

УДК 550.46

DOI: 10.24412/2658-4255-2021-4-17-27

Для цитирования:

Е.И. Котова, И.И. Василевич,
К.В. Ромашова,
А.С. Красавина Состав
снежного покрова островов
Баренцева и Карского морей
// Российская Арктика. 2021.
№ 15. С. 17–27

Получена: 09.07.2021




Принята: 23.10.2021

Опубликована: 09.11.2021



Статья распространяется
в полнотекстовом формате на
условиях лицензии Creative
Commons Attribution 4.0

СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ОСТРОВОВ БАРЕНЦЕВА И КАРСКОГО МОРЕЙ

Е.И. Котова¹ , И.И. Василевич² , К.В. Ромашова³ ,
А.С. Красавина⁴

¹ Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва;
ecorp@yandex.ru

² Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург; ii.vasilevich@gmail.com

³ Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург; romashova.kv@hotmail.com

⁴ Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу
загрязнения окружающей среды, г. Архангельск; oisps801@arh.ru

Аннотация: В работе проведено обобщение и статистический анализ материалов исследования состава снежного покрова островов Баренцева (о. Западный Шпицберген, о. Хейса, о. Колгуев) и Карского (о. Визе, о. Голомянный, о. Тройной) морей за 2005–2019 гг. Выявлена значительная межгодовая изменчивость содержания веществ в снежном покрове. Определено, что морской аэрозоль оказывает основное влияние на состав снежного покрова удаленных островных территорий. Концентрации хлоридов и ионов натрия увеличиваются в снежном покрове островов северной части Баренцева и Карского морей с запада на восток. Результаты расчета коэффициентов обогащения снежного покрова сульфатами показали, что сульфаты преимущественно поступают на данную территорию в составе морских аэрозолей. Отмечены случаи закисления талой фазы снежного покрова на о. Западный Шпицберген. Проведенный анализ показал отсутствие в снежном покрове о. Западный Шпицберген фосфатов, а среднее содержание фторидов соответствует уровню фоновых концентраций этого элемента в атмосферных осадках прибрежных морских районов. На о. Хейса отмечено присутствие в снежном покрове ионов предположительно терригенного происхождения. В снежном покрове прибрежных островов Баренцева моря (о. Колгуев) наблюдается увеличение содержания форм азота и сульфатов вследствие переноса загрязнения от антропогенных источников, расположенных на Европейской части России.

Ключевые слова: снежный покров, арктические острова, Баренцево море, Карское море, остров Шпицберген, остров Колгуев, остров Хейса

CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER OF THE BARENTS AND KARA SEAS ISLANDS

E.Kotova¹, I. Vasilevich², K. Romashova³, A. Krasavina⁴

¹ P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow

^{2,3} Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg

⁴ Northern Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Arkhangelsk

Abstract: The paper presents the results of generalization and statistical analysis of data on the snow cover composition of Barents (West Svalbard Island, Hayes Island, Kolguev Island) and Kara (Vize Island, Golomyanny Island, Troynoy Island) seas for 2005–2019.

A significant interannual variability in the snow cover chemical composition was revealed. Sea aerosols have the main effect on the mineralization of the snow cover. The content of chlorides and sodium ions in the snow cover of the islands increases from west to east. According to the results of calculating the enrichment coefficients of the snow cover, sulfates enter this territory as part of sea aerosols. Acidification cases of the thawed snow are noted on the West Spitsbergen Island. The analyses show the absence of phosphates in the snow cover of West Spitsbergen. The average content of fluorides corresponds to the level of background concentrations of this element in atmospheric precipitation in coastal sea areas. Ions of presumably terrigenous origin are noted in the snow cover of Hayes Island. Increased nitrogen forms, sulfates observed in the snow cover of the coastal islands of the Barents Sea (Kolguev Island) due to the transfer of pollution from anthropogenic sources located in the European part of Russia.

Keywords: snow cover, arctic islands, Barents Sea, Kara Sea, Svalbard, Kolguev Island, Hayes Island

Введение

Проблема загрязнения окружающей среды арктических территорий привлекает внимание ученых уже не одно десятилетие [1-5]. На данный момент эта проблема все еще недостаточно изучена. Арктические территории, особенно труднодоступные арктические острова, долгое время считались «эталоном чистоты». Детальное изучение объектов природной среды Арктики показало наличие в них веществ антропогенного происхождения, несмотря на удаленность от промышленных источников. Связано это с тем, что на территории Арктики происходит разгрузка воздушных потоков от тех загрязнений, которые они накопили в среднеширотных районах [1, 3]. Размещение в Арктике антропогенных источников в результате ее социально-экономического развития (например, свинцово-цинкового минерально-сырьевого центра на архипелаге Новая Земля) [6] может увеличить антропогенную нагрузку на арктические экосистемы. В связи с развитием Северного морского пути, значительное влияние на загрязнение атмосферного воздуха в арктическом регионе оказывают морские суда. Так, например, исследования [2] показали, что присутствие судов способствует увеличению концентрации в атмосферном аэрозоле не только микроэлементов, но и ионов кальция, калия, сульфатов.

Условия протекания биохимических процессов в Арктике очень специфичны. Островная суша находится под сильным воздействием океана. В районе встречи Трансарктического и Северо-Атлантического течений зарождаются циклоны, которые перемещаются на восток от Исландии вдоль границы полярных льдов, постепенно отдавая тепло и влагу [7]. Вследствие этого на западном побережье острова Шпицберген количество атмосферных осадков составляет 400 мм/год, восточнее на Земле Франца-Иосифа – уже 200-300 мм/год, еще далее к востоку на Северной Земле – 100-200 мм/год. Влияние морских вод не ограничивается переносом тепла и влаги. С воздушными массами переносятся морские аэрозоли, в большей степени состоящие из растворимых солей, которые активно вымываются осадками и накапливаются в снежной толще. Согласно результатам наблюдений Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) [8] на водосборе залива Грен-фьорд

о. Западный Шпицберген в ионном составе снежного покрова преобладают в основном хлорид-ионы, ионы натрия и сульфаты. От большинства арктических островных территорий о. Западный Шпицберген отличается наличием значимого антропогенного источника – предприятий угледобывающей промышленности. На территории поселка Баренцбург и в его окрестностях Северо-Западным филиалом НПО «Тайфун» в снежном покрове обнаружены нефтяные углеводороды, пестициды, полихлорбифенилы, а также некоторые тяжелые металлы (свинец и кадмий) [9].

Снежный покров в качестве объекта исследования выбран в первую очередь потому, что его состав может рассматриваться в качестве интегрированной характеристики загрязнения атмосферы за период снегозалегаания. Снежный покров, как естественный планшет, накапливает в своей толще атмосферные выпадения (сухие и влажные) за весь зимний период. В результате, концентрации загрязняющих веществ в снежном покрове выше, чем в атмосферном воздухе. Это позволяет проводить наблюдения и анализ проб достаточно простыми методами и с высокой степенью надежности. По материалам [4] в приземной атмосфере западной части Российской Арктики в период полярной ночи наблюдаются максимальные суммарные концентрации ионов в атмосферном воздухе. Поэтому использование данных о составе снежного покрова в качестве источника информации о загрязнении атмосферы рассматриваемой территории вполне обосновано.

Цель исследования: проследить особенности формирования снежного покрова арктических островов с учетом их физико-географических особенностей.

Объект и методы исследования

Объектом изучения является снежный покров арктических островов, расположенных в Баренцевом и Карском морях. Проведено обобщение и сравнение данных состава снежного покрова, полученных в результате исследований ФГБУ Арктический и Антарктический научно-

исследовательский институт (ААНИИ, г. Санкт-Петербург) на водосборе залива Грен-фьорд (о. Западный Шпицберген) и ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (Северное УГМС, Архангельск) на о. Хейса архипелага Земля Франца-Иосифа (обсерватория имени Эрнста Кренкеля), о. Визе, о. Голомянный архипелага Седова, о. Тройной архипелага Острова Известий ЦИК, о. Колгуев (станции Северный Колгуев и Бугрино) (рис. 1) за период 2005–2019 гг.

Отбор и анализ проб снежного покрова осуществлялся в соответствии с [10–15] один раз в год в период максимального накопления влагозапаса в снеге (май – июнь). Проба снежного покрова состояла

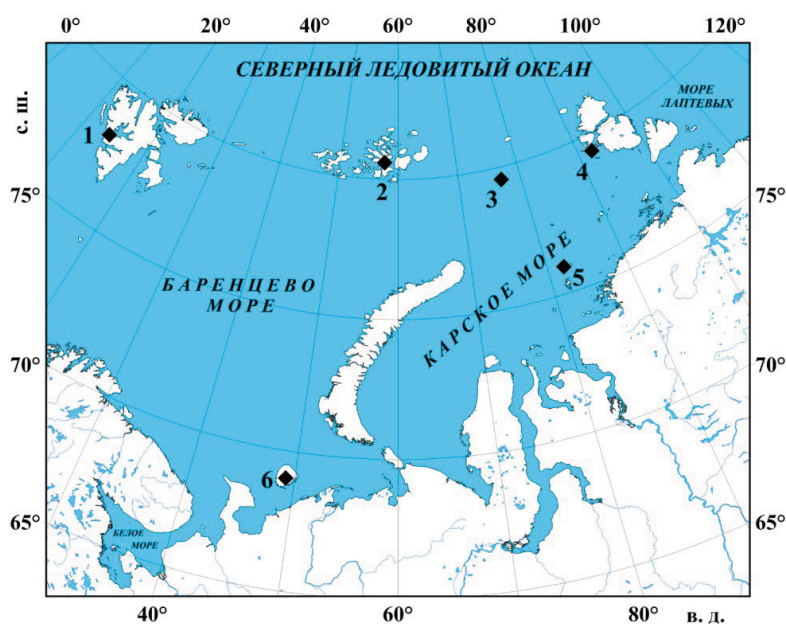


Рисунок 1 – Районы отбора проб: 1 – о. Западный Шпицберген, 2 – о. Хейса арх. Земля Франца-Иосифа, 3 – о. Визе, 4 – о. Голомянный арх. Седова, 5 – о. Тройной арх. Острова Известий ЦИК, 6 – о. Колгуев (метеостанции Северный Колгуев и Бугрино).

из отдельных кернов снега, отобранных на выбранном участке. Керны снега отбирались весовым снегомером. Количество кернов снега в пробе определялось на месте исходя из условий получения общего объема воды в одной пробе не менее 2.5 дм³. Каждый керна снега вырезался на полную глубину снежного покрова, но так, чтобы не происходил захват частиц грунта. Отбор проб снежного покрова на о. Западный Шпицберген проводился на расстоянии 7-17 км от поселка Баренцбург. Растапливание снега осуществлялось при комнатной температуре с фильтрованием в момент растапливания снега. Для фильтрования использовались фильтры «синяя лента» и «белая лента» (о. Западный Шпицберген). Далее фильтрат отправлялся в лабораторию для анализа. В пробах, отобранных на о. Западный Шпицберген, в лаборатории Российского научного центра на арх. Шпицберген АНИИ методом ионной хроматографии определяли нитраты, хлориды, сульфаты, нитриты, фосфаты, фториды, бромид, ионы аммония, калия, магния, кальция. Содержание гидрокарбонат-ионов рассчитывали из концентраций неорганического углерода, измеренного на анализаторе ТОС (Shimadzu, Япония). В пробах, собранных на других островах, в Центре по мониторингу загрязнения окружающей среды ФГБУ «Северное УГМС» определялись значения водородного показателя, удельной электропроводимости (УЭП), методом ионной хроматографии на хроматографе Dionex ICS-900 (США) измерялись концентрации нитрат-ионов, хлорид-ионов, сульфат-ионов, ионов аммония, калия, магния, кальция.

Проведен расчет основных статистических показателей и корреляционный анализ данных, который включал построение матриц коэффициентов парной корреляции (КК) между концентрациями веществ в пробах снежного покрова в пределах одной станции.

Для определения вклада различных источников в загрязнение снежного покрова отдельных станций рассчитаны коэффициенты обогащения [7, 16]. Расчет коэффициента обогащения талой фазы снежного покрова элементами по отношению к атмосферным осадкам над океаном для анионов проводился по отношению к хлоридам, для катионов – к иону натрия по формуле:

$$КО = \frac{C_{эл} / C_{Cl-(Na^+)}}{M_{эл} / M_{Cl-(Na^+)}} \quad (1)$$

где КО – коэффициент обогащения,

$C_{эл}$, $C_{Cl-(Na^+)}$ – концентрация рассматриваемого иона и хлорид-иона (иона натрия) в талой фазе снежного покрова на станции,

$M_{эл}$, $M_{Cl-(Na^+)}$ – концентрация рассматриваемого иона и хлорид-иона (иона натрия) в атмосферных осадках над океаном [7].

Принято считать, что коэффициент обогащения от 1 до 10 свидетельствует о морском происхождении элемента, больше 10 – о наличии дополнительного источника поступления элемента в воздушную среду [17].

Результаты и их обсуждение

Статистический анализ данных показал, что состав снежного покрова островных территорий имеет значительную межгодовую изменчивость, о чем свидетельствуют высокие значения среднеквадратичного отклонения (табл. 1). Это может говорить о многофакторности процессов формирования ионного состава снега, при этом влияние факторов непостоянно.

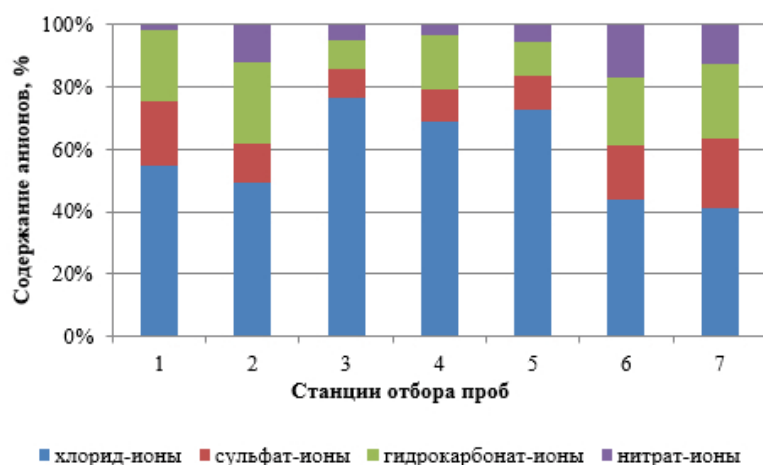
Данная особенность была определена ранее для снежного покрова прибрежных территорий западного сектора Арктики [18].

Таблица 1

Характеристики снежного покрова

Показатель	о. Западный Шпицберген	о. Хейса	о. Визе	о. Голомянный	о. Тройной	Станция Северный Колгуев	Станция Бугрино
pH, ед.рН	4.09 – 7.30 5.85 ± 0.47	5.45 – 6.91 6.33 ± 0.46	5.02 – 6.47 6.04 ± 0.40	5.87 – 7.19 6.59 ± 0.39	5.09 – 6.46 6.05 ± 0.46	5.83 – 6.78 6.38 ± 0.33	5.14 – 7.00 6.06 ± 0.52
УЭП, мксм/см	2.68 – 174.20 23.2 ± 5.15	8.33 – 98.8 40.3 ± 28.8	10.1 – 307 76.6 ± 105.1	20.2 – 480 91.1 ± 119	21.8 – 226 64.2 ± 53.0	14.2 – 78.7 42.7 ± 22.6	6.65 – 106 52.1 ± 28.0
SO ₄ ²⁻ , мг/дм ³	н.о. – 13.8 1.69 ± 1.41	н.о. – 5.54 1.73 ± 1.64	н.о. – 7.85 2.15 ± 2.46	н.о. – 14.4 2.95 ± 3.62	н.о. – 6.58 2.19 ± 2.04	0.56 – 5.62 2.77 ± 1.50	н.о. – 15.04 3.71 ± 4.30
NO ₃ ⁻ , мг/дм ³	н.о. – 0.74 0.17 ± 0.05	н.о. – 13.5 1.68 ± 4.44	н.о. – 8.11 1.18 ± 2.26	н.о. – 9.3 0.96 ± 2.53	н.о. – 7.48 1.14 ± 2.08	0.1 – 9.05 2.75 ± 3.91	н.о. – 14.6 2.17 ± 4.17
NH ₄ ⁺ , мг/дм ³	0.11 – 1.19 0.35 ± 0.21	н.о. – 0.59 0.13 ± 0.18	н.о. – 0.19 0.05 ± 0.07	н.о. – 2.73 0.25 ± 0.75	н.о. – 0.23 0.06 ± 0.07	0.1 – 3.21 0.94 ± 1.10	н.о. – 1.50 0.24 ± 0.42
Cl ⁻ , мг/дм ³	0.98 – 15.4 4.54 ± 0.80	0.80 – 24.0 6.89 ± 8.25	0.22 – 82.7 18.3 ± 28.8	2.65 – 120.4 19.9 ± 31.1	4.06 – 63.2 15.1 ± 15.4	0.97 – 16.8 7.11 ± 4.95	н.о. – 19.2 6.93 ± 6.225
HCO ₃ ⁻ , мг/дм ³	0.87 – 3.84 1.88 ± 0.16	н.о. – 8.71 3.70 ± 2.78	н.о. – 6.10 2.28 ± 1.94	н.о. – 19.2 5.03 ± 4.92	н.о. – 4.88 2.30 ± 1.52	н.о. – 5.38 3.50 ± 1.99	н.о. – 21.36 4.04 ± 6.12
Na ⁺ , мг/дм ³	н.о. – 10.72 3.31 ± 0.87	0.29 – 13.0 4.07 ± 4.34	0.16 – 48.0 10.1 ± 16.0	0.09 – 64.5 10.7 ± 16.6	3.00 – 38.00 8.10 ± 9.28	1.10 – 10.5 5.03 ± 2.66	0.20 – 11.0 5.08 ± 3.92
K ⁺ , мг/дм ³	н.о. – 13.37 0.37 ± 0.26	0.18 – 6.0 1.17 ± 1.97	н.о. – 2.0 0.61 ± 0.67	0.11 – 2.54 0.74 ± 0.72	0.14 – 2.10 0.73 ± 0.67	0.15 – 4.0 1.11 ± 1.23	0.14 – 1.50 0.49 ± 0.34
Ca ²⁺ , мг/дм ³	н.о. – 12.75 0.51 ± 0.17	н.о. – 2.61 1.28 ± 0.86	0.18 – 3.54 1.37 ± 1.19	н.о. – 7.55 2.17 ± 2.04	0.18 – 6.04 1.51 ± 1.57	0.86 – 2.16 1.14 ± 0.43	0.14 – 6.83 1.75 ± 2.25
Mg ²⁺ , мг/дм ³	н.о. – 5.15 0.50 ± 0.16	0.25 – 1.95 0.78 ± 0.55	0.30 – 5.01 1.33 ± 1.54	0.23 – 3.13 1.35 ± 0.76	н.о. – 3.93 1.31 ± 1.02	0.41 – 1.23 0.86 ± 0.30	0.18 – 1.70 0.82 ± 0.45

Примечание. В числителе: минимальное – максимальные значения, в знаменателе: среднее арифметическое значение \pm стандартное отклонение.



В порядке возрастания абсолютные концентрации ионов в составе снежного покрова исследуемых островов можно расположить следующим образом: Cl⁻ > HCO₃⁻ > SO₄²⁻ > NO₃⁻; Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺. В долевом соотношении (%) концентраций ионов порядок расположения катионов сохраняется, однако долевой вклад анионов отличается (рис. 2). Очевидно, что в составе снежного покрова преобладают хлориды и ионы натрия, что характерно для приморских и островных территорий [7, 16, 19, 20].

Рисунок 2 – Долевой вклад анионов в состав снежного покрова: 1 – о. Западный Шпицберген, 2 – о. Хейса арх. Земля Франца-Иосифа, 3 – о. Визе, 4 – о. Голомянный арх. Седова, 5 – о. Тройной арх. Острова Известий ЦИК, 6 – станция Северный Колгуев (о. Колгуев), 7 – станция Бугрино (о. Колгуев)

Одним из важных показателей исследования атмосферных выпадений в Арктическом регионе является их кислотность. Считается, что незагрязненным атмосферным осадкам соответствует значение 5.6 ед. рН [16]. Средняя величина талой фазы снежного покрова рассматриваемой территории изменялась в диапазоне 5.85-6.59 ед. рН, что несколько выше данного значения.

Случаи закисления снежного покрова исследуемых нами островов наблюдались только на о. Западный Шпицберген, где определен наименьший из средних значений уровень рН – 5.85 ед. рН. В отдельные годы (2012, 2015, 2016 гг.) этот показатель снижался до 4.09-4.79 ед. рН. Максимальное определенное значение уровня рН снежного покрова (7.30 ед. рН) также зафиксировано в пробе, отобранной на о. Западный Шпицберген. Это может свидетельствовать о разнообразии факторов, влияющих на формирование химического состава снежного покрова острова.

В качестве интегральной характеристики химического состава снежного покрова можно рассматривать удельную электропроводимость. Значения УЭП дают первичное представление о загрязнении снега. Снежный покров о. Западный Шпицберген характеризуется низкими значениями УЭП: 23.2 мкСм/см в среднем за рассматриваемый период (2005-2019 гг.). Средние значения содержания ионов (за исключением иона аммония) в снеге Западного Шпицбергена также ниже, чем на остальных островах (см. табл. 1).

Исследование нитрит-ионов, фосфат-ионов, фторид-ионов, бромид-ионов в снежном покрове на о. Западный Шпицберген выявило отсутствие во всех пробах фосфат-ионов. В единичных пробах обнаружено содержание нитрит-ионов (2019 г.) на уровне 0.10 мг/дм³ и бромидов (2007 и 2018 гг.) на уровне 0.17 мг/дм³. Среднее содержание фторидов в снежном покрове о. Западный Шпицберген составило 0.09 мг/дм³. Данное значение соответствует уровню фоновых концентраций этого элемента в атмосферных осадках прибрежных морских районов (0.089 мг/дм³) [21], а значит, содержание фтора на данной территории обусловлено активным переносом аэрозольных форм фтора в составе морского аэрозоля.

Рассчитанные коэффициенты обогащения, позволяющие выявить дополнительный вклад ионов от разных источников в формировании химического состава снежного покрова показали, что в большинстве случаев обогащение снежного покрова сульфатами, ионами магния и калия менее 10 и говорит об их поступлении преимущественно в составе морских аэрозолей. В 2007 г. и 2018 г. значения коэффициента обогащения снежного покрова о. Западный Шпицберген сульфатами были более 10, что свидетельствует о поступлении сульфатов в эти годы не только в составе морских аэрозолей, но и от других источников, в том числе антропогенных.

УЭП снежного покрова на о. Хейса в среднем выше почти в 2 раза, чем на о. Западный Шпицберген: среднее значение составило 40.3 мкСм/см. Уровень рН талой фазы снежного покрова о. Хейса (6.33 ед. рН) выше в сравнении со значениями на других островах севера Баренцева и Карского морей (о. Западный Шпицберген и о. Визе). Наличие на острове птичьих базаров и колоний может быть причиной повышенных концентраций нитратов (1.68 мг/дм³) в снеге данной территории, долевого вклад которых в ионном составе тоже повышен (рис. 2). На о. Хейса отмечено повышенное содержание в снежном покрове гидрокарбонат-ионов (3.70 мг/дм³) и ионов калия (1.17 мг/дм³). Средние значения коэффициента

обогащения снежного покрова ионами кальция здесь выше 10. Скорее всего, происхождение гидрокарбонат-ионов, ионов кальция и калия терригенное и связано с особенностями геологического строения территории. Ландшафт о. Хейса – это холмистая песчаная арктическая пустыня с эрозионным расчленением рыхлых осадочных пород в условиях поднимающейся суши [22]. Вблизи маршрута отбора проходит гряда из базальтовых пород высотой до 10 м. В период формирования снежного покрова в условиях сильных ветров и метелей часть терригенного вещества фиксируется в снежной толще.

На значения УЭП снежного покрова островов Карского моря (о. Визе, о. Голомянный, о. Тройной) помимо хлоридов и ионов натрия оказывают влияние сульфаты (КК – 0.94-0.99). Доля хлоридов в ионном составе снежного покрова этих островов велика (более 60%).

УЭП снежного покрова о. Визе изменяется в широком диапазоне. В 2015 г. значение УЭП равнялось 10.1 мкСм/см. при низких концентрациях в снеге хлоридов (0.22 мг/дм³), сульфатов (0.64 мг/дм³), ионов натрия (0.16 мг/дм³) и калия (0.1 мг/дм³). В 2012 г. значение УЭП составило 307 мкСм/см. В составе снежного покрова были зафиксированы высокие концентрации хлоридов (82.7 мг/дм³), ионов натрия (48.0 мг/дм³), кальция (3.54 мг/дм³), магния (5.01 мг/дм³). Для ионного состава снежного покрова о. Визе характерно низкое содержание аммоний-иона, концентрации которого не превышали 0.19 мг/дм³, и пониженное содержание гидрокарбонат-иона: 2.28 мг/дм³ в среднем за период. Значение коэффициента обогащения снежного покрова о. Визе сульфатами лишь в 2015 году было выше 10 и равнялось 21.

Наибольшее среднее значение УЭП (91.1 мкСм/см) и уровня рН (6.59 ед. рН) получено в пробе снежного покрова на о. Голомянный. Увеличению уровня рН снежного покрова в данной точке (по данным корреляционного анализа) способствуют высокие концентрации гидрокарбонат-ионов (КК – 0.59) и ионов магния (КК – 0.39). В снежном покрове о. Голомянный определено наибольшее содержание хлоридов-ионов (19.9 мг/дм³), гидрокарбонат-ионов (5.03 мг/дм³), сульфат-ионов (2.95 мг/дм³), ионов натрия (10.7 мг/дм³), кальция (2.17 мг/дм³), магния (1.35 мг/дм³). Значения коэффициента обогащения снежного покрова сульфатами не превышали 10.

В снежном покрове о. Тройной архипелага Острова Известий ЦИК определены наименьшие для островов Карского моря средние значения УЭП (64.2 мкСм/см). Средние концентрации хлорид-ионов и ионов натрия составили 15.1 мг/дм³ и 8.10 мг/дм³, соответственно. Наименьшие значения коэффициента обогащения снежного покрова сульфатами также были получены на о. Тройной (не более 3 для каждого года исследований), что свидетельствует об их преимущественно морском происхождении.

Остров Колгуев расположен ближе других рассматриваемых островных территорий к материку с размещенными на нем мощными антропогенными источниками загрязнения атмосферного воздуха. Значения УЭП снежного покрова острова Колгуев, а также содержание хлорид-ионов, ионов натрия и магния в снеге выше, чем на других островах Баренцева моря (о. Западный Шпицберген и о. Хейса), но ниже чем на островах Карского моря (о. Визе, о. Голомянный, о. Тройной). Вместе с тем в снежном покрове острова отмечено повышенное содержание сульфатов (2.77-3.71 мг/дм³), нитратов (2.17-2.75 мг/дм³), ионов аммония (0.24-0.94 мг/дм³). Увеличение доли сульфатов в ионном составе снежного покрова, вероятнее

всего, с переносом загрязняющих веществ с континентальной части России.

Выводы

В ионном составе снежного покрова островов Баренцева и Карского моря преобладающим анионом являются хлориды, катионом – ионы натрия. На рассматриваемой территории значения удельной электропроводимости талой фазы снежного покрова изменяются в широком диапазоне как во времени, так и в пространстве: от 2.68 мкСм/см в 2017 г. на о. Западный Шпицберген до 480 мкСм/см в 2017 г. на о. Голомянный. По данным авторов отмечается рост средних значений УЭП в северной части Баренцева и Карского морей с запада на восток от о. Западный Шпицберген до о. Голомянный. Связано это с увеличением содержания хлоридов и ионов натрия в снежном покрове вследствие переноса морских аэрозолей с незамерзающей части Баренцева моря. Наличие антропогенного источника поступления веществ в атмосферный воздух непосредственно на о. Западный Шпицберген не оказывает явного воздействия на состав снежного покрова территорий острова, удаленных от источника на 7-17 км. Ближе к материку (о. Колгуев) отмечено увеличение содержания в снежном покрове форм азота и сульфатов вследствие влияния континентальных источников. При этом значения УЭП снежного покрова данной территории ниже, чем на островах севера Баренцева и Карского моря.

Таким образом, можно выделить две основные особенности формирования ионного состава снежного покрова островов Баренцева и Карского моря. С одной стороны, прослеживается рост содержания морских ионов в снежном покрове на удаленных островах в зональном направлении. С другой стороны, на состав снежного покрова прибрежных островов оказывает влияние перенос веществ от континентальных источников.

Список литературы:

1. Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 2003. № 464. 149 p.
2. Zhan J., Gao Y., Li W., Chen L., Lin H., Lin Q. Effects of ship emissions on summertime aerosols at Ny-Alesund in the Arctic // *Atmospheric Pollution Research*. 2014. V. 5. P. 500–510.
3. Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: дис. ... д-ра геогр. наук: 25.00.28 / Анна Александровна Виноградова. М., 2004. 218 с.
4. Голобокова Л.П., Ходжер Т.В., Чернов Д.Г., Сидорова О.Р., Хуриганова О.И., Онищук Н.А., Жученко Н.А., Маринайте И.И. Химический состав приземного атмосферного аэрозоля в Баренцбурге (архипелаг Шпицберген) по результатам многолетних исследований // *Лёд и Снег*. 2020. Т. 60. № 1. С. 85-97.
5. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Радионов В.Ф., Чернов Д.Г., Турчинович Ю.С., Лубо-Лесниченко К.Е., Прахов А.Н. Обобщение результатов измерений аэрозольной оптической толщины атмосферы на арх. Шпицберген в 2011–2016 гг. // *Оптика атмосферы и океана*. 2017. Т. 30. № 11. С. 948–955.
6. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года: указ Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 // www.pravo.gov.ru.
7. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: ИЦ «Академия», 2003. 400 с.
8. Третьяков М.В., Голованов О.Ф., Григорьева В.А., Ромашова К.В. Максимальные снегозапасы на водосборе залива Грэн-фьорд // *Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген: Коллективная монография [под общей ред. Л.М. Саватюгина]*. СПб: ААНИИ, 2020. С. 183-190.
9. Дёмин Б.Н., Демешкин А.С., Власов С.В., Бажуков К.А. Оценка загрязнения природной среды Архипелага Шпицберген в районе посёлка Баренцбург и сопредельных

- территорий // Современное состояние природной среды архипелага Шпицберген: Коллективная монография [под общей ред. Л.М. Саватюгина]. СПб: ААНИИ, 2020. С. 246-281.
10. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. СПб.: Гидрометеоиздат, 1991. 696 с.
 11. ОСТ 171.5.05–85. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. М.: Стандартинформ, 2007. 15 с.
 12. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Министерство здравоохранения СССР; Главное санитарно-профилактическое управление. М.: ИМГРЭ, 1990. 17 с.
 13. М-02-1805-09. Методика выполнения измерений массовой концентрации ионов в пробах природной, питьевой и сточной воды методом ионной хроматографии. СПб.: ООО «Аналит», 2009. 18 с.
 14. М-02-2405-13. Методика измерений массовой концентрации общего углерода, общего неорганического, нелетучего (не удаляемого продувкой), органического углерода и общего азота в питьевых, природных (в том числе подземных), сточных и технологических водах с помощью анализатора ТОС (Shimadzu). СПб.: ООО «Аналит», 2013. 15 с.
 15. ФР.1.31.2005.01738 Методика выполнения измерений массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, магния, кальция и стронция в пробах питьевой, столовой, лечебно-столовой, природной и сточной воды методом ионной хроматографии. М.: ЗАО «Аквилон», 2008. 30 с.
 16. Василенко Н.В., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 182 с.
 17. Weller R., Wöltjen Ja., Piel C. et al. Seasonal variability of crustal and marine trace elements in the aerosol at Neumayer station, Antarctica, Tellus B // Chemical and Physical Meteorology. 2008. Vol. 60:5. P 742-752.
 18. Котова Е.И., Шевченко В.П. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Российской Арктики // Фундаментальные исследования. 2014. № 12-11. С. 2378-2382.
 19. Хайруллина Д. Н. Об изменчивости концентрации хлоридов в атмосферных осадках на Севере русской равнины за 1958-2007 гг. // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2012. Т. 154. № 1. С. 232-240.
 20. Семенец Е. С., Свистов П. Ф., Талаш А. С. Химический состав атмосферных осадков российского Заполярья // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 3. С. 27-36.
 21. Янин Е.П. Фтор в окружающей среде (распространенность, поведение, техногенное загрязнение) // Экологическая экспертиза. 2007. № 4. С. 2-98.
 22. Говоруха Л.С. Ландшафтно-географическая характеристика Земли Франца-Иосифа // Труды ААНИИ. Ленинград, 1968. Т.285: Проблемы полярной географии: сб. ст., посвященный памяти профессора Я.Я.Гаккеля. С. 7-9.

References:

1. Shevchenko V. The influence of aerosols on the oceanic sedimentation and environmental conditions in the Arctic. *Berichte zur Polar- und Meeresforschung*. 2003. № 464. 149 p.
2. Zhan J., Gao Y., Li W., Chen L., Lin H., Lin Q. Effects of ship emissions on summertime aerosols at Ny-Alesund in the Arctic. *Atmospheric Pollution Research*, 2014, vol. 5, pp. 500–510.
3. Vinogradova A.A. *Antropogennyj aerazol' nad moryami Severnogo Ledovitogo okeana*. Diss. dokt. geogr. Nauk [Anthropogenic aerosols over the seas of the Arctic ocean]. М., 2004, 218 p. (In Russian).
4. Golobokova L.P., Khodzher T.V., Chernov D.G., Sidorova O.R., Khuriganova O.I., Onishchuk N.A., Zhuchenko N.A., Marinajte I.I. *Himicheskij sostav prizemnogo atmosfernogo aerolya v Barenburge (arhipelag Spitsbergen) po rezul'tatam mnogoletnih issledovanij* [Chemical composition of the surface of atmospheric aerosol in Barentsburg (Spitsbergen archipelago) the results of many years research] // *Lyod i Sneg – Ice and Snow*, 2020, vol. 60, no 1. pp. 85-97. (In Russian).
5. Sakerin S.M., Kabanov D.M., Radionov V.F., Chernov D.G., Turchinovich Yu.S., Lubo-Lesnichenko K.E., Prahov A.N. *Obobshchenie rezul'tatov izmerenij aerazol'noj opticheskoj*

- tolshchiny atmosfery na arh. Spitsbergen v 2011–2016 gg. [Generalization of the results of measurements of the aerosol optical thickness of the atmosphere on the arch. Svalbard in 2011-2016] Optika atmosfery i okeana – Optics of the atmosphere and ocean, 2017, vol. 30, no 11, pp. 948–955. (In Russian).
6. Russian Federation. Decree of the President of the Russian Federation No. 645 of October 26, 2020, O Strategii razvitiya Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii i obespecheniya natsional'noy bezopasnosti na period do 2035 goda [On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period up to 2035]. www.pravo.gov.ru (In Russian).
 7. Dobrovolskiy V.V. Osnovy biogeohimii [Fundamentals of biogeochemistry]. Moscow, IC «Academy», 2003, 400 p. (In Russian).
 8. Tret'yakov M.V., Golovanov O.F., Grigor'eva V.A., Romashova K.V. Maksimal'nye snegozapasy na vodosbore zaliva Gryon-ford [Maximum snow reserves in the catchment area of the Gren Fjord Bay] Sovremennoe sostoyanie prirodnoy sredy arhipelaga Spitsbergen [The current state of the natural environment of the Svalbard archipelago]. St. Petersburg, AARII, 2020, pp. 183-190. (In Russian).
 9. Dyomin B.N., Demeshkin A.S., Vlasov S.V., Bazhukov K.A. Ocenka zagryazneniya prirodnoy sredy Arhipelaga Spitsbergen v rajone posyolka Barenburg i sopredel'nyh territorij [Assessment of pollution of the natural environment of the Svalbard Archipelago in the area of the village of Barentsburg and adjacent territories] Sovremennoe sostoyanie prirodnoy sredy arhipelaga SHpicbergen [The current state of the natural environment of the Svalbard archipelago]. St. Petersburg, AARII, 2020, pp. 246-281. (In Russian).
 10. RD 52.04.186-89. Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery [Guidance document 52.04.186-89. Guidelines for the control of atmospheric pollution]. St. Petersburg, Hydrometeoizdat, 1991. 696 p. (In Russian).
 11. GOST 17.1.5.05–85. Obshchie trebovaniya k otboru prob poverhnostnyh i morskikh vod, l'da i atmosferynyh osadkov [State Standard 17.1.5.05-85. General requirements for sampling of surface and sea waters, ice and atmospheric precipitation]. Moscow, Standartinform Publ., 2007, 15 p. (In Russian).
 12. Metodicheskie rekomendacii po ocenke stepeni zagryazneniya atmosfernogo vozduha naselennykh punktov metallami po ih sodержaniyu v snezhnom pokrove i pochve [Methodological recommendations for assessing the degree of atmospheric air pollution of settlements with metals based on their content in snow cover and soil]. Moscow, IMGREM, 1990. 17 p. (In Russian).
 13. M-02-1805-09. Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii ionov v probah prirodnoy, pit'evoy i stochnoj vody metodom ionnoj hromatografii [M-02-1805-09 Method of measuring the mass concentration of ions in samples of natural, drinking and waste water by ion chromatography]. Saint-Petersburg, "Analit" LLC. Publ., 2009, 18 p. (In Russian).
 14. M-02-2405-13. Metodika izmerenij massovoj koncentracii obshchego ugleroda, obshchego neorganicheskogo, neletuchego (ne udalyaemogo produvkoy), organicheskogo ugleroda i obshchego azota v pit'evykh, prirodnykh (v tom chisle podzemnykh), stochnykh i tekhnologicheskikh vodakh s pomoshch'yu analizatora TOS (Shimadzu) [M-02-2405-13. Method of measuring the mass concentration of total carbon, total inorganic, non-volatile (not removed by purging), organic carbon and total nitrogen in drinking, natural (including underground), waste and process waters using a CBT analyzer (Shimadzu)]. Saint-Petersburg, "Analit" LLC. Publ., 2013, 19 p. (In Russian).
 15. FR.1.31.2005.01738 Metodika vypolneniya izmerenij massovoj koncentracii kationov ammoniya, kaliya, natriya, magniya, kal'ciya i stronciya v probah pit'evoy, stolovoy, lechebno-stolovoy, prirodnoy i stochnoj vody metodom ionnoj hromatografii [Method of measuring the mass concentration of ammonium, potassium, sodium, magnesium, calcium and strontium cations in samples of drinking, canteen, medical-canteen, natural and waste water by ion chromatography]. Moscow, CJSC "Aquilon", 2008. 30 p. (In Russian).
 16. Vasilenko N.V., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova [Monitoring of snow cover pollution]. L.: Gidrometeoizdat, 1985, 182 p. (In Russian).
 17. Weller R., Wöltjen Ja., Piel C. et al. Seasonal variability of crustal and marine trace elements in the aerosol at Neumayer station, Antarctica, Tellus B. Chemical and Physical Meteorology, 2008, vol. 60:5, pp. 742-752.
 18. Kotova E.I., Shevchenko V.P. Vliyanie dal'nego atmosfernogo perenosa na formirovanie ionnogo sostava atmosferynykh osadkov i snezhnogo pokrova pribrezhnoy zony zapadnogo sektora Rossijskoj Arktiki [The influence of long-range atmospheric transport on the formation of the ionic composition of atmospheric precipitation and snow cover in the coastal zone of the western sector of the Russian Arctic] Fundamental'nye issledovaniya

- Fundamental Research, 2014, no 12-11, pp. 2378-2382. (In Russian).
19. Khairullina D.N. Ob izmenchivosti kontsentratsii khloridov v atmosferynykh osadkakh na Severe russkoy ravniny za 1958-2007 gg. [Variability of the concentration of chlorides in atmospheric precipitation in the North of the Russian plain for 1958-2007] Uchenyye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Yestestvennyye nauki – Scientific notes of Kazan University. Series: Natural Sciences, 2012, vol. 154, no. 1, pp. 232-240. (In Russian).
 20. Semenets E. S., Svistov P. F., Talash A. S. Khimicheskiy sostav atmosferynykh osadkov rossiyskogo Zapolyar'ya [Chemical composition of atmospheric precipitation in Russian Subarctic] Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov – Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering, 2017, vol. 328, no. 3, pp. 27-36. (In Russian).
 21. Yanin E.P. Ftor v okruzhayushchej srede (rasprostranennost', povedenie, tekhnogennoe zagryaznenie) [Fluorine in the environment (prevalence, behavior, technogenic pollution)] Ekologicheskaya ekspertiza – Environmental expertise, 2007, no 4, pp. 2-98.
 22. Govoruha L.S. Landshaftno-geograficheskaya karakteristika Zemli Franca-Iosifa [Landscape and geographical characteristics of the Franz Josef Land Archipelago] Trudy AANII – The works of AARI, 1968, vol. 285, pp. 7-9. (In Russian).