

---

## Анализ химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на территории о. Большевик (архипелаг Северная Земля)

*Н.А. Першина, А.И. Полищук, М.Т. Павлова, Е.С. Семенец\**

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»,  
Россия, 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д.7;

\*Адрес для переписки: [ximosadki@gmail.com](mailto:ximosadki@gmail.com)

**Реферат.** Приводятся результаты наблюдений за химическим составом атмосферных осадков и снежного покрова на Научно-исследовательском стационаре «Ледовая база «Мыс Баранова», расположенном на острове Большевик архипелага Северная Земля, полученных в период 2015-2019 гг. Организация наблюдений и полученные результаты позволили оценить фоновый уровень состояния указанных природных компонентов, а также проследить влияние на них локальных и дальних источников загрязнения. Полученные данные показали, что в ионном балансе как атмосферных осадков, так и снежного покрова свыше 60% принадлежит хлоридам и натрию, что свидетельствует о «морском» формировании их химического состава.

**Ключевые слова.** Арктика, химический состав, снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли, закисление.

## The chemical composition of wet deposition on the Bolshevik island territory of the North Earth archipelago

*N.A. Pershina, A.I. Polischuk, M.T. Pavlova, E.S. Semenets\**

Voeikov Main Geophysical Observatory,  
7, Karbysheva st., 194021, Saint-Petersburg, Russian Federation

\*Corresponding author: [ximosadki@gmail.com](mailto:ximosadki@gmail.com)

**Abstract.** The results of observations on the chemical composition of atmospheric precipitation and snow cover on the island of Bolshevik of the archipelago Severnaya Zemlya, obtained in the period 2015-2019 are presented. The organization of observations and the obtained results made it possible to assess the background level of the state of these natural environments, as well as to trace the influence of local and distant sources. The obtained data showed that in the ion balance of both atmospheric precipitation and snow cover over 60% belongs to chlorides and sodium, which indicates the “sea” formation of the chemical composition.

**Keywords.** Arctic, the chemical composition of snow cover and precipitation, aerosols, acidification.

---

## Введение

Научно-исследовательский стационар (НИС) «Ледовая база «Мыс Баранова» расположен на берегу пролива Шокальского, разделяющего острова Большевик и Октябрьской Революции архипелага Северная Земля, вблизи мыса Баранова в координатах 79°16' с.ш., 101°45' в.д.

Климат на острове Большевик арктический морской. Среднегодовая температура держится на отметке -14 – -16°C, при этом зимой она может опуститься до -40°C, летом редко поднимается выше +5°C. Осадков выпадает немного – до 400 мм в год, преимущественно с июня по август. В этот период выпадает свыше 50% осадков от общей суммы. В течение года в основном преобладают ветры северо-восточных и юго-западных направлений. Максимальная высота снежного покрова в основном не превышает 50 см.

Стационар по своему местоположению может рассматриваться как репрезентативное место для изучения фонового состояния полярной атмосферы, а также для дальнейшей оценки изменения антропогенной нагрузки и степени ее воздействия на природные компоненты в условиях ускоренного промышленного развития Арктики и прилегающих территорий. Исходя из розы ветров и направления переноса загрязняющих веществ (ЗВ) от промышленных производств, в зимний период года часть выбросов, попав в зону действия крупномасштабных воздушных потоков, устремляется в Арктику. Здесь воздух охлаждается и, как следствие, отмечается интенсивный процесс выпадения ЗВ на поверхность с атмосферными осадками и в виде сухого осаждения. В связи с этим значимым оказалась организация наблюдений за природными компонентами, чувствительными к изменению антропогенного влияния. К таким компонентам были отнесены влажные выпадения в виде атмосферных осадков и снежный покров, накапливающий химические вещества за период залегания. Таким образом, цель данной работы заключалась в оценке состояния рассматриваемой территории в качестве фонового региона, а также в изучении процессов длительного загрязнения снежного покрова от локальных источников воздействия и миграции химических компонентов в слое снега в период интенсивного снеготаяния. Определение фоновых характеристик состояния атмосферных осадков и снежного покрова в дальнейшем позволит отследить изменения антропогенного влияния на них из промышленных регионов.

## Материалы и методы исследования

Исследование снежного покрова является удобным и экономическим способом получения данных о поступлении загрязняющих веществ из атмосферы на подстилающую поверхность, как с позиции отбора проб, так и с точки зрения определения макро- и микро- компонентного состава. Особый интерес снежный покров представляет при изучении процессов длительного загрязнения (месяц, сезон), поскольку снег, как естественный планшет-накопитель, дает представление о действительном количестве сухих и влажных выпадений в холодное время года (Бокова, 2016; Василенко и др., 1985).

---

Отбор проб снежного покрова был начат в 2015 г. в рамках пилотного проекта в соответствии с рекомендациями ФГБУ «Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова» (ФГБУ «ГГО») специалистами ФГБУ «Арктического и антарктического научно-исследовательского института» (ФГБУ «ААНИИ»), а затем был продолжен и дополнен отбором проб атмосферных осадков в теплое время года.



**Рисунок 1.** Места отбора проб на территории НИС «Ледовая база «Мыс Баранова»

**Picture 1.** Sampling sites on the territory of the Research Post «Glacial Base «Cape Baranova»

Пробы снежного покрова в 2015-2016 гг. отбирались на удалении 50 м, 100-150 м и 1500-1800 м от дизельной электростанции (ДЭС) (рис. 1).

Для выяснения динамики миграции компонентов во времени в 2017-2019 гг. специалистами ФГБУ «ГГО» было предложено продолжить отбор проб снежного покрова в одних и тех же точках отбора дважды в год – в марте в период максимального снегонакопления и в первой декаде июня или последней декаде мая перед периодом интенсивного снеготаяния. Для этого были выбраны две точки отбора: первая, расположенная на расстоянии 500 м от МП и 1 км от ДЭС в направлении к северу, вторая – в 5 км от ДЭС. Удаленность выбранных точек наблюдения от основных источников локального загрязнения позволяет считать их фоновыми для исследуемой территории.

Для оценки фонового уровня загрязнения снежного покрова в июне 2018 г. в период интенсивного снеготаяния были отобраны пробы на Леднике Мушкетова, расположенном на высоте 400 м над уровнем моря на расстоянии 19.19 км от станции и в 13.4 км от пролива Шокальского (рис. 2).

Пробы были отобраны в двух точках – у подножия (снегомерная площадка №3) и на куполе ледника (снегомерная площадка №4).

В каждой точке отбиралось по три пробы: из верхнего слоя, из центра по глубине снежного покрова и вблизи поверхности почвы таким образом, чтобы

частички почвы не попали в пробу. В некоторых случаях, если высота снежного покрова была менее 45 см, отбор проб снежного покрова осуществлялся методом «конверта». Каждая проба отбиралась в пакеты с замком «Zip Lock», после чего пакет защелкивался, чтобы исключить протечку и любые контакты пробы с наружным воздухом. Далее образцы переносились в помещение стационара, где они оттаивали в закрытом пакете вдали от отопительных приборов. После растапливания проба с помощью воронки переливалась в полиэтиленовую колбу. Хранение отобранных проб до отправки в лабораторию осуществлялось в холодильнике.



Рисунок 2. Высотный профиль от НИС до купола ледника Мушкетова

Picture 2. Altitude profile from the Research Post to Mushketov glacier dome

Пробы были отобраны в двух точках – у подножия (снегомерная площадка №3) и на куполе ледника (снегомерная площадка №4).

В каждой точке отбиралось по три пробы: из верхнего слоя, из центра по глубине снежного покрова и вблизи поверхности почвы таким образом, чтобы частички почвы не попали в пробу. В некоторых случаях, если высота снежного покрова была менее 45 см, отбор проб снежного покрова осуществлялся методом «конверта». Каждая проба отбиралась в пакеты с замком «Zip Lock», после чего пакет защелкивался, чтобы исключить протечку и любые контакты пробы с наружным воздухом. Далее образцы переносились в помещение стационара, где они оттаивали в закрытом пакете вдали от отопительных приборов. После растапливания проба с помощью воронки переливалась в полиэтиленовую колбу. Хранение отобранных проб до отправки в лабораторию осуществлялось в холодильнике.

В целом за период с марта 2015 по июль 2019 гг. было отобрано 65 проб на различных уровнях залегания снежного покрова.

Начиная с лета 2016 г., были организованы наблюдения за химическим составом атмосферных осадков согласно РД 52.04.186-89. В качестве пробоотборника использовалось белое ведро из полиэтилена высокой плотности, объемом 10 дм<sup>3</sup>, установленное на стойке на высоте 1.5-2 м от поверхности почвы (рис. 3). На период отсутствия осадков ведро закрывалось крышкой.



Рисунок 3. Установка для отбора проб атмосферных осадков

Picture 3. Utilities for sampling atmospheric precipitation

Во всех отобранных пробах были измерены концентрации основных ионов:  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  (спектрофотометрия),  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  (титриметрия),  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  (атомно-абсорбционная спектрометрия в пламенном варианте),  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  (атомно-абсорбционная спектрометрия в электротермическом варианте), а также удельная электрическая проводимость ( $\chi$ ) и величина рН методами кондуктометрии и рН-метрии. Следует отметить, что показатели рН и  $\chi$ , а также содержание гидрокарбонатов определялось в нефильтрированных пробах, далее пробы фильтровались через фильтр «красная лента». В пробах снежного покрова и атмосферных осадков, отобранных в 2015-2016 гг., атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией было измерено содержание некоторых тяжелых металлов (ТМ) – Cd, Mn, Fe, Pb, Cr, Cu, Zn и Ni. Анализ проб проводился в лаборатории ФГБУ «ГГО» по методикам, принятым на сети Росгидромета.

Расчет влажных выпадений с атмосферными осадками проводился по формуле:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot q_i}{n} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где  $P$  – величина выпадений компонента с осадками за период времени, т/км<sup>2</sup> (г/м<sup>2</sup>);  $C_i$  – концентрация компонента, мг/дм<sup>3</sup>;  $q_i$  – месячная сумма осадков, мм;  $n$  – число месяцев с осадками.

Выпадения серы и азота рассчитывали по формулам:

$$[\text{S}] = 0.333 [\text{SO}_4^{2-}]; \quad (2)$$

$$[\text{N}] = 0.778[\text{NH}_4^+] + 0.226[\text{NO}_3^-]; \quad (3)$$

где:  $[\text{S}]$ ,  $[\text{SO}_4^{2-}]$ ,  $[\text{N}]$ ,  $[\text{NH}_4^+]$  и  $[\text{NO}_3^-]$  – концентрация серы, сульфатов, азота, ионов аммония и нитратов в атмосферных осадках, мг/дм<sup>3</sup>.

## Результаты и обсуждение

### *Химический состав снежного покрова*

Снежный покров можно рассматривать как своеобразный индикатор загрязнения окружающей среды. Благодаря высокой сорбционной способности снег накапливает в своем составе практически все вещества, поступающие в атмосферу. Загрязнение снежного покрова происходит в 2 этапа. Во-первых, это загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадения на местность – влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Во-вторых, это загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения ЗВ из атмосферы, а также их поступления из подстилающих почв и горных пород. В связи с большой интенсивностью процессов влажного вымывания для регионального и глобального загрязнения доля сухих выпадений обычно составляет 10-30%. Однако вблизи локальных источников при больших выбросах грубодисперсных аэрозолей картина меняется на обратную, т.е. на долю сухих выпадений может приходиться от 70 до 90%. При образовании и выпадении снега в результате процессов сухого и влажного вымывания содержание ЗВ в нем оказывается обычно выше, чем в атмосферном воздухе (Бокова, 2016; Василенко и др., 1985).

Дизельная электростанция, работающая на мазуте, камбуз и другие средства жизнеобеспечения НИС являются главными локальными источниками поступления загрязняющих веществ на мысе Баранова. Поэтому в 2015-2016 гг. точки отбора проб снежного покрова выбирались относительно произвольно, но с учетом влияния ДЭС. Первые результаты, полученные в 2015-2016 гг., показали, что для снежного покрова острова Большевик характерна неоднородность химического состава как по вертикальному, так и по горизонтальному профилю. Как правило, сильноминерализованные пробы снежного покрова были отобраны вблизи береговой линии, где наиболее значимо влияние морских аэрозолей, а среднее содержание хлоридов по всему профилю снежного покрова могло достигать более  $500 \text{ мг/дм}^3$  (рис. 4).

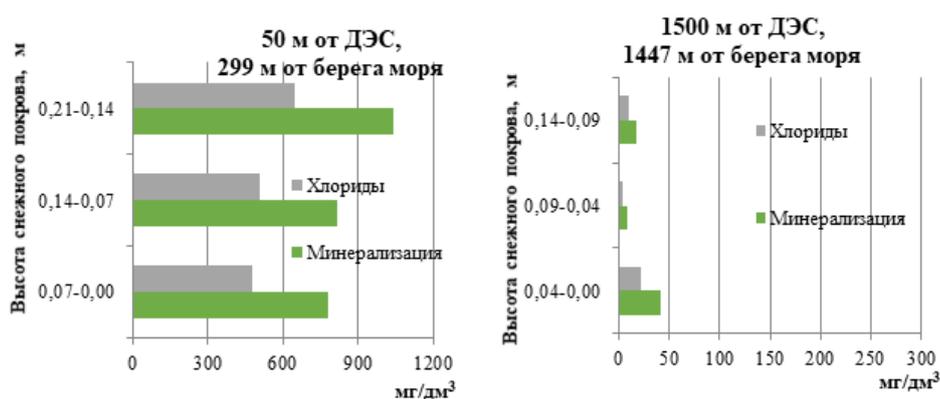
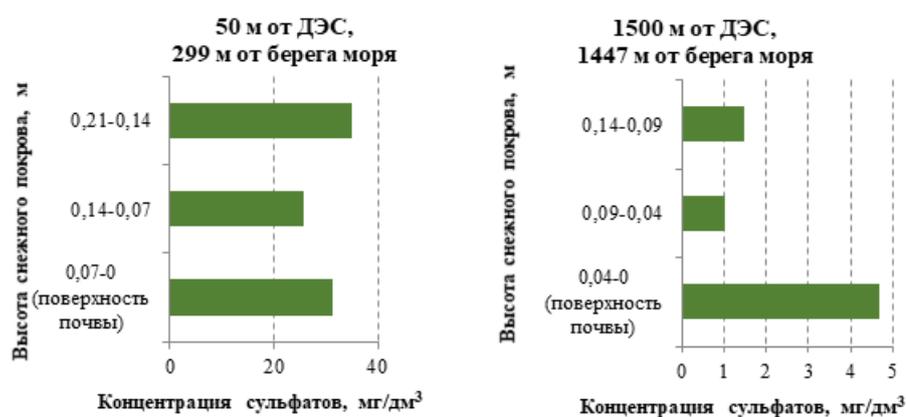


Рисунок 4. Содержание хлоридов и минерализация снежного покрова, 2016 г.

Picture 4. Chloride content and mineralization of snow cover, 2016

Максимальные концентрации сульфатов были обнаружены в пробах, отобранных из верхнего слоя снежного покрова на расстоянии 50 м от ДЭС. С удалением от ДЭС концентрации сульфатов снижаются во всех слоях (рис. 5).

Среднее содержание сульфатов в снежном покрове, отобранном на расстоянии 1500-1800 м от ДЭС, как правило, не превышало  $5 \text{ мг/дм}^3$ , что сопоставимо с содержанием сульфатов в снежном покрове на удалении 100 м от ДЭС. Дополнительные поступления сульфатов в снежный покров на мысе Баранова могут быть обусловлены влиянием морских аэрозолей (в морской воде около 10% сульфатов), а также результатом дальних переносов с воздушными потоками от крупных производств, расположенных на севере Сибири.



**Рисунок 5.** Содержание сульфатов в снежном покрове, отобранном у ДЭС в 2016 г.

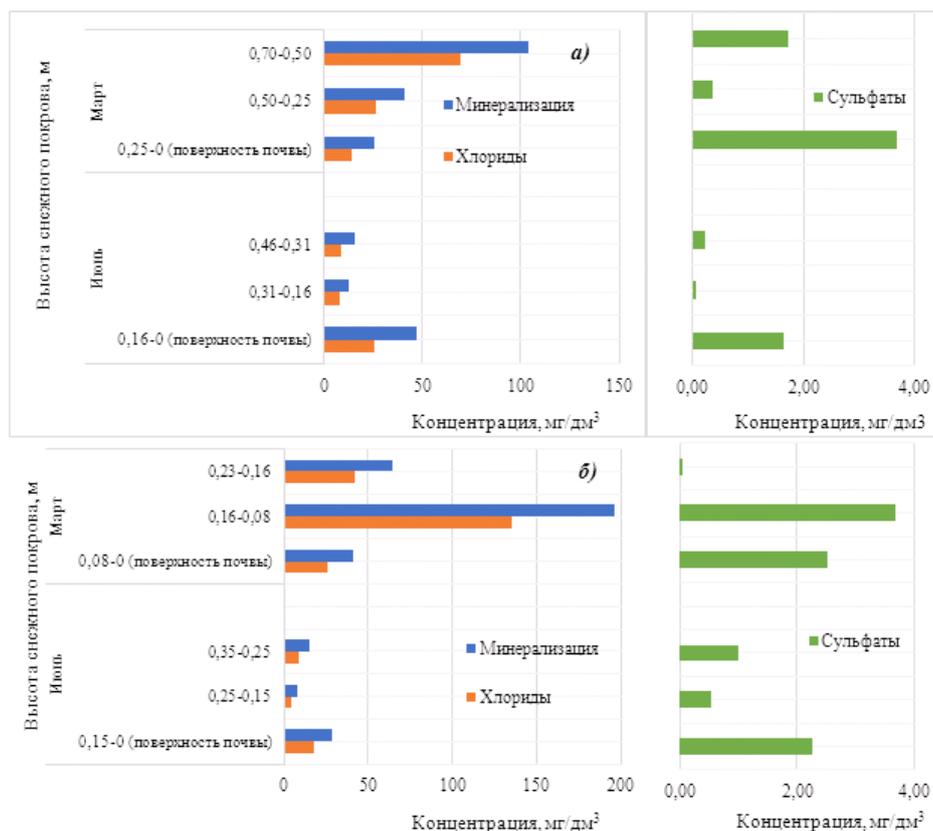
**Picture 5.** Sulfate content in the snow cover sampled from the diesel power plant in 2016

Анализ проб снежного покрова, отобранных в одних точках дважды в год в период 2017-2019 гг., показал более низкие значения концентраций основных ионов в июньских пробах. В июне содержание сульфатов и хлоридов, и в целом, минерализация снега во всех слоях были ниже значений их величин в марте (рис. 6).

Интенсивное снеготаяние привело к перераспределению компонентов по вертикальному профилю снежного покрова. В зависимости от скорости миграции компонентов (растворимости) их содержание в верхних слоях снизилось. Обусловлено это, прежде всего, тем, что при повышении температуры воздуха происходит образование жидкоподобных пленок. Отсутствие конвективных потоков влаги способствует миграции химических веществ в снежном покрове из верхних слоев в нижние благодаря диффузии растворимых веществ (Химия окружающей среды, 1982; Федосеева, 2000). Так, в среднем на 40-50 % снизилось содержание хлоридов и натрия и на 25-30 % уменьшилось содержание сульфатов, кальция и остальных компонентов в верхнем слое относительно нижнего.

Кроме того, в марте 2018 г. в точке, расположенной на расстоянии 1 км от ДЭС, было отмечено послойное чередование свежеснежавшего и уплотненного снега. Такое чередование, возможно, связано с ветровым переносом

частиц ранее выпавшего снега на высоте нескольких десятков сантиметров над снежным покровом. Это способствовало обновлению верхнего слоя и снижению в нем концентраций большинства компонентов.



**Рисунок 6.** Изменение минерализации, хлоридов и сульфатов в пробах снежного покрова, отобранных по слоям в марте и июне 2018 г. на фоновых точках:  
 а) в 5 км от ДЭС, б) в 1 км от ДЭС

**Picture 6.** Changes in salinity, chlorides and sulfates content in snow cover samples taken by layers in March and June 2018 at background points:  
 a) 5 km from the diesel power plant, b) 1 km from the diesel power plant

В среднем суммарное содержание хлоридов и натрия в снежном покрове составило 60% от общего состава, достигая 70% и более в отдельных пробах. Так в пробах снежного покрова, отобранных на леднике Мушкетова в 2018 г., суммарное содержание морских компонентов составило около 80%. Содержание  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  не превышало  $0.05 \text{ мг/дм}^3$  практически во всех слоях. Более высокие концентрации хлоридов, натрия и сульфатов в нижних слоях могут свидетельствовать об их интенсивной миграции в результате снеготаяния (рис. 7).

Следует также отметить, что в верхних слоях снежного покрова определены гидрокарбонаты, скорее всего, как результат сухого осаждения в отсутствие осадков. Их концентрация варьировалась от 0.7 до 1.2 мг/л, а величина pH изменялась от 5.36 до 5.75 на куполе и от 5.26 до 5.47 у подножия ледника.



Рисунок 7. Послойное распределение компонентов в снежном покрове на леднике Мушкетова

Picture 7. Layer-by-layer distribution of components in the snow cover on the Mushketov glacier

В целом средняя величина минерализации в пробах на куполе и у подножия не превышала  $2.0 \text{ мг/дм}^3$ . Такой уровень минерализации соответствует "глобальному фону". Как правило, такие минимальные содержания обусловлены в основном концентрациями в воздухе углекислого газа, микрогазовых примесей и аэрозолей, которые создают минерализацию в атмосферных осадках не более  $3.0 \text{ мг/дм}^3$  (Селезнева, 1978; Свистов, 2009).

На основании всех полученных данных, можно сделать вывод, что минерализация снежного покрова зависела как от места, так и от времени отбора проб и за весь период наблюдений изменялась от  $1.02$  до  $1038 \text{ мг/дм}^3$ .

Анализ показал, что в пробах снежного покрова более 80% измеренных значений pH были ниже равновесного (5.65), а диапазон изменения составил 4.35- 6.20. В пробах, отобранных в марте-апреле 2015-2016 гг. вблизи ДЭС, величина pH была ниже 5.4. В других точках отбора близкие к равновесному значению pH были определены в основном в средних и нижних слоях снежного покрова. Очевидно, что проблема закисления снежного покрова актуальна для арктической зоны РФ и требует развития дальнейших исследований в этой области.

### *Химический состав атмосферных осадков*

В формировании общего химического состава атмосферных осадков (АО), как и снежного покрова, главная роль принадлежит морским аэрозолям. В АО преобладали хлориды и натрий (80 до 90% от общего состава), вклад сульфатов, калия, кальция и магния в общую минерализацию в сумме не превышал в среднем 10%. Таким образом, состав осадков, как и снежного покрова, преимущественно хлоридно-натриевый, то есть близкий к составу морской воды.

Минерализация месячных проб атмосферных осадков в период с 2015 по 2019 гг. изменялась в широких пределах – от  $3.9$  до  $752 \text{ мг/дм}^3$  (табл. 1). Сильноминерализованные пробы АО были отобраны в периоды, когда в течение отбора преобладали ветры, дующие со стороны моря. Слабоминерализованные осадки до  $15.0 \text{ мг/дм}^3$  составили около 25 % и были характерны в основном для весенне-летнего периода.

Около 70 % значений рН проб АО, отобранных за весь период исследования (2016-2019 гг.), были ниже равновесного значения рН, а диапазон изменения рН составил от 4.62 до 6.31.

Величина суммарных влажных выпадений компонентов с АО на мысе Баранова в основном определяется привносом морских аэрозолей. Наибольшее годовое выпадение веществ с осадками было отмечено в 2018 г., когда в октябре выпали осадки с минерализацией свыше 750 мг/дм<sup>3</sup> и содержанием хлоридов свыше 400 мг/дм<sup>3</sup> (табл.1).

**Таблица 1.** Выпадения серы (S), азота нитратного (N(O)), азота аммиачного (N(H)) и суммы ионов (P) с атмосферными осадками на мысе Баранове и в Сибирском секторе Арктической зоны (АЗ) РФ

**Table 1.** Deposition of sulfur (S), nitrate nitrogen (N (O)), ammonia nitrogen (N (H)) and ions sum (P) with atmospheric precipitation at Cape Baranov and in the Siberian sector of the Arctic zone (AZ) of the Russian Federation

Год	Мыс Баранова				
	S	N(O)	N(H)	$\Sigma N = N(O) + N(H)$	P
	т/км <sup>2</sup> /год				
2018	0.53	0.033	0.023	0.056	20.2
2019	0.19	0.018	0.026	0.044	7.58
<i>Север Сибири<sup>1)</sup></i>					
2018	0.34	0.08	0.10	0.28	5.10
<i>Сибирский сектор АЗ РФ<sup>1),2)</sup></i>					
2019	0.21-9.46	0.10-0.14	0.13-0.40	0.23-0.54	5.1-54.3

**Примечания:** <sup>1)</sup> По данным материалов Обзора состояния и загрязнения окружающей среды в 2018 и 2019 гг.

<sup>2)</sup> выпадения для Сибирского сектора АЗ РФ представлены диапазоном значений

Величина выпадений с осадками серы сульфатной на мысе Баранова в 2019 г. составила 0.19 т/км<sup>2</sup>, что несколько ниже минимальной величины, наблюдающейся в Сибирском секторе АЗ РФ согласно данным (Обзор... 2019; Обзор...2020). При этом и суммарные влажные выпадения азотистых соединений были значительно ниже в сравнении с другими арктическими станциями Сибирского сектора и не превышали 0.06 т/км<sup>2</sup>.

### Оценка влияния влажных выпадений на природные объекты Арктики

Биологическая активность тяжелых металлов выводит данную группу загрязнителей на приоритетное место в мониторинговых исследованиях окружающей среды (Люблина, Дворкин, 1983). Присутствие тяжелых металлов в атмосфере и осадках Арктики является, главным образом, следствием дальнего переноса из промышленных центров. в результате чего происходит накопление металлов в растительности, снежном покрове и в водах морей (Arctic Environmental Protection Strategy, 1991).

Среди отраслей промышленности, развитых в Арктике, первое место по нагрузке на окружающую среду занимает горно-металлургическая. Выделяют 4 основных «очага напряженности», связанных с химическим загрязнением природной среды АЗ РФ: Мурманская область, район Норильска, районы освоения месторождений углеводородного сырья на Севере ЕТР и Западной Сибири (Акимов и др., 2014). В «непосредственной» близости от острова Большевик находится Норильск, который производит 96% российского никеля, 55% меди и 95% кобальта и который является одним из главных загрязнителей Арктического региона.

Содержание ТМ в пробах снежного покрова и атмосферных осадках приведены в табл. 2.

**Таблица 2.** Содержание ТМ в атмосферных осадках и снежном покрове на территории НИС «Ледовая база мыс Баранова»

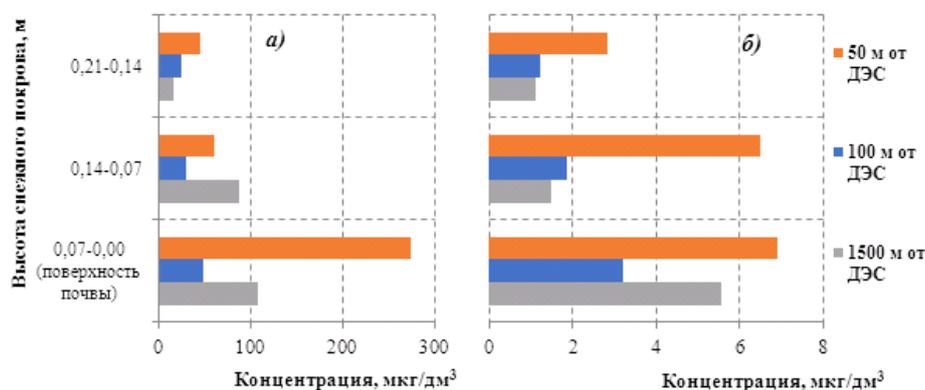
**Table 2.** HM content in precipitation and snow cover on the territory of the Research Post "Glacial Base" Cape Baranova "

Дата отбора пробы	Cu	Ni	Cd	Pb	Mn	Fe	Cr	Zn
	<b>Концентрация, мкг/дм<sup>3</sup></b>							
	<i>Атмосферные осадки</i>							
Август. 2016	5.92	99.95	0.40	1.91	1.03	222.4	0.47	10.00
Сентябрь. 2016	3.07	165.4	0.19	1.13	4.17	82.95	0.77	48.00
Октябрь. 2016	2.87	23.73	0.01	0.57	–	–	–	51.48
	<i>Снежный покров<sup>1)</sup></i>							
Апрель 2015	5.73	12.51	0.01	1.39	7.41	92.05	1.06	26.67
Март. 2016	3.41	70.80	0.37	1.02	5.15	89.23	1.64	3.40
Ноябрь. 2016	2.41	132.2	0.01	0.82	–	–	–	50.91

**Примечания:** <sup>1)</sup> Среднее по всему профилю снежного покрова

Общее содержание металлов в процентном отношении к сумме всех компонентов, как правило, не превышало 2%. Помимо железа во всех объектах исследования преобладал никель. Высокие концентрации никеля были также определены в атмосферных осадках, отобранных в период Полярного года в 2007-2008 гг. на Ледовой базе и на дрейфующей станции СП-35 (Семенец и др., 2017).

Распределение содержания ТМ в снежном покрове по слоям было неравномерным: в основном концентрации металлов в нижних слоях снежного покрова были в несколько раз выше, чем в средних и верхних слоях (рис. 8).



**Рисунок 8.** Послойное распределение содержания никеля (а) и меди (б) в снежном покрове на о. Большевик, мыс Баранова, март 2016 г.

**Picture 8.** Layer-by-layer distribution of nickel (a) and copper (b) content in the snow cover on the Bolshevik island, Cape Baranov, March 2016

## Заключение

В настоящее время наблюдения за кислотностью и химическим составом атмосферных осадков и снежного покрова о. Большевик архипелага Северная Земля выполняются в рамках научного сотрудничества между ФГБУ «АНИИ» и ФГБУ «ГГО». С целью изучения изменения фоновое состояние арктических территорий представляется необходимым не только продолжить, но и организовать наблюдения по специальной программе, расширив перечень анализируемых компонентов.

В заключении кратко сформулируем основные полученные выводы.

– В формировании общего химического состава как снежного покрова, так и атмосферных осадков на мысе Баранова и в целом на острове Большевик, главная роль принадлежит морским аэрозолям. Доля «морских» компонентов (ионов натрия и хлора) в ионном составе может достигать 80 и более %.

– Минимальные значения минерализации (не более 2.0 мг/л) были характерны для снежного покрова, отобранного на леднике Мушкетова. Такие низкие значения минерализации соответствуют «глобальному фону». При этом за весь период наблюдений минерализация снежного покрова изменялась от 1.02 до 1038 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения минерализации были обусловлены высоким содержанием хлоридов и натрия, а также содержанием сульфатов.

– Содержание ТМ в снежном покрове в целом не превышает 2% от общего состава компонентов. Среди ТМ преобладает в основном никель и железо. Накопление ТМ происходит в основном в нижних и средних слоях.

– Анализ данных по распределению повторяемости значений рН снеговых проб и проб АО показал, что около 80 % от всех измерений величина рН была ниже равновесного значения 5.65. Таким образом, проблема закисления снежного покрова актуальна для арктической зоны РФ и требует развития дальнейших исследований в этой области.

– Основной вклад в массу влажных выпадений вносили хлориды и натрий – около 80%, далее – сульфаты 7-8%, магний, калий и кальций по 2-3%. Величина выпадений с осадками серы сульфатной на мысе Баранова несколько ниже, а азотистых соединений – значительно ниже минимальной величины, наблюдающейся в Сибирском секторе АЗ РФ.

– Проведенные исследования по изучению химического состава снежного покрова и атмосферных осадков позволили выявить территории на мысе Баранова, не подверженные влиянию локальных источников загрязнения как природного, так и антропогенного происхождения. Дальнейшее изучение природных компонентов на этих фоновых участках, включая анализ тяжелых металлов, позволит оценить тенденции распространения примесей в атмосфере, их влияние на климат и биосферу, а также отследить изменения антропогенного воздействия из промышленных регионов.

### Список литературы

Акимов, В.А., Козлов, К.А., Косоруков, О.А. (2014) *Современные проблемы Арктической Зоны Российской Федерации*, Изд-во Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, М., 308 с.

Бокова, А.В., (2016) О чём молчит снег (исследование загрязнения снежного покрова путём биотестирования), *Молодой ученый*, № 9.1, с. 11-12.

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

Люблина, Е.И., Дворкин, Э.А. (1983) *Гигиеническая токсикология металлов*, М., с. 25-29.

*Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2018 год* (2019) Под ред. Г.М. Черногаевой, М., Росгидромет, с. 187-208.

*Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2019 год* (2020) Под ред. Г.М. Черногаевой, М., Росгидромет, с. 209-228.

Селезнева, Е. С. (1978) О постановке исследований фоновых характеристик загрязнения атмосферы, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 40-48.

Семенец, Е.С., Свистов, П.Ф., Талаш, А.С. (2017) Химический состав атмосферных осадков Российского Заполярья, *Известия томского политехнического университета. Инжиниринг ресурсов*, т. 328, № 3, с. 27-36.

Свистов, П.Ф., Полищук, А.И., Першина, Н.А. (2009) Фоновый уровень состояния атмосферы по многолетним данным о химическом составе атмосферных осадков, *Труды ГГО*, вып. 560, с. 116-142.

Федосеева, В.И. (2000) *Физико-химические закономерности миграции химических элементов в мерзлых грунтах и снеге*, Автореф. дис. докт. хим. наук, Томск. 45 с.

*Химия окружающей среды* (1982) Под ред. Дж. М. Бокриса, М., Химия, 672 с.

---

*Arctic environmental protection strategy. June 14* (1991), Arctic Environmet, Rovaniemi Finland, 45 p.

## References

Akimov, V.A., Kozlov, K.A., Kosorukov, O.A. (2014) *Sovremennye problemy Arkticheskoy Zony Rossijskoj Federacii* [Modern problems of the Arctic Zone of the Russian Federation], Izd-vo Vserossijskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta po problemam grazhdanskoj oborony i chrezvychajnyh situacij MChS Rossii, Moscow, Russia, 308 p.

Bokova, A.V. (2016) O chyom molchit sneg (issledovanie zagryazneniya snezhnogo pokrova putyom biotestirovaniya) [What snow is silent about (study of snow cover pollution by biotesting)], *Molodoj uchenyj*, no. 9.1, pp. 11-12.

Vasilenko, V.N., Nazarov, I.M., Fridman, Sh.D. (1985) *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Snow cover pollution monitoring], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 182 p.

Lyublina, E.I., Dvorkin, E.A. (1983) *Gigienicheskaya toksikologiya metallov* [Hygienic toxicology of metals], Moscow, Russia.

*Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2018 god* [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2018] (2019) in G.M. Chernogaeva (ed), Rosgidromet, Moscow, Russia, pp. 187-208.

*Obzor sostoyaniya i zagryazneniya okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii za 2019 god* [Review of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2019] (2020) in G.M. Chernogaeva (ed), Rosgidromet, Moscow, Russia, pp. 209-228.

Selezneva, E.S. (1978) O postanovke issledovaniy fonovyh harakteristik zagryazneniya atmosfer [On the formulation of studies of the background characteristics of atmospheric pollution], *Meteorologiya i gidrologiya*, vol. 1, pp. 40-48.

Semenec, E.S., Svistov, P.F., Talash, A.S. (2017) Himicheskij sostav atmosferyh osadkov Rossijskogo Zapolyar'ya [The chemical composition of atmospheric precipitation in the Russian Arctic], *Izvestiya tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring resursov*, vol. 328, no. 3, pp. 27-36.

Svistov, P.F., Polishchuk, A.I., Pershina, N.A. (2009) Fonovyj uroven' sostoyaniya atmosfery po mnogoletnim dannym o himicheskom sostave atmosferyh osadkov [The background level of the state of the atmosphere according to long-term data on the chemical composition of atmospheric precipitation], *Trudy GGO*, vol. 560, pp. 116-142.

Fedoseeva, V.I. (2000) *Fiziko-himicheskie zakonomernosti migracii himicheskikh elementov v merzlyh gruntah i snege* [Physicochemical patterns of migration of chemical elements in frozen soils and snow], Extended abstract of Doctor's thesis, Tomsk. Russia, 45 p.

---

*Himiya okruzhayushchej sredy* (1982) [Environmental chemistry], in. M. Bokrisa (ed), Himiya, Moscow, Russia, 672 p.

Arctic environmental protection strategy. June 14 (1991), *Arctic Environmet*, Rovaniemi, Finland, 45 p.

*Статья поступила в редакцию (Received): 14.01.2021;*

*Статья доработана после рецензирования (Revised): 26.09.2021;*

*Принята к публикации (Accepted): 11.10.2021.*

**Для цитирования /For citation:**

Першина, Н.А., Полищук, А.И, Павлова, М.Т, Семенец, Е.С. (2021) Анализ химического состава атмосферных осадков и снежного покрова на территории о. Большевик (архипелаг Северная Земля) *Экологический мониторинг и моделирование экосистем*, т. XXXII, № 3-4. с. 71-85, DOI: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-71-85.

*Pershina, N.A., Polischuk, A.I., Pavlova, M.T, Semenets, E.S.* (2021) The chemical composition of wet deposition on the Bolshevik island territory of the North Earth archipelago, *Ecological monitoring and ecosystem modelling*, vol. XXXII, no 3-4. pp. 71-85, DOI: 10.21513/0207-2564-2021-3-4-71-85.