мара значительная корреляция характерна также для ионов магния, хлоридов и уровня рН. На станции Сура

содержание нитратов и аммоний-иона в снежном покрове имеет тесную связь с содержанием данных веществ в атмосферных осадках, высокая корреляция отмечается и для уровня рН.

Выводы. 1. Существенный разброс статистических характеристик и значений концентраций веществ указывает на пространственную и временную неоднородность химического состава снежного покрова, многофакторность процесса его формирования на данной территории. 2. В прибрежных и морских районах происходит обогащение снежного покрова натрием и хлоридами. Повышенные концентрации сульфатов, обусловленные влиянием моря, фиксируются в прибрежных зонах Баренцева и Белого морей. Вклад антропогенных источников в загрязнение снежного покрова сульфатами является преобладающим в центре Кольского п-ова. 3. Увеличение уровня рН в большинстве случаев происходит за счет роста концентраций гидрокарбонатов. Пониженные значения уровня рН в основном связано со снижением в снеге концентраций катионов Na, K, Mg, Ca, нейтрализующих кислоты. 4. В общем случае корреляция между концентрацией вещества в снежном покрове и в атмосферных осадках незначительная. Это говорит о различии в процессах формирования ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова, а также о значительном вкладе поступления химических веществ в снежный покров в результате осаждения. 5. Таким образом, формирование ионного состава снежного покрова в исследуемом районе происходит под влиянием естественных и антропогенных факторов, их соотношение зависит от расстояния от крупных промышленных центров.

Список литературы

1. Аэрозоли Арктики – результаты десятилетних исследований / В. П. Шевченко, А. П. Лисицын, А. А. Виноградова [и др.] // Оптика атмосферы и океана. 2000. – Т. 13. – № 6–7. – С. 551–576.
2. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. – 181 с.
3. Васильев Л. Ю. Климат / Л. Ю. Васильев, Т. Е. Водовозова // Система Белого моря. – Т. 1. Природная среда водосбора Белого моря / Отв. ред. А. П. Лисицын. – М.: Научный мир, 2010. – С. 16–39.
4. Коробов В. Б. Экспертные методы в географии и геоэкологии. – Архангельск: Поморский университет, 2008. – 236 с.
5. Лобанова О. А. Химический состав осадков и снежного покрова как показатель аэротехногенного загрязнения окружающей среды Архангельской агломерации (АА) / О. А.

Лобанова, А. Ф. Надеин, С. Н. Тарханов, К. В. Кочерина // Север: экология. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – С. 40–53.

6. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) / В. П. Шевченко, В. Б. Коробов, А. П. Лисицын [и др.] // Доклады Академии наук. – 2010. – Т. 431. – № 5. – С. 675–679.

7. Руководство по контролю загрязнения атмосферы (РД 52.04.186-89).

8. Трубицина О. П. Анализ геоэкологического состояния атмосферного воздуха и осадков севера Русской равнины по данным мониторинга // Вестник Поморского университета. – Серия: Естественные науки. – 2008. – № 3. – С. 35–42. .

9. Barrie L. A. Occurences and trends of pollution in the Arctic troposphere // Chemical Exchange Between the Atmosphere and Polar Snow / E.W. Wolff, R.C. Bales (eds.). – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. – 1996. – P. 93–129.

10. Harrington E.C. The desirable function // Industrial Quality Control. – 1965. - V. 21. – № 10. – P. 124–131.

Авторы благодарны сотрудникам Северного и Мурманского управлений гидрометеослужбы за предоставление данных. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы 23 фундаментальных исследований Президиума РАН (проект «Трансевропейский меридиональный морской эколого-геохимический разрез»).

Рецензенты:

Виноградова А. А., д.г.н., ведущий научный сотрудник ФГБУН Института физики и атмосферы им. А. М. Обухова РАН, г. Москва.

Лукашин В. Н., д.г.-м.н., ведущий научный сотрудник ФГБУН Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва.