

СТАТЬИ

УДК 550.42:551.578.46
DOI 10.17513/use.38065

ОСОБЕННОСТИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ПРИБРЕЖНОЙ ТЕРРИТОРИИ ОНЕЖСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ В 2021–2023 ГОДАХ

¹Берестов А.В., ^{1,2}Котова Е.И.

¹ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»,
Архангельск, e-mail: berestov.a@edu.narfu.ru;

²Институт океанологии имени П.П. Ширшова Российской академии наук,
Москва, e-mail: ecopp@yandex.ru

Проведены исследования особенностей и динамики состава снежного покрова побережья Онежского залива Белого моря за трехлетний период (2021–2023 гг.). Пробы снежного покрова проанализированы на содержание ионов (хлорид-ион, сульфат-ион, ионы натрия, кальция, магния), биогенных элементов (фосфор, кремний, азот). Определены значения уровня pH и минерализации талой фазы снежного покрова. Показано, что ионный состав снежного покрова исследуемого района за рассматриваемый промежуток времени является непостоянным. Преобладающим ионом в большинстве случаев является хлорид-ион. Установлено, что содержание нерастворимых частиц в пробах снежного покрова, отобранных в прибрежной зоне Онежского залива Белого моря, незначительно превышает фоновое значение для арктических территорий. В последний год отмечено значительное снижение содержания нерастворимых частиц в снеге. Определена тенденция снижения уровня pH снежного покрова в юго-восточной части Онежского залива Белого моря. Выявлено значительное увеличение минерализации талого снега в 2022 г. в точке отбора проб «Каменный ручей», связанное с насыщением снежного покрова морской водой. Определены тенденции снижения содержания в снеге соединений азота. В свою очередь, содержание соединений фосфора в пробах снежного покрова увеличивается.

Ключевые слова: снег, прибрежная зона, ионный состав, кислотность снежного покрова, Белое море

FEATURES OF THE SNOW COVER OF THE COASTAL TERRITORY OF THE ONEGA BAY OF THE WHITE SEA IN 2021–2023

¹Berestov A.V., ^{1,2}Kotova E.I.

¹Northern (Arctic) Federal University named M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, e-mail: berestov.a@edu.narfu.ru;

²Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences,
Moscow, e-mail: ecopp@yandex.ru

Studies of the features and dynamics of the composition of the snow cover of the coast of the Onega Bay of the White Sea for a three-year period (2021–2023). Samples of the snow cover were analyzed for the content of ions (chloride ion, sulfate ion, sodium, calcium, magnesium ions), biogenic elements (phosphorus, silicon, nitrogen). The values of the pH level and mineralization of the thawed phase of the snow cover were determined. It is shown that the ionic composition of the snow cover of the studied area for the considered period of time is unstable. The predominant ion in most cases is the chloride ion. It was found that the content of insoluble particles in snow cover samples taken in the coastal zone of the Onega Bay of the White Sea slightly exceeds the background value for the Arctic territories. In the last year, there has been a significant decrease in the content of insoluble particles in snow. The trend of decreasing the pH level of snow cover in the southeastern part of the Onega Bay of the White Sea has been determined. A significant increase in the mineralization of melted snow in 2022 at the sampling point “Kamenny Ruchey” was revealed, associated with the saturation of the snow cover with seawater. The trends of decreasing the content of nitrogen compounds in snow have been determined. In turn, the content of phosphorus compounds in snow cover samples increases.

Keywords: snow, coastal zone, ionic composition, acidity of snow cover, White Sea

В современном индустриальном мире значительное влияние на окружающую среду оказывает антропогенное воздействие. В атмосферу поступает и накапливается значительное количество загрязняющих веществ, источником которых являются промышленные предприятия [1].

Источником загрязнения, который наиболее трудно выявить, является процесс переноса загрязняющих веществ воздушными массами [2]. Одним из возможных способов определения химического состава и генези-

са загрязнения окружающей среды является исследование состава снежного покрова. Снежный покров является аккумулялирующим индикатором загрязнения окружающей среды в зимний период. Благодаря тому, что снежный покров присутствует в Онежском районе Архангельской области большую часть года, появляется возможность выявить геохимические особенности за большой промежуток времени (7–8 месяцев).

Проведенные ранее исследования снежного покрова на Европейской территории

северо-востока Российской Федерации [3] выявили, что химический состав снежного покрова фоновых ландшафтов главным образом формируется за счет растворимых соединений элементов. Основными водорастворимыми соединениями являются как макроэлементы (Na, K, Ca, Mg), так и микроэлементы (Ni, Cd, Zn, Mn, Cu, Pb). При этом при движении с юга на север содержание растворимых форм элементов увеличивается.

Ионный состав снежного покрова прибрежной зоны европейской части Арктики обладает высокими значениями коэффициента вариации [4]. Морские аэрозоли насыщают снежный покров прибрежных территорий ионами натрия и хлорид-ионами, концентрации которых в значительной степени коррелирует между собой. За счет переноса воздушных масс с незамерзающей части арктических морей в атмосферных осадках выявлены максимальные концентрации хлорид-ионов и ионов натрия в холодный период. Прибрежные территории Архангельской области характеризуются повышенным содержанием сульфат-ионов. Сульфаты распространены не только за счет дальнего переноса, но и из-за местного антропогенного воздействия. Источником закисления снежного покрова является по большей степени перенос воздушных масс с западного направления.

Исследования геохимических особенностей снежного покрова водосбора Белого моря в 2020 г. [5] показали относительно низкое содержание нерастворимых частиц в снежном покрове водосбора Онежского залива Белого моря (1,06–1,41 мг/л), которое соответствует фоновому уровню Арктики. При этом вблизи автодорог отмечены более высокие концентрации взвешенных частиц в снеге – 13,1–32,1 мг/л.

Основу экономики Онежского района составляют предприятия лесопромышленного, агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов. На побережье Онежского залива расположен карьер «Покровское», который более 30 лет занимается добычей и производством высококачественных нерудных строительных материалов. Вместе с тем побережье Онежского залива Белого моря вблизи устья р. Онега активно используется в рекреационных целях. Одним из значимых источников загрязнения окружающей среды данной территории является атмосферный перенос, в том числе с территории Кольского полуострова [2]. Изучение состава снежного покрова по-

зволяет оценить аэрогенное поступление поллютантов на территорию.

Целью данной работы является выявление особенностей состава снежного покрова в прибрежной территории Онежского залива Белого моря.

Материалы и методы исследования

Пробы снежного покрова были отобраны на прибрежной территории Онежского залива Белого моря в трех точках: пос. Ворзогоры, пос. Кянда и Каменный ручей (рис. 1).

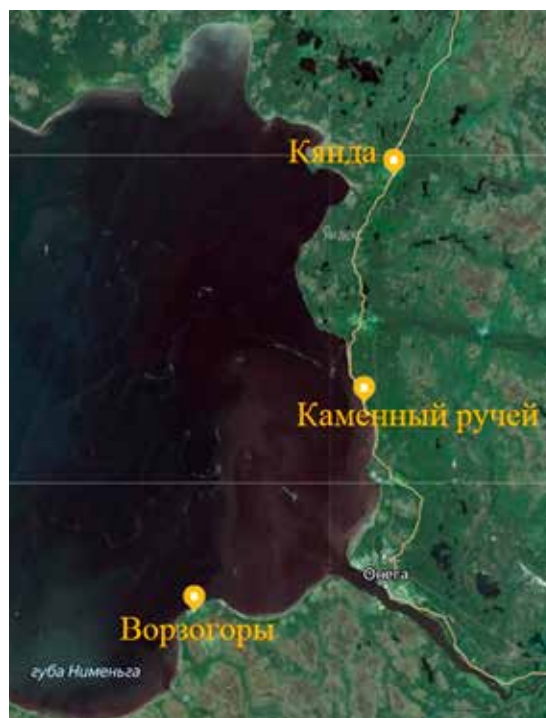


Рис. 1. Схема расположения мест отбора проб снежного покрова

Пробы отбирались в период максимального снегонакопления (март) в течение трех лет, в 2021–2023 гг.

Методика отбора проб заключалась в отборе снежного покрова практически на всю глубину залегания за исключением слоя снежного покрова 5 см от земли, чтобы устранить при дальнейших анализах случайное попадание химических элементов, генезис которых не связан с эоловым переносом, и исключить загрязнение проб частицами подстилающей почвы. Геометрическая форма отобранной пробы снежного покрова представляет собой прямоугольный параллелепипед для корректного вычисления геометрического объема. Отбор проводился пластмассовой лопатой в пластмассовые ведра, предварительно промытые

дистиллированной водой. После отбора ведро закрывалось пластмассовой крышкой и транспортировалось до холодильной установки, в которой хранилось до проведения дальнейшего анализа.

Пробоподготовка состояла из растапливания пробы снега при комнатной температуре, выделения взвешенного вещества методом вакуумной фильтрации с использованием фильтров с порами 0,45 мкм. Количество взвешенного вещества определялось гравиметрическим методом. Сразу же после растапливания пробы проводились замеры рН и минерализации талой фазы снега.

Количественный химический анализ проб на содержание хлоридов, сульфатов, ионов натрия, магния, кальция проводился методом ионной хроматографии (ФР.1.31.2005.01724, ПНД Ф 16.1.8-98). Концентрации биогенных элементов определены фотометрически по стандартным методикам [6, с. 117].

Результаты исследования и их обсуждение

На рассматриваемой территории установление снежного покрова происходило в третьей декаде ноября – начале декабря, сход снежного покрова начинался во второй половине марта. Условия снегозалегаания в рассматриваемые зимние сезоны были различны. Количество снежных осадков, выпавших за определенный период на определенной территории, характеризует величина слоя снежного покрова. В 2021 г. средняя высота снежного покрова на побережье Онежского залива составляла 36 см. В 2022–2023 гг. высота снега достигла 52–53 см. Предположительно наименьшая средняя высота снежного покрова в 2021 г. связана не только с меньшим количеством атмосфер-

ных осадков, но и с уплотнением снежного покрова вследствие оттепелей, которые наблюдались в этом году. Значения плотности снежного покрова в большинстве случаев находились на уровне 0,19–0,22 г/см³.

Содержание взвешенных частиц в точках отбора в 2021–2022 гг. варьируется от 1,85 до 3,95 мг/л, в среднем составляя 2,97 мг/л. Это значение чуть выше фонового для снежного покрова Арктики (2,19 мг/л) [7]. В 2023 г. среднее содержание взвешенного вещества было значительно ниже и составило 0,42 мг/л.

Уровень рН снежного покрова рассматриваемой территории в 2021 г. характеризует снежный покров как нейтральный и соответствует фоновому значению 5–6 [8]. В 2022 г. наблюдается снижение уровня рН снежного покрова прибрежных территорий Онежского залива с 5,38 до 4,53 в районе пос. Кянда, с 6,06 до 5,81 в районе Каменного ручья, с 5,78 до 4,46 в районе пос. Ворзогоры (рис. 2). В результате в 2022 г. снежный покров в районе исследования характеризуется как слабокислый. В 2023 г. в районе поселков Кянда и Ворзогоры значения рН соответствовали нейтральному уровню среды, в то время как в точке «Каменный ручей» продолжилась тенденция увеличения кислотности снега до значений 5,03.

Как правило, изменение значений кислотности связано с комплексным изменением содержания нитрата азота (NO_3^-), нитрита азота (NO_2^-), фосфатов (PO_4^{3-}) и ионного состава (Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , SO_4^{2-} , Cl^-) [9]. Увеличение кислотности снежного покрова побережья Онежского залива происходит в основном за счет увеличения содержания нитратной формы азота (коэффициент корреляции 0,71) и фосфора (коэффициент корреляции – 0,88).

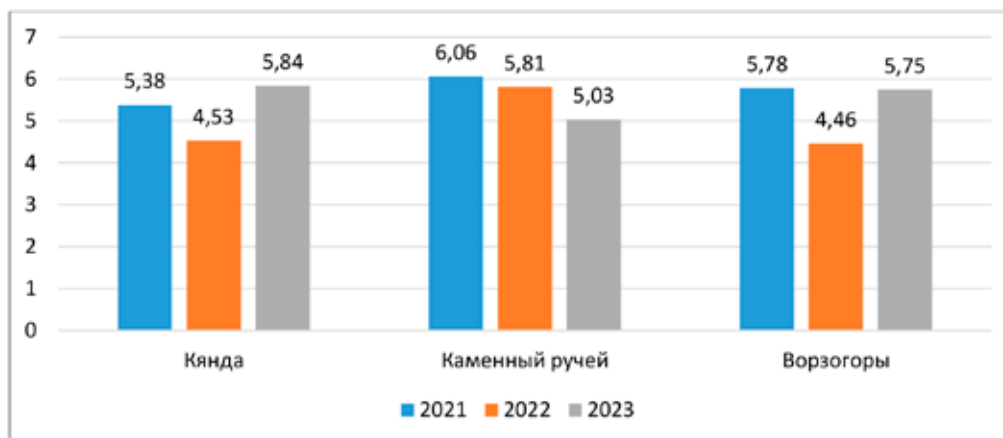


Рис. 2. Уровень рН снежного покрова в 2021–2023 гг.

Значимой характеристикой снежного покрова помимо уровня рН является минерализация, представляющая собой сумму концентраций содержащихся в воде растворенных веществ. В точках отбора проб вблизи населенных пунктов Онежского залива Ворзогоры и Кянда значение минерализации равняется в среднем за 2021–2023 гг. 8,1 и 9,8 мг/л соответственно. В юго-восточной части Онежского залива (точка отбора проб «Каменный ручей») в 2021 и 2023 гг. минерализация снежного покрова составляла 8–12 мг/л. В 2022 г. наблюдалось значительное увеличение минерализации снега до уровня 680 мг/л. Повышенная минерализация снежного покрова в юго-восточной части Онежского залива в 2022 г. связана с повышенной концентрацией хлорид-иона (335 мг/л) и ионов натрия (166 мг/л). Помимо превалирующих ионов в пробе выявлены повышенные значения сульфат-ионов, ионов кальция, магния. В целом данная проба снежного покрова относится в хлоридно-натриевому классу. Предположительно высокое содержание в снеге морских ионов связано с просачиванием морской воды через трещины и полыньи во льду, а также поступлением морской воды в период сизигийных приливов, что привело к насыщению снежного покрова морскими ионами.

Ионный состав проб за 2021–2023 гг. на побережье Онежского залива Белого моря характеризуется динамичным и изменчивым составом. Коэффициенты вариации из-

меняются от 27,3% для кальция и до 71,2% для хлорида. В отобранных пробах преобладающим ионом в 55% случаях является хлорид-ион. Данный факт связан с тем, что все три точки отбора проб находятся на прибрежной территории акватории Белого моря [2]. Преобладание сульфат-иона в составе снега отмечено в районе пос. Кянда, который несколько удален от береговой черты.

Ионы кальция преобладают над ионами натрия и магния в 2021 и 2023 гг. в районе пос. Кянда в 2021 г. и в 2023 г. в районе пос. Ворзогоры.

Содержание хлорид-ионов (0,15–1,43 мг/л), сульфат-ионов (0,26–0,83 мг/л), ионов натрия (0,17–0,82 мг/л), кальция (0,32–0,69 мг/л) и магния (0,07–0,15 мг/л) соответствует фоновым значениям, зафиксированным ранее на прибрежных территориях Белого моря [2]. Средние концентрации ионов за 2021–2023 гг. показаны на рис. 3.

Расчет коэффициента корреляции показал, что значимая связь наблюдается между хлорид-ионами и ионами натрия, магния. Данная взаимосвязь связана с влиянием морских аэрозолей на прибрежных территориях.

Содержание соединений азота (нитритный, нитратный, общий азот) за 2021–2023 гг. имеет тенденцию к уменьшению. Содержание общего азота в снеге в среднем по территории сократилось с 1320,6 мкгN/л, до 662,4 мкгN/л, азота нитритного – с 1,29 мкгN/л до 0,05 мкгN/л, азота нитратного – с 243,43 мкгN/л до 157,59 мкгN/л.

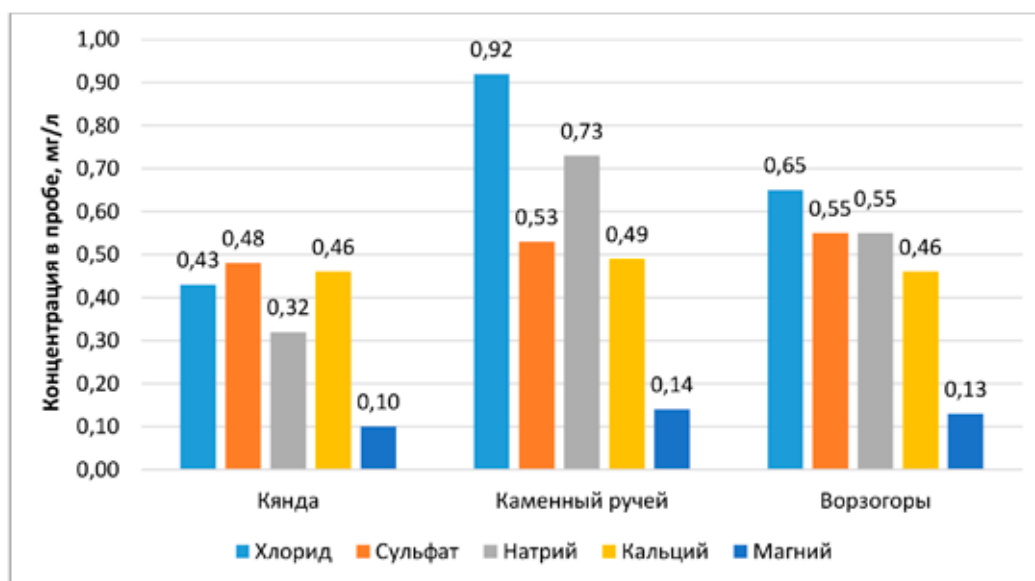


Рис. 3. Средние концентрации ионов в пробах (мг/л) 2021–2023 гг.

Полученные значения согласуются с данными, приведенными в работе [5], где концентрация общего азота в снеге водосбора Онежского залива Белого моря в 2020 г. имело наибольшее значение (867 мкг/л) на фоне других рассмотренных точек водосборного бассейна Белого моря.

Содержание соединений фосфора имеет тенденцию к увеличению за рассмотренный промежуток времени. Среднее содержание общего фосфора увеличилось с 8,1 до 13,69 мкгР/л, фосфатов с 4,9 до 5,5 мкгР/л.

Заключение

Ионный состав снежного покрова прибрежных территорий Онежского залива Белого моря является в значимой степени динамичным. Содержание нерастворимых частиц в снежном покрове прибрежной территории Онежского залива Белого моря в 2021–2022 гг. незначительно превышало фоновое значение. В 2023 г. отмечено значительное снижение содержания взвешенных частиц в снеге.

В юго-восточной части Онежского залива наблюдается устойчивая тенденция к снижению уровня рН снежного покрова.

В отдельные годы в непосредственной близости от береговой черты отмечается значительное увеличение минерализации снега вследствие насыщения снежного покрова морскими водами. В более половины случаев лидирующим ионом по содержанию является хлорид-ион. Выявлена значительная корреляция между концентрациями хлорид-ионов, ионов натрия и магния в снеге, что связано с влиянием морских аэрозолей на состав снежного покрова.

Наблюдается тенденция снижения содержания в снежном покрове соединений азота при увеличении содержания соединений фосфора.

Список литературы

1. Кутлимуродов У.М. Загрязнение атмосферы вредными веществами и мероприятия по его сокращению // Экология: вчера, сегодня, завтра. 2019. С. 249–252.
2. Котова Е.И., Коробов В.Б., Шевченко В.П. Особенности формирования ионного состава снежного покрова в прибрежной зоне западного сектора арктических морей России // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7843> (дата обращения: 01.07.2023).
3. Василевич М.И., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Накопление растворимых и малорастворимых форм металлов в снежном покрове таежной зоны Европейского северо-востока России // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2015. № 2. С. 111–118.
4. 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.
5. Шевченко В.П., Белоруков С.К., Булохов А.В., Коробов В.Б., Лохов А.С., Стародымова Д.П., Чульцова А.Л., Яковлев А.Е. Геохимические особенности снежного покрова водосборов Онежского, Двинского и Мезенского заливов Белого моря в феврале-марте 2020 г. // География: развитие науки и образования: Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения (Санкт-Петербург, 21–23 апреля 2021 г.). С. 196–200.
6. Сапожников В.В., Агатова А.И., Аржанова Н.В., Мордасова Н.В., Лапина Н.М., Зубаревич В.Л., Лукьянова О.Н., Торгунова Н.И. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003, 202 с.
7. Шевченко В.П., Лисицын А.П., Штайн Р., Горюнова Н.В., Кловиткин А.А., Кравчишина М.Д., Кривс М., Новигаторский А.Н., Соколов В.Т., Филиппов А.С., Хаас Х. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2007. № 75. С. 106–118.
8. Ветров В.А., Кузовкин В.В., Манзон Д.А. Кислотность атмосферных осадков и выпадение серы и азота на территории Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 44–53.
9. Свистов П.Ф., Талаш А.С., Семенец Е.С. О пространственно-временных изменениях кислотности атмосферных осадков // Климат и природа. 2016. № 2 (19). С. 14–26.