

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И АЛЬГОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСТЬЯХ РЕК БАСЕЙНА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Е. И. Котова¹, О. П. Нецветаетова¹, Ю. В. Новикова², К. В. Титова²

¹ Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (Москва, Российская Федерация)

² Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН (Архангельск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 22 июня 2023 г.

Для цитирования

Котова Е. И., Нецветаетова О. П., Новикова Ю. В., Титова К. В. Физико-химические характеристики и альгологический состав снежного покрова устьев рек бассейна Баренцева моря // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 1. — С. 127—134. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-1-127-134.

Исследован ионный и альгологический состав снежного покрова в устьевых областях трех рек в Ненецком автономном округе: Индиги, Пёши и Печоры. Экспедиционные работы проведены в марте 2023 г. В полевых условиях определены характеристики снеготаяния. В растопленных при комнатной температуре пробах снега определены pH, минерализация, концентрации главных ионов и биогенных элементов, а также видовой состав и численность микроводорослей. Показано, что снежный покров устьевых областей рек юго-востока Баренцева моря имеет уникальный состав, который формируется в условиях тесного взаимодействия как с воздушной, так и с водной средой.

Ключевые слова: снежный покров, Индига, Пёша, морской аэрозоль, микроводоросли, биогенные элементы.

Введение

Снежный покров — важное звено геохимических процессов, особенно в Арктике, где сохраняется большую часть года. Вещества, поступающие из окружающей среды весь зимний период, сохраняются в снежной толще и высвобождаются в период снеготаяния. Тем самым происходит перераспределение вещества во времени и пространстве. Состав снежного покрова оказывает влияние на гидрохимические характеристики водных объектов, особенно малых и средних рек [1].

Считается, что состав снежного покрова арктических территорий во многом зависит от поступления веществ через атмосферу, в том числе в результате дальнего переноса [2; 3 и др.].

Снег вымывает из атмосферы вещества как в твердой, так и в жидкой фазе, однако практически все исследования снежного покрова в европейской Арктике посвящены только твердым частицам [4—7 и др.]. Характеристики снежного покрова с точки зрения содержания в нем главных ионов и биогенных элементов остаются практически не освещенными. При этом водорастворимые формы являются наиболее подвижными формами нахождения химических элементов в окружающей среде, а следовательно, наиболее интенсивно вовлеченными в геохимические и биологические процессы. Информация о характере распределения и уровнях содержания водорастворимой фракции элементов в снежном покрове Арктики может внести существенный вклад в освещение экологической обстановки в данном регионе.

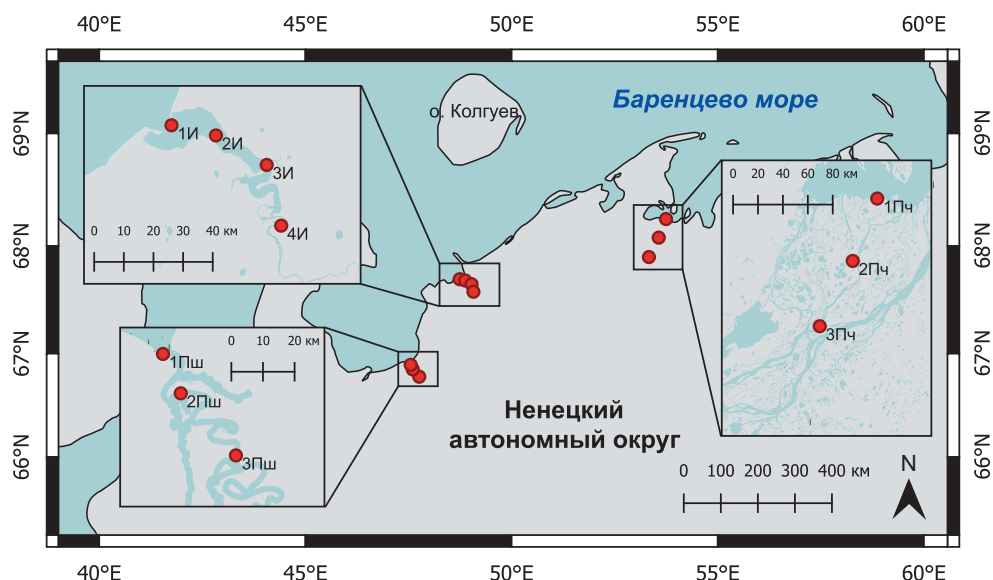


Рис. 1. Расположение станций отбора проб снега в устьевых областях рек бассейна юго-восточной части Баренцева моря. Составлено авторами

Fig. 1. Locations of snow sampling stations in the river estuaries of the southeastern Barents Sea. Compiled by authors

Если снежный покров залегает на поверхности льда водного объекта, не только атмосферный перенос обуславливает состав снега. Формируется криосистема (снег — лед — подледная вода), компоненты которой влияют друг на друга. Морской лед содержит в своей структуре обширную сеть пор и каналов, в которой происходит циркуляция рассола [8]. Такая среда благоприятна для развития водорослей-криофилов [9; 10]. Фотосинтезируя, эти водоросли истощают запасы биогенных элементов, которые пополняются по каналам из подледной воды. Кроме того, во льду могут создаваться условия для денитрификации [11—14], что может оказывать влияние и на содержание азота в снеге.

В силу неоднородности атмосферных процессов распределение веществ в пространстве происходит крайне неравномерно. Устьевые области рек играют при этом особую роль, так как здесь наблюдается заметное изменение атмосферных процессов, что в конечном счете оказывает влияние и на осаждение различных веществ.

Цель настоящей работы заключается в исследовании особенностей физико-химических характеристик и альгологического состава снежного покрова в устьях рек бассейна юго-восточной части Баренцева моря, а также условий формирования наблюдаемого состава снега.

Материалы и методы

Пробы снежного покрова были отобраны в устьевых областях рек Индига, Пёша и Печора. В устье Индиги отбор проб поводился на четырех площадках, в устьях Пёши и Печоры — на трех (рис. 1). Пробы снега отбирались со льда в период максимального

снегонакопления (в марте) 2023 г. Снег собирался в пластиковую тару с помощью пластикового пробоотборника на всю глубину залегания. В полевых условиях определялись характеристики снеготаления (высота снежного покрова, влагозапас, плотность снега) и свойства отложенного снега [15]. Затем пробы растапливались при комнатной температуре. В талом снеге определялись уровень pH и минерализация. Пробы фильтровались с использованием шприцев для фильтрации из полиэфирсульфона с диаметром пор 0,45 мкм. В фильтрате определялось содержание хлоридов, сульфатов, ионов натрия, магния, кальция, биогенных элементов (минерального фосфора, кремниевой кислоты, нитритной и нитратной форм азота).

Количественный анализ проб на содержание хлоридов, сульфатов, ионов натрия, магния, кальция проводился методом ионной хроматографии¹. Концентрации биогенных элементов определены фотометрически по стандартным методикам [16].

Концентрации растворенного кремния определены методикой Королева по голубому кремнемолибденовому комплексному соединению. Относительная ошибка при низких концентрациях (порядка 125 мкг/л) составляет $\pm 4\%$, при средних концентрациях (1250 мкг/л) — $\pm 2,5\%$, при высоких концентрациях (4000 мкг/л) — $\pm 6\%$. Предел обнаружения составляет 1,4 мкг/л при низких концентрациях и 28 мкг/л при высоких [17].

Концентрации фосфатного фосфора определены модифицированным Сугаварой методом Морфи — Райли со следующими характеристиками

¹ ФР.1.31.2005.01724 и ПНД Ф 16.1.8-98.

метода: чувствительность 0,3 мкг/л, среднее квадратическое отклонение $\pm 5\%$ при средних концентрациях (27 мкг/л), $\pm 2\%$ при высоких концентрациях (86 мкг/л) и $\pm 15\%$ при низких концентрациях (6 мкг/л) [17].

Концентрации нитритного азота получены по методу Бендшнайдера и Робинсона с использованием «единого» цветного реактива. Данный метод позволяет определять концентрации нитритного азота, равные 0,14 мкг/л. Воспроизводимость составляет $\pm 0,2$ мкг/л [18].

Определение концентраций нитратного азота проводилось по методу, основанному на восстановлении нитратов до нитритов в кадмиевых колонках с использованием трилона Б в качестве комплексообразующего агента (разработан в Институте океанологии им. П. П. Ширшова РАН). Методика характеризуется чувствительностью около 2 мкг/л нитратного азота, точностью $\pm 2,5\%$ для концентраций 5—30 мкг/л и воспроизводимостью около 3% для концентраций 20—30 мкг/л, которая ухудшается при большем и меньшем содержании нитратов [18].

Для определения видового состава и численности микроводорослей пробы концентрировались методом седиментации и фиксировались формалином. Определение видового состава и численности микроводорослей проводилось стандартными методами [19]. Концентрированные пробы просматривались и идентифицировались под микроскопом «БиОптик С-300» при увеличении $\times 400$. Таксономическая принадлежность организмов приведена в соответствии с глобальной базой данных AlgaBase².

Результаты и обсуждение

Характеристики снегозалегаания при отборе проб в устьевых областях трех рассматриваемых рек несколько отличались друг от друга. Так, в устьевой области Индиги высота снежного покрова в среднем составляла 13 см, влагозапас — 2,36 мм, плотность снега — 0,18 г/см³. В устьевой области Пёши высота снежного покрова в среднем составляла 27 см, влагозапас — 7,68 мм, плотность снега — 0,27 г/см³. В устьевой области Печоры высота снежного покрова в среднем составляла 23 см, влагозапас — 7,15 мм, плотность снега — 0,32 г/см³. Вследствие сильного ветра в устье Индиги происходят перенос снега и его перераспределение. Снежный покров не успевает уплотняться, снегонакопление на данной территории затруднено.

Минерализация талого снега дает общее представление о содержании растворенных веществ. Значения минерализации снега на рассматриваемой территории изменялись в очень широком диапазоне. Минимальное значение 7 мг/л было определено в пробах, отобранных в дельте Печоры на удалении от моря (2Пч, 3Пч — см. рис. 1). На побережье Коровинской губы (1Пч) минерализация

снега находилась уже на уровне 250 мг/л. В устье Пёши наибольшую минерализацию имел снежный покров в средней части (2Пш), где ее значение составило 939 мг/л. В остальных точках (1Пш, 3Пш) минерализация талого снега изменялась в пределах 18—32 мг/л. В эстуарии Индиги минерализация не опускалась ниже значения 40 мг/л, которое было определено в удалении от места впадения реки в море и от поселка (4И). Наибольшее значение минерализации снега в устье Индиги получено в пробе, отобранной между поселком и побережьем (2И), и составило 12 630 мг/л. В районе поселка (3И) минерализация снега находилась на уровне 4400 мг/л. В прибрежной точке (1И) минерализация снега была на уровне 1291 мг/л. Таким образом, высокие значения минерализации обусловлены не только поступлением морского аэрозоля через атмосферу. Морские воды просачиваются через лед и насыщают снег. В то же время выход морской воды на лед не наблюдался, подтаивание снега и образование ледовых корок не отмечены.

Влияние морских вод сказывается и на кислотно-щелочных свойствах снега. От величины pH зависят развитие и жизнедеятельность многих организмов, устойчивость различных форм миграции элементов. Величина pH также влияет на процессы превращения различных форм биогенных элементов, изменяет токсичность загрязняющих веществ. Значения pH талого снега в устьях Пёши и Печоры в точках с максимальной минерализацией находились на уровне 7,0. В остальных точках устьевых участков этих двух рек, как и в наиболее удаленной от моря точке устья Индиги, талые воды имели слабокислые свойства, pH был на уровне 5,4—6,4 ед., характерном для снежного покрова побережья Белого моря. Значения pH талого снега на большей территории устья Индиги соответствовали щелочной среде: 8,7—9,2. При этом наблюдался рост значений от побережья к поселку, а максимальное значение pH определено в районе поселка Индига. Помимо влияния морских вод в районе поселка Индига увеличению pH снега способствуют антропогенные выбросы, в том числе от угольной котельной. Согласно литературным данным, такие значения pH встречаются редко и характерны для антропогенно загрязненных районов [20].

В пространственной изменчивости содержания главных ионов в снежном покрове прослеживается явное влияние морских ионов (табл. 1).

Во всех пробах снега отмечено преобладание хлорид-иона над сульфат-ионом, что логично в связи с прибрежным положением территории. В то же время кратность преобладания хлоридов неодинакова. В устьях Индиги и Пёши концентрации хлоридов выше концентраций сульфатов в 3—8 раз. В устье Печоры содержание хлоридов в прибрежной части в 6 раз выше содержания сульфатов, в то время как на удаленном от моря участке содержание хлоридов лишь немного превышает содержание сульфатов. Доля хлоридов здесь в общей минерализации

² <https://www.algaebase.org/>.

Таблица 1. Содержание главных ионов в пробах снега

Table 1. Content of major ions in snow samples

Река	Станция	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺
Инди́га	1И	346,00	115,00	200,00	20,00	35,00
	2И	4860,00	716,00	2850,00	154,00	408,00
	3И	1285,00	162,00	745,00	45,00	96,00
	4И	7,74	1,71	4,24	0,82	0,57
Пёша	1Пш	3,17	0,47	1,87	0,49	0,35
	2Пш	277,00	36,00	162,00	9,20	19,00
	3Пш	4,08	1,34	3,56	1,19	0,60
Печора	1Пч	58,00	9,51	32,00	4,00	5,40
	2Пч	0,80	0,39	0,61	0,61	0,15
	3Пч	0,49	0,44	0,24	0,55	0,15

Таблица 2. Видовой состав и численность микроводорослей в пробах снежного покрова

Table 2. Species composition and abundance of microalgae in snow samples

Таксономическая группа, вид	Отдел	Численность, клеток/л	Биомасса, мг/л
Устье Инди́ги			
<i>Navicula vanhoeffenii</i>	Bacillariophyta	54,66	0,049
<i>Nitzschia</i> sp.	Bacillariophyta	1,28	0,0002
Общее значение		55,94	0,049
Устье Пёши			
<i>Melosira arctica</i>	Bacillariophyta	0,36	0,012
<i>Navicula pelagica</i>	Bacillariophyta	4,17	0,002
<i>Navicula vanhoeffenii</i>	Bacillariophyta	11,93	0,011
<i>Nitzschia</i> sp.	Bacillariophyta	2,86	0,0003
Общее значение		19,32	0,025
Побережье Коровинской губы			
Микроводоросли не обнаружены			

уменьшается от 23% на побережье до 7% в удаленной от моря точке, при этом доля сульфатов в общей минерализации растет от 4% до 6%.

В составе катионов все не столь однозначно. В устьевых областях Инди́ги и Пёши в снеге отмечается преобладание ионов натрия над ионами кальция и магния минимум в три раза. В снежном покрове дельты Печоры преобладание ионов натрия отмечено только на побережье Коровинской губы (1Пч). В средней точке (2Пч) содержание ионов натрия и кальция находится на одном уровне, а в наиболее удаленной от побережья точке (3Пч) наблюдается уже преобладание ионов кальция более чем вдвое.

Нитритные формы азота в снежном покрове были обнаружены только в устье Печоры на побережье Коровинской губы (1Пч) на уровне 0,27 мкгN/л и в устье Пёши в точках, удаленных от моря, на уровне 1,37—1,51 мкгN/л.

В устьях Инди́ги и Печоры концентрация нитратного азота снижается при приближении к морской границе: в устье Инди́ги — от значений 137,92 до 62,15 мкгN/л, в устье Печоры — в диапазоне 74,83—188,91 мкгN/л. При этом в устье Инди́ги некоторое увеличение содержания нитратной формы азота отмечается в районе поселка Инди́га, где концентрация составила 143,07 мкгN/л. В эстуарии Пёши содержание нитратной формы азота высокое во всех трех точках: 114,72—120,48 мкгN/л.

Максимальное содержание растворенного кремния было определено в снеге в районе поселка Инди́га на уровне 285,14 мкгSi/л. Кроме того, в устье Инди́ги кремний в снеге на уровне 49,98 мкгSi/л был определен только в пробе с максимальной минерализацией. В устье Печоры наличие растворенного кремния, как и нитритной формы азота, было зафиксировано только на побережье Коровинской губы, где концентрация составила 14,32 мкгSi/л. В устье Пёши наибольшее содержание растворенного кремния определено в пробе с наибольшей минерализацией и составило 71,61 мкгSi/л, в снежном покрове прибрежной части кремний не обнаружен.

В устье Пёши отмечена тенденция снижения содержания фосфатного фосфора в снеге в сторону моря в диапазоне 0,38—2,25 мкгP/л. В устье Печоры максимальная концентрация фосфатного фосфора определена в средней точке на уровне 3,00 мкгP/л, в двух других пробах концентрации составили 0,75 мкгP/л. Содержание фосфатного фосфора в устье Инди́ги изменялось в диапазоне

1,88—3,75 мкгР/л, при этом наибольшее значение было получено в районе поселка Индига, оно является максимальным для всего рассматриваемого региона.

Результаты исследования альгологического состава проб снега в устьевых областях рассматриваемых рек приведены в табл. 2.

В устье Пёши в пробах снежного покрова обнаружены четыре морских арктических вида диатомовых водорослей, типичных для Северо-Западного региона. В устье Индиги обнаружены лишь два из них, но с большей численностью. В снежном покрове на побережье Коровинской губы наличие микроводорослей не установлено. Полученные значения численности и биомассы микроводорослей в снежном покрове намного ниже значений для снежного покрова побережья Белого моря [19].

В пробах снежного покрова устьев Пёши и Индиги в большом количестве обнаружена колониальная микроводоросль *Navicula vanhoeffenii*, Gran, 1897, характерная для ранневесенней стадии сукцессии [22]. Это морской неретический арктический вид, встречающийся часто в фитопланктоне северных морей. Одним из главных путей попадания данного вида в снег предполагается поступление микроводорослей с морскими водами, которые просачиваются через лед.

В снежном покрове устья Пёши обнаружены колониальные микроводоросли *Melosira arctica*, Dickie, 1852 и *Navicula pelagica* Cleve, 1896. *M. arctica* встречается в толще арктических плавучих льдов. Цепочковидные колонии этой диатомеи способны формировать на нижней поверхности двухлетнего и многолетнего льда буро-зеленые пряди. *M. arctica* может проникать по поровым каналам в глубину льда, но в крайне ограниченных количествах [23]. *N. pelagica* — морской неретический арктический вид, имеет ограниченное распространение на Севере.

Заключение

Проведенное исследование показывает, что состав снежного покрова в устьевых областях трех рассмотренных рек бассейна юго-восточной части Баренцева моря существенно различается по физико-химическим характеристикам, видовому составу и численности микроводорослей. Это обусловлено различиями в условиях формирования снежного покрова, в том числе и антропогенной нагрузки.

В эстуарии Индиги снегонакопление затруднено вследствие сильного ветрового переноса: высота снега и его плотность минимальны для рассматриваемой территории. Наряду с этим снежный покров устья Индиги значительно насыщен морскими солями, имеет высокие минерализацию и pH. В зимний период помимо атмосферного переноса морского аэрозоля морские воды, просачивающиеся через лед, обогащают снежный покров устья Ин-

диги солями, увеличивая при этом минерализацию и уровень pH. Чуть меньше этот эффект прослеживается в устье Пёши.

В снежном покрове устьев Индиги и Пёши обнаружены морские арктические виды диатомовых микроводорослей. Вероятно, их развитию способствовало наличие в снежном покрове биогенных элементов в количестве, превышающем значения, лимитирующие развитие микроводорослей. Основным каналом поступления микроводорослей может служить морская вода, просачивающаяся через лед в период прилива.

Снежный покров устьевых областей рек юго-востока Баренцева моря имеет уникальный состав, который формируется в условиях тесного взаимодействия как с воздушной, так и с водной средой. В зимний период помимо атмосферного переноса морского аэрозоля морские воды, просачивающиеся через лед, способны обогащать снежный покров солями, увеличивая при этом минерализацию и уровень pH. Наиболее явно этот эффект прослеживается в эстуарии Индиги, чуть меньше — в устье Пёши.

В дельте Печоры присутствие морских аэрозолей в снеге скорее всего обусловлено атмосферным переносом, концентрации их уже не так велики и находятся на уровне значений, характерных для прибрежных территорий западного сектора Арктики. При удалении от побережья Коровинской губы увеличивается доля ионов литогенного происхождения.

Учитывая, что Печора — большая река, ее сток уже компенсирует воздействие приливных вод, которые не оказывают влияния на состав снежного покрова. В дельте Печоры выходы воды на лед вследствие нагонов и приливов приводят к таянию снега, а не к его насыщению солеными водами, как это имеет место в устьях средних Индиги и Пёши.

Влияние поселка Индига приводит к еще большему увеличению уровня pH талого снега, что только усугубляет ситуацию. В районе поселка также отмечается повышенное содержание в снеге фосфатного фосфора, нитратного азота и кремния.

Финансирование

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда «Атмосферный перенос как источник загрязнения экосистем западного сектора Российской Арктики» № 22-77-10074.

Благодарность

Авторы благодарят туристическую компанию «Еду в НАО» за помощь в проведении экспедиционных работ.

Литература/References

1. Котова Е. И., Мискевич И. В. Влияние состава снега на состав донных отложений малой реки на примере реки Лапа в дельте Северной Двины // Успехи

- соврем. естествознания. — 2023. — № 4. — С. 49—54. — DOI: 10.17513/use.38024.
- Kotova E. I., Miskevich I. V. Influence of snow composition on the composition of bottom sediments in a small river (using the Lapa river in the delta of the Northern Dvina river as an example). *Advances in current natural sciences*, 2023, no. 4, pp. 49—54. DOI: 10.17513/use.38024. (In Russian). (In Russian).
2. Maenhaut W., Cornille P., Pacyna J. M. et al. Trace element composition and origin of the atmospheric aerosol in the Norwegian Arctic. *Atmospheric Environment*, 1989, vol. 23, no. 11, pp. 2551—2569. DOI: 10.1016/0004-6981(89)90266-7.
3. Rahn K. A. Atmospheric, riverine and oceanic sources of seven trace constituents to the Arctic Ocean. *Atmospheric Environment*, 1981, vol. 15, no. 8, pp. 1507—1516. DOI: 10.1016/0004-6981(81)90359-0.
4. Стародымова Д. П., Шевченко В. П., Белоуков С. К. и др. Геохимия рассеянного осадочного вещества снега в Приморском районе Архангельской области // *Успехи соврем. естествознания*. — 2018. — № 2. — С. 140—145. Starodymova D. P., Shevchenko V. P., Belorukov S. K. et al. Geochemistry of dispersed sedimentary matter of snow in Primorskyi district of Arkhangelsk region. *Advances in current natural sciences*, 2018, no. 2, pp. 140—145. (In Russian).
5. Стародымова Д. П., Шевченко В. П., Боев А. Г. Вещественный и элементный состав нерастворимых частиц в снеге северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря // *Успехи соврем. естествознания*. — 2016. — № 12 (2). — С. 449—453. Starodymova D. P., Shevchenko V. P., Boev A. G. Material and elemental composition of insoluble particles in snow of north-western Kandalaksha Bay coast of the White Sea. *Advances in current natural sciences*, 2016, no. 12 (2), pp. 449—453. (In Russian).
6. Шевченко В. П., Лисицын А. П., Штайн Р. и др. Распределение и состав нерастворимых частиц в снеге Арктики // *Проблемы Арктики и Антарктики*. — 2007. — № 75. — С. 106—118. Shevchenko V. P., Lisitsyn A. P., Stein R. et al. Distribution and composition of particulate matter in the Arctic snow. *Arctic and Antarctic Research*, 2007, no. 75, pp. 106—118. (In Russian).
7. Шевченко В. П., Коробов В. Б., Лисицын А. П. и др. Первые данные о составе пыли, окрасившей снег на Европейском севере России в желтый цвет (март 2008 г.) // *Докл. Акад. наук*. — 2010. — Т. 431, № 5. — С. 675—679. Shevchenko V. P., Korobov V. B., Lisitsyn A. P. et al. First data on the composition of atmospheric dust responsible for yellow snow in Northern European Russia in March 2008. *Doklady Earth Sciences*, 2010, vol. 431, no. 5, pp. 497—501. DOI: 10.1134/S1028334X10040185.
8. Eide L. I., Martin S. The Formation of Brine Drainage Features in Young Sea Ice. *J. of Glaciology*, 1975, vol. 14, iss. 70, pp. 137—154. DOI: 10.3189/S0022143000013460.
9. Arrigo K. R. Primary production in sea ice. *Sea ice: an introduction to its physics, chemistry, biology and geology*. Oxford, Blackwell Science, 2003, pp. 143—183. DOI: 10.1002/9780470757161.ch5.
10. Lizotte M. P. The microbiology of sea ice. *Sea ice: an introduction to its physics, chemistry, biology and geology*. Oxford, Blackwell Science, 2003, P. 184—210. DOI: 10.1002/9780470757161.ch6.
11. Kaartokallio H. Evidence for active microbial nitrogen transformations in sea ice (Gulf of Bothnia, Baltic Sea) in midwinter. *Polar Biology*, 2001, vol. 24, iss. 1, pp. 21—28. DOI: 10.1007/s003000000169.
12. Nomura D., Nishioka J., Granskog M. A. et al. Nutrient distributions associated with snow and sediment-laden layers in sea ice of the southern Sea of Okhotsk. *Marine Chemistry*, vol. 119, iss. 1—4, pp. 1—8. DOI: 10.1016/j.marchem.2009.11.005.
13. Rysgaard S., Glud R. N. Anaerobic N₂ production in Arctic sea ice. *Limnology and Oceanography*, 2004, vol. 49 (1), pp. 86—94. DOI: 10.2307/3597613.
14. Rysgaard S., Glud R. N., Sejr M. K. et al. Denitrification activity and oxygen dynamics in Arctic sea ice. *Polar Biology*, 2008, vol. 31, iss. 5, pp. 527—537. DOI: 10.1007/s00300-007-0384-x.
15. Fierz C., Armstrong R. L., Durand Y. et al. The international classification for seasonal snow on the ground. Paris, UNESCO, 2009, 90 p.
16. 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. Guidelines for the chemical analysis of marine and fresh waters in the course of ecological monitoring of fishery reservoirs and areas of the World Ocean that are promising for fishing. Moscow, Izd-vo VNIRO, 2003, 202 p. (In Russian).
17. Руководство по методам химического анализа морских вод. — Л.: Гидрометеиздат, 1977. — 208 с. Guidelines for the methods of chemical analysis of sea waters. Leningrad, Gidrometeizdat, 1977, 208 p. (In Russian).
18. Baltic Intercalibration Workshop. Report of the Baltic Intercalibration Workshop, 7—19. Kiel, 1977, 156 p. Annex, 306 p.
19. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. — СПб.: Гидрометеиздат, 1992. — 317 с. Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems. Saint Petersburg, Gidrometeizdat, 1992, 317 p. (In Russian).
20. Московченко Д. В., Бабушкин А. Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа. Кriosфера Земли. — 2012. — Т. XVI, № 1. — С. 71—81. Moskovchenko D. V., Babushkin A. G. Peculiarities of formation of chemical composition of snow waters (on example of Khanty-Mansi Autonomous District). *Earth's Cryosphere*, 2012, vol. XVI, no. 1, pp. 71—81. (In Russian).

21. Котова Е. И., Топчая В. Ю., Новикова Ю. В. Гео-биохимические характеристики снежного покрова побережья Белого моря в 2021 и 2022 гг. // Лед и Снег. — 2023. — Т. 63, № 1. — С. 60—70. — DOI: 10.31857/S207667342301009X.

Kotova E. I., Topchaya V. Yu., Novikova Yu. V. Geobio-chemical characteristics of the snow cover of the White Sea coast in 2021 and 2022. Ice and Snow, 2023, vol. 63, no. 1, pp. 60—70. DOI: 10.31857/S207667342301009X. (In Russian).

22. Сергеева В. М. Сезонная изменчивость фитопланктонного сообщества в каньоне Барроу (Чукотское море) в 2004 г. // Вопр. соврем. альгологии. — 2017. — № 1 (13). — С. 20—29.

Sergeeva V. M. Seasonal variability of phytoplankton community in the Barrow Canyon (Chukchi Sea) in 2004. Issues of modern algology, 2017, no. 1 (13), pp. 20—29. (In Russian).

23. Сапожников Ф. В., Калинина О. Ю., Рейхард Л. Е. и др. Массовое развитие макроколоний *Melosira arctica* на поверхности льда в районе Северного полюса // Океанол. исслед. — 2019. — Т. 47, № 4. — С. 53—61. — DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(4).3.

Sapozhnikov Ph. V., Kalinina O. Yu., Reichard L. E. et al. Mass macrocolonies *Melosira arctica* forming on the surface of ice in the north pole area. J. of Oceanological Research, 2019, vol. 47, no. 4, pp. 53—61. DOI: 10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(4).3. (In Russian).

Информация об авторах

Котова Екатерина Ильинична, кандидат географических наук, директор Северо-Западного отделения, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: esopp@yandex.ru.

Нецветаева Ольга Петровна, кандидат географических наук, заведующая лабораторией геохимических исследований, старший научный сотрудник, Северо-Западное отделение, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: netsvetaeva.op@ocean.ru.

Новикова Юлия Владимировна, научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН (163020, Россия, Архангельск, Никольский просп., д. 20), e-mail: juli-nv@mail.ru.

Титова Ксения Владимировна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова Уральского отделения РАН (163020, Россия, Архангельск, Никольский просп., д. 20), e-mail: ksyu_sev@mail.ru.

PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS AND ALGOLOGICAL COMPOSITION OF SNOW COVER AT RIVER MOUTHS IN THE BASIN OF THE SOUTHERN-EASTERN PART OF THE BARENTS SEA

Kotova, E. I.¹, Netsvetaeva, O. P.¹, Novikova, Yu. V.², Titova, K. V.²

¹ Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

² N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (Arkhangelsk, Russian Federation)

For citing

Kotova E. I., Netsvetaeva O. P., Novikova Yu. V., Titova K. V. Physico-chemical characteristics and algological composition of snow cover at river mouths in the basin of the southern-eastern part of the Barents Sea. Arctic: Ecology and Economy, 2024, vol. 14, no. 1, pp. 127—134. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-1-127-134. (In Russian).

The article was received on June 22, 2023

Abstract

The composition of the snow cover in the Arctic characterizes the winter atmosphere, when long-range and ultra-long-range transport becomes dominant in the influx of aerosols. In addition, when snow occurs on the ice of a water body, the “snow — ice — under-ice water” cryosystem is formed. The components of this system mutually

influence each other. In March 2023, to research the ionic and algological composition of the snow cover snow samples were taken in the estuaries of three rivers in the Nenets Autonomous Area (the Indiga River, the Pyosha River and the Pechora River). In the field, the characteristics of snow cover were identified. Snow samples were melted at room temperature, after which the pH level and mineralization were determined. Further, the concentrations of the major ions and nutrients were identified in the filtrate, as well as the species composition and abundance of microalgae. It is shown that the snow cover in the river estuaries of the southern-eastern Barents Sea has a unique composition. It is formed in conditions of close interaction with both air and water environments. In winter, in addition to the atmospheric transport of marine aerosol, seawater seeping through the ice can enrich the snow cover with salts, thereby increasing mineralization and pH levels. This effect is most clearly seen in the estuary of the Indiga River, a little less — in the estuary of the Pyosha River. Marine arctic species of diatom microalgae were found in the snow cover in the estuaries of both rivers. The development of diatoms was promoted by the concentration of nutrients, which exceeded the values limiting the development of microalgae. The main channel for the entry of microalgae can be seawater seeping through the ice during high tide.

Keywords: *Snow cover, Indiga, Pyosha, marine aerosol, microalgae, nutrients.*

Funding

The Russian Science Foundation supported the research within the framework of project No. 22-77-10074 “Atmospheric transport as a source of pollution of ecosystems in the western sector of the Russian Arctic”.

Acknowledgements

The authors are grateful to the travel company “Edu v NAO” for their assistance in carrying out fieldworks.

Information about the authors

Kotova, Ekaterina Il'ichna, PhD of Geography, Director of North-West Branch, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (36, Nahimovskii Prosp., Moscow, Russia, 117997), e-mail: ecopp@yandex.ru.

Netsvetaeva, Olga Petrovna, PhD of Geography, Head of the Geochemical Research Laboratory, Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences (36, Nahimovskii Prosp., Moscow, Russia, 117997), e-mail: netsvetaeva.op@ocean.ru.

Novikova, Yuliya Vladimirovna, Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, Nikolsky Prosp., Arkhangelsk, Russia, 163020), e-mail: julinv@mail.ru.

Titova, Kseniya Vladimirovna, PhD of Geography, Senior Researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (20, Nikolsky Prosp., Arkhangelsk, Russia, 163020), e-mail: ksyu_sev@mail.ru.

© Kotova E. I., Netsvetaeva O. P., Novikova Yu. V., Titova K. V., 2024