



# КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА



*Тезисы докладов XIV Всероссийской научной конференции с международным участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.)*

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации

Российская академия наук  
Кольский научный центр  
Мурманский морской биологический институт



## **КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА**

---

Тезисы докладов XIV Всероссийской научной  
конференции с международным участием  
(г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.)

Апатиты  
2018

УДК 574.5

**Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа:** Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018. 133 с.

ISBN 978-5-91137-374-0

DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0

Представлены материалы XIV Всероссийской научной конференции с международным участием “Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа” (г. Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.), посвященные различным аспектам современных исследований архипелага.

Редколлегия:

д.б.н. П. Р. Макаревич (ответственный редактор),  
к.г.н. Д. В. Моисеев, к.б.н. Д. Р. Дикаева, к.х.н. Н. Е. Касаткина

*Мероприятие проведено в рамках темы Госзадания ММБИ КНЦ РАН  
“Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген”,  
издание опубликовано при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования  
Российской Федерации (соглашение № 007-02-2018-610)*

Фото на обложке: О. Л. Зими́на

Научное издание

Технический редактор: В. Ю. Жиганов  
Подписано к печати 30.08.2018. Формат 60x84 1/8.  
Усл. печ. л. 17,9. Тираж 200 экз. Заказ № 19.  
ФГБУН ФИЦ КНЦ РАН  
184209, г. Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14  
naukaprint.ru

© Коллектив авторов, 2018  
© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Мурманский морской биологический институт  
Кольского научного центра Российской академии наук, 2018

Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation

Russian Academy of Sciences  
Kola Science Centre  
Murmansk Marine Biological Institute



## **COMPLEX INVESTIGATIONS OF SPITSBERGEN AND OFFSHORE NATURE**

---

Proceedings of the XIV scientific conference with international participation  
(Murmansk, 30 October–2 November 2018)

Apatity  
2018

UDC 574.5

**Complex investigations of Spitsbergen and offshore nature:** Proceedings of the XIV scientific conference scientific conference with international participation (Murmansk, 30 October–2 November, 2018). Apatity: Publ. FRC Kola Science Centre RAS, 2018. 133 p.

ISBN 978-5-91137-374-0

DOI: 10.25702/KSC.978.5.91137.374.0

This publication contains proceedings of the XIV scientific conference “Integrated investigations on the Spitsbergen archipelago and the adjacent continental shelf area” held at the Murmansk Marine Biological Institute in 30 October–2 November 2018.

Editorial board:

P. R. Makarevich (Editor-in-Chief), Dr. Sci. (Biology),  
D. V. Moiseev, PhD (Geography),  
D. R. Dikaeva, PhD (Biology),  
N. E. Kasatkina, PhD (Chemistry)

© Composite authors, 2018

© Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, 2018

# ИССЛЕДОВАНИЯ МУРМАНСКОГО МОРСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В 2017–2018 ГОДАХ

П. Р. Макаревич, Д. В. Моисеев

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Мурманский морской биологический институт проводит научные исследования в районе архипелага Шпицберген с 1960-х гг. Начиная с 1990-х гг., исследования приобрели комплексный экосистемный характер. До 2016 года финансирование научных исследований ММБИ и других научных организаций на архипелаге Шпицберген осуществлялось через ФГУП «Трест “Арктикуголь”». К августу 2017 г. была согласована тематика и подтверждено бюджетное финансирование новой темы госзадания ММБИ “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген”. Тема носит межлабораторный характер и продолжает проводиться ММБИ исследования на Шпицбергене.

При проведении исследований в рамках темы НИР “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген” в 2017 и 2018 гг. первоочередное внимание было уделено изучению следующих аспектов:

- 1) анализ данных о состоянии водных масс на акваториях архипелага;
- 2) закономерности пространственного распределения вирио-, бактерио-, фито- и зоопланктона в прибрежных водах Шпицбергена;
- 3) новые данные по экологии донных организмов, разнообразия, динамики и функциональных особенностей зообентоса в прибрежных экосистемах архипелага;
- 4) оценка распространения и запасов макрофитов в прибрежной зоне Шпицбергена;
- 5) выявление основных экологических факторов, влияющих на состав, структуру и динамику разнообразия птиц и морских млекопитающих;
- 6) оценка роли модельных видов мигрирующих птиц в формировании разнообразия почвенных микроартропод на Шпицбергене;
- 7) анализ уровней химического и радиоактивного загрязнения в среде и биоте архипелага;
- 8) базы данных компонентов морских экосистем как основы оптимального планирования мероприятий по охране окружающей среды на архипелаге Шпицберген.

В ходе реализации темы научно-исследовательская деятельность осуществлялась по трем блокам:

- 1) сбор научного материала в морских и береговых экспедициях непосредственно на Шпицбергене;
- 2) аналитическая обработка полевого материала в лабораториях в Баренцбурге (Шпицбергенская биогеостанция ММБИ и Российский научный центр на Шпицбергене) и Мурманске;
- 3) публикация научных статей в различных изданиях, а также популяризация проводимых на архипелаге исследований.

Экспедиционные работы ММБИ в районе архипелага Шпицберген в 2017 и 2018 гг. выполнялись по двум основным направлениям.

1. Морские исследования на НИС “Дальние Зеленцы” в июле, ноябре 2017 г., в апреле–мае 2018 г.

В трех морских экспедициях принимали участие сотрудники ММБИ, ААНИИ, МГТУ, МАГУ, ЧГУ, UNIS, UiT. По специальному разрешению, полученному от норвежских властей, судно работало в территориальных водах архипелага и осуществляло заходы в порты Баренцбурга и Лонгиербюена. Экспедиционные исследования носили комплексный экосистемный характер и охватили большую часть акватории системы залива Ис-фьорд на нескольких разрезах. В мае 2018 г. география работ расширилась за счет проведения отбора проб в малоизученном заливе Колсбей рядом с законсервированным российским пос. Грумант.

В настоящее время “Дальние Зеленцы” являются единственным российским научно-исследовательским судном, которое в кооперации с российскими и зарубежными учеными осуществляет морские работы в районе архипелага Шпицбергена и заходы в порты Баренцбурга и Лонгиербюена.

2. Береговые наблюдения в районе Баренцбурга в июле–сентябре, ноябре 2017 г. и в марте–мае 2018 г.

Местом базового размещения участников пяти береговых экспедиций и предварительной обработки первичного полевого материала была Шпицбергенская биогеостанция ММБИ в Баренцбурге. Высокоширотная биогеостанция ММБИ создана в 2010 г. для обеспечения комплексных экосистемных исследований на архипелаге Шпицберген. Является одной из самых северных биостанций Российской Федерации в Арктике (севернее 78° с. ш.). В береговых экспедициях проведены альгологические, бентологические и орнитологические исследования в районе залива Грэн-фьорд. Продолжалось изучение процессов осадконакопления и уровней радиоактивного загрязнения в системе ледниковое озеро–ледник–фьорд.

Непосредственно в морских и береговых полевых работах на архипелаге Шпицберген в 2017 г. приняли участие 30 научных сотрудников ММБИ, в первой половине 2018 г. – 16. Общее время присутствия специалистов Института на архипелаге составило 319 чел/дней в 2017 г. и 220 чел/дней в первой половине 2018 г. По итогам исследований опубликовано свыше 10 научных работ, защищена кандидатская диссертация. Результаты НИР были представлены на российских и международных конференциях. Сформированы цели и задачи исследований ММБИ на Шпицбергене на 2019 г.

Результаты научных исследований ММБИ в районе архипелага Шпицберген, проведенных в 2017 и 2018 гг. в рамках темы госзадания “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген” в форме тезисов докладов XIV Всероссийской научной конференции с международным участием “Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа” размещены в настоящем издании.

## **ПОГОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В XXI ВЕКЕ**

**А. Р. Анциферова, Е. Д. Сиеккинен, О. М. Чаус**

Мурманское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды,  
г. Мурманск, Россия

В Мурманском УГМС работа по изучению климата на архипелаге Шпицберген по данным гидрометеорологической обсерватории “Баренцбург” была начата в 2002 г. В своих исследованиях сотрудники Мурманского УГМС используют методы оценки изменений основных метеорологических параметров, предложенные ведущими специалистами Росгидромета.

Большое значение уделяется формированию и пополнению базы данных метеорологических параметров. Длительные ряды регулярных метеорологических наблюдений позволяют наиболее точно оценивать тенденции климатических изменений, происходящих на архипелаге Шпицберген.

Анализ данных изменения аномалий средней годовой температуры воздуха на архипелаге Шпицберген подтверждает увеличение скорости повышения средней температуры воздуха в последние десятилетия. Наибольшее повышение средней месячной температуры воздуха отмечается в зимние месяцы. Средняя сезонная температура зимы в XXI веке на 3.8 °С выше климатической нормы, весны – на 1.8 °С, лета – на 1.2 °С, осени – на 1.5 °С.

Повышение температуры воздуха приводит к значительному увеличению числа дней с оттепелью в зимние месяцы, т. е. дней, когда на фоне установившихся отрицательных значений происходит повышение температуры воздуха до 0 °С и выше. Как правило, такое значительное повышение температуры воздуха в середине зимы связано с адвекцией теплого влажного воздуха из Северной Атлантики. В последние годы отмечается смещение траектории североатлантических циклонов в северные широты, возрастает повторяемость интенсивных циклонов, с южным ветром на Шпицберген поступает теплый и влажный воздух. Число дней со штормовым ветром (в порыве 15 м/с и более), а также с метелевыми явлениями от года к году изменяется в широких пределах. Отмечается увеличение количества облачности как общей, так и облаков нижнего яруса. Сохраняется тенденция увеличения годового количества осадков.

## ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ЛОКАЦИИ NSDL ДЛЯ ДЕТАЛЬНОГО ИЗУЧЕНИЯ СЕЙСМИЧНОСТИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

В. Э. Асминг, А. В. Федоров, А. О. Аленичева, З. А. Евтюгина

Кольский филиал ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН”, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

До 70-х годов XX века наблюдения за сейсмичностью архипелага Шпицберген проводились преимущественно удаленными станциями. Господствовало представление, что наибольшую сейсмическую активность здесь проявляет зона спрединга, расположенная вдоль хребтов Мона и Книповича, а внутриплитовая часть относительно пассивна, землетрясения здесь происходят редко, и они не очень сильны (Austegard, 1974).

Землетрясение 18 января 1976 г., имевшее магнитуду  $m_b = 5.7$  и произошедшее у восточного побережья о. Западный Шпицберген в проливе Стур-фьорд, разрушило сложившуюся картину и значительно увеличило интерес международного сейсмологического сообщества к изучению архипелага. В 2008 году практически в этом же районе было зарегистрировано землетрясение с моментной магнитудой  $M_w = 6$ , которое является самым сильным внутриплитовым землетрясением в данном районе Арктики.

В настоящее время наблюдения за сейсмичностью архипелага ведут несколько сейсмических станций [BRBA и BRBB (пос. Баренцбург, Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН), HSPB (пос. Хорнсунн, Польская академия наук), KBS (пос. Кингсбей, IRIS)] и групп (ARCES и SPI) Норвежской сейсмологической службы НОРСАР (NORSAR, Кьеллер), из которых только SPI находится непосредственно на архипелаге. До недавнего времени наиболее полным источником информации о сейсмичности архипелага были бюллетени НОРСАР (<http://www.norsardata.no/NDC/bulletins>). Единого бюллетеня по всем станциям не существовало.

В 2014 году в Кольском филиале ФИЦ ЕГС РАН была начата разработка новой системы детектирования и локации NSDL. Мотивацией к созданию такой системы явилась необходимость обрабатывать данные по редким сетям и по одиночным сейсмостанциям. К 2016 году эта система была создана. На базе NSDL была запущена автоматическая система сейсмического мониторинга архипелага Шпицберген и прилегающих территорий. Она обрабатывает данные всех сейсмостанций, которые поступают через интернет. По результатам работы система создает автоматический бюллетень сейсмических событий (Система ..., 2016).

Ядром системы являются две большие программы. Первая из них – программа NSS, служит для автоматического детектирования и предварительной локации сейсмических событий по отдельным сейсмическим станциям, как трехкомпонентным, так и сейсмическим группам. Вторая – программа NAS, способна получать на вход результаты работы NSS по нескольким станциям, производить их ассоциацию и более точную локацию обнаруженных сейсмических событий. В случае изучения сейсмичности по одиночной станции программа NSS может быть использована автономно (Асминг, Федоров, 2014). Так, она была использована для мониторинга активности ближайших ледников по данным станции “Хорнсунн” (Сейсмологические ..., 2016).

По современному представлению, архипелаг Шпицберген – высокоактивная сейсмическая зона Арктики. Частота, с которой на данной территории происходят сейсмические события, велика, чтобы исключить ложные срабатывания и слабые малозначительные события, на работу системы были наложены определенные ограничения. Это приводит к высокой достоверности работы системы, но при этом теряется информация о слабой сейсмичности, которая может нести важные сведения об активности ледников и прочих природных процессах.

Чтобы сделать эту информацию доступной, все данные с января по октябрь 2017 г. были обработаны системой NSDL без ограничений. В результате система обнаружила и слочировала 35 199 событий. Понятно, что человеку-интерпретатору непосильно проверить все обнаруженные события. Была проведена выборочная проверка, в результате которой число ложных срабатываний системы было оценено сверху в 10 %. Таким образом, можно считать, что для статистического анализа можно использовать полученные данные и без дальнейшей корректировки.

Результаты анализа итогового автоматического каталога показали, что наибольшая сейсмическая активность традиционно сосредоточена в зоне спрединга (хребты Мона и Книповича). Остается активной зона пролива Стур-фьорд. Активизировалась зона вблизи залива Хорнсунн, устья



залива Ис-фьорд и в районе пос. Свеагров. Сейсмическая энергия, даже большая чем в зоне спрединга, выделилась в районе пос. Кингсбей и на северо-западе от пос. Лонгйир. Эти зоны требуют дополнительного наблюдения и изучения.

По результатам обработки данных 2017 г. можно сделать следующие выводы:

1) сейсмический режим архипелага является комбинацией потоков событий различной природы – тектонических, ледниковых и, возможно, какой-то другой природы (достоверных объяснений активизации зоны в устье залива Ис-фьорд и района Свеагров пока не найдено);

2) сейсмический режим архипелага нестационарен. Помимо фоновой сейсмичности, выделяются рои землетрясений и афтершоковые последовательности.

Таким образом, использование системы NSDL позволяет по-новому взглянуть на сейсмическую активность архипелага, заметить явления, которые не отмечались ранее, а также проследить изменение сейсмической активности во времени.

В дальнейшем необходимо обработать с применением данного подхода все имеющиеся данные для анализа динамики сейсмичности Шпицбергена за более длительный период времени.

## Литература

Асминг В. Э., Федоров А. В. Возможности применения автоматического детектора-локатора сейсмических событий по одиночной станции для детальных сейсмологических наблюдений // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50, № 3. С. 19–23.

Сейсмологические наблюдения за активностью ледников архипелага Шпицберген / А. В. Федоров, В. Э. Асминг, С. В. Баранов и др. // Вестн. МГТУ. 2016. Т. 19, № 1. С. 151–159.

Система автоматического мониторинга сейсмичности Северо-Запада России и западного сектора Арктики / В. Э. Асминг, А. В. Федоров, А. Н. Виноградов и др. // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. XI Междунар. сейсмологической школы / Отв. ред. А. А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2016. С. 34–36.

Austegard A. Earthquakes in the Svalbard area // Årbok. Oslo: Norsk Polarinst., 1974. P. 83–99.

## СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТАКСОНОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МШАНОК (BRYOZOA) В ВОДАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

О. Ю. Ахметчина

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Географическое положение архипелага Шпицберген, расположенного на стыке Атлантического и Северного Ледовитого океанов, в зоне смешения водных масс разного происхождения, определяет многообразие и особенности распределения донной фауны, населяющей его акваторию. Мшанки (Bryozoa) – одна из наиболее многочисленных таксономических групп донных беспозвоночных северных морей (Животные ..., 1981). Эти колониальные животные ведут преимущественно прикрепленный образ жизни и не могут перемещаться в пространстве, избегая воздействия неблагоприятных факторов. Поэтому процесс эволюции мшанок шел в направлении создания функциональной формы и структуры колоний, способствующих выживанию вида в определенных условиях. Данная работа – один из этапов исследования влияния условий среды на формирование различных таксоценозов мшанок.

Материалом для данной работы послужили 65 количественных проб зообентоса, собранных дночерпателем ван-Вина на 16 станциях в ходе 62 рейса ПИНРО на НИС “Ф. Нансен” в юго-западной части архипелага Шпицберген в сентябре 2005 г. на глубине от 33 до 450 м. Отбор проб зообентоса проводился по стандартной гидробиологической методике. Для таксономической идентификации мшанок использовали работу Г. А. Клюге “Определитель мшанок северных морей” (1962).

В результате обработки собранного материала идентифицирован 121 вид мшанок (5 видов отмечены в фауне исследуемого региона впервые), что составляет 66 % от общего списка видов

Вгубозоа прибрежной зоны архипелага Шпицберген (The marine ..., 2004). С учетом литературных данных в акватории юго-западного Шпицбергена к настоящему времени зарегистрировано 240 видов мшанок (Kuklinski, 2002; Barnes, Kuklinski, 2003, 2004, 2005; Substratum ..., 2006; Kuklinski, Bader, 2007; Kuklinski, Taylor, 2009; The marine ..., 2004; Assessing ..., 2009; Ахметчина, 2010, 2014, 2016).

Анализ биогеографической структуры собранных мшанок показал стандартное доминирование бореально-арктических видов, и более чем трехкратное преобладание арктических видов (25 %) над бореальными (7 %), что характеризует фауну мшанок исследованного района как арктическую. Из пяти обнаруженных впервые видов два являются арктическими и один – бореальным. По структуре колоний 98 % мшанок представлено обызвествленными видами (15 видов из отр. Cyclostomata и 103 из отр. Cheilostomata), а 2 % (3 вида) – мягкотелыми (отр. Stenostomata). Из них 70 % видов имеют корковую форму колоний, а 30 % – кустистую (приподнятую над субстратом).

Максимальное обилие (49–55 видов) зарегистрировано на мелководье (50–115 м) юго-западной части архипелага, в районе залива Хорнсунн (станции 13, 14, 15). Здесь высокое видовое богатство мшанок связано с низким уровнем осадконакопления и большим количеством твердого субстрата (камни, галька, щебень), благоприятного для прикрепленных колоний.

На мелководных (глубина 50–60 м) прибрежных участках (станции 13, 14) подавляющее большинство мшанок (88–89 %) имеют корковую, обрастающую субстрат форму колонии (49 и 43 вида соответственно), а 11–12 % – обызвествленные виды с кустисто-ветвистой (6 видов) и древовидной (6 видов) формой колонии с прочным известковым скелетом. Обилие представителей Вгубозоа с корковой колонией, вероятно, связано с повышенной гидродинамикой. На станции 15 (глубина 115 м) развиваются мшанки преимущественно с кустистой формой колонии (18 видов, 33 %), что можно объяснить более низким гидродинамическим режимом или более высоким осадконакоплением.

Максимальная биомасса (67.6 г/м<sup>2</sup>) выявлена в районе залива Ис-фьорд (ст. 5) на средней глубине (200 м) в сообществе сильно обызвествленных мшанок с древовидной формой колонии *Hornera lichenoides* и *Leieschara coarctata*. Развитие здесь видов с прочным известковым скелетом, вероятно, связано с благоприятными для накопления кальция организмами гидрохимическими условиями, но это требует уточнения.

Минимальное видовое разнообразие (3 вида) мшанок с минимальным значением биомассы (0.03–0.08 г/м<sup>2</sup>) отмечено в глубоководных участках исследованного района (250–425 м) с дефицитом крупнообломочного материала в донных осадках (станции 6, 12). Вследствие интенсивного поступления осадочного вещества многие участки дна, особенно глубоководные впадины, обеднены твердыми субстратами и, соответственно, эпифауной. Мягкие (илисто-глинисто-песчаные) донные осадки не подходят для прикрепления колоний, более того, ловчий аппарат мшанок, в особенности корковых (обрастающих субстрат), быстро засоряется взвесью, оседающей на колонии, и препятствует захвату пищи. По этой причине, вероятно, здесь развиваются мшанки только с кустисто-ветвистой (приподнятой над субстратом) формой зоария. В самом глубоководном (около 450 м) участке исследованного района (ст. 16) зарегистрировано 19 видов мшанок, что, по-видимому, вызвано высокой долей присутствия твердых субстратов.

Роль различных биогеографических групп, участвующих в формировании структуры сообществ Вгубозоа, изменяется с глубиной. Соотношение арктических и бореальных видов мшанок и распределение их по глубине обусловлено распределением водных масс. Количество арктических (21) и бореальных (7) видов максимально на глубине от 80 до 200 м. Это, вероятно, объясняется возможным смешиванием в данном диапазоне глубин теплой атлантической воды с холодными прибрежными водными массами. Глубже (220–300 м) происходит резкое сокращение арктических (5) видов мшанок, что, вероятно, связано с более теплым (температура 3.09–3.75 °С) слоем воды на этой глубине, чем вышележащие водные массы. На глубине 310–450 м число арктических видов немного возрастает – 11. Благодаря усилению влияния теплых атлантических вод Западно-Шпицбергенского течения в направлении с юга на север, число арктических видов закономерно сокращается.

Таким образом, анализ распределения мшанок в исследуемом районе указывает на то, что структура субстрата и гидродинамика влияют на формирование сообществ с определенной формой колоний, а температура водных масс определяет их биогеографическую структуру.

## Литература

Ахметчина О. Ю. Мшанки залива Грен-фьорд (Западный Шпицберген) // Гидробиологические и экосистемные исследования морей европейского Севера: Матер. XXVIII конф. молодых ученых, посвященной 100-летию со дня рождения М. М. Камшилова (Мурманск, май 2010 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2010. С. 9–14.

Ахметчина О. Ю. Мшанки залива Хорнсунн-фьорд (Западный Шпицберген) // Современные проблемы экологии и природопользования: Тез. докл. науч.-практ. конф., посвященной 15-летию со дня основания кафедры биоэкологии (Мурманск, 27–28 февраля 2014 г.). Мурманск: Изд. МГТУ, 2014. С. 74–79.

Ахметчина О. Ю. Структура и распределение мшанок (Bryozoa) мелководной зоны залива Грен-фьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.). Вып. 13. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2016. С. 31–37.

Животные и растения Баренцева моря / Под ред. В. Ф. Брызгина. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1981. 188 с.

Клюге Г. А. Мшанки северных морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 584 с.

Assessing species richness of macrofauna associated with macroalgae in Arctic kelp forests (Hornsund, Svalbard) / M. Wlodarska-Kowalczyk, P. Kuklinski, M. Ronowicz et al. // Polar Biol. 2009. Vol. 32. P. 897–905.

Barnes D. K. A., Kuklinski P. High polar spatial competition: extreme hierarchies at extreme latitude // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2003. Vol. 259. P. 17–28.

Barnes D. K. A., Kuklinski P. Variability of competition at 101, 103, 105, and 106 m scales: encrusting Arctic community patterns // Mar. Biol. 2004. Vol. 145. P. 351–372.

Barnes D. K. A., Kuklinski P. Low colonisation on artificial substrata in arctic Spitsbergen // Polar Biol. 2005. Vol. 29. P. 65–69.

Kuklinski P. Fauna of Bryozoa from Kongsfjorden, West Spitsbergen // Polish Polar Res. 2002. Vol. 23. P. 193–206.

Kuklinski P., Bader B. Comparison of bryozoan assemblages from two contrasting Arctic shelf regions // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2007. № 73. P. 835–843.

Kuklinski P., Taylor P. D. Mineralogy of Arctic bryozoan skeletons in a global context // Facies. 2009. № 55. P. 489–500.

Substratum as a structuring influence on assemblages of Arctic bryozoans / P. Kuklinski, B. Gulliksen, O. J. Lønne, J. M. Weslawski // Polar Biol. 2006. Vol. 29. P. 652–661.

The marine macro-organisms in Svalbard waters / R. Palerud, B. Gulliksen, T. Brattegard et al. // A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard. Tromsø: Norwegian Polar Institute, 2004. P. 5–56.

## СТАНЦИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ

**Ю. В. Балабин, Б. Б. Гвоздевский, А. В. Германенко,  
Е. А. Маурчев, Е. А. Михалко, В. Ф. Григорьев, Л. И. Щур**

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

Полярный геофизический институт имеет в Апатитах и Баренцбурге (архипелаг Шпицберген) станции космических лучей. Геофизическое расположение станции в Баренцбурге уникально. Она находится на значительном удалении (более 1000 км) от населенных областей и промышленных зон, располагается в области магнитосферного каспа, а ее конус приема в основном направлен в сторону северного полюса эклиптики. Жесткость геомагнитного обрезания в Баренцбурге –  $R_c = 0$  ГВ. Энергичные частицы (в основном, протоны) первичных космических лучей, попадают в атмосферу Земли и взаимодействуют с ядрами атомов, образуя ливни вторичных частиц: электронов, мюонов, нуклонов, мезонов, гамма-квантов. Каждая из компонентов обладает особыми свойствами, их распространение и воздействие на атмосферу различается. К настоящему времени на станции

космических лучей в Баренцбурге ведется мониторинг всех основных компонентов вторичных космических лучей: нуклонной, заряженной (электронно-мюонной), электромагнитной. Нуклонная компонента регистрируется двумя детекторами: нейтронным монитором 18-НМ-64 (энергии от 50 МэВ) и бесвинцовым детектором на основе счетчиков СНМ-18 (энергии от тепловых нейтронов до 100 кэВ). Для регистрации заряженной компоненты применяется мюонный телескоп на основе счетчиков СТС-6. Поток гамма-излучения измеряется сцинтилляционным детектором на основе кристалла NaI(Tl) в энергетическом диапазоне 20–400 кэВ. Запись данных со всех детекторов производится с разрешением 1 мин. Нейтронный монитор включен в сеть нейтронных мониторов России и мировую сеть. Параллельно на нейтронном мониторе ведется запись времени появления каждой частицы космических лучей с точностью 1 мкс. Станция космических лучей в Баренцбурге обеспечивает уникальными данными. Например, во время солнечных вспышек и событий GLE данные станции в Баренцбурге дают важную информацию о вариациях потоков космических лучей из области северного полюса эклиптики.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВАРИАЦИЙ ФОНОВОГО ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В БАРЕНЦБУРГЕ**

**Ю. В. Балабин, Б. Б. Гвоздевский, А. В. Германенко,  
Е. А. Маурчев, Е. А. Михалко, В. Ф. Григорьев, Л. И. Щур**

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

Рентгеновское и мягкое гамма-излучения (до единиц МэВ), возникающие в атмосфере от космических лучей, до сих пор изучены очень слабо. В Полярном геофизическом институте создан детектор гамма-излучения и проводятся непрерывные наблюдения с 2010 г. на станциях космических лучей в Апатитах и Баренцбурге (архипелаг Шпицберген). Было обнаружено, что поток гамма-излучения, приходящий из атмосферы, имеет два вида вариаций. Во-первых, сезонная. С наступлением холодного сезона поток уменьшается пропорционально увеличению толщины снежного покрова, а при таянии весной быстро восстанавливается до прежнего уровня. Вариация составляет десятки процентов. Во-вторых, происходят относительно короткие (до суток) возрастания потока гамма-излучения при осадках. Амплитуда возрастания также составляет десятки процентов. Длительность таких возрастаний зависит от продолжительности выпадения осадков. Оба эти эффекта наблюдаются как в Апатитах, так и в Баренцбурге. Измерения гамма-фона выполняются однотипными детекторами на основе кристалла NaI(Tl), калиброванными по известным линиям элементов. Детекторы защищены свинцовым экраном от излучений, идущих от земли и предметов. Проведенные в Апатитах дополнительные эксперименты и радиоактивный анализ осадков показали, что радионуклиды в осадках отсутствуют. Обнаруженные вариации наблюдаются только в электромагнитной компоненте, возникающей в атмосфере от космических лучей. Особенно значимы данные станции “Баренцбург”. Она находится в зоне вечной мерзлоты, вдали от населенных и промышленных зон – на удаленном острове (около 1000 км до материка). В качестве предварительной гипотезы используется предположение, что излучение возникает от легких заряженных частиц, набирающих дополнительную энергию в электрических полях дождевых облаков. Дождевые облака обладают электрическими полями с напряженностью до 10 кВ/м. Такие поля не вызывают грозových разрядов и не наблюдаемы, однако увеличивают энергию частиц вторичных космических лучей, что в конечном итоге (через эффект тормозного излучения) приводит к наблюдаемому явлению.

## ОСОБЕННОСТИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПРОМЫСЛА ТРЕСКИ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В 2009–2017 ГОДАХ

Г. Г. Балякин, М. А. Губанищев, В. А. Ившин

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск, Россия

Воды архипелага Шпицберген являются неотъемлемой частью экосистемы Баренцева моря. Уникальность вод архипелага заключается в их значительной биопродуктивности. Основными объектами отечественного промысла в этом районе являются треска, пикша, морские окуни, черный палтус (Исследования ..., 2004).

В данной работе рассмотрены особенности распределения промысловых концентраций трески и пикши на Западном Шпицбергене и в водах к северу от него в летне-осенний период 2009–2017 гг. Ареал обитания рыб связан с климатическими изменениями условий внешней среды. По термическому состоянию вод Шпицбергенского течения анализируемый период соответствует категории теплых и аномально теплых лет.

В качестве исходного материала для анализа отечественного промысла трески и пикши в 2009–2017 гг. использовались данные суточных судовых донесений (из базы ПИНРО). Статистические данные по вылову и производительности промысла, а также видовому составу уловов выбраны из базы ПИНРО “Промысловая информация”. Географическая привязка отдельных участков моря основывалась на положении промысловых районов Баренцева моря (Карта ..., 1957).

Для анализа условий среды использованы материалы глубоководных океанографических наблюдений, выполненных в ходе совместной российско-норвежской экосистемной съемки Баренцева моря в августе–сентябре 2009–2017 гг. Также были привлечены данные по температуре поверхностного слоя воды залива Грэн-фьорд гидрометеорологической обсерватории “Баренцбург”. Уровень термического состояния вод на стандартных разрезах XIX, XXXI, LI оценивался по количественному показателю, в качестве которого использовалась величина среднеквадратического отклонения температуры воды ( $\sigma_t$ ) (Терещенко и др., 1985). Для оценки величины промыслового запаса трески и пикши использованы материалы Рабочей группы ИКЕС по арктическому рыболовству (Report ..., 2017).

С 1999 года в Баренцевом море отмечается теплая климатическая фаза (Карсаков, 2007; Воды ..., 2016), что в сочетании с ростом промыслового запаса трески и пикши обусловило расширение их нагульного ареала и увеличение объемов вылова. В условиях теплых и аномально теплых лет треска имеет широкое северное и северо-восточное распределение и удерживается на окраинах нагульного ареала продолжительное время. Это способствовало увеличению продолжительности ведения эффективного промысла трески и пикши на Западном Шпицбергене и в водах к северу от него в последнее десятилетие. При благоприятных погодных условиях промысел начинался в мае и заканчивался в декабре.

Условия внешней среды на Западном Шпицбергене и к северу от него зависят главным образом от интенсивности адвекции вод Шпицбергенского течения. В 2009–2017 годах наблюдалось увеличение промысловой значимости этих районов в результате усиленной адвекции атлантических вод.

Карты распределения промысловых судов дают наглядное представление о географии промысла, путях миграций рыб и их промысловых скоплениях (Атлас ..., 2014). Акватория устойчивого распределения плотных скоплений рыбы вдоль Западно-Шпицбергенского течения последнее десятилетие постепенно расширялась на север и в 2009 г. практически достигла  $81^\circ$  с. ш.

Вылов рыбы на Западном Шпицбергене с 2006 по 2007 гг. увеличился практически в 7 раз – с 2.5 до 17.9 тыс. т. При этом рост промыслового запаса трески по данным ИКЕС в этот период составил 25 %. Последние годы объем добычи в этом районе постоянно возрастал и в 2010 г. достиг максимального значения – 35 тыс. т.

В 2009 году российские траулеры впервые в истории начали вести промысел трески и пикши севернее  $80^\circ$  с. ш. Следует отметить, что это самый северный крупномасштабный промысел тресковых в мире. С 2009 по 2017 годы отечественные суда ежегодно вылавливали от 0.2 до 6.5 тыс. т в водах к северу от Западного Шпицбергена. Основу уловов составляла треска (75–98 %) и пикша (2–23 %).

В результате анализа промысловой статистики выяснилось, что рост отечественного вылова на Западном Шпицбергене и в водах к северу от него был связан не только с благоприятными условиями внешней среды и высокой биомассой рыбы в Баренцевом море в рассматриваемый период, но и с изменением российского законодательства. Так, по постановлению Правительства РФ № 486 от 30 июня 2008 г. водные биологические ресурсы, добытые (выловленные) российскими рыбопромысловыми судами при осуществлении промышленного рыболовства в Баренцевом море, и произведенная из них рыбная и иная продукция подлежат доставке на территорию Российской Федерации. Данное постановление не распространяется на биоресурсы, добытые за пределами географических границ Баренцева моря, куда попадают промысловые районы Западного Шпицбергена и вод к северу от него. Тем самым рыбопродукция удешевляется, и появляется экономический стимул вести промысел за пределами Баренцева моря.

Таким образом, анализ особенностей распределения трески и пикши в 2009–2017 гг. на Западном Шпицбергене и к северу от него показал, что они определены конкретными биотическими и абиотическими условиями. Пространственное распределение трески и пикши в Баренцевом море в эти годы было характерным для теплых и аномально теплых лет. Рост промысловых усилий и вылова в этих районах в большей степени был связан с административными и экономическими факторами.

### Литература

- Атлас* климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878–2013) / Г.Г. Матишов, В.Г. Бердников, А.П. Жичкин и др. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
- Воды* Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов, А.Л. Карсаков, М.Ю. Анциферов. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2016. 260 с.
- Исследования* ПИНРО в районе архипелага Шпицберген. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2004. 414 с.
- Карта* промысловых районов Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1957. Вып. 10. Приложение.
- Карсаков А.Л.* Закономерности и особенности режима вод Баренцева моря (по наблюдениям на вековом разрезе “Кольский меридиан”): Дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск, 2007. 198 с.
- Терещенко В.В., Двинина Е.А., Боровая Л.И.* Справочный материал по температуре воды в Баренцевом море. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1985. 72 с.
- Report of the Arctic Fisheries Working Group (AFWG) Copenhagen, Denmark. ICES CM 2017/ACOM:06. 486 p.

## СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В 2016 И 2017 ГОДАХ

**С. В. Баранов, В. Э. Асминг, А. Н. Виноградов, А. В. Федоров**

Кольский филиал ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН”, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

Рассматриваются результаты мониторинга сейсмичности района архипелага в 2016–2017 гг., осуществляемого Кольским филиалом ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН” (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) с помощью региональной сети сейсмических станций: BRBA, BRBB (КоФ ФИЦ ЕГС РАН), KBS (IRIS), SPITS (Норвегия, NORSAR), HSPB (Институт геофизики Польской академии наук), VJO1 (Университет Бергена). Данные со всех станций сети Шпицбергена поступают в КоФ ФИЦ ЕГС РАН в г. Апатиты в режиме времени близком к реальному, где с помощью специально разработанного программного обеспечения (Система ..., 2018) выполняется обнаружение, локация и определение энергетических параметров сейсмических событий.

В 2016 и 2017 годах в районе архипелага Шпицберген и прилегающей акватории (область с координатами 72–85° с. ш. и 8° з. д.–40° в. д.) было зарегистрировано около 2000 землетрясений с магнитудами  $M_L$  от 1.5 до 5.7.

В эти годы землетрясения с  $M_L > 3$  происходили на хребтах Мона, Книповича, Гаккеля, а также Шпицбергенской зоне разломов, расположенной в северной части хребта Книповича. Сейсмичность этих территорий связывают с ультра медленным спредингом океанического дна вдоль хребтов (Иванов и др., 1968; Bird et al., 2002; Аветисов, 2006; Schlindwein et al., 2007). Вместе с тем, согласно

данным о тензорах сейсмического момента сильных землетрясений, значительный вклад в сейсмичность этих хребтов также вносит смещение Евразийской плиты относительно Североамериканской (Vinogradov, Baranov, 2012). Сильнейшее в рассматриваемом периоде землетрясение произошло в Шпицбергенской зоне разломов к северо-востоку от о. Западный Шпицберген и имело магнитуду 5.7.

Окраина Баренцевоморского шельфа является практически асейсмичной за исключением зоны в проливе Стур-фьорд, где в 21.02.2008 г. произошло сильнейшее за всю историю инструментальных наблюдений на шельфе Баренцева моря землетрясение с магнитудой  $M_w = 6.1$ . Оно вызвало сильнейший афтершоковый процесс (Баранов, 2013; Баранов, Виноградов 2010). К настоящему времени сейсмическая активность района пролива Стур-фьорд все еще не вернулась к уровню до 2008 г. В 2016–2017 годах эта зона являлась наиболее активной – зарегистрировано два землетрясения с  $M_L \geq 5$ . Эти события примечательны тем, что они имели близкие магнитуды, причем второе событие произошло через 27 с после первого в том же месте. Географическая и временная близость этих землетрясений привела к наложению сейсмограмм этих событий, поэтому второе событие отсутствует в каталогах мировых агентств за исключением каталога ФИЦ ЕГС РАН.

Определение гипоцентра первого землетрясения 29.03.2016 г. выполнялась по первым вступлениям Р-волн с использованием данных 10 станций, включая станции сети Шпицбергена, а также станций ARCES (NORSAR) в Северной Норвегии и PRYB, TER, APA (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) в Мурманской области. В результате получены следующие значения: время в очаге – 10:32:09 (UTC); координаты гипоцентра –  $77.859^\circ$  с. ш.,  $21.026^\circ$  в. д.; глубина – 27 км. Мы считаем, при нечетких вступлениях S-волн и наличия большого числа станций, зарегистрировавших событие, такой способ локации более предпочтительным по сравнению с использованием фаз Р- и S-волн, поскольку определение времени вступления S-волны менее точно, чем Р-волны.

Используя время прихода S-волны второго события на региональные станции BRBA, HSPB, NORPEN, KBS и координаты первого события, мы рассчитали время прихода Р-волны от второго события на станции, по которым выполнялось определение координат гипоцентра. На всех станциях вступление Р-волны от второго события скрыто кодой Р-волны от первого события. Вступление S-волны от второго события просматривается в диапазоне частот 2–10 Гц только на станциях, удаленных не более чем на 250 км от эпицентра. На остальных же станциях это вступление скрыто кодой S-волны. Исходя из соотношения максимальных амплитуд волн S и совпадения их периодов, было установлено, что магнитуды первого и второго землетрясений близки, а плоскости разрыва в очагах имеет разную ориентацию.

## Литература

- Аветисов Г. П. Некоторые параметры землетрясений Срединно-Арктического сейсмического пояса // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. 2006. № 6. С. 176–187.
- Баранов С. В. Афтершоковый процесс землетрясения 21.02.2008 г. в проливе Стур-фиорд (архипелаг Шпицберген) // Вулканология и сейсмология. 2013. № 3. С. 1–15.
- Баранов С. В., Виноградов А. Н. Возможные причины аномальной сейсмической активности в проливе Стур-фиорд (архипелаг Шпицберген) в 2008–2009 годах // Вестн. Санкт-Петерб. гос. ун-та. Сер. 7. 2010. Вып. 4. С. 23–31.
- Иванов С. С., Карасик А. М., Соколов В. Н. Сейсмологические доказательства влияния срединно-океанического хребта на северо-западную окраину Европейского континента // Тр. X генеральной ассамблеи ЕСК. 1968. Т. 2. С. 205–213.
- Система автоматического мониторинга сейсмичности Европейской Арктики / А. В. Федоров, В. Э. Асминг, З. А. Евтюгина, А. В. Прокудина // Сейсмические приборы. 2018. Т. 54, № 1. С. 29–39. DOI: 10.21455/si2018.1-3.
- Bird P., Kagan Y. Y., Jackson D. D. Plate tectonics and earthquake potential of spreading ridges and oceanic transform faults // Plate Boundary Zones, Geodynamics Series / S. Stein, J. T. Freymueller (Eds.). Washington DC: Am. Geophys. U., 2002. Vol. 30. P. 203–218.
- Schlindwein V., Muller C., Jokat W. Microseismicity of the ultraslow-spreading Gakkel ridge, Arctic Ocean: a pilot study // Geophys. J. Int. 2007. Vol. 169. P. 100–112.
- Vinogradov A. N., Baranov S. V. Recent geodynamic regime of the Eurasia – North American interplate boundary: Evidences from seismology of Arctic // MSTU. 2012. Vol. 15, № 2. P. 435–438.

## ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ЛОКАЛЬНЫЕ ФЛОРЫ МХОВ ШПИЦБЕРГЕНА

О. А. Белкина, А. Ю. Лихачев

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,  
г. Кировск, Мурманская область, Россия

Мхи являются важнейшим компонентом арктических экосистем, вносящим большой вклад в общее биологическое разнообразие, сукцессионные процессы, создание или поддержку стабильности экотопов, а также в продукционный процесс в тундрах и полярных пустынях.

Изучено восемь локальных флор мхов архипелага Шпицберген. Четыре из них расположены на о. Северо-Восточная Земля – Земля Принца Оскара, окрестности Сетербухты в юго-восточной части Дуве-фьорда, Киннвики и Нордвики в Мерчисон-фьорде. Четыре находятся на о. Западный Шпицберген – долины Рейндален и Линнедален, окрестности пос. Пирамида и Бокк-фьорда. Наши данные по бриофлоре Бокк-фьорда дополнены сведениями из работы (Frisvoll, Elvebackk, 1996). Согласно зонированию Арктики В. Д. Александровой (1977), Северо-Восточная Земля относится к зоне полярных пустынь, а о. Западный Шпицберген – к зоне тундр, подзоне арктических тундр. Моховые флоры различаются зональными особенностями. Кроме того, в высоких широтах наблюдается эффект мозаичности, при котором в сходных условиях встречается разный набор видов мхов, включая широко распространенные, что обусловлено в том числе и случайными факторами (поступление диаспор, особенности микроусловий и др.).

Вместе с тем, ряд экологических факторов влияют на флоры мхов однотипно и вполне предсказуемо. Например, влияние состава горных пород, воздействие морских, особенно колониальных птиц, хозяйственная деятельность человека.

**Состав горных пород**, на наш взгляд, является вторым по значимости естественным экологическим фактором для локальных бриофлор после климатического. На архипелаге преобладают породы, содержащие большое количество доступного растениям кальция (карбонаты, известняки, сланцы, доломиты и др.). Они распространены на территории большинства изученных флор (Bedrock ..., 2002). “Кислые” породы представлены в долине Рейндален (речные и морские отложения, песчаники, уголь), на Земле Принца Оскара (граниты) и, в значительной мере, в юго-восточной части Дуве-фьорда (гнейсы, амфиболиты с гранитами).

Видовое богатство “карбонатных” флор мхов несколько выше, чем “кислых”. Соотношение числа видов Земли Принца Оскара, Нордвики и Киннвики составляет 77:85:96 соответственно, в тундровых бриофлорах долин Рейндален, Линнедален и Бокк-фьорда – 115:132:146 соответственно. При этом обследованная площадь Земли Принца Оскара приблизительно равна Киннвики и превышает Нордвики, а изученная территория Бокк-фьорда меньше таковых Рейндален и Линнедален.

Во флорах Земли Принца Оскара и в долине Рейндален в списке отсутствует сходный набор более или менее частых видов-базифитов и субнейтрофитов-базифитов (Dierßen, 2001). Группа ацидофитов и ацидофитов-субнейтрофитов не является столь же показательной и широко представлена в разных локальных флорах архипелага.

Геологические породы существенно влияют на таксономические спектры локальных флор. В арктических тундрах на “кислых” породах преобладает род *Sphagnum*, сем. Sphagnaceae занимает вторую позицию, тогда как в карбонатных тундровых флорах эти род и семейство практически не присутствуют. Большую роль играет *Warnstorfia*, но всего одним видом представлен род *Encalypta*, более многочисленный (3–6 видов) и чрезвычайно распространенный на других территориях.

На Земле Принца Оскара первое место по числу видов занимает род *Pohlia*, второе – *Polytrichum*, тогда как в остальных флорах превалирует род *Bryum*, а *Polytrichum* малочисленен. Здесь не найдены представители родов *Ditrichum*, *Distichium*, *Catoscopium*, *Dichodontium* и почти всех родов из сем. Pottiaceae, которые являются кальцефилами и встречены на “карбонатных” территориях.

Состав доминантов растительных сообществ и групп “активных видов” (Юрцев, 1968) значительно различается. Например, в близких по числу видов флорах Земли Принца Оскара и Нордвики среди доминантов моховых сообществ нет общих видов: *Warnstorfia sarmentosa*, *Sanionia*



*uncinata*, *Conostomum tetragonum*, *Polytrichastrum alpinum*, *Andreaea rupestris* – Земля Принца Оскара и *Ditrichum flexicaule*, *Orthothecium chryseon*, *Syntrichia ruralis* – Нордвики.

**Орнитогенный фактор.** Наиболее сильно на биоценозы влияет помет птиц, но сами птицы также воздействуют на моховой покров, вытаптывая его на часто посещаемых “кормовочных столиках” и выщипывая пучки мхов в тундрах. Изучены участки, расположенные под птичьими базарами, на горах Вардеборг в долине оз. Линне и флора в Мерчисон-фьорде, также на зданиях и технических сооружениях в пос. Пирамида.

Территория, непосредственно прилегающая к птичьим колониям, неблагоприятна для растений. По мере приближения к гнездовьям видовое разнообразие мхов снижается, вплоть до полного исчезновения. Выше всех по склону поднимаются *Sanionia uncinata* и *Bryum* spp. На удалении 10–20 м от скал с гнездами количество видов мхов резко возрастает. В жестких климатических условиях архипелага умеренная эвтрофикация несколько “сглаживает” негативное влияние климата и эдафических условий на некоторые мхи, что проявляется в поселении более южных или экологически чуждых видов.

Места гнездований поморников короткохвостых, расположенные на горизонтальных переувлажненных участках, создают дополнительную мозаичность растительного покрова и обогащают локальную флору специфическими видами сем. *Splachnaceae*.

Таким образом, влияние птиц на бриофлору зависит от степени этого воздействия. Умеренное и слабое его влияние, особенно в жестких климатических условиях, способствует повышению биоразнообразия. На побережье Шпицбергена орнитогенные участки не занимают больших площадей и не влияют на локальную флору мхов так существенно, как на малых островах, например, в Мурманской области.

**Антропогенный фактор.** Обследованы окрестности Мимердален и пос. Пирамида, длительное время функционировавший как поселок российских горняков, но в 1998 г. закрытый и посещаемый в настоящее время преимущественно туристами.

Из 160 видов, встреченных в районе Пирамиды, 20 видов (14 %) обнаружено только в пределах поселка и прилегающих нарушенных участках. Многие из них являются ацидофильными видами, хотя в районе преобладают карбонатные породы, известняки. Например, *Aulacomnium palustre* произрастает на искусственно созданном почвенном слое – на газоне центральной улицы. Различный мусор (доски, канаты и др.) способствуют закреплению растений в дельте Мимерэльвы, как, например, *Tortula cernua* и *Bryobrittonia longipes*. Вместе с тем, 38 % видов, отмеченных в окрестностях Пирамиды, не найдены в поселке. Хозяйственная деятельность, изменяя среду в разной степени, способствует поселению нехарактерных для данной местности видов мхов и в то же время оставляет возможность сохранения многих аборигенных видов на мало нарушенных участках.

Таким образом, в условиях высокоширотной Арктики местные условия могут оказывать влияние, сопоставимое с влиянием макроклиматических условий, на видовой состав и структуру флоры мхов, группы доминантов и активных видов.

## Литература

Александрова В. Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 189 с.

Bedrock map of Svalbard and Jan Mayen. Scale 1:750000. Theme map № 33 / W. K. Dallmann, Y. Ohta, S. Elvevold, D. Blomeier. Norsk Polar Institute, 2002.

Dierßen K. Distribution, ecological amplitude and phytosociological characterization of European bryophytes // Bryophytorum Bibliotheca / S.R. Gradstein (Ed.). Bd 56. Berlin, Stuttgart: Gebrüder Borntraeger, 2001. 289 p.

Frisvoll A. A., Elvebakk A. Bryophytes // A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Part 2. // Norsk Polarinstitutt Skifter. 1996. № 198. P. 57–172.

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЛЕДОВОЙ ФАУНЫ И НЕКОТОРЫХ ВИДОВ ЗООПЛАНКТОНА В ПРИКРОМОЧНОЙ ЗОНЕ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

И. В. Берченко, О. Л. Зимина

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Уменьшение ледового покрова в Арктике негативно скажется на распространении подледной фауны, тесно ассоциированной со льдом. Последние данные, полученные в ходе двух экспедиций ММБИ к ледовой кромке, свидетельствуют о том, что подледная среда обитания, возможно, имеет более сложную структуру, чем представлялось ранее. Без понимания этой структуры, а также ее влияния на пространственное распределение планктонных организмов точная оценка воздействия на морскую биоту такого фактора как уменьшение площади арктического льда вряд ли представляется возможной.

В планктонном материале, отобранном в конце ноября 2017 г. вблизи границы распространения ледового покрова в северо-западной части Баренцева моря, нами были обнаружены высокие концентрации видов *Metridia longa* и *Calanus* sp. в поверхностном слое воды, что противоречит общепринятым представлениям вертикального распределения данных видов в указанный период года. Подобное явление отмечалось ранее лишь однажды и также в непосредственной близости от льда (январь 2012 г.).

Другой интересной находкой можно считать присутствие *Jaschnovia brevis* – типичного представителя автохтонной ледовой фауны на значительном удалении от ледовой границы. Сравнение материала, полученного в конце ноября и в июле, свидетельствует о том, что распространение данного вида зависит не столько от наличия ледового покрова как такового, сколько, вероятно, от специфических условий в поверхностном слое воды, формирующихся в процессе образования, существования и разрушения льда.

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД ФЬОРДОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Е. В. Блошкина, К. В. Фильчук, И. В. Рыжов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Анализируются результаты океанографических съемок, выполненных в заливах Ис-фьорд, Булле-фьорд и Грэн-фьорд в летние месяцы 2011–2017 гг. в экспедициях ААНИИ на базе Российского научного центра на архипелаге Шпицберген. С целью описания современного состояния вод этих заливов рассматриваются особенности распределения водных масс за исследуемый период, различные характеристики вод фьордов (средняя температура и соленость), содержание пресных вод, теплосодержание и др. Проводится сравнение этих характеристик с таковыми, полученными для других фьордов Западного Шпицбергена за последние несколько лет (Promińska et al., 2017). Водные массы в заливах выделяются согласно классификации Сведсена (The physical ..., 2002), предложенной для системы Конгс-фьорд–Кросс-фьорд (Западный Шпицберген) и использованной в дальнейшем для анализа водных масс в Ис-фьорде (Nilsen et al., 2006).

Для Ис-фьорда в летний период 2015–2017 гг. характерным являлось наличие четырех водных масс: поверхностной (ПВ), располагающейся от поверхности до глубины 30–40 м; промежуточной (ПрВ), залегающей под ПВ; трансформированной атлантической (ТАВ) и атлантической (АВ). Распределение ТАВ и АВ в акватории фьорда имело сложную структуру, а их объем характеризовался значительной межгодовой изменчивостью. Атлантическая водная масса чаще всего была представлена в виде одного или нескольких языков, максимальный объем АВ наблюдался в основном вблизи горла Ис-фьорда. В июне 2014 г. была зафиксирована ситуация, когда вся акватория

фьорда была занята АВ. Схожая ситуация наблюдалась и в других заливах Западного Шпицбергена – Конгс-фьорд и Хорнсунн – в летние месяцы 2014 г. (Promińska et al., 2017).

Для Булле-фьорда в летние месяцы 2016–2017 гг. было характерно наличие четырех водных масс: ПВ, ПрВ, локальной (ЛВ) и зимней (ЗВ). Зимняя водная масса наблюдалась на глубине от 60 м до дна. Над ней располагалась ЛВ в слое 40–60 м. В 2014 году из-за сложившейся в Ис-фьорде гидрологической ситуации ПВ в Булле-фьорде отсутствовала. В поверхностном слое была зафиксирована ПрВ, под ней АВ. Зимняя и летняя водные массы характеризовались высокими значениями солёности по сравнению с остальными годами (в среднем выше на 0.2 ‰), что также связано с особенностями гидрологической ситуации в Ис-фьорде. Минимальные значения температуры зимней водной массы (–1.8 °С) были зафиксированы в июле 2017 г., максимальные значения солёности – в 2016 г. (34.98 ‰).

Для Грён-фьорда в летний период 2011–2013 и 2015–2017 гг. было характерно наличие четырех водных масс: ПВ, ПрВ, ТАВ и АВ. Минимальное значение солёности ПВ было зарегистрировано в августе 2011 г. – 3.7 ‰, а ее температуры в июле 2017 г. – 9.2 °С. В июне 2014 г. в заливе было отмечено присутствие одной водной массы – АВ. В целом, для Грён-фьорда характерна значительная межгоддовая изменчивость объема водных масс, заполняющих залив.

В 2016 году был зафиксирован новый исторический максимум температуры в слое АВ в Ис-фьорде – 6.8 °С, что почти на 0.5 °С выше предыдущего рекорда, наблюдавшегося в 2006 г. (Warming ..., 2013). Также в 2016 г. были зафиксированы максимальные средние значения температуры и теплосодержания в верхнем 40-метровом слое в Ис-фьорде, Булле-фьорде и Грён-фьорде. В целом 2016 г. стал самым теплым для этих заливов за исследуемый период.

## Литература

*Nilsen F., Gjevik, B., Schauer U.* Cooling of the West Spitsbergen current: isopycnal diffusion by topographic vorticity waves // *J. Geophysical Res.* 2006. Vol. 111. DOI: 10.1029/2005JC002991.

*Promińska A., Cizek M., Walczowski W.* Kongsfjorden and Hornsund hydrography – comparative study based on a multiyear survey in fjords of west Spitsbergen // *Oceanologia.* 2017. Vol. 59. URL: doi.org/10.1016/j.oceano.2017.07.003.

*The physical environment of Kongsfjorden-Krossfjorden, an Arctic fjord system in Svalbard / H. Svendsen, A. Beszczynska-Moller, J. O. Hagen et al.* // *Polar Res.* 2002. Vol. 21. P. 133–166.

*Warming of atlantic water in two West Spitsbergen fjords over the last century (1912–2009) / A. K. Pavlov, V. Tverberg, B. V. Ivanov et al.* // *Polar Res.* 2013. Vol. 32(1). URL: http://dx.doi.org/10.3402/polar.v32i0.11206.

## ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ЛЬДА В ЗАЛИВЕ ДИКСОН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

**П. В. Богородский, К. В. Фильчук, Н. А. Куссе-Тюз, И. В. Рыжов**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются результаты океанографических съемок измерений залива Диксон-фьорд, выполненных с неподвижного (припайного) льда в апреле 2012 и 2013 гг. Помимо особенностей его термохалинной структуры, измерения выявили зону пониженной толщины припая (на 15–20 см тоньше окружающих льдов) с размерами порядка сотен метров в поперечнике. Квазистационарное положение этой зоны, вместе с данными измерений температуры и солёности подледного слоя, указывает на локальный поток тепла от атлантических вод к нижней границе припая как на возможную причину ее происхождения. Следствием замедления темпов роста льда явилось погружение верхней границы припая под воду под тяжестью выпавшего снега и образование снежного льда. Подобный эффект является типичным для прибрежных участков морского льда и неоднократно наблюдался на внутренних акваториях Шпицбергена (Modelling ..., 2015). Для его количественной оценки использовалась термодинамическая модель, основанная на уравнениях

теплового баланса поверхностей раздела снежно-ледяного покрова с учетом закона Архимеда (Leppäranta, 1983). Модель воспроизводит нарастание снежно-ледяного покрова при заданном воздействии атмосферного и океанического пограничных слоев, а также соответствующее изменение составляющих теплового и радиационного баланса его поверхности. Атмосферный форсинг задавался среднесуточными значениями метеопараметров зимы 2011/2012 гг. в бухте Петунья, расположенной примерно в 20 км от района измерений в Диксон-фьорде, полученными специалистами Университета им. Масарика (г. Брно, Чешская Республика) под руководством доктора К. Ласки и любезно предоставленными им в распоряжение авторов. К сожалению, облачность и динамика выпадения твердых осадков не измерялись и при расчетах полагались постоянными, что, безусловно, оказало негативное влияние на точность количественных характеристик исследуемого процесса. Рассчитанный рост снега, снежного и конгеляционного льда для различных потоков тепла при постоянной скорости выпадения нового снега и темпов его уплотнения свидетельствует о чувствительности толщины снежно-ледяного покрова льда к вариациям потока тепла на его внешних границах. Так, для принятых входных данных модели и потоке тепла из моря  $5 \text{ Вт/м}^2$  толщина конгеляционного льда не превышает 20 см, что почти в 1.5 раза меньше наблюдавшихся весной 2012 г. в заливе Диксон-фьорд и в 5 раз меньше рассчитанной при тех же условиях, но при отсутствии снега. Причиной такого разброса может быть реальный характер снегонакопления, при котором начальный и самый быстрый рост льда вполне мог происходить без выпадения снега (в проделанных расчетах снегонакопление и рост льда происходили одновременно), равно как и достаточно грубая параметризация снегонакопления, постоянство потока тепла из моря, а также расстояние между местами атмосферных и ледовых измерений. Тем не менее, несмотря на использование в модели ряда упрощающих предположений, результаты выполненного исследования показали реальность функционирования описанного механизма энергообмена моря и атмосферы, а также выявили ряд его особенностей, формирующих локальные особенности взаимодействия обеих сред.

### Литература

*Leppäranta M.* A growth model for black ice, snow ice and snow thickness in subarctic basins // Nordic Hydrology. 1983. P. 59–70.

*Modelling snow ice and superimposed ice on landfast sea ice in Kongsfjorden, Svalbard* / C. Wang, B. Cheng, K. Wang et al. // Polar Res. 2015. Vol. 34. Iss. 1. DOI: 10.3402/polar.v34.20828.

### РОСТ ПРИПАЯ И ЗАМЕРЗАНИЕ ДНА ЗАЛИВА БРАГАНЦАВАГЕН (ВАН-МАЙЕН-ФЬОРД, ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

П. В. Богородский<sup>1</sup>, К. В. Фильчук<sup>1</sup>, А. В. Марченко<sup>2,3</sup>, А. В. Пнюшков<sup>4</sup>, И. В. Рыжов<sup>1</sup>, Е. Г. Морозов<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Университетский центр на Шпицбергене, г. Лонгйир, Норвегия

<sup>3</sup>Норвежский технологический институт, г. Тронхейм, Норвегия

<sup>4</sup>Международный центр арктических исследований, г. Фэрбенкс, США

<sup>5</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

Приводятся результаты экспериментальных и теоретических исследований мелководного залива Браганцаваген (Ван-Майен-фьорд, о. Западный Шпицберген). Наблюдения включали измерения толщины снежно-ледяного покрова, его температуры и солёности, а также STD-измерения на ряде гидрологических разрезов и донных постановок в марте 2016 и 2018 гг. и являлись продолжением исследований Университетского центра на Шпицбергене, начатых здесь в 2014 г. (Shestov et al., 2015). Для расчета нарастания припая и его влияния на сезонное промерзание донных осадков применялась термодинамическая модель, рассматривающая контактирующие слои воздуха, снега, льда, воды и грунта как единую систему, связанную тепловым взаимодействием, что принципиально отличает ее от аналогов для отдельных сред. Модель использует оба известных способа локализации области фазового перехода (Тепломассоперенос ..., 1997) – классический

(фронтный) для припая и в протяженной области (двухфазной зоне) – для донных осадков. Подледный слой воды полагается однородным вследствие конвективного перемешивания при температуре, равной температуре замерзания, понижающейся за счет отторжения соли при нарастании льда. Атмосферный форсинг задавался данными метеостанции зимы 2015/2016 г. пос. Свеагрува, расположенной на северо-западном берегу залива. Начало расчетов соответствовало устойчивому переходу температуры воздуха через точку замерзания и уточнялось по ледовым картам архипелага. Результаты моделирования показали, что льдообразование на мелководье существенно увеличивает соленость морской воды. При глубине 0.5 м она достигала 160 ‰, что соответствует температуре замерзания ниже  $-9$  °С. Сохранение незамерзающего подледного слоя теоретически исключает смерзание припая с дном даже при самых низких температурах, что не противоречит результатам лабораторных экспериментов по адгезии льда в соленой воде (Хименков, Брушков, 2003). Как следует из расчетов, на глубинах, превышающих 3 м, влияние увеличения концентрации соли ослабевает и его влияние на толщину припая становится незначительным. В реальности, благодаря горизонтальному перемешиванию, соленость не достигает таких значений. Вместе с тем, анализ гидрологических измерений показал малую величину приливных колебаний (0.2–0.5 м). При незначительности обусловленных ими реверсивных адвективных потоков соли, влияние прилива не оказывает большого эффекта на интенсивность льдообразования на временных масштабах порядка сезона. Вероятно, модельный рост солености характерен для локальных застойных зон с глубинами менее 1 м. Как и ожидалось, понижение температуры воды приводит к промерзанию грунта, причем наиболее быстро и глубоко замерзает дно на минимальной глубине (около 1 м на глубине 0.5 м). При этом временная изменчивость льдообразования в слое воды значительно выше, чем донных отложений. Полученные оценки соответствуют как данным прямых измерений припая, так и представлениям о процессе замерзания донного грунта (Nearshore ..., 2007). Однако, из-за неизвестности его тепломассобменных свойств, вопрос о количественных оценках процесса остается открытым и может быть прояснен при постановке специальных полевых экспериментов.

### Литература

- Тепломассоперенос* в промерзающих и протаивающих грунтах / В. И. Васильев, А. М. Максимов, Е. Е. Петров, Г. Г. Цыпкин. М.: Наука, 1997. 224 с.
- Хименков А. Н., Брушков А. В. Океанический криолитолиз. М.: Наука, 2003. 336 с.
- Nearshore Arctic subsea permafrost in transition / V. Rachold, D. Y. Bolshiyarov, M. N. Grigoriev et al. // EOS: Trans. AGU. 2007. Vol. 88(13). P. 49–156.
- Shestov A., Wrangborg D., Marchenko A. Hydrology of Braganzavågen under ice-covered conditions // Proc. 23<sup>rd</sup> Int. Conf. Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions (POAC 2015), June 14–18, 2015, Trondheim, Norway. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science and Technology, 2015. P. 1059–1069.

## СОДЕРЖАНИЕ И ЭМИССИЯ МЕТАНА В АТМОСФЕРУ В ДОМИНАНТНЫХ ЛАНДШАФТАХ ТИПИЧНЫХ ТУНДР ЗАПАДНОГО СЕКТОРА РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

А. А. Васильев<sup>1,2</sup>, И. Д. Стрелецкая<sup>3</sup>, Г. Е. Облогов<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт криосферы Земли ТНЦ СО РАН, г. Тюмень, Россия

<sup>2</sup>Тюменский государственный университет, г. Тюмень, Россия

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

В связи с потеплением климата в литературе активно обсуждается проблема эмиссии метана в атмосферу за счет деградации мерзлоты и ее влияния на прогнозируемые климатические изменения. Оценки возможных последствий выделения метана при деградации мерзлоты во многом расходятся. По мнению многих исследователей (АМАР ..., 2015 и др.), дополнительная эмиссия метана из протаивающих субаквальных многолетнемерзлых пород может быть серьезным фактором изменения климата в Арктике. Напротив, по другим оценкам (Streletskiy et al., 2014), эмиссия метана за счет

деградации мерзлоты в континентальных условиях и на шельфе не может существенно повлиять на климат. Столь разные оценки последствий дополнительной эмиссии метана из протаивающих мерзлых толщ в первую очередь связаны с недостаточной изученностью содержания метана в сезонно-талом слое и верхних горизонтах многолетнемерзлых пород, которые и являются источником эмиссии биогенного метана в атмосферу.

Ландшафтная структура типичной тундры в районе Марре-Сале изучалась на основе дешифрирования аэрофотоснимков масштаба 1:2000 и наземных маршрутных наблюдений. Доминантными ландшафтами в ранге урочищ здесь являются дренированные тундры (33 %), увлажненные тундры (17 %), болота (16 %), овраги (11 %), дренированные песчаные поля (11 %) и заболоченные полигональные тундры (9 %). Остальные ландшафты имеют подчиненное значение. Каждый тип ландшафтов в ранге урочища характеризуется специфическими морфологией, литогенной основой, составом пород сезонно-талого слоя, влажностным режимом, типом тундровых почв, растительностью, температурным режимом мерзлоты и глубиной сезонного оттаивания.

Для отбора образцов в каждом доминантном ландшафте в 2016 и 2017 гг. проходились узкие шурфы на всю мощность сезонно-талого слоя с заглублением в мерзлоту на 5–10 см. В 2016 г. опробование проводилось в конце сезона оттаивания (третья декада августа), а в 2017 г. – во второй-третьей декаде июля, что соответствует пику эмиссии метана в атмосферу. Из стенок шурфов методом режущего кольца отбирались цилиндрические образцы грунта объемом 30 см<sup>3</sup> и помещались в шприцы объемом 150 мл. Дегазация отобранных образцов выполнялась методом “head space”. Из шприцов пробы газа перекачивались в 20-миллиметровые стеклянные флаконы с водно-солевым затвором и в таком виде транспортировались в лабораторию.

В конце июля 2017 г. были проведены измерения потоков метана в доминантных ландшафтах дренированной, увлажненной и полигональной тундры, болоте и заболоченном днище оврага. Использовался статический камерный метод. Образцы газа из камеры отбирались в начале ее установки и каждый час в течение трех часов.

Установлено, что содержание метана в доминантных ландшафтах типичной тундры меняется в очень широких пределах. В сезонно-талом слое дренированных и увлажненных тундр и песчаных полей содержание метана составляет всего 5–300 ppm. В обводненных и заболоченных ландшафтах полигональной тундры, болотах и U-образных днищах логов и оврагов содержание метана в сезонно-талом слое достигает 1500–5000 ppm. Понятно, что ландшафты с низким содержанием метана не могут служить более или менее заметным источником эмиссии метана в атмосферу. Напротив, ландшафты с высоким содержанием метана представляют собой существенные источники эмиссии. Учитывая ландшафтную структуру, можно заключить, что только около 30–40 % территории типичной тундры являются источниками эмиссии метана в атмосферу.

Обращает на себя внимание увеличение содержания метана с глубиной, при этом максимальные содержания характерны для мерзлых пород, слагающих промежуточный слой, непосредственно под тальми породами. Это наблюдается во всех типах ландшафтов.

Анализ изотопного состава метана из сезонно-талого слоя показывает, что он характеризуется более тяжелым составом по сравнению с мерзлыми толщами. Средняя величина  $\delta^{13}\text{C}(\text{CH}_4)$  для метана сезонно-талого слоя по 26 образцам составляет  $-63.6$  ‰, стандартное отклонение  $\pm 5.6$  ‰, в то время как в мерзлых породах  $-68.6$  ‰ и  $\pm 7.3$  ‰ соответственно. Таким образом, наблюдается закономерное утяжеление изотопного состава с глубиной с приближением к такому составу метана в мерзлых толщах. Это позволяет утверждать, что в процессе эмиссии метана из сезонно-талого слоя в атмосферу происходит его фракционирование. В первую очередь за счет большей подвижности в атмосферу эмитирует метан с более легким изотопным составом, а в сезонно-талом слое остается метан с более тяжелым составом.

Измерения показали, что максимальный поток метана в атмосферу наблюдается в ландшафтах болот и достигает  $14.4 \pm 3.55$  мг/м<sup>2</sup> в сутки ( $20.3 \pm 5.07$  мл/м<sup>2</sup> в сутки). В обводненных днищах оврагов и логов поток метана составил  $3.1 \pm 0.89$  мг/м<sup>2</sup> в сутки ( $4.43 \pm 1.27$  мл/м<sup>2</sup> в сутки). Однократное измерение потока метана в заболоченной полигональной тундре показало, что в этом типе ландшафтов поток может достигать 100 мг/м<sup>2</sup> в сутки. В остальных типах ландшафтов поток метана в атмосферу близок к нулю.

Таким образом, потоки метана в типичных тундрах Западного Ямала примерно в 1.5–2.0 раза меньше, чем в тундрах Аляски (Long-term ..., 2017).

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 18-05-60004, 16-05-00612).

## Литература

AMAP Assessment 2015: Methane as an Arctic climate forcer. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, Norway, Vii., 2015. 139 p.

*Long-term release of carbon dioxide from arctic tundra ecosystems in northern Alaska* / E. S. Euskirchen, M. S. Bret-Harte, G. R. Shaver et al. // *Ecosystems*. 2017. Vol. 20. P. 960–974.

*Streletskiy D., Anisimov O., Vasiliev A. Permafrost degradation // Snow and Ice-Related Hazards, Risks and Disasters*. New York: Elsevier, 2014. P. 303–343.

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ГЕОФИЗИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ТЕХНИЧЕСКИХ АВАРИЙ

**Ю. А. Виноградов, А. В. Федоров**

Федеральный исследовательский центр “Единая геофизическая служба РАН”, г. Обнинск, Россия

26 октября 2017 г. в районе российского пос. Баренцбург на архипелаге Шпицберген произошла катастрофа. Вертолет МИ-8 авиакомпании “Конверс Авиа”, обслуживающий трест “Артикуголь”, потерпел крушение, когда следовал из законсервированного пос. Пирамида в пос. Баренцбург. На борту находились пять членов экипажа и трое сотрудников НИИ Арктики и Антарктики (Сообщение ..., 2017). Первое сообщение о возможной аварии передала Норвежская спасательная служба в 15 ч 45 мин местного времени. В сообщении говорилось, что российский вертолет пропал с экранов радаров в 15 ч 35 мин, предположительно в районе мыса Хеер, примерно в 2 км от берега, спасатели направили к месту крушения два судна и один вертолет. Погодные условия не способствовали поиску, и так как в предполагаемом месте обломков вертолета обнаружено не было – зона поиска была расширена. Дополнительно к поиску были привлечены беспилотные подводные лодки. Ночью 29 октября к поиску подключились более 40 спасателей МЧС России. Корпус вертолета был обнаружен в 2 км северо-восточнее мыса Хеер на глубине 290 м. В ходе проведения поисково-спасательной операции было найдено тело одного погибшего, два бортовых самописца и поднят со дна корпус вертолета.

Кольский филиал Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН” (КоФ ФИЦ ЕГС РАН) с 1979 г. проводит сейсмологический мониторинг на архипелаге Шпицберген сетью сейсмических станций (Формирование ..., 2012). В 2010 году к сейсмическому мониторингу был добавлен инфразвуковой (Маловичко и др., 2014). Сейсмоинфразвуковой комплекс расположен в районе мыса Хеер, недалеко от вертолетодрома Баренцбурга. Комплекс состоит из широкополосной сейсмической станции Guralp 3-ESP, трех низкочастотных микрофонов, расположенных триангулярно и разнесенных на расстояние 150–180 м друг от друга (Сейсмоинфразвуковой ..., 2014). Данные с комплекса поступают в информационно-обрабатывающий центр КоФ ФИЦ ЕГС РАН в режиме реального времени, где проводится их обработка, анализ и сохранение (Сейсмоинфразвуковой ..., 2012).

26 октября в 15 ч 8 мин 8 с местного времени сейсмостанция сейсмоинфразвукового комплекса записала непонятные сейсмические сигналы, еще через 8 с сильные инфразвуковые сигналы были записаны инфразвуковой частью комплекса. Первичная оперативная обработка полученных сигналов позволила определить точное местоположение их возникновения, совпавшее впоследствии с точностью до 200 м с местом обнаружения упавшего вертолета. Детальный анализ частотного и амплитудного состава полученных сейсмических и инфразвуковых сигналов позволил не только определить точное место и время (которое более чем на 25 мин оказалось раньше, чем было объявлено Норвежской спасательной службой) падения вертолета, но и определить траекторию его движения до момента падения, а также восстановить детали катастрофы.

Результаты работы показывают, что наличие систем комплексного мониторинга позволяет оперативно определять точные места возникновения аварийных ситуаций в сложных арктических условиях, что должно способствовать более оперативному устранению их последствий или осуществлению поисково-спасательных операций.

## Литература

- Маловичко А. А., Виноградов А. Н., Виноградов Ю. А. Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2014. № 2(14). С. 16–23.
- Сейсмоинфразвуковой мониторинг на Шпицбергене / В. Э. Асминг, С. В. Баранов, Ю. А. Виноградов, А. И. Воронин // Сейсмические приборы. 2012. Т. 48, № 3. С. 20–33.
- Сейсмоинфразвуковой мониторинг деструкции ледников (пилотный эксперимент на архипелаге Шпицберген) / Ю. А. Виноградов, В. Э. Асминг, С. В. Баранов и др. // Сейсмические приборы. 2014. Т. 50, № 4. С. 5–14.
- Сообщение ТАСС. 2017. URL: <http://tass.ru/proisshestiya/4708532>.
- Формирование системы сейсмологического и инфразвукового мониторинга в Западной Арктике в XX веке и перспективы ее дальнейшего развития / А. Н. Виноградов, Ю. А. Виноградов, Е. О. Кременецкая, С. И. Петров // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2012. № 4. С. 145–163.

### КОНЦЕНТРАЦИЯ ХЛОРОФИЛЛА В ПЕЛАГИАЛИ ПРИБРЕЖЬЯ И ФЬОРДАХ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

В. В. Водопьянова, П. С. Ващенко, О. П. Калинка

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Планктонные изыскания в районе архипелага Шпицберген на протяжении многих лет ведутся сотрудниками ММБИ и зарубежными исследователями. Изучение содержания и динамики фотосинтетических пигментов микрофитопланктонных сообществ фьордов Шпицбергена представляет особый интерес в связи со сложными гидрологическими условиями, определяемыми характеристиками водных масс вокруг архипелага, влиянием ледников и значительным речным стоком.

Целью работы было изучение пространственной динамики содержания хлорофилла *a* в пелагиали прибрежья архипелага Шпицберген и заливах о. Западный Шпицберген в условиях максимального речного стока в летний период.

В июле 2017 г. в ходе рейса НИС “Дальние Зеленцы” в западных фьордах и прибрежных водах Шпицбергена на 14 станциях выполнен отбор проб воды для дальнейшего определения концентрации хлорофилла *a* пелагического микрофитопланктона. Станции были объединены в произвольные разрезы: I – залив Булле-фьорд–Ис-фьорд, II – залив Грэн-фьорд, III – прибрежные воды, траверз Стур-фьорда. Пробы морской воды объемом от 2 до 3 л отбирали розеткой Hydrobios MWS 12 или батометром OTE PVC по стандартным гидрологическим горизонтам, всего отобрано 76 проб. Фильтрацию воды осуществляли с помощью вакуумного насоса фирмы “GAST”, использовали мембраны Владипор МФАС-ОС-4, размер пор 0.6 мкм. После гомогенизации фильтров пигменты экстрагировали 90 %-м ацетоном. Чистый экстракт отделяли от осадка на центрифуге Опн-8 при 8000 об/мин. Содержание хлорофилла *a* измеряли на UV-Visible спектрофотометре Nicolett Evolution 500 фирмы “Spectronic Unicam”. Концентрацию хлорофилла *a* ( $C_{ха}$ , мг/м<sup>3</sup>) вычисляли по стандартным формулам (ГОСТ ..., 2001).

Океанографические условия в западных фьордах Шпицбергена обусловлены водными массами, окружающими архипелаг, а также усилением речного стока, вызванного деградацией ледников и, соответственно, изменением термохалинной структуры прибрежных акваторий (Результаты ..., 2007). Ис-фьорд – один из самых крупных заливов Западного Шпицбергена, вдаётся вглубь острова более чем на 92 км при ширине устья около 11 км. Глубина в осевой части залива превышает 300 м. Глубоко внутри Ис-фьорда в северо-восточном направлении расположен Булле-фьорд, центральный из трех ответвлений. Его длина 30 км, ширина 5–8 км (Фролова, Дикаева, 2012). Содержание хлорофилла *a* в пределах разреза I (Булле-фьорд–Ис-фьорд) было максимальным в поверхностном слое (2.99 мг/м<sup>3</sup>), наибольшие концентрации отмечены на станциях, выполненных в кутовой части Булле-фьорда, испытывающего влияние ледникового стока. Для центральной и западной части Ис-фьорда характерно взаимоослабляющее действие теплого атлантического течения и ледников.



Концентрация хлорофилла *a* на этом участке в поверхностном слое не превышала  $1.51 \text{ мг/м}^3$ . Вертикальное распределение хлорофилла *a* в пределах выделенного разреза имело тенденцию к его концентрации в слое 0–25 м ( $1.12 \pm 0.53 \text{ мг/м}^3$ ), ниже 50 м содержание хлорофилла значительно снижалось ( $0.27 \pm 0.17 \text{ мг/м}^3$ ). Полученные данные согласуются с литературным: так летом 2002 г. концентрация хлорофилла *a* в Конгс-фьорде (Западный Шпицберген) варьировала от 0.1 до  $1.4 \text{ мг/м}^3$  (Comparison ..., 2009), в августе 2006 г. – от 0.01 до  $2.9 \text{ мг/м}^3$  (The distribution ..., 2009). В Адвен-фьорде в конце июля–августе 2012 г. этот показатель составлял 2–3  $\text{мг/м}^3$ , в сентябре –  $0.5 \text{ мг/м}^3$  (The annual ..., 2017).

Недалеко от входа в Ис-фьорд в южном направлении ответвляется Грён-фьорд, его протяженность около 16.5 км. Ширина залива изменяется от 1.8 км в кутовой части до 5.4 км на границе с Ис-фьордом, глубины – от 50 до 170 м (Фролова, Дикаева, 2012). В Грён-фьорд впадает несколько крупных рек, имеющих значительный сток под влиянием таяния снежного покрова и ледников, и определяющих оптические свойства водной толщи. Летом толщина фотического слоя варьирует от 8 до 13–14 м (Результаты ..., 2007). В Грён-фьорде характер распределения хлорофилла *a* соответствовал тенденциям, отмеченным для разреза I. Максимум концентрации пигмента был зарегистрирован в поверхностном слое кутовой части фьорда ( $1.56 \text{ мг/м}^3$ ), при продвижении к выходу из залива содержание хлорофилла несколько снижалось (до  $1.05 \text{ мг/м}^3$ ). В слое 0–25 м отмечена наибольшая концентрация хлорофилла *a* ( $1.15 \pm 0.39 \text{ мг/м}^3$ ), ниже 50 м содержание пигмента уменьшалось ( $0.28 \pm 0.26 \text{ мг/м}^3$ ).

В прибрежных водах архипелага Шпицберген (траверз Стур-фьорда) концентрация хлорофилла *a* была наименьшей из всех районов исследования. Содержание хлорофилла в поверхностном слое повышалось по направлению от станции, выполненной ближе всего к архипелагу ( $0.30 \text{ мг/м}^3$ ), к станции ( $76^{\circ}26'36''$  с. ш.,  $19^{\circ}34'49''$  в. д.), расположенной на значительном расстоянии от берега ( $0.80 \text{ мг/м}^3$ ). В слое 0–25 м этот показатель составил  $0.44 \pm 0.28 \text{ мг/м}^3$ , ниже 50 м –  $0.19 \pm 0.08 \text{ мг/м}^3$ . Вероятно, более низкие концентрации хлорофилла *a*, по сравнению с разрезами I и II, связаны с отсутствием речного стока, а также с влиянием водных масс окружающих архипелаг.

Таким образом, наибольшие концентрации хлорофилла *a* ( $2.99 \text{ мг/м}^3$ ) были зарегистрированы в слое 0–25 м фьордов о. Западный Шпицберген (Булле-фьорд–Ис-фьорд, Грён-фьорд) и подверженных значительному влиянию речного стока. В прибрежных водах (траверз Стур-фьорда) концентрация этого пигмента в верхней части фотического слоя не превышала  $0.80 \text{ мг/м}^3$ . Ниже 50 м во всех районах исследования содержание хлорофилла *a* существенно снижалось.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 17-14-01268).

## Литература

ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a* // Государственный контроль качества воды. М.: Изд-во стандартов, 2001. С. 551–563.

Результаты комплексных океанографических исследований залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) летом 2006 г. / М. В. Третьяков, О. Ф. Голованов, А. К. Павлов и др. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып.7. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С. 164–177.

Фролова Е. А., Дикаева Д. Р. Биогеографический состав многощетинковых червей фьордов и заливов Западного Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.). Вып.11. М.: ГЕОС, 2012. С. 238–248.

Comparison of productivity and phytoplankton in a warm (Kongsfjorden) and a cold (Hornsund) Spitsbergen fjord in mid-summer 2002 / K. Piwosz, W. Walkusz, R. Hapter et al. // Polar Biol. 2009. Vol. 32. P. 549–559.

The annual planktonic protist community structure in an ice-free high Arctic fjord (Adventfjorden, West Spitsbergen) / A. M. Kubiszyn, J. M. Wiktor, J. M. Wiktor (Jr.) et al. // J. Marine Systems. 2017. Vol. 169. P. 61–72.

The distribution of picoplankton and nanoplankton in Kongsfjorden, Svalbard during late summer 2006 / Wang Guizhong, Guo Chaoying, Luo Wei et al. // Polar Biol. 2009. Vol. 32, № 8. P. 1233–1238.

## КАРЛИКОВЫЕ ФУКУСЫ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Г. М. Воскобойников, И. В. Рыжик, Д. О. Салахов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Фукусовые водоросли являются одной из наиболее распространенных в водах Мирового океана групп макрофитов. Уникальная способность фукусов к адаптации к факторам внешней среды (полярный день–полярная ночь, высокая соленость и опреснение, турбулентность, прибойность, ультрафиолет, высокие положительные температуры и низкие отрицательные на литорали, осушение в период отливов) стали предметом многочисленных исследований. В начале XX века внимание исследователей привлекли карликовые фукусы, получившие свое название за чрезвычайно малые размеры. Эти фукусы подробно описаны В. М. Арциховским (1905) и др. (см. обзор: Максимова, 2007). Была проанализирована их морфология, определена приуроченность к эстуарным зонам. До настоящего времени продолжают дискуссии об их происхождении и систематической принадлежности.

В течение нескольких лет проводились наблюдения за карликовыми водорослями, обнаруженными нами впервые на границе Грэн-фьорда и Ис-фьорда о. Западный Шпицберген. Фукусы обитали на трех горизонтах. Нижний – скальные ванны в приливоотливной зоне, в которых фукусы растут на дне и вертикальных стенках ванны, периодически осушающихся в отливы; средний горизонт – скальные площадки, расположенные на 30–50 см выше ванн, являющиеся зонами заплеска морской воды. При высоких приливах морская вода покрывает растения. Верхний горизонт – площадки выше 1 м над скальными ваннами. На площадках верхнего горизонта заросли карликовых фукусов были обнаружены только в 2015 и 2016 гг.

Проективное покрытие фукусов в скальных ваннах составляло примерно 60 % на дне и 30 % на стенках ванн, в среднем горизонте – около 40 %, в верхнем горизонте фукусы произрастали совместно с высшими растениями.

Длина карликовых фукусов в нижнем горизонте – 10–12 см, в среднем и верхнем – 8–10 см. Максимальное количество дихотомий у фукусов равнялось 7–8, что соответствовало возрасту 3.5–4 года. На поверхности талломов фукусов со всех горизонтов наблюдалось присутствие криптостом. На площадке верхнего горизонта у фукусов отмечалось большое количество волосков белого цвета, исходящих из криптостом, создающих иллюзию зарослей опушенных растений.

Анализ фотосинтетической активности показал более высокий уровень фотосинтеза (0.52 мкг/ч) у фукусов со среднего горизонта по сравнению с растениями из нижнего горизонта (0.38 мкг/ч).

Обнаруженные нами карликовые фукусы были отнесены к *Fucus distichus* L., что было подтверждено молекулярно-генетическими исследованиями.

Авторами высказывается предположение, что описываемая карликовая форма фукуса отражает одно из направлений адаптации к условиям обитания в Арктике.

### Литература

Арциховский В. М. О карликовых формах *Fucus vesiculosus* L. в связи с вопросом о дегенерации. СПб., 1905. 180 с.

Максимова О. В. Обзор исследований карликовых и бентоплейстонных фукусовых (Fucales, Phaeophyceae) // Бот. журн. 2007. Т. 92, № 6. С. 858–877.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗА КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В ЗОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН И В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

А. Е. Вязилова, Г. В. Алексеев, А. В. Смирнов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Экспериментальный комплекс мониторинга и прогноза климатических изменений в зоне архипелага Шпицберген и в западном секторе арктической зоны Российской Федерации (ЭАПК “Климат”) был разработан в 2014–2016 гг. в ААНИИ в рамках проекта Министерства образования и науки “Создание новых методов и средств мониторинга гидрометеорологической и геофизической обстановки на архипелаге Шпицберген и в западной арктической зоне РФ”.

Центральным блоком ЭАПК является специализированная база данных (СБД) для оценки и прогнозирования климатических изменений и связанных с ними опасных природных явлений. Для создания СБД были использованы существующие гидрометеорологические информационные ресурсы: океанографические, метеорологические и ледовые данные, исторические архивы наблюдений в регионе, элементы криосферы архипелага Шпицберген, наборы карт и графиков с количественным описанием распределений опасных гидрометеорологических явлений по акватории района, их повторяемостей, экстремальных значений и значений разной обеспеченности. Эта информация распределена по разделам “Океанография”, “Метеорология”, “Морской лед”, “Гляциология”, содержащим массивы данных наблюдений, реанализов и расчетов.

Раздел “Океанография” включает массивы данных о температуре и солёности вод в Баренцевом и Карском морях и на прилегающей части Норвежского и Гренландского морей (63–83° с. ш., 0–100° в. д.), о среднемесячных значениях температуры воды на поверхности океана в узлах регулярной сетки по данным реанализа HadSST с 1900 по 2016 гг. (глобальное покрытие), массив среднемесячных значений температуры воды на поверхности океана в узлах регулярной сетки по данным реанализа Interim с 1979 по 2016 гг. (глобальное покрытие), среднемесячная температура воды на поверхности океана к северу от экватора за каждый год по 2070 г. на основе расчетов на глобальной модели климата ИВМ РАН, повторяемость опасных ветроволновых явлений в Баренцевом и Карском морях, повторяемость экстремальных характеристик скорости течений в зоне архипелага Шпицберген и западном секторе арктической зоны Российской Федерации на основе ретроспективного моделирования региональной циркуляции атмосферы и океана, повторяемость экстремальных уровней моря на побережье Баренцева и Карского морей.

Раздел “Метеорология” содержит массивы среднемесячных значений характеристик атмосферы в узлах регулярной сетки по данным реанализов NCEP (с 1948 по 2016 гг.), Interim (с 1979 по 2016 гг.) (глобальное покрытие), температуры воздуха у поверхности к северу от 65° с. ш. для февраля и августа за каждый год по 2070 г. на основе расчетов на глобальной модели климата ИВМ РАН, атмосферного давления к северу от 65° с. ш. для февраля и августа за каждый год по 2070 г. на основе расчетов на глобальной модели климата ИВМ РАН, повторяемости опасных гидрометеорологических явлений в зоне архипелага Шпицберген и в западном секторе арктической зоны Российской Федерации.

Специализированная база данных также содержит массивы о морских льдах, ледниках и снежном покрове на архипелаге Шпицберген.

В экспериментальном аппаратно-программном комплексе “Климат” реализован комплексный подход к долгосрочному модельному прогнозированию, учитывающий не только антропогенное влияние, но и естественное 60-летнее колебание климата. Расчеты были выполнены в ИВМ РАН на глобальной модели циркуляции океана по сценарию совместного воздействия роста антропогенного влияния и наблюдаемого 60-летнего колебания, что показало значительные отклонения от антропогенного сценария будущих изменений характеристик морского льда в регионе и во всей Арктике. Реализованные в ЭАПК “Климат” статистические методы климатического прогнозирования позволяют составить прогноз основных климатических характеристик в регионе с заблаговременностью от 2 до 57 мес. Теоретический фундамент, на котором базируются методы, – определяющая роль океана в накоплении тепла и перенос тепла в высокие широты системой атмосферной и океанической циркуляции.

Информационные ресурсы, содержащиеся в ЭАПК “Климат”, дают детальное количественное описание климата в регионе и за его пределами, позволяют оценить наблюдаемые и прогнозируемые климатические изменения, и повторяемости опасных гидрометеорологических явлений. На их основе строятся климатические карты всех характеристик, как за период наблюдений, так и за отдельные десятилетия, что позволяет проследить динамику изменений климата в регионе.

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ДВУСТВОРЧАТОГО МОЛЛЮСКА *CHLAMYS ISLANDICA* В ЗАЛИВЕ ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

А. В. Гудимов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Освоение и изучение Арктики является одной из приоритетных стратегий экономики и политики Российской Федерации, что привело к созданию Российского научного центра в Баренцбурге. Однако исследования в области морской биологии арктических архипелагов остаются еще малочисленными и традиционными.

Исследование жизни в Арктике напрямую связано с установлением зависимостей жизненных процессов (метаболизм, активность, питание) организмов от низких температур и других факторов среды и проводится в активных и пассивных экспериментах, приближенных к природным условиям или “полевым”.

До последнего времени исследования уровня активности морских организмов даже с помощью полевых экспериментов также были дискретны и обычно ограничены короткими экспозициями с использованием “скляночного метода”, при котором склянки (закрытые сосуды) с организмами находятся в природных условиях в течение нескольких часов.

Жизнь же есть процесс непрерывный. Следовательно, действительное понимание биологических процессов и экологии видов, как и механизмов их адаптации, могут дать только методы непрерывной регистрации функциональной активности животных в природе.

Непрерывный мониторинг и измерения показателей активности непосредственно в природных условиях, без изоляции животных, стали возможны только в последнее время. Технические средства длительной или перманентной регистрации уровня активности организмов по физиологическим и поведенческим характеристикам интенсивно развиваются с 1990-х гг. (Borcharding, Volpers, 1994; Bouget, Mazurie, 1997). Их применение сначала в лабораторных, а затем в условиях естественных колебаний экологических факторов имеет большое фундаментальное и прикладное значение, но пока остается редким и малодоступным (технически и методически) для большинства научных организаций.

Внедрение методов непрерывной регистрации активности донных животных в природе было начато по поведенческим реакциям двустворчатых моллюсков и сегодня успешно продолжается во многих странах.

Впервые непрерывная регистрация поведения морского гребешка *Chlamys islandica* (по движениям его створок) была выполнена в 1987 г. после отлова моллюсков с глубины примерно 70–80 м на склонах Гусиной банки (Баренцево море) (Гудимов, 2012).

Первые данные по поведенческим реакциям морского гребешка *Ch. islandica* в условиях Шпицбергена позволили в 2011 г. охарактеризовать состояние моллюсков в условиях, максимально приближенных к природным, при отсутствии каких-либо воздействий и раздражителей.

Сбор моллюсков был проведен у западного берега Грён-фьорда (Grønfjord) на глубине 16–30 м (водолазные работы А. В. Роскуляка) с соблюдением специальных условий, обеспечивающих минимальный стресс у животных при их изъятии и транспортировке. С момента поимки моллюски постоянно содержались в воде, поднятой в канистрах с глубины их обитания, так как вода поверхностного слоя была сильно распреснена и не годилась для содержания гребешков. Поскольку летние температуры воздуха давали на берегу значительный прогрев, боксы с гребешками, как и аквариум во время записи, были успешно термостатированы в снегу, сохраняя температуру воды местообитаний гребешка (1–2 °С) в течение всего периода экспериментов.

Непрерывная запись поведенческих реакций (по движениям створок) гребешков проводилась ежедневно с 9 по 15 июня 2011 г. периодами по 2–3 ч с помощью оригинальной установки (разработана ММБИ в сотрудничестве с ИЭФБ им. Сеченова РАН), состоящей из тензометра (датчика), усилителя, аналого-цифрового преобразователя и компьютера. Периодически проводилась фото- и видеосъемка группы гребешков.

В результате по параметрам поведения был установлен типовой характер активности (pattern) моллюсков в условиях Шпицбергена, определены значения основных параметров их поведения (амплитуда, частота аддукции, уровень раскрытия створок) в нейтральных (стационарных) условиях, являющихся референтными для дальнейших экспериментальных и экологических исследований.

Поведение двустворчатых моллюсков является пока единственным показателем функциональной активности, который успешно используется для непрерывного мониторинга как в природных и искусственных условиях, так и в экспериментах. Основным параметром поведения моллюсков является уровень раскрытия их створок. Часто это единственный параметр, используемый в мировой практике для оперативного (on-line) контроля экологической безопасности водной среды, прежде всего, для обнаружения токсичности (Borcharding, Volpers, 1994; Bouget, Mazurie, 1997).

Фундаментальное значение исследований изменения поведения во времени связано с тем, что параметр уровня раскрытия створок отражает степень контакта моллюска с окружающей средой, уровень ее интегральной благоприятности для животного, а также тесно связан с активностью и внутренними процессами организма: питанием, дыханием, метаболизмом, общим состоянием и генетическими особенностями. Непрерывно получаемые данные о состоянии и активности организма позволяют уйти от инертных средних значений параметров по выборке. Последние неизбежны при обычном получении данных “вслепую” (случайным образом) на основе дискретных измерений. При непрерывности измерений больше нет места случайности в получении данных, каждая реакция организма видна и достоверна. Совокупность индивидуальных реакций намного информативнее и приближает нас к глубинным реалиям жизни, пониманию внутренних механизмов адаптации, толерантности, выживания, процветания и смертности вида, его основных экологических зависимостей.

Полученные результаты являются не только референтными для поведения гребешков, но важными для развития и применения нового направления биомониторинга – непрерывного экологического мониторинга, лежащего в основе технологии оперативного (он-лайн) биосенсорного мониторинга и оперативной биоиндикации.

## Литература

Гудимов А. В. Первые записи поведенческих реакций двустворчатых моллюсков исландского гребешка *Chlamys islandica* и модиолуса *Modiolus modiolus* // Вестн. КамчатГТУ. 2012. № 20. С. 50–55.

Borcharding J., Volpers M. The Dreissena-monitor – 1<sup>st</sup> results on the application of this biological early warning system in the continuous monitoring of water quality // Water science and technology. 1994. Vol. 29. P. 199–201.

Bouget J.-F., Mazurie J. Biological monitoring of water quality in an estuarine shellfish area, using a biosensor recording valve movements of oysters and mussels // Tech. Sci. Methodes. Genie Urbain-Genie Rural. 1997. № 11. P. 71–75.

## ЗИМНИЙ ЗООПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ШПИЦБЕРГЕНА

В. Г. Дворецкий, А. Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Природная уникальность вод архипелага Шпицберген заключается в их значительной биопродуктивности, которая сопоставима с показателями, характерными для более южных районов Баренцева моря (Орлова и др., 2004; Physical ..., 2006; Дворецкий, Дворецкий, 2015). Планктон представляет собой один из ключевых компонентов морских экосистем. В трофических сетях пелагиали фитопланктон (продуценты) выполняет функцию синтеза органических соединений,

зоопланктон утилизирует первичную продукцию и передает энергию на последующие трофические уровни (Тимофеев, 2000). Именно от степени развития зоопланктона во многом зависят условия питания рыб и, в конечном итоге, суммарная величина их промыслового запаса. Наиболее высокая биомасса зоопланктона обычно формируется в западных и северных водах Западного Шпицбергена, где наиболее сильно проявляется воздействие теплых атлантических вод. В этих районах создаются благоприятные кормовые условия для мойвы и сайки. Последний вид особенно важен в экосистеме вод Западного Шпицбергена, поскольку служит основным источником пищи для тюленей и морских птиц. Цель работы – исследование состава, распределения и структуры сообществ зоопланктона у берегов архипелага Шпицберген во время зимних условий.

Пробы мезозоопланктона были отобраны в ходе рейса НИС “Дальние Зеленцы” в ноябре–декабре 2015 г. при тотальном лове на 15 станциях. Камеральная обработка проб проводилась по стандартным методикам (Богоров, 1947). Биомассу организмов вычисляли с использованием таблиц стандартных весов, номограмм и размерно-весовых зависимостей (Дворецкий, Дворецкий, 2015). Полученные величины были выражены в миллиграммах сухой массы. Для оценки сходства отдельных станций по численности массовых видов использовали кластерный анализ. Средние значения в работе представлены со стандартной ошибкой ( $\pm$ SE).

В районе исследований гидрологические условия существенно варьировали, отражая влияние вод разного происхождения. Так на станциях 26, 36, 37 отчетливо прослеживалось влияние холодных арктических вод, здесь температура во всей водной толще была меньше нуля. На станциях 27–32, 38, 42, напротив, температура и соленость были довольно высокими, отражая воздействие теплых атлантических вод. На других станциях верхний слой преимущественно был занят холодными водами, ниже которых располагались более прогретые слои.

Всего выявлено 39 таксонов мезозоопланктона. Наибольшим разнообразием характеризовались копеподы. Наибольшую частоту встречаемости ( $> 87$  %) имели веслоногие ракообразные *Calanus finmarchicus*, *Calanus glacialis*, *Metridia longa*, *Microcalanus* spp., *Oithona atlantica*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus minutus*, *Pseudocalanus acuspes*, птероподы *Limacina helicina*, щетинкочелюстные *Parasagitta elegans* и эвфаузииды *Thysanoessa inermis*. Количество таксонов в пробах варьировало от 11 до 25. Численность мезозоопланктона изменялась от 135 до 988 экз/м<sup>3</sup>, в среднем составляя  $553 \pm 68$  экз/м<sup>3</sup>. Максимальное обилие отмечено на ст. 26, минимальное – на ст. 36 у южной оконечности архипелага. Доминирующей по численности группой были веслоногие ракообразные, среди которых преобладали *Calanus finmarchicus* ( $30 \pm 4$  %), *Oithona similis* ( $30 \pm 3$  %), представители рода *Pseudocalanus* ( $16 \pm 4$  %), *Microcalanus* spp. ( $11 \pm 2$  %) и *Calanus glacialis* ( $9 \pm 2$  %). Вклад остальных таксономических групп в общую численность был незначительным (в среднем  $< 2$  %). В составе популяций массовых копепод *Calanus* spp., *Pseudocalanus* spp. и *Metridia longa* основную часть составляли копеподиты V стадии. Лишь в популяциях *Oithona similis* и *Metridia longa* в незначительном количестве была отмечена молодь – копеподиты II–III стадий. Биомасса мезозоопланктона варьировала от 10 до 273 мг/м<sup>3</sup> (сухая масса) при средней величине  $79 \pm 20$  мг/м<sup>3</sup>. Наибольших значений биомасса достигала на ст. 26, наименьшие показатели были зарегистрированы на ст. 37. Лидирующее положение по биомассе занимали копеподы ( $86$ – $97$  %). При этом представители рода *Calanus* обеспечивали  $90 \pm 10$  % от общих показателей. Эвфаузииды *Thysanoessa* spp. составляли  $3 \pm 1$  %, а на долю щетинкочелюстных *Parasagitta elegans* приходилось  $2 \pm 1$  %.

В ходе кластерного анализа было выделено три группы станций. Первая группа включала в себя десять станций, которые были расположены по всей исследуемой акватории. Они характеризовались высокой средней температурой воды в слое облова ( $3.5 \pm 0.4$  °C) и повышенной соленостью ( $34.73 \pm 0.34$  ‰). Отличительной особенностью данной группы станций была высокая доля *Calanus finmarchicus* ( $38$  %) в общей численности мезозоопланктона. По численности в пределах данной группы преобладали веслоногие ракообразные ( $99 \pm 1$  %). По биомассе также доминировали копеподы ( $94 \pm 2$  %), вклад эвфаузиид достигал  $3$  %, а щетинкочелюстных –  $2$  %. Здесь была зарегистрирована довольно высокая средняя численность и максимальная биомасса мезозоопланктона среди всех трех кластеров. Вторая группа объединяла три станции, которые располагались в Адвент-фьорде, в юго-восточной и западной частях исследованной акватории. Средняя температура воды в слое облова характеризовалась более низким значением по сравнению со станциями первой группы ( $1.6 \pm 0.3$  °C), соленость также была ниже, чем на станциях второй группы ( $34.24 \pm 0.04$  ‰). Общая численность мезозоопланктона была самой высокой среди выделенных групп. Среди остальных вторая группа также отличалась значительной долей *Oithona similis*, составлявшей  $36$  % суммарной численности мезозоопланктона. По биомассе в пределах

данной группы преобладал *Calanus finmarchicus* (49±2 %), на долю *Calanus glacialis* приходился 31 % суммарной биомассы. Третья группа объединяла две мелководные станции, расположенные у западного побережья архипелага. Здесь была зарегистрирована самая низкая средняя температура (−0.6±0.1 °С) и соленость в слое облова (33.79±0.05 ‰), по количественным показателям доминировали копеподы, которые составляли 98±1 % и 96±1 % общей численности и биомассы мезозoopлankтона соответственно. Наибольший вклад в общее обилие зооплankтона внесли представители рода *Pseudocalanus* (35±3 %). Суммарная численность здесь была в 4.2–4.8 раза ниже по сравнению с группами 1 и 2, а общая биомасса была меньше в 1.5–7.5 раз.

Однофакторный дисперсионный анализ показал, что средняя температура воды в придонном слое статистически значимо различалась между группами ( $p < 0.001$ ), значимые отличия по температуре в слое облова выявлены для групп 1 и 2 (тест множественных сравнений Данна,  $p < 0.05$ ). Для температуры в поверхностном слое отличия были статистически недостоверными ( $p > 0.05$ ). Значимые отличия по солености обнаружены для средних показателей слоя облова и придонного горизонта ( $p < 0.05$ ). Выделенные группы отличались по количественным показателям массовых веслоногих ракообразных *Calanus glacialis*, *Microcalanus* spp., *Pseudocalanus minutus* V–VI, а также щетинкочелюстных *Parasagitta elegans*.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант 17-14-01268).

### Литература

- Богоров В. Г. Инструкция для проведения гидробиологических работ в море (планктон и бентос). М.; Л.: Главсевморпуть, 1947. 127 с.
- Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г. Экология зоопланктонных сообществ Баренцева моря и сопредельных вод. СПб.: Реноме, 2015. 736 с.
- Орлова Э. Л., Бойцов В. Д., Нестерова В. Н. Мезозoopлankтон // Исследования ПИНРО в районе архипелага Шпицберген. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2004. С. 76–82.
- Тимофеев С. Ф. Экология морского зоопланктона. Мурманск: Изд. МГПИ, 2000. 216 с.
- Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden / Н. Нор, S. Falk-Petersen, Н. Svendsen et al. // Prog. Oceanogr. 2006. V. 71. P. 182–231.

## СТОЙКИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ ЗАГРЯЗНИТЕЛИ В ПРИРОДНОЙ СРЕДЕ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

А. С. Демешкин

Северо-западный филиал НПО “Тайфун”, г. Санкт-Петербург, Россия

Архипелаг Шпицберген, несмотря на свою значительную удаленность от крупных промышленных центров и транспортных потоков подвержен антропогенному воздействию. Загрязнение природной среды обусловлено поступлением загрязняющих веществ как из местных источников, так и за счет трансграничного переноса.

В работе представлены результаты экологического мониторинга загрязнения природной среды о. Западный Шпицберген, крупнейшего из островов архипелага. Исследования проводились в районах расположения поселков Баренцбург и Пирамида, рудника Грумант и на сопредельных территориях, а также на акваториях заливов Грэн-фьорд и Булле-фьорд. В процессе проведения исследований определялись уровни содержания стойких органических загрязнителей в компонентах природной среды (атмосферный воздух, снежный покров, поверхностные и морские воды, донные отложения, почва, наземная растительность).

В атмосферном воздухе измеряли концентрации пыли, газовых примесей, легколетучих органических соединений (ЛОС), хлорорганических соединений (ХОС), включая полихлорбифенилы (ПХБ), и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). В образцах снежного покрова проводилось определение содержания компонентов минерального состава, соединений азота, нефтяных углеводородов, фенолов, ПАУ, ХОС и тяжелых металлов. Морские и поверхностные воды

исследовались на содержание загрязняющих веществ: тяжелых металлов, ПАУ, НУ, НАУ, ЛАУ, фенолов, синтетических поверхностно-активных веществ (СПАВ), ХОС, включая ПХБ. В донных отложениях обследованных частей акваторий заливов Грэн-фьорд и Булле-фьорд, а также водоемов суши (оз. Биенда-Стемме и р. Грэндалсэльва) проводилось определение содержания загрязняющих веществ: нефтяных углеводородов, НАУ, ПАУ, фенолов, тяжелых металлов и ХОС. Для оценки загрязнения почв выполнялось определение содержания нефтяных углеводородов, неполярных алифатических углеводородов (НАУ), летучих ароматических углеводородов (ЛАУ), ПАУ, тяжелых металлов и хлорорганических соединений.

В растительном покрове исследуемых территорий, представленном мхами (*Aulacomnium turgidum*, *Racomitrium lanuginosum*, *Sphagnum lindbergii*, *Polytrichum commune* и др.), лишайниками (*Cetraria ericetorum*, *Cetraria islandica*, *Flavocetraria nivalis* и др.) и сосудистыми растениями – осоки (*Carex rotundata*, *C. rariflora*, *C. aquatilis*), пушицы (*Eriophorum russeolum*, *E. scheuchzeri*, *E. polystachion*), горец (*Archangelica norvegica*, *Filipendula ulmaria*, *Solidago lapponica*), карликовая стелющаяся ива (*Salix polaris*, *Salix reticulata*) и др., проводилось определение ПАУ, хлорорганических соединений (включая ПХБ) и тяжелых металлов.

В целом полученные по результатам мониторинга загрязнения данные показали, что содержание стойких органических загрязнителей в компонентах природной среды на о. Западный Шпицберген является характерным для арктических районов с незначительной антропогенной нагрузкой и не является критическим. Однако обнаружены отдельные локальные участки с повышенными уровнями загрязнения, расположенные в пределах поселков Баренцбург и Пирамида и на прилегающих территориях.

## **ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕРЗЛОТНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА КРИОСФЕРНОМ ПОЛИГОНЕ РОССИЙСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН**

**Н. Э. Демидов, С. Р. Веркулич, Л. М. Саватюгин**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

В 2016 году на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген (о. Западный Шпицберген) начаты долговременные наблюдения за состоянием мерзлых пород. Полигон расположен в окрестностях пос. Баренцбург и к настоящему моменту включает три термометрические скважины глубиной 26, 20, 21.5 м с постоянно действующими термометрическими косами для наблюдений за изменением температуры на глубине нулевых амплитуд, две скважины для разовых термометрических замеров, площадку мониторинга сезонно-талого слоя с термометрической скважиной и автоматической метеостанцией, а также пункт мониторинга группы ледяных бугров пучения – булгуняхов. Четвертичные отложения, сформировавшиеся по данным радиоуглеродного анализа в период МИС 3–МИС 1, имеют мощность от 2 до 20 м и более и представлены в верхней части разреза в основном гравием с большим количеством гальки с массивной криотекстурой, а в нижней – глинами с шпировой криотекстурой. В режимных скважинах температура пород на глубине нулевых амплитуд варьирует от  $-2.2$  до  $-3.56$  °С. Измерения мощности сезонно-талого слоя, проведенные в сентябре 2017 г. по регулярной сетке с шагом в 5 м на площадке размером 50х50 м, показали значения от 1.15 до 1.60 м при среднем значении 1.38 м. Выявленный по результатам анализа водной вытяжки геохимический барьер, находящийся на 0.8–1.6 м ниже верхней границы мерзлоты в момент максимального оттаивания, вероятно, маркирует глубину оттаивания во время голоценового оптимума. Для мониторинга группы булгуняхов было проведено бурение скважин на одном из них и поставлены регулярные морфометрические измерения на четырех булгуняхов. Скважина, пробуренная в центральном кратере булгуняхов, показала, что мощность гравелистых суглинков над ледяным ядром составляет примерно 1.5 м, далее до 23.5 м идет ледяное тело, подстилаемое мерзлыми глинами. В летнее время сезонно-талый слой достигает ледяного ядра и происходит его оттаивание, углубляя кратер, что делает булгуняхы крайне чувствительными объектами к потеплению климата.



## РЕКОГНОСЦИРОВОЧНАЯ РУССКО-ШВЕДСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ 1898 ГОДА

**В. Л. Державин**

Институт археологии РАН, г. Москва, Россия

В Российском государственном военно-историческом архиве (г. Москва) хранятся малоизвестные документы русско-шведской экспедиции по градусному измерению Шпицбергена (Державин, 2001). Официально считается, что начало этой международной научной экспедиции было положено в 1899 г., и завершилась она в 1902 г., достигнув блестящих результатов. Но ей предшествовала экспедиция 1898 г. во главе со шведским профессором Эдвардом Эдерингом. С русской стороны в ней принимал участие подполковник корпуса военных топографов Фридрих Августович Шульц. Участникам экспедиции предстояло обойти на судне архипелаг и в местах высадок установить на разных участках 10 металлических сигналов и 5 каменных пирамид высотой 4–5 м с целью прокладки тригонометрической сети.

Добравшись до Стокгольма, Ф. А. Шульц вместе с другими участниками экспедиции был радушно принят шведским королем Оскаром II, пожелавшим успехов международному сотрудничеству. В конце мая на канонерской лодке “Ран” он отбыл на Шпицберген. Раньше это судно носило имя “Полхейм” и принимало участие в экспедиции А. Н. Норденшельда 1872/1873 гг., оставшись на зимовку в Моссель-фьорде на севере архипелага.

Состав участников включал, помимо профессора Эдерина и подполковника Шульца, капитана Пальме, доктора философии Карлхейм-Гюлленшельда, кандидата философии фон-Цейпеля, двух машинистов, трех кочегаров, шесть матросов, юнгу и повара. В Тромсё к экипажу присоединились лоцман и шесть норвежских зверобоев.

Судно направилось к Шпицбергену 28 мая (по новому стилю), а 20 июня вошло в залив Решерш, где остановилось в районе небольшого острова с птичьим базаром. Затем участники экспедиции отправились на восточный берег, где располагалось несколько изб и три могилы с остатками крестов – “Russen Hutten”. Если бы они представляли собой остатки “лагеря Чичагова” (1764–1766 гг.), то тогда несколько странно, поскольку русское зимовье моряков находилось на западном берегу.

Через два дня “Ран” вошел в Адвент-фьорд, в котором застал три корабля, в том числе яхту “Джела” с наследным итальянским принцем и его супругой, а оттуда прошел западным берегом вдоль о. Принца Карла. Уже 28 июля “Ран” оказался у о. Амстердам (пос. Сmeerенбург), где Ф. А. Шульц увидел развалы домов и множество могил голландских китобоев. На следующий день у о. Датский корабль зашел в бухту Вирго, где члены экспедиции посетили дом англичанина Пайка, а рядом – ангар для воздушного шара Соломона Андрэ. На норвежских островах ученые зафиксировали русский крест.

1 июля “Ран” вошел в Серго-фьорд, а затем на п-ове Смуцения (Vergelen) оказался у крупного кладбища голландских китобоев. Там же на небольшой каменной пирамиде нашли флажок экспедиции У. Парри 1827 г. Через несколько дней участники экспедиции установили сигнал на полуострове у горы Гекла. Это место наметили для установки своих знаков еще Дуннер и Норденшельд в 1873 г.

В середине июля на о. Вальден ученые обнаружили знак американца Вельмана, потерпевшего здесь крушение в 1894 г., а через два дня установили сигнал (самый северный) на о. Парри и только после этого вернулись в Серго-фьорд.

Следующий знак В. Карлхейм-Гюлленшельд установил на мысе Крайность (Extrem Hook), куда отправился с маленьким отрядом на двух санях. Затем, взяв с собой месячный запас продовольствия, приборы и оружие, на двух лодках он обследовал оба побережья пролива Хинлопен. Тем временем “Ран” ушел в Адвент для пополнения запасов угля, но с оставшимися членами экипажа договорились, что на о. Парри он оставит бутылку с запиской, в которой укажет где его искать. Позже участники экспедиции действительно нашли записку, в которой сообщалось, что отряд собирался посетить Мерчисон-фьорд. Во время этой поездки В. Карлхейм-Гюлленшельд небольшими силами обследовал русские кресты и произвел любительские раскопки поморского становища на о. Северный Русский (Carlheim-Gyllenskold, 1900).

21 июля, когда корабль вошел в Адвент-фьорд, то в нем оказалось еще несколько судов: немецкий корвет “Ольга”, занимавшийся гидрологическими изысканиями и возможностью устройства рыболовных станций; паровая яхта “Антарктик” шведской экспедиции А. Натхорста, проводившего в тот год комплексные исследования на архипелаге; яхта “Лаура” с итальянским наследным принцем; три почтовых парохода; несколько небольших парусных лодок норвежских зверобоев. За несколько дней до захода “Рана” в Адвент там побывал немецкий предприниматель Т. Лернер, недавно вернувшийся с о. Медвежий, где он занимался добычей угля.

В Булле-фьорде участников экспедиции впечатлил крупный (“шведский”) дом на мысе Тордсен, в котором в 1872/1873 гг. произошла трагедия, унесшая жизни 17 норвежских зверобоев. Этот дом поставил Норденшельд для добычи фосфатов, но из-за неудобного подхода со стороны моря его пришлось оставить. Через 10 лет в нем обустроилась шведская экспедиция Экхольма, Андре и Карлхейм-Гюлленшельда, проводившая научные исследования в рамках Международного полярного года.

4 августа Шульц с товарищами в заливе Ломе нашел две палатки Карлхейм-Гюлленшельда, а у основания горы Ловен – каменную пирамиду, на которую Шульц и Эдерин взобрались по трудному и опасному склону. Подъем был осложнен ледником, мореной, отвесными скалами и камнепадом. У основания горы ученые поставили пирамиду. В последующие дни установили еще две пирамиды на двух островах.

Участники экспедиции собирались поставить пирамиду и на горе Хидениус как на одну из вершин сети треугольников градусного измерения, но оказалось, что гора состоит из девяти вершин, протянувшихся с севера на юг. Только одна из них была пригодна для знака, поскольку на ней отсутствовал снег и лед, да и располагалась она близко от Вейде-фьорда, откуда до нее было относительно легко добраться.

В конце августа Шульц не смог удержаться, чтобы красочно не описать как впервые заходящее солнце ненадолго скрылось за горизонтом, благодаря этому ученые получили возможность восхищаться великолепным зрелищем. Глетчер “превратился в хрустальный замок, освещенный красно-оранжевым и сине-зелено-смагродовым огнем; на юго-западе снежные вершины загорались красно-оранжевыми огнями, точно гигантские факелы по пути к хрустальному замку”.

После того как на горе Ангелин установили сигнал, следующий знак поставили на горе мыса Ли (северно-западная оконечность о. Эдж). Здесь же в гавани исследователи обнаружили “развалины русских хат, разрытую могилу у подошвы одной из скал и много костей оленей”. На гору поднялись 8 чел., которые и на высоте примерно 1000 фунтов обнаружили “русский крест, сломанный в верхней части”. Фотография Шульца на фоне основания мощного креста сохранилась до нашего времени в архиве Шведской королевской академии наук (Старков, 2011).

В конце августа–начале сентября, чтобы избежать блокировки льдами в Хинлопене, “Ран” спешно покинул залив, отправившись в Тромсё, куда пришел 8 сентября. 4 октября судно миновало Стокгольм, где высадились шведские участники экспедиции, а через неделю Ф. А. Шульц вернулся в Петербург.

Таким образом, рекогносцировочная международная экспедиция 1898 г. полностью выполнила запланированные полевые работы и заложила основы для будущих исследований по градусному измерению Шпицбергена. Кроме того В. Карлхейм-Гюлленшельд произвел раскопки русского становища – одного из самых северных на архипелаге.

## Литература

*Державин В. Л.* Материалы шведско-русской экспедиции в фондах РГВИА // Международной научное сотрудничество в Арктике: Тез. докл. конф., посвященной 100-летию шведско-русской экспедиции на Шпицберген и 125-летию со дня рождения В. А. Русанова. М., 2001. С. 19–22.

*Старков В. Ф.* Первые археологические раскопки на архипелаге Шпицберген. М., 2011. 110 с.  
*Carlheim-Gyllenskold V.* På åttionde breddgraden. Stockholm, 1900. 110 p.

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЕТ В РАЙОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Д. Р. Дикаева, Е. А. Фролова

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Шпицберген – арктический архипелаг, омываемый с запада водами Гренландского, с востока – Баренцева, с юга – Норвежского морей и с севера – водами Северного Ледовитого океана. На формирование гидрологического режима вод архипелага влияет ряд факторов, основными из которых являются адвекция теплых атлантических вод Норвежского и Западно-Шпицбергенского течений, холодных вод Медвежинского и Восточно-Шпицбергенского течений. В районе исследований, где происходит интенсивный обмен и взаимодействие вод различного происхождения, наблюдается довольно сложная картина циркуляции (Погодина, 2007), что отражается на видовом составе, распределении и структуре донных сообществ.

В настоящее время достаточно полно изучено распределение бентосных сообществ, в том числе и полихет во фьордах и заливах Западного Шпицбергена (Фролова, 2006; Фролова, Дикаева, 2007; Дикаева, Фролова, 2008, 2014; Состав ..., 2008; Особенности ..., 2011). Однако работы, посвященные изучению сообществ полихет в районе Стур-фьорда и у архипелага, отсутствуют. Поэтому представляет интерес современное распределение полихет в данном районе. Настоящая работа продолжает исследования по изучению сообществ полихет с целью выявления закономерностей, определяющих структуру сообществ в зависимости от параметров среды.

Наши исследования охватывали район Стур-фьорда и точку с координатами 77° с. ш., 25° в. д. в юго-восточной части архипелага Шпицберген.

Материалом послужили 15 количественных проб с пяти станций, собранные в ходе комплексной экспедиции Мурманского морского биологического института в июле 2017 г. Отбор проб с глубины от 79 до 218 м проводили дночерпателем ван-Вина (площадь захвата 0.1 м<sup>2</sup>) в 3-кратной повторности.

В районе исследования идентифицировано 80 таксонов многощетинковых червей, из них 66 определены до вида. Видовое богатство на станциях варьирует от 28 до 50 видов, максимальное количество видов отмечено на песчаных, илесто-глинистых грунтах с камнями и ракушей, минимальное – на коричневых илах с мягкой глиной и ракушей.

В биогеографическом составе преобладают бореально-арктические виды (79 %), количество бореальных видов (17 %) превышает количество арктических (4 %). Арктические виды были отмечены во внутренней части Стур-фьорда, а во внешней части в основном преобладали бореальные виды.

Сравнение станций по видовому составу методом кластерного анализа на основе интенсивности метаболизма позволило выделить в исследованных районах ряд фаунистических комплексов.

Во внутренней части залива Стур-фьорд на илесто-глинистых, илесто-песчаных грунтах с камнями и ракушей на глубине от 130 до 151 м при отрицательной температуре придонных вод (–1.83...–1.87 °С) отмечен комплекс с доминированием по биомассе и доле интенсивности метаболизма грунтоеда *Maldane sarsi*. Средние показатели биомассы – 52±15 г/м<sup>2</sup>, плотности поселения – 3650±115 экз/м<sup>2</sup>.

Во внешней части залива Стур-фьорд на илесто-глинистых, илесто-песчаных грунтах с ракушей и небольшим количеством камней на глубине от 158 до 218 м при температуре воды от –1.25 до 0.77 °С отмечен комплекс с доминированием собирающего детритофага *Spiochaetopterus typicus*. Зарегистрированы высокие показатели биомассы – 92±12 г/м<sup>2</sup> и плотности поселения – 4288±123 экз/м<sup>2</sup>.

Станция с координатами 77° с. ш., 25° в. д. (глубина 79 м, каменистый илесто-песчаный, глинистый грунт) не вошла ни в один кластер. Здесь отмечены низкие значения биомассы (11±3 г/м<sup>2</sup>) и невысокие значения плотности поселения (1770±580 экз/м<sup>2</sup>), где по доле интенсивности метаболизма доминирует *Terebellides stroemi*. В данном районе зарегистрировано достаточно высокое видовое разнообразие (50 видов).

При продвижении от внутренних к внешним участкам Стур-фьорда с увеличением глубины, ослаблением гидродинамики и преобладанием мягкого илесто-глинистого, илесто-песчаного грунта отмечено повышение биомассы и плотности поселения полихет за счет крупных полихет живущих в

трубках. В мелководном районе вблизи архипелага Шпицберген (77° с. ш., 25° в. д.), подверженном сильному влиянию холодных вод Восточно-Шпицбергенского течения и течения Баренца, на каменистых грунтах отмечено высокое видовое разнообразие при низких значениях биомассы и плотности поселения полихет. Биогеографический состав полихет отражает особенности гидрологического режима в исследованном районе, увеличение количества бореальных видов во внешней части Стур-фьорда вероятно связано с затоком глубинных атлантических вод.

### Литература

*Дикаева Д. Р., Фролова Е. А.* Распределение полихет в заливе Белльсунн (Западный Шпицберген) // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 9–11 ноября 2008 г.). Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 116–119.

*Дикаева Д. Р., Фролова Е. А.* Современное распределение сообществ полихет во фьордах Западного Шпицбергена // Вестн. МГТУ. 2014. Т. 17, № 1. С. 119–127.

*Особенности* распределения бентосных сообществ во фьордах Западного Шпицбергена / О. С. Любина, О. Л. Зимица, Е. А. Фролова и др. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1(87). С. 28–40.

*Погодина И. А.* Бентосные фораминиферы системы Ис-фьорда (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С. 306–318.

*Состав* и распределение бентоса залива Хорнсунн (Западный Шпицберген) / Е. А. Фролова, Д. Р. Дикаева, О. С. Любина и др. // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 9–11 ноября 2008 г.). Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 363–366.

*Фролова Е. А.* Полихеты залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 379–386.

*Фролова Е. А., Дикаева Д. Р.* Сообщества полихет залива Хорнсунн (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С. 318–329.

## НАНОФИТОПЛАНКТОН ФЬОРДОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2001 И 2017 ГОДОВ. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

**Е. И. Дружкова**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Нанофитопланктон – компонент пелагической альгофлоры, наиболее быстро реагирующий на изменения окружающей среды, может рассматриваться в качестве индикатора текущих климатических изменений.

Количественные характеристики и качественный состав нановодорослей в заливе Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) были исследованы в ходе экспедиций на НИС “Дальние Зеленцы” в конце июля 2001 и 2017 гг.

Пробы воды объемом 50 мл фиксировали 0.5 %-м раствором глутарового альдегида, концентрировали на ядерные фильтры (диаметр пор 0.8 мкм) с последующим окрашиванием. Микроскопирование и анализ проводили по стандартным методикам.

В июле 2001 г. максимальные интегральные показатели обилия нанопланктона зарегистрированы на выходе из Грэн-фьорда (численность более 1.3 млн кл/л, биомасса 80 мкг/л). Ядро сообщества приурочено к верхнему 20-метровому слою, ниже которого численность плавно снижается, достигая минимальных значений в наиболее глубокой области на выходе из фьорда, при этом убывание биомассы носит скачкообразный характер. Размерная структура сообщества нанопланктона укладывается в стандартную схему. В поверхностном горизонте относительная численность младшей размерной фракции (2–5 мкм) составляет в кутовой области более 90 %, в

районе устья до 65 %, при этом биомасса на 60–75 % сформирована водорослями среднего размерного класса (5–10 мкм). Минимальные значения по всему водному столбу, включая поверхностные горизонты, приурочены к району свала глубин в центральной части фьорда, где сообщество представлено двумя младшими размерными фракциями с преобладанием (более 80 % по численности) клеток менее 5 мкм. В целом на всей акватории фьорда отмечено стандартное измельчение сообщества с глубиной.

В июле 2017 г. в верхнем 20-метровом слое на всей исследованной акватории Грэн-фьорда численность нановодорослей изменялась в диапазоне 1–9.7 млн кл/л при средней биомассе 385 мкг/л. Максимальные значения численности были приурочены к верхнему 10-метровому слою внутренней части фьорда, биомассы (более 600 мкг/л) – к выходу из фьорда.

Структурная организация сообщества в целом соответствовала описанной в 2001 г. – 90–99 % интегральной численности было сформировано младшей размерной фракцией (2–5 мкм), в терминах относительной биомассы лидирующее положение занимала размерная фракция 5–10 мкм.

Таким образом, в конце июля 2017 г. количественные показатели обилия нанофитопланктона на порядок превышали таковые 2001 г., причем структурная организация сообщества оставалась неизменной. Следует отметить, что, по мнению некоторых авторов (Потепление ..., 2010), анализ многолетней изменчивости характеристик ледового режима залива Грэн-фьорд показывает устойчивую тенденцию смягчения ледовой обстановки в указанном районе в течение последних 30 лет. “Об этом свидетельствуют общая картина изменчивости как ключевых характеристик, описывающих ледовый режим, так и тенденций, наблюдающихся в приземном слое воздуха и в поверхностном слое воды. Наблюдается тенденция к более позднему переходу температуры воды через 0 °С осенью и более позднему началу образования морского льда и устойчивого припая. Отмечен более ранний переход температуры воды через 0 °С весной, т. е. значительное (вплоть до 2 мес.) сокращение периода отрицательных температур воды и покрытия залива льдом” (Иванов, Журавский, 2010, С. 33).

Таким образом, на основании натуральных данных 2001 и 2017 гг. проведен сравнительный анализ количественных и качественных характеристик нанофитопланктона на акватории Грэн-фьорда в летний период. Выявлено, что в конце июля 2017 г., при сохранении основных особенностей структурной организации сообщества, абсолютные значения численности и биомассы на порядок превышали таковые аналогичного периода 2001 г. Возможно, столь заметный рост обилия мелких одноклеточных водорослей в пелагиали высокоширотного фьорда является одним из проявлений “быстрого потепления” климата Арктики в целом, и фьордов Западного Шпицбергена в частности, в начале XXI века.

## Литература

Иванов Б. В., Журавский Д. М. Ледовые условия в заливе Грэн-фьорд (архипелаг Шпицберген) за период 1974–2008 гг. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 2(85). С. 29–34.

Потепление в заливах Западного Шпицбергена: кратковременное явление или устойчивая тенденция? / А. К. Павлов, Б. В. Иванов, Д. М. Журавский, В. Тверберг // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3(86). С. 70–78.

## ЭВОЛЮЦИЯ КРИОГЕННЫХ СКОПЛЕНИЙ ГИДРАТОВ ПРИРОДНОГО ГАЗА В АРКТИЧЕСКИХ РЕГИОНАХ В КВАРТЕРЕ

В. А. Друщиц, Т. А. Садчикова

Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

В Арктике распространены криогенные гидраты природного газа, главным образом, метана. Они имеют прямую генетическую связь с криолитозоной. Залежи и скопления клатратной формы метана, как правило, приурочены к нефтегазоносным бассейнам. Они обнаружены на севере Западной Сибири, на северном побережье и шельфе Аляски, в дельте р. Маккензи и на прилегающем

шельфе. Предполагается их наличие на шельфе Западной Гренландии, на суше и шельфе Канадского Арктического архипелага, на континентальной окраине восточного сектора арктической зоны Российской Федерации.

Образование и сохранение клатратной формы природного газа происходит под влиянием климатических и геолого-тектонических факторов. Широкое распространение гидратов газа начинается при прогрессирующем похолодании в позднем плиоцене. Природная среда квартера разделяется на гляциальные и перигляциальные условия. В зависимости от климата и других характеристик обстановки распространения гидратов газа их объем увеличивается или уменьшается, консервируется или они разлагаются.

Динамика гляциальных условий в периоды оледенений и в межледниковья создает сложную матрицу возможных очагов образования гидратов газа и влияет на степень их дальнейшей консервации. Давление льда и отрицательные температуры при наличии коллекторов, природного газа и воды формируют ареалы скоплений гидратов газа. Активность ледникового покрова приводит к изменению температурного режима, конфигурации флювиальных систем, значительной эрозии осадочного чехла, что может вызвать диссоциацию клатратных образований. Отдельным природным фактором, способствующим росту скоплений гидратов газа является распространение ледниково-подпрудных озер. Таяние гляциальных массивов, помимо термобарических скачков в границах массива и смежных территорий, способствует формированию флювиогляциальных ложбин стока, проявлению процессов гляциоизостазии.

Континентальная окраина Западной Арктики ограничена Северо-Атлантическим срединно-океаническим хребтом и хребтом Гаккеля и является активной структурой, что проявляется в контрастном рельефе шельфа, значительных амплитудах позднекайнозойских движений, землетрясениях (Новейшая ..., 2000), Множество косвенных признаков существования значительных скоплений гидратов газа (криогенных и фильтрогенных) обнаружено в акватории Баренцева, Карского морей, регионах четвертичного покровного оледенения. Это распространение псевдодонных рефлекторов, пинго подобных структур, полей покмарков, различных показателей эмиссии природного газа. Проникновение теплых атлантических водных масс, активная тектоника стимулирует процессы деградации криолитозоны и параллельно с этим прогрессирует тенденция диссоциации залежей и скоплений гидратов газа. Следует экстраполировать данные по распространению ледниково-подпрудных озер на северо-востоке Русской равнины (Лавров, Потапенко, 2005) на акваторию Печорского моря. Их существование объясняет распространение гидратов газа в этой области и разрушение их в современной обстановке.

В регионе Карского моря покров последнего ледникового максимума остановился в западной части шельфа (Quaternary ..., 2004). На севере Западной Сибири господствовали перигляциальные условия. В результате этого образовались достаточно большие площади скоплений гидратов газа, которые в современное межледниковье перешли в метастабильное состояние. Это подтверждается многочисленными проявлениями этих типов гидратов газа на площадях газоконденсатных месторождений. Некоторые из них активно разрушаются вследствие неотектонической активности (Друщиц, Садчикова, 2017). В акватории, по-видимому, ледниковые процессы препятствовали образованию гидратов газа в области открытых газоконденсатных месторождений. На внутреннем шельфе видимо наблюдается воздействие теплых водных масс и общее потепление климата, деградация мерзлоты, и как результат – ураганные значения эмиссии метана (Offshore ..., 2013).

Восточная Арктика находилась в перигляциальной обстановке в течение четвертичного периода. Мощность криолитозоны достигает 800 м. Обнаружены только проявления гидратов газа на суше и косвенные признаки их присутствия в морях Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском. Но открытия залежей гидратов газа в областях нефтегазовых бассейнов северного побережья Аляски и в дельте р. Маккензи, находившихся в перигляциальных условиях в квартере, позволяет предполагать достаточно широкое распространение клатратов метана и на шельфе России. Стоит помнить о ледниках Таймыра, Северной Земли, оказавших влияние на осадконакопление в западной части моря Лаптевых. Поэтому, видимо, не стоит ожидать скоплений гидратов газа в Хатангском заливе, несмотря на открытие там нефтяного месторождения. Кроме того, море Лаптевых с рифтовой системой (расположение границы Североамериканской и Евразийской литосферных плит) является современной активной геодинамической областью, где разрушается криолитозона, фиксируются очаги разгрузки метана, частые землетрясения.

Исходя из стабильности природных условий, в Восточно-Сибирском море гидраты газа после образования в позднем плиоцене видимо в меньшей степени подвергались диссоциации. Естественно,

если были условия для их образования: наличие коллекторов и природного газа. Чукотское море отличается также активной тектоникой и находится под влиянием Тихого океана. На основании расчетов предполагается, что гидраты газа могут сохраняться в береговой зоне западной части Чукотского полуострова (Перспективы ..., 2017).

Сравнение условий залегания скоплений гидратов газа, образовавшихся в криолитозоне различных природных обстановок квартера, дает возможность установить, что наименее уязвимыми в современных условиях остаются клатратные образования природного газа, сформированные в перигляциальных условиях Арктики и особенно в районах смежных с ледниковыми покровами. Это относится к северу Западной Сибири и дельте р. Маккензи и прилегающему к ней шельфу. Криогенные гидраты газа при близких природных обстановках интенсивнее разлагаются в тектонически активных зонах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-05-00795).

## Литература

Друщиц В. А., Садчикова Т. А. Природные условия образования и сохранения континентальных гидратов метана на арктических континентальных окраинах // Бюл. комиссии по изучению четвертичного периода. М.: ГЕОС, 2017. № 75. С. 135–146.

Лавров А. С., Потапенко Л. М. Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины. М.: Аэрогеология, 2005. 221 с.

Новейшая тектоника, геодинамика и сейсмичность Северной Евразии / Под ред. А. Ф. Грачева. М.: Пробел, 2000. 487 с.

Перспективы газогидратоносности Чукотского моря / Т. В. Матвеева, А. А. Семенова, Н. А. Щур и др. // Зап. Горного ин-та. 2017. Т. 226. С. 387–396.

Offshore permafrost decay and massive seabed methane escape in water depth  $\geq 20$  m at the South Kara Sea shelf / A. Portnov, A. J. Smith, J. Miernert et al. // Geophysical Res. Let. 2013. Vol. 40. P. 3962–3967.

Quaternary ice sheet history of northern Eurasia / J. I. Svendsen, H. Alwexanderson, V. I. Astakhov et al. // Quarter. Sci. Res. 2004. Vol. 23. P. 1226–1271.

## ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ФАКТОРОВ НА МОРФОЛОГИЮ СНЕЖНОГО ПОКРОВА (ПО ДАННЫМ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ)

В. П. Епифанов

Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, Россия

Проблема формирования и эволюции снежного покрова на горных склонах включает ряд взаимосвязанных задач. Базовыми задачами являются экспериментальные определения физико-механических и прочностных свойств снега, его строения (структура и текстура), нахождение корреляций между микро- и макрохарактеристиками, а также изучение процессов метаморфизма и уплотнения в снегу, в результате которых возникает целый спектр разновидностей микроструктуры.

Ключевая задача – установление связи механических и физических свойств снега с его структурой, решение которой открывает возможность дистанционного мониторинга эволюции структуры и текстуры снега с целью определения момента потери устойчивости на горном склоне. Механические и прочностные свойства снега неразрывно связаны с его микроструктурой (Schweizer et al., 2003). Поиск корреляция между тензором структуры и модулями Юнга льда (Shertzer, Adams, 2011) и вычисления ортотропных тензоров жесткости для снега разной плотности и морфологии зерен позволяют рассматривать это направление как достаточно перспективное (Prediction ..., 2016).

Современный уровень исследований отражается в базовых понятиях, таких как снег-материал, структура и текстура снега, а также совершенством методик определения его структуры, текстуры, физико-механических и прочностных характеристик. Снег – это природное упруго-

вязкопластическое тело с открытой пористой структурой, образованной смиршимися между собой кристаллами льда. Под структурой снега понимается форма и размер слагающих снежную толщу ледяных кристаллов, под текстурой снега – особенности строения разновозрастных слоев снежного покрова, обусловленные преимущественной ориентацией в пространстве и расположением кристаллов льда (зерен), жесткость связей между ними, а также объемом и ориентацией пор в снежном слое и наличием ледяных прослоек.

Предложен параметр структуры, устанавливающий количественную связь между макро- и микрохарактеристиками снега: акустической сжимаемостью, плотностью, температурой и размером подвижных структурных элементов (например, радиус зерен) и их резонансной частотой.

Исследована тонкая структура спектров акустической эмиссии, возникающей при контактном разрушении снега в разновозрастных слоях снежного покрова при индентировании наконечниками простой и сложной формы. Использован комплексный подход, основанный на определении твердости снега, размеров ледяных зерен, температуры, плотности, а также регистрации акустических спектров в рабочем диапазоне от 15 до 20 000 Гц. Для расшифровки акустических спектров применена улучшенная линейная модель (Епифанов, 2014), состоящая из подвижных жестких шаров (ледяных кристаллов) различной массы, соединенных деформируемыми связями, жесткость которых принимает значения, соответствующие виду напряженного состояния. В результате удалось объяснить расширение резонансного спектра присутствием нескольких резонансов, параметры которых количественно характеризуют соотношение фаций в эволюционном процессе вторичного метаморфизма.

В рамках модели рассчитаны собственные резонансные частоты и сравнены с экспериментально определенными значениями для ледяных кристаллов, образующих структуру и текстуру разновозрастных снежных слоев. Согласие теории с экспериментом подтвердило пригодность акустико-механического метода и портативной аппаратуры исследований формирования и эволюции снежного покрова.

Снежный покров рассматривается как неоднородная среда (слоистая конструкция), состоящая из разновозрастных слоев, обладающих разной структурой и текстурой с учетом предыстории их формирования. Экспериментально установлена нелинейная зависимость динамического модуля от плотности снега. Этот факт имеет принципиальное значение, поскольку исключает использование плотности как параметра состояния снега. Причиной нелинейности, т. е. зависимости характеристик снега от амплитуды напряжений являются пластические деформации кристаллической решетки льда.

Исследованы амплитудно-частотные спектры разрушения снега в разновозрастных слоях снежного покрова с целью количественной оценки размеров кристаллов льда, образующих снежный каркас, и выявления анизотропии его текстуры. Установлена тонкая структура акустических спектров в интервале частот вблизи собственных резонансных частот кристаллов льда. Получено согласие расчетных значений резонансов с экспериментально наблюдаемыми значениями. Количественно подтверждено формирование анизотропной текстуры и кластеров вертикальной ориентации.

Выполненные исследования показали перспективность метода акустической стратиграфии снежного покрова для количественных определений размеров ледяных зерен снежного каркаса и выявления анизотропных текстур, формирующихся под действием естественных факторов в слоях снежного покрова.

## Литература

*Епифанов В. П.* Применение акустических методов в исследованиях снежного покрова // Криосфера Земли. 2014. Т. XVIII, № 3. С. 101–113.

*Prediction of anisotropic elastic properties of snow from its microstructure / P. K. Srivastava, C. Chandel, P. Mahajan, P. Pankaj // Cold Reg. Sci. Technol. 2016. Vol. 125. P. 85–100.*

*Schweizer J., Jamieson J. B., Schneebeli M.* Snow avalanche formation // Rev. Geophys. 2003. Vol. 41. P. 1016–1041. URL: <http://dx.doi.org/10.1029/2002RG000123>.

*Shertzer R. H., Adams E. E.* Anisotropic thermal conductivity model for dry snow // Cold Reg. Sci. Technol. 2011. Vol. 69. P. 122–128.



# ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТЕЙ В ПРИДОННЫХ СЛОЯХ ЛЕДНИКОВ

В. П. Епифанов

Институт проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, г. Москва, Россия

В работе рассматриваются прогностические закономерности деформирования и разрушения льда по данным физического моделирования.

Многие практические вопросы полярной механики связаны с контактным разрушением льда. Ключевыми вопросами в понимании механики контактного деформирования и разрушения льда являются формирование промежуточного слоя, определение структуры, прочностных и реологических характеристик льда в этом слое, а также моделирование предельных режимов обтекания препятствий и визуализация объемного распределения скоростей движения такого льда в круглом канале.

Основой для осуществления исследований послужили известные результаты изучения процессов деформирования тел со сложной реологией (Георгиевский, Шабайкин, 2017), модельные эксперименты по определению ледового сопротивления судна (Сазонов, 2016), а также создание научных основ физики сверхпластичных материалов (Использование ..., 2012).

Проблема движения льда в ледниках включает широкий круг вопросов, связанных с реологией и адгезией пресноводного льда, а также с механикой его контактного пластического разрушения. Актуальность изучения процессов, происходящих в придонных слоях ледников, не ограничивается только геосредами, но охватывает практически значимые технические приложения, например, взаимодействия ледяных полей с конструкциями (ледостойкими платформами и судами).

Анализ опубликованных данных по исследованиям движения ледников и контактному разрушению льда (Molecular ..., 2018) позволяет сформулировать базовую концепцию дальнейших исследований в виде задачи о влиянии микроструктуры промежуточного слоя льда на прочность соединения лед–горная порода с учетом последующей дистанционной оценки локальных режимов движения льда в ледниках.

Решение ищется в виде зависимости напряжений от деформаций, скоростей деформаций, температуры и микроструктуры льда. Рассматриваются три серии экспериментов пластического разрушения льда, имитирующих условия взаимодействия ледников с неровным ложем.

1. Экспериментальные исследования характеристик вторичной структуры пресноводного льда при интенсивной пластической деформации, включая наиболее типичные для условий естественного залегания виды напряженного состояния: удар, индентирование и сдвиг в условиях гидростатического сжатия.

2. Разработка теоретической модели, устанавливающей связь между структурой льда и его макроскопическими характеристиками.

3. Влияние импульсов напряжений на структуру и механические характеристики льда в промежуточном слое, включая кинетику формирования вторичных структур льда под влиянием импульсов напряжений.

Под пластичностью здесь понимаются необратимые деформации пресноводного льда, происходящие за малые промежутки времени (доли секунды).

Принципиально новым в работе является количественное определение деформационных изменений структуры льда непосредственно в процессе пластического удара, а также исследование структуры промежуточного слоя в матрице высокого давления с конфузоров (аналог сопла Лавалья). Усиление пластичности льда достигалось наложением упругих волн, создаваемых параболической рабочей поверхностью пресс-штемπεля в условиях компрессионного сжатия (кумулятивный эффект). Определение прочностных и реологических свойств льда, полученного методом интенсивной пластической деформации, выполнялось в условиях гидростатического сжатия при сдвиге с визуализацией обтекания льдом препятствий и распределения скоростей в круглом канале.

Разработаны экспериментальные методы количественного изучения деформационных изменений структуры льда непосредственно в процессе механических испытаний. Деформационные изменения структуры льда представлены реологическим уравнением, адекватно учитывающим эти изменения, выполнена верификация модели. Спектры сигналов акустической эмиссии, генерируемые

при контактном разрушении соединения льда с подложкой при пластическом сдвиге, сопоставлены со спектрами сигналов от удаленных источников на ледниках Альдегонда и Туюк-Су.

### Литература

Георгиевский Д. В., Шабайкин Р. Р. Квазистатическое и динамическое сдавливание плоского круглого идеально-пластического слоя жесткими плитами // Математическое моделирование и экспериментальная механика деформируемого твердого тела: Межвуз. сборн. науч. тр. Тверь: Изд. Тверского гос. техн. ун-та, 2017. С. 56–63.

Епифанов В. П. Влияние импульсов напряжений на структуру льда в промежуточном слое // Докл. РАН. 2018. Т. 479, № 6. С. 629–633.

Использование интенсивных пластических деформаций для получения объемных наноструктурных металлических материалов / Р. З. Валиев, Н. А. Еникеев, М. Ю. Мурашкин, Ф. З. Утяшев // Изв. РАН. Механика твердого тела. 2012. № 4. С. 109–122.

Сазонов К. Е. Определение методов коррекции результатов модельных экспериментов по определению ледового сопротивления судна // Тр. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова. 2016. Вып. 92(376). С. 93–108.

Molecular insight into the slipperiness of ice / В. Weber, Y. Nagata, S. Ketzetzi et al. // J. Phys. Chem. Lett. 2018. Vol. 9. P. 2838–2842.

## МОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ И ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРОМЫСЛОВЫХ РЫБАХ МЕДВЕЖИНСКО-ШПИЦБЕРГЕНСКОГО РАЙОНА

А. Ю. Жилин, Н. Ф. Плотицына, А. М. Лаптева

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного  
хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск. Россия

Выполнено определение загрязняющих веществ в пробах морских рыб, выловленных в различных промысловых районах Медвежинско-Шпицбергенского региона Баренцева моря на 14 станциях (НИС “Вильнюс”, ноябрь–декабрь 2017 г.). Всего проанализировано 50 проб (25 проб мышц и 25 проб печени) атлантической трески, пикши, сайды, камбалы-ерша, черного палтуса и окуня-клювача.

Хлорорганические пестициды (ХОП) и полихлорбифенилы (ПХБ) относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) и являются наиболее распространенными продуктами, загрязняющими окружающую среду. Водные организмы могут накапливать СОЗ в значительных количествах. В естественных условиях скорость их разложения крайне низка (Майстренко, Клюев, 2009). Хлорорганические пестициды в рыбах были представлены  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -изомерами гексахлорциклогексана (ГХЦГ), остаточными количествами гексахлорбензола (ГХБ), изомерами хлордана, изомерами и метаболитами дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ). Среднее суммарное содержание изомеров ГХЦГ в мышцах составляло, нг/г сырой массы: треска –  $0.71 \pm 0.16$ , пикша –  $0.70 \pm 0.09$ , сайда –  $1.24 \pm 0.30$ , камбала-ерш –  $1.68 \pm 0.36$ , черный палтус –  $1.67 \pm 0.41$ , окунь-клювач –  $1.30 \pm 0.22$ , а в печени исследованных рыб было выше, чем в мышцах, так как печень является депонирующим органом, где в первую очередь происходит накопление загрязняющих веществ. Кроме того, печень рыб отличается более высоким содержанием жира ( $40.2 \pm 24.5$  %) по сравнению с мышцами ( $2.62 \pm 2.09$  %). Увеличение в мышцах и печени исследованных рыб относительного содержания  $\alpha$ -ГХЦГ по сравнению с  $\gamma$ -ГХЦГ ( $\alpha$ -ГХЦГ/ $\gamma$ -ГХЦГ > 1) свидетельствует о давнем поступлении этого пестицида в морскую среду. Минимальное среднее содержание ГХБ определено в мышцах трески ( $0.07 \pm 0.02$  нг/г сырой массы), пикши ( $0.053 \pm 0.005$  нг/г сырой массы), сайды ( $0.10 \pm 0.02$  нг/г сырой массы) и печени камбалы-ерша ( $0.72 \pm 0.23$  нг/г сырой массы), а максимальное – в мышцах черного палтуса ( $0.67 \pm 0.21$  нг/г сырой массы) и печени трески ( $3.60 \pm 1.05$  нг/г сырой массы). Минимальное среднее суммарное содержание изомеров хлордана определено в мышцах

пикши ( $0.03 \pm 0.01$  нг/г сырой массы) и печени камбалы-ерша ( $5.19 \pm 1.65$  нг/г сырой массы), а максимальное – в мышцах черного палтуса ( $2.87 \pm 0.70$  нг/г сырой массы) и печени трески ( $49.3 \pm 31.2$  нг/г сырой массы). Из четырех определяемых изомеров хлордана в мышцах и печени рыб доминировал транс-нонахлор. В настоящее время содержание изомеров хлордана в мышцах и печени морских промысловых рыб не нормируется, так как в качестве пестицидов они ранее в СССР, а затем и в России, не применялись. Среднее суммарное содержание изомеров и метаболитов ДДТ в мышцах рыб составляло, нг/г сырой массы: треска –  $1.02 \pm 0.23$ , пикша –  $0.76 \pm 0.11$ , сайда –  $2.14 \pm 0.12$ , камбала-ерш –  $3.73 \pm 1.38$ , черный палтус –  $7.56 \pm 4.74$  и окунь-клювач –  $3.68 \pm 1.12$ . В печени указанных видов рыб оно было значительно выше, так как все хлорорганические соединения обладают липофильными свойствами и хорошо растворяются в жирах. Содержание метаболита  $p,p'$ -ДДЕ в мышцах и печени исследованных рыб значительно превышало содержание изомера  $p,p'$ -ДДТ, что указывало на длительный процесс трансформации ДДТ в более стойкие метаболиты, т. е. о давнем загрязнении среды обитания рыб этим пестицидом. Величины суммарного содержания изомеров ГХЦГ и изомеров и метаболитов ДДТ в мышцах и печени исследованных рыб не превышали допустимые уровни, установленные СанПиН 2.3.2.1078-01 (Гигиенические ..., 2002).

Среднее суммарное содержание ПХБ в мышцах рыб составляло, нг/г сырой массы: атлантическая треска –  $0.78 \pm 0.11$ , пикша –  $0.59 \pm 0.04$ , сайда –  $1.8 \pm 0.53$ , камбала-ерш –  $3.71 \pm 1.07$ , черный палтус –  $7.09 \pm 4.10$ , окунь-клювач –  $4.13 \pm 1.21$ . Вследствие более значительного количества жира величины суммарного содержания конгенов ПХБ в печени рыб на порядок превышали их содержание в мышцах. Из индивидуальных конгенов ПХБ в мышцах и печени рыб преобладали соединения с номерами по номенклатуре IUPAC 118, 138, 153 (более 60 % от ΣПХБ), что указывает на техногенное загрязнение среды их обитания коммерческими смесями типа Agoclog (российские аналоги Совол – конденсаторное масло и Совтол-10 – трансформаторное масло). Величины суммарного содержания 11 определяемых конгенов ПХБ в мышцах и печени промысловых рыб Медвежинско-Шпицбергенского района Баренцева моря были во много раз ниже допустимых уровней (2000 и 5000 нг/г сырой массы соответственно), установленных СанПиН 2.3.2.1078-01 для морских рыб (Гигиенические ..., 2002).

Изменение содержания тяжелых металлов и микроэлементов в различных тканях морских рыб вследствие антропогенного воздействия происходит на фоне их природного содержания, а диапазоны, при которых они выступают как микроэлементы (или как токсиканты) чрезвычайно узки. Из микроэлементов в мышцах и печени исследованных рыб преобладали железо, цинк, мышьяк и медь. Минимальное содержание характерно для кобальта, кадмия и ртути. Содержание никеля, хрома, марганца и кобальта в тканях рыб варьировало в очень узком диапазоне и не превышало природные фоновые уровни: мышцы –  $0.20-0.24$ ,  $0.11-0.17$ ,  $0.19-0.22$ ,  $0.020-0.10$  мкг/г сырой массы соответственно, печень –  $0.40-0.60$ ,  $0.42-0.75$ ,  $0.85-1.55$ ,  $0.23-0.73$  мкг/г сырой массы соответственно. К числу весьма токсичных микроэлементов в первую очередь относят свинец, кадмий, мышьяк и ртуть. Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01, в мышцах морских промысловых рыб нормируется только содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка, в печени рыб – свинца, кадмия и ртути (Гигиенические ..., 2002). Среднее содержание нормируемых токсичных микроэлементов в мышцах и печени исследованных рыб не превышало допустимые уровни, утвержденные СанПиН 2.3.2.1078-01, за исключением общего мышьяка. В мышцах атлантической трески и камбалы-ерша норматив содержания общего мышьяка 5.0 мкг/г сырой массы был незначительно превышен (Гигиенические ..., 2002). Накопление в органах и тканях рыб многих микроэлементов обусловлено их способностью замещать другие, близкие по свойствам микроэлементы. Так, например, арсениты, являясь аналогами фосфатов, определяют в известной степени накопление мышьяка в организме гидробионтов. Следует отметить, что мышьяк поглощается водными организмами в основном с пищей и его токсичные неорганические соединения способны быстро образовывать прочные комплексы с низкомолекулярными органическими соединениями, которые не представляют опасности для человека и к тому же быстро выводятся из организма (Мур, Рамамурти, 1987).

Сравнивая полученные результаты с опубликованными данными для промысловой ихтиофауны Мирового океана и Баренцева моря, можно сделать вывод о незначительном содержании ХОП, ПХБ, тяжелых металлов и микроэлементов в мышцах и печени исследованных рыб. В краткосрочной перспективе на состояние запасов промысловых видов водных биологических ресурсов наблюдаемый уровень загрязнения мышц и печени рыб в исследованных районах Баренцева моря существенного влияния не окажет.

## Литература

- Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. СанПиН 2.3.2.1078-01. М.: ИнтерСЭН, 2002. 168 с.*
- Майстренко В. Н., Клюев Н. А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2009. 323 с.*
- Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния / Пер. с англ. М.: Мир, 1987. 288 с.*

### **PERACARIDA (CRUSTACEA, MALACOSTRACA) ФЬОРДОВ И ПРИЛЕЖАЩЕГО ШЕЛЬФА АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН**

**О. Л. Зимина**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Донная фауна архипелага Шпицберген исследована относительно полно. Существует ряд сводок по видовому составу различных таксономических групп, частично охарактеризованы сообщества фьордов в градиенте факторов среды. Сведений о видовом составе и распределении на акватории фьордов и прилежащего шельфа архипелага донных ракообразных надотряда Peracarida очень мало. По имеющимся в литературе данным судить об особенностях структуры фауны перакарид и влиянии на ее распределение факторов среды, особенно таких специфических как процессы, связанные с таянием ледников и изоляцией отдельных участков фьордов, не представляется возможным.

Данная работа основана на материалах, собранных в экспедициях ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы” в заливах Хорнсунн, Белльсунн и Ис-фьорд и на прилегающем шельфе о. Западный Шпицберген в 2001–2003, 2008, 2015 и 2017 гг. Всего в районе исследований отобраны количественные пробы на 90 станциях. Пробы отбирались дночерпателем ван-Вина с площадью захвата 0.1 м<sup>2</sup> в трех- или пятикратной повторности, промывались через сито с ячейей 0.75 мм и фиксировались 4 %-м раствором формальдегида.

В проанализированном материале обнаружено 174 таксона перакарид (140 видового ранга), относящихся к 4 отрядам. Среди них 91 вид амфипод, 24 вида кумовых раков, 17 видов изопод и 8 видов танаид. По сравнению с литературными данными видовые списки увеличены на 119 таксонов. При этом 63 таксона в наших материалах отмечены не были. Таким образом, в настоящее время в фауне перакарид исследованных районов архипелага Шпицберген насчитывается 240 таксонов. При этом более чем в 2 раза увеличены списки для прилегающего шельфа Шпицбергена, а среди фьордов наибольшее число не отмеченных ранее на акватории видов встречено в системе Ис-фьорда. Отсутствие в наших сборах некоторого количества видов, упоминающихся в литературе, связано с тем, что ранее наиболее подробно были изучены мелководные районы и литораль, населенные специфическими видами, в то время как нашими исследованиями охвачены в основном центральные районы с глубинами более 20 м.

Средние значения количественных параметров по всему району следующие: видовое разнообразие –  $10 \pm 1$  видов на станцию, биомасса –  $1.5 \pm 0.2$  г/м<sup>2</sup>, плотность поселения –  $200 \pm 20$  экз/м<sup>2</sup>. Количественное распределение перакарид по району исследований носит неравномерный характер. Максимальные значения численности и биомассы характерны для устьевых и кутовых районов фьордов, в зонах смешения водных масс разного происхождения, а также для открытой шельфовой зоны.

Биогеографические группы в пределах исследованной акватории распределены также неравномерно. Их распределение подчинено определенным закономерностям и обусловлено в первую гидрологическими условиями на акватории и распределением придонных температур. Так, максимальное количество арктических холодноводных видов отмечено в кутовых участках фьордов, подверженных влиянию ледникового стока, а также в районе прохождения ветвей холодного течения в шельфовых районах восточного побережья. Бореальные тепловодные виды сосредоточены в районах устьевых участков фьордов, где максимально влияние атлантических вод, приносимых Западно-Шпицбергенским течением.

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ И РАЗЛИЧИЯ ПЕРВОГО И СОВРЕМЕННОГО ПОТЕПЛЕНИЯ В АРКТИКЕ НА ПРИМЕРЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Б. В. Иванов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия  
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Арктика составляет важную часть планетарной климатической системы, связанную с другими частями посредством переноса тепла и влаги в атмосфере и океане (Алексеев, 2003). Для оценки изменений климата наиболее часто используется информация о приземной температуре воздуха (Груза, Ранькова, 2012). Колебания приземной температуры воздуха на архипелаге Шпицберген за более чем вековой период измерений указывают на существование двух основных периода потепления: 1920–1940 гг. и 1980 г.–настоящее время (Long-term ..., 2014).

В ряде работ проанализированы изменения различных компонент климатической системы архипелага на протяжении XX и первого десятилетия XXI веков (Hanssen-Bauer, 2002; Zhuravskiy et al., 2012; Long-term ..., 2014; Tislenko, Ivanov, 2015; Air ..., 2016). Повышение приземной температуры воздуха в XX веке составило более 2 °С. Положительные аномалии наблюдаются и в других составных частях климатической системы. Устойчивая тенденция к смягчению климата в районе Шпицбергена соответствует хорошо известной концепции *быстрого потепления* Арктики (Observationally ..., 2002; Bekryaev et al., 2010; Алексеев, 2014, 2015).

В наших исследованиях использовались данные Норвежского метеорологического института для пос. Лонгйир (1990–2015 гг.), которые включают в себя средние за месяц значения приземной температуры воздуха. Для выявления долговременных тенденций применялся метод скользящего среднего с шагом 11 лет (цикл солнечной активности). Использование фильтра объясняется существенной межгодовой изменчивостью приземной температуры воздуха и необходимостью выявить интересующие нас многолетние закономерности временной изменчивости, исключая “высокочастотные” колебания с меньшим периодом.

Наиболее интенсивное увеличение приземной температуры воздуха на Шпицбергене наблюдается с середины 1980-х гг. Это, так называемое, *современное* потепление соответствует хорошо известному *арктическому усилению* в масштабах всей Арктики (Serezze, Vargo, 2011). Расчет линейного тренда показал, что потепление происходило в среднем со скоростью 0.026 °С/год и составило 2.9 °С за весь период наблюдений. В терминах отклонений от среднего *современное* потепление является более мощным по сравнению с *первым*. В работе проанализированы именно фазы роста на сглаженных кривых приземной температуры воздуха (1915–1935 и 1980–2009 гг.). Максимальные отклонения среднегодовых значений приземной температуры воздуха (не сглаженных) за период *современного* потепления составили 4.4 и 4.1 °С (2006 и 2012 гг.). Аналогичные величины в период *первого* потепления значительно ниже 2.7 и 3.2 °С (1938 и 1954 гг.). Величины потепления были проанализированы также для каждого месяца года в отдельности. Максимальное потепление наблюдалось в феврале, марте, апреле и ноябре: повышение приземной температуры воздуха для указанных месяцев составляло 4–5 °С для всего ряда. Был выполнен анализ интенсивности потепления для выделенных фаз роста приземной температуры воздуха. Расчет соответствующих уравнений линейной регрессии проводился для сглаженных рядов. Для обеих фаз наблюдается более интенсивное увеличение приземной температуры воздуха, чем в целом за весь период (1900–2015 гг.). Для *первого* потепления коэффициент линейного тренда составляет 0.17 °С/год, для *современного* – 0.11 °С/год. Таким образом, оба потепления происходили со скоростями близкими, но при этом существенно большими, чем в целом за весь период инструментальных наблюдений (0.026 °С/год). Самое интенсивное увеличение приземной температуры воздуха зафиксировано для февраля в период *первого* потепления – 0.45 °С/год. Можно выделить два условных периода: *теплый* (май–октябрь) и *холодный* (ноябрь–март). Для *холодного* периода скорость изменения приземной температуры воздуха во время *первого* потепления превосходит соответствующие величины для *современного* периода в 1.5–2 раза. Необходимо отметить, что период *современного* потепления и на большей части российской Арктики характеризуется положительными значениями коэффициентов линейного тренда как в среднем за год, так и по отдельным сезонам (Оценочный ..., 2008). При этом сравнение скорости изменения приземной

температуры воздуха по абсолютной величине показало, что на Шпицбергене *современное* потепление происходит с большей интенсивностью. Например, для района Кольского полуострова по среднегодовым значениям потепление происходит со скоростью 0.6–0.7 °C/10 лет, а для архипелага Шпицберген – 1.1 °C/10 лет.

В рамках выполненного анализа были сделаны следующие заключения.

1. Выявлено повышение приземной температуры воздуха на 2.9 °C за весь период инструментальных наблюдений на Шпицбергене. Наиболее значительное увеличение приземной температуры воздуха наблюдается в ноябре, феврале, марте, апреле и составляет 4–5 °C за столетие.

2. Скорость повышения приземной температуры воздуха в период *первого* потепления составила 0.17 °C/год, в период *современного* – 0.11 °C/год. Анализ скорости изменения приземной температуры воздуха для отдельных месяцев года показал, что наиболее интенсивный рост приходится на февраль в период *первого* потепления – 0.45 °C/год, что в 2.5 раза больше среднегодовых значений.

3. Максимальные значения среднегодовых аномалий приземной температуры воздуха в последние десятилетия в среднем в 3 раза превосходят аналогичные оценки для периода *первого* потепления, что указывает на усиление процесса потепления на архипелаге Шпицберген.

Работа выполнена в рамках плановой тематики НИОКР Росгидромета (раздел 1.5.3.7 ЦНТП) и Программы научного сотрудничества между Росгидрометом и Норвежским метеорологическим институтом (2016–2018 гг.).

## Литература

Алексеев Г. В. Исследования изменения климата Арктики в XX столетии // Тр. ААНИИ. 2003. Т. 446. С. 6–19.

Алексеев Г. В. Арктическое измерение глобального потепления // Лед и снег. 2014. № 2. С. 53–68.

Алексеев Г. В. Проявление и усиление глобального потепления в Арктике // Фундаментальная и прикладная климатология. 2015. Т. 1. С. 11–26.

Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ “ВНИИГМИ-МЦД”, 2012. 194 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: Росгидромет, 2008. 227 с.

Hanssen-Bauer I. Temperature and precipitation in Svalbard 1912–2050: measurements and scenarios // Polar Res. 2002. Vol. 38. № 206. P. 225–232.

Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen / H. Gjelten, Ø. Nordli, K. Isaksen et al. // Polar Res. 2016. Vol. 35. URL: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v35.29878>.

Bekryaev R. V., Polyakov I. V., Alekseev V. A. Role of polar amplification in long-term surface air temperature variations and modern arctic warming // J. Climate. 2010. Vol. 23. P. 3888–3906.

Long-term temperature trends and variability on Spitsbergen: the extended Svalbard airport temperature series, 1898–2012 / Ø. Nordli, R. Przybylak, A. Ogilvie, K. Isaksen // Polar Res. 2014. Vol. 33. URL: <http://dx.doi.org/10.3402/polar.v33.21349>.

Observationally based assessment of polar amplification of global warming / I. V. Polyakov, G. V. Alekseev, R. V. Bekryaev et al. // Geophys. Res. Lett. 2002. № 29. P. 1878–1891.

Tislenko D. I., Ivanov B. V. Long-term variability of Atlantic water temperature in the Svalbard fjords in conditions of past and recent global warming // Czech Polar Reports. 2015. № 5(2). P. 134–142.

Serezze M. C., Barry R. G. Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis // Global and Planetary Change. 2011. Vol. 77. P. 85–96.

Zhuravskiy D., Ivanov B., Pavlov A. Ice conditions at Grønfjorden Bay, Svalbard, from 1974 to 2008 // Polar Geography. 2012. URL: <http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1088937X.2012.662535>.

## ВЛИЯНИЕ ЛЕДНИКОВ НА РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ ВО ФЬОРДАХ ШПИЦБЕРГЕНА

Г. В. Ильин, И. С. Усягина, Д. А. Валуйская

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Самые северные районы Арктики мало освоены, но уже находятся под воздействием множественных глобальных, региональных и локальных источников радиационного загрязнения. К таковым, в частности, относятся островные ледники. Основным фактором загрязнения – это перигляциальные процессы, которые связаны с таянием ледников, характерен для побережья арктических архипелагов и по масштабам развития может быть отнесен к категории системообразующих факторов. В покровных ледниках природой были созданы условия для долговременной аккумуляции радионуклидов, которые осаждались здесь после ядерных испытаний и аварий на Чернобыльской (1986 г.) и “Фукусима-1” (2011 г.) атомных электростанциях.

Поэтому зона арктических архипелагов вызывает у радиэкологов повышенный интерес, связанный с растущим хозяйственным освоением высокоширотной Арктики, климатическими метаморфозами и интенсивным таянием многолетнего ледового покрова.

Архипелаг Шпицберген является удобным модельным полигоном для изучения радиэкологических последствий ускоренного таяния ледников в Арктике. Архипелаг и прибрежные воды – демилитаризованная зона, свободная от воздействия первичных источников техногенных радиоизотопов. Но ледники, покрывающие архипелаг, содержат мелкодисперсную радиоактивную пыль атмосферных выпадений периода ядерной эпохи.

В ноябре–декабре 2015 г. изучалось содержание техногенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в разных слоях воды и в донных отложениях заливов Ис-фьорд, Булле-фьорд и Грэн-фьорд, которые составляют единую систему фьордов о. Западный Шпицберген. Целью исследований стала необходимость оценить влияние ледников архипелага на радиэкологическое состояние фьордов и формирование зон импактного загрязнения на участках разгрузки ледникового стока.

Ис-фьорд с разветвленной системой боковых фьордов – самый крупный и социально освоенный залив Шпицбергена. Его водосборный бассейн изобилует горно-долинными ледниками. Наиболее крупным является выводной ледник Норденшельда. Разгрузка ледника путем стока талых вод и схода айсбергов происходит в кутовой части залива Булле-фьорд – основного продолжения Ис-фьорда.

Свободный водообмен Ис-фьорда с морским бассейном сдерживается поднятием дна в устье залива. В водообмене участвует в основном береговой сток и поверхностная арктическая вода, поступающая из Баренцева моря. Приток атлантических вод Западно-Шпицбергенского течения происходит эпизодически в глубинном и придонном слоях. Это обеспечивает даже в зимние месяцы положительную температуру воды во фьорде.

В Булле-фьорде подводный порог полностью отсекает поступление атлантических вод. Благодаря этому в котловине фьорда при застое водообмена наблюдается максимальное влияние ледника на формирование характеристик морской среды.

Грэн-фьорд не отделен подводным поднятием и имеет свободный водообмен с Ис-фьордом по всему профилю глубин и аналогичную гидрологическую структуру.

Во фьордах верхний слой воды до глубины 50 м сформирован при значительном участии ледникового стока и отделен от нижних слоев пикноклином. Распресненные воды этого слоя в итоге выходят из Ис-фьорда как стоковое течение. Объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  варьирует в нем в диапазоне 1–1.6 Бк/м<sup>3</sup>, а  $^{90}\text{Sr}$  – в диапазоне 1.5–3.6 Бк/м<sup>3</sup>

В вертикальном направлении, ниже распресненного стоком слоя 50–75 м, изменения концентрации радионуклидов малы. Однако в Булле-фьорде, где гидрологическая структура вод не искажается внедрением атлантических масс, хорошо выражен отрицательный вертикальный градиент объемной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Он поддерживается водами зимнего происхождения, которые были сформированы на поверхности в период минимального ледникового стока и заполнили глубинные слои. В этих слоях концентрация радиоизотопов понижена ( $^{137}\text{Cs} > 1$  Бк/м<sup>3</sup>;  $^{90}\text{Sr} > 2$  Бк/м<sup>3</sup>). Препятствием быстрому погружению вновь поступающих в котловину Булле-фьорда летних вод, обогащенных стоками ледника Норденшельда, служит пикноклин, который будет разрушен вертикальной конвекцией много позже при льдообразовании.

В Грён-фьорде объемная активность радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  от 0.6 до 1.4 Бк/м<sup>3</sup>;  $^{90}\text{Sr}$  от 2 до 3.4 Бк/м<sup>3</sup>) равномерно распределена в водной толще. Это соответствует гидрологической структуре вод Грён-фьорда, который имеет свободный водообмен с Ис-фьордом. Эпизоды относительного повышения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  отмечены лишь в самом верхнем слое воды и приурочены к устьям рек и ручьев.

При анализе донных отложений обращает внимание неравномерность концентрации радионуклидов, вызванная несколькими факторами. Главное влияние, по-видимому, оказывают тающие ледники, что проявляется в местах разгрузки стоков и оседания терригенной взвеси.

В Булле-фьорде созданы наиболее благоприятные условия для аккумуляции на дне осадочного материала, поступающего с обширного ледника Норденшельда. В осадках котловины этого фьорда отмечен максимум концентрации  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Средняя концентрация  $^{137}\text{Cs}$  соответствует 4.2 Бк/кг, а  $^{90}\text{Sr}$  – 3.6 Бк/кг сухого осадка.

В донных отложениях Ис-фьорда наблюдается снижение удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Однако в отдельных районах в осадках депрессивных участков дна наблюдается рост их активности, что вызвано накоплением в котловинах осадочного материала, поступающего от выводных ледников через боковые фьорды. В целом для донных отложений Ис-фьорда характерно снижение средней удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (в среднем 3.5 и 2.1 Бк/кг сухого осадка соответственно).

В Грён-фьорде, который и в придонном слое имеет свободный водообмен с Ис-фьордом, средняя удельная активность радионуклидов наиболее низкая ( $^{137}\text{Cs}$  – 3.2 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  – 1 Бк/кг сухого осадка). Флуктуации накопленной в осадках активности характерны устьевым участкам рек, впадающих во фьорд. Часть загрязненных осадков вымывается в Ис-фьорд и оседает в понижениях его рельефа.

Кроме распространенных техногенных изотопов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в куту Булле-фьорда и Грён-фьорда в осадках обнаружен изотоп  $^{134}\text{Cs}$ , жесткое  $\gamma$ -излучение которого делает  $^{134}\text{Cs}$  одним из наиболее опасных элементов при радиационных авариях. Концентрация этого изотопа в осадках очень низкая.

Таким образом, показано влияние современных перигляциальных процессов на радиоэкологическую ситуацию в морском побережье архипелага. На примере системы заливов Ис-фьорда можно заключить, что при современной дегляциации арктических архипелагов сток ледников играет важную роль в формировании радиоэкологического состояния морского побережья, определяет образование зон импактного загрязнения.

Несмотря на колоссальное в прошлом радиоактивное воздействие на Западную Арктику при ядерных испытаниях, в морской среде внутреннего шельфа Шпицбергена отмечается в целом низкая концентрация радионуклидов.

## **МОРФОЛОГИЯ ДОБАВОЧНЫХ НИДАМЕНТАЛЬНЫХ ЖЕЛЕЗ САМОК ДВУХ ВИДОВ РОДА *ROSSIA* (SEPIALOPODA, SEPIOLIDA) ИЗ БАРЕНЦЕВА МОЯ**

**А. И. Ильясова, А. В. Голиков, А. Г. Порфирьев, Р. М. Сабилов**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

В последние десятилетия Арктика привлекает внимание исследователей в связи с дискуссиями о возможных изменениях климата и его влиянии на арктические экосистемы (Climate ..., 2015, 2018). Арктические моря отличаются достаточно высокой продуктивностью, но многие таксоны биоты все еще исследованы недостаточно. Среди них – арктические головоногие моллюски, биология которых остается практически не изученной. Одни из наиболее массовых донных арктических головоногих принадлежат к роду *Rossia* из отряда Sepiolida (Несис, 1985; Особенности ..., 2016). Для Баренцева моря известны три представителя сепиолид: *Rossia moelleri* Steenstrup, 1856; *R. palpebrosa* Owen, 1834; *R. megaptera* Verrill, 1881 (Ильясова и др., 2017). Несмотря на слабую изученность сепиолид в целом, их репродуктивная биология рассмотрена относительно подробно (Голиков, 2014). Парные добавочные нидаментальные железы (ДНЖ) имеются только у головоногих из отрядов Sepiolida, Sepiida и Muropsida, но их роль окончательно не ясна. Добавочные нидаментальные железы состоят из множества трубочек, заполненных симбиотическими бактериями, которые изучались только у



тропических форм (Голиков, 2014; Antimicrobial ..., 2015). В связи с этим цель работы – исследование ДНЖ *R. palpebrosa* и *R. megaptera* из Баренцева моря.

Материал для исследований был собран в Баренцевом море в рамках экосистемной съемки, проводимой Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича (Мурманск) и Институтом морских исследований (Берген, Норвегия) в 2005–2017 гг. На стадиях зрелости III–V<sub>2</sub> исследована 31 самка *R. palpebrosa* (длина мантии 18–52 мм) и 18 самок *R. megaptera* (длина мантии 26–42 мм). У каждой особи извлекались ДНЖ, после чего измерялись их длина, ширина и масса. Изготовление и окраска гематоксилин-эозином гистологических срезов осуществлена по стандартной методике (Коржевский, Гиляров, 2010). У каждого моллюска брали по 3–5 срезов, их дальнейшая морфометрическая обработка проводилась в программе ImageJ. Были найдены площадь сечения ДНЖ и всех трубочек, их количество и суммарный периметр. В качестве математического анализа применялся U-критерий Манна-Уитни и регрессионный анализ (Past 3.20 и MS Excel).

Внешне ДНЖ исследуемых видов оказались идентичны. Они мелкие, ушковидные. На вентральной поверхности имеется желоб, куда открываются протоки основных нидаментальных желез. С возрастом ДНЖ приобретают красно-оранжевую окраску, обусловленную деятельностью симбионтов, но она, как правило, исчезает после длительной фиксации. Тем не менее, мы обнаружили ДНЖ с частично сохранившейся окраской в виде пятен. Рост ДНЖ у исследуемых видов носит отрицательный аллометрический характер ( $y = 94.84x^{-0.594} - R. megaptera$ ,  $y = 32.09x^{-0.327} - R. palpebrosa$ ). Их относительные длина и ширина у *R. megaptera* оказались больше ( $n = 61$ ,  $U = 775.5$ ,  $p = 0.026$  и  $n = 61$ ,  $U = 579$ ,  $p = 0.0004$  соответственно) при меньшей длине мантии. Различия проявляются на всех изученных стадиях зрелости. В пределах каждого вида длина ДНЖ также достоверно превышала их ширину, что свидетельствует о приобретении железой вытянутой формы в онтогенезе. Относительная масса ДНЖ *R. megaptera* также достоверно превышает таковую у *R. palpebrosa* ( $n = 62$ ,  $U = 68.5$ ,  $p = 0.0001$ ). С ростом длины мантии у обоих видов наблюдается закономерное увеличение массы ДНЖ ( $y = 0.0184x^{2.0101} - R. megaptera$ ,  $y = 0.0024x^{2.309} - R. palpebrosa$ ).

Гистологическое строение ДНЖ зрелых самок оказалось идентично. Наружный покров образован многоядным мерцательным эпителием, который наиболее выражен в области желоба, где высота эпителиоцитов в 3–4 раза превышает таковую на остальной поверхности. Строма образована соединительной тканью и содержит множество кровеносных сосудов. В строме присутствуют трубочки, заполненные симбионтами. Их стенки образованы кубическим эпителием, его апикальная поверхность покрыта щеточной каемкой. Нами было выделено два типа трубочек. Первый тип образован вакуолизированными клетками с крупными ядрами и заполнен рыхлой бактериальной массой (палочковидные бактерии, морфотип “бациллы”), второй тип образован более плотными клетками и содержит плотную бактериальную массу (шаровидные бактерии, морфотип “кокки”) (Diversity ..., 2012). Морфометрический анализ срезов выявил ряд различий. Площадь сечения ДНЖ, а также суммарная относительная площадь сечения трубочек у *R. megaptera* больше таковых у *R. palpebrosa* ( $n = 14$ ,  $U = 23$ ,  $p = 0.025$  и  $n = 14$ ,  $U = 6$ ,  $p = 0.0004$  соответственно). С увеличением размеров железы у обоих видов наблюдается возрастание площади сечения и периметра всех трубочек. В целом ДНЖ *R. megaptera* оказались достоверно крупнее, что, вероятно, объясняется их большей плодовитостью (М. М. Канафина, личное сообщение) и, как следствие, необходимостью в выделении большего количества секрета для защиты кладок. Очевидно, секрет выделяется в области желоба, где происходит его дальнейшее всасывание основными добавочными железами.

## Литература

Голиков А. В. Распространение и репродуктивная биология десятируких головоногих моллюсков (Sepioida, Teuthida) в Баренцевом море и прилегающих акваториях: Дис. ... канд. биол. наук (03.02.04). Казань, 2014. 236 с.

Ильцова А. И., Голиков А. В., Сабиров Р. М. Сравнительный анализ морфометрических показателей двух видов рода *Rossia* (Cephalopoda, Sepioida) из Баренцева моря // Pontus Euxinus 2017: Тез. докл. X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем в рамках проведения года экологии в Российской Федерации (11–16 сентября 2017 г.). Севастополь: DigitPrint, 2017. С. 90–93.

Коржевский Д. Э., Гиляров А. В. Основы гистологической техники. СПб.: СпецЛит, 2010. 95 с.

Несис К. Н. Океанические головоногие моллюски: распространение, жизненные формы, эволюция. М.: Наука, 1985. 288 с.

Особенности современного распространения головоногих моллюсков (Cephalopoda) в западной части Арктики / А. В. Голиков, Р. М. Сабиров, П. А. Любин и др. // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. XIII Междунар. науч. конф., 2–4 ноября 2016 г. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 72–75.

Antimicrobial properties and chemical profiling of the accessory nidamental gland in the squid *Euprymna scolopes* / S. M. Gromek, A. A. Sung, A. Kerwin et al. // *Planta Medica*. 2015. Vol. 81(11). DOI: 10.1055/s-0035-1556365.

Climate change alters the structure of arctic marine food webs due to poleward shifts of boreal generalists / S. Kortsch, R. Primicerio, M. Fossheim et al. // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015.

Climate change: warming impacts on marine biodiversity / H. Hillebrand, T. Brey, J. Gutt et al. // *Handbook on Marine Environment Protection*. Springer Intern. Publ. AG, 2018. P. 353–373.

Diversity and partitioning of bacterial populations within the accessory nidamental gland of the squid *Euprymna scolopes* / A. J. Collins, B. A. LaBarre, B. S. Wong Won et al. // *Applied and Environmental Microbiology*. 2012. Vol. 78(12). P. 4200–4208.

## ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ЗАЛИВОВ ИС-ФЬОРД И ГРЁН-ФЬОРД АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

Т. Г. Ишкулова, И. А. Пастухов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

В ходе экспедиции ММБИ КНЦ РАН на НИС “Дальние Зеленцы” (9 ноября–8 декабря 2017 г.) были проведены исследования гидрохимического комплекса в заливах Грён-фьорд и Ис-фьорд (архипелаг Шпицберген). Определяли растворенный в воде кислород, водородный показатель и биогенные элементы (фосфор фосфатный, кремний, азот нитритный). Данное исследование является продолжением работы по изучению гидрохимического режимы фьордов архипелага Шпицберген в различные сезоны. На девяти комплексных станциях отобрано 37 проб воды. Отбор проб осуществляли пластиковыми батометрами объемом 1,7–5 л. Работы выполнены стандартными методами (Руководство ..., 1993), аналитические исследования проводили непосредственно на борту судна. Для анализа минеральных форм биогенных элементов пробы подвергались предварительной фильтрации через фильтры диаметром пор 0,45 мкм. Содержание биогенных элементов определяли на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ.

В заливе Ис-фьорд температура и соленость варьировали в пределах  $-1.73...-5.57$  °С и 34.23–34.99 ‰ соответственно. Заток теплых соленых атлантических вод наблюдался на глубине 160–260 м. В Грён-фьорде температура колебалась от 2.04 до 5.23 °С, соленость – от 34.11 до 34.87 ‰.

В рассматриваемый период времени наблюдалась четкая стратификация вод по биогенам, т.е. конвективное перемешивание, выравнивающее содержание питательных веществ в зимний период, еще отсутствует. Содержание биогенных веществ в воде в пределах фьорда в основном имело тенденцию увеличения от кута к выходу из залива. Характер их распределения соответствовал осеннему периоду, когда максимальная концентрация биогенов наблюдается в придонном слое, где идет интенсивная регенерация органического вещества (Гидрометеорология ..., 1992; Химические ..., 1997).

Кривая распределения растворенного кислорода почти на всех станциях заливов характерного вида: на глубине 10 м она имеет подповерхностный минимум, а на глубине 25–50 м находится максимум (в Грён-фьорде на горизонте 25 м на станции у выхода из залива зафиксирована максимальная концентрация  $O_2$  – 7.26 мл/л). Глубже его содержание постепенно уменьшается, и в придонном слое минимальное содержание кислорода составляет 5.82 мл/л (Грён-фьорд). В водах Грён-фьорда, по сравнению с Ис-фьордом, диапазон флуктуаций величины  $O_2$  шире, вероятно, из-за большего влияния берегового стока (крупные впадающие реки Грён, Бревьерна, Альдегонда, Брюде,

Конгресс) и меньшей глубины залива. Средневзвешенная концентрация кислорода в Ис-фьорде в среднем составляет 6.82 мл/л, а в Грён-фьорде – 6.75 мл/л.

Насыщенность водных масс кислородом исследованной акватории варьировала в пределах 80–90 %. Пространственное распределение повторяет таковое концентрации  $O_2$  в силу отсутствия биотического влияния на содержание биогенов в рассматриваемый период времени.

Тип распределения водородного потенциала по вертикали единообразен для всех станций: от поверхности до глубины 25–50 м происходит резкое увеличение его содержания. После этого рН практически не изменяется до дна. Различия концентрации водородного потенциала наблюдались в основном в поверхностном горизонте. Минимальное содержание данного показателя зафиксировано в куту Грён-фьорда (7.47), что является следствием влияния терригенных вод. Средневзвешенная концентрация водородного показателя на исследованной акватории составила в среднем около 8.0.

Среднее содержание фосфатов в Ис-фьорде – примерно 39 мкг/л, а в Грён-фьорде – около 44 мкг/л. Распределение данного биогена в водном слое исследованной акватории имело различный характер. На большей части акватории количество фосфатов плавно увеличивалось от поверхности ко дну. Однако на станциях, находящихся в средней части Грён-фьорда и в куту Ис-фьорда, кривая распределения минерального фосфора имела подповерхностный положительный пик на глубине 10 м. В Ис-фьорде на станции, расположенной напротив выхода из Грён-фьорда, иной тип распределения фосфатов – поверхностный слой наиболее насыщен  $PO_4^{3-}$  (42.0 мкг/л) по сравнению с остальной акваторией этого залива. На глубине 10 и 50 м на кривой распределения наблюдались два отрицательных пика (36.7 мкг/л) и один положительный на горизонте 25 м (38.5 мкг/л). Ниже 100 м в Ис-фьорде концентрация практически одинакова на всех станциях (около 60 мкг/л).

Количество кремния на акватории фьорда заметно повышается с глубиной. Средняя концентрация кремния в поверхностном слое Ис-фьорда составляет 60 мкг/л, Грён-фьорда – 68 мкг/л, а в придонном горизонте – 104 и 96 мкг/л соответственно. Влияние берегового стока, индикатором которого является данный элемент, наиболее ярко проявляется в Грён-фьорде (по мере удаления от кута средневзвешенная концентрация кремния в водном столбе уменьшается от 71.1 до 42.0 мкг/л). Распределение кремния от поверхности ко дну в основном имеет вид параболы с минимумом на глубине 25–50 м. На горизонте 50 м среднее содержание данного биогена в Ис-фьорде составляет 58 мкг/л, в Грён-фьорде – 51 мкг/л.

Для сравнения полученных нами в 2015 и 2017 гг. результатов для каждой станции были рассчитаны средневзвешенные концентрации. Выявлено повышение средневзвешенного содержания нитритов в Грён-фьорде в среднем в 2.2 раза и Ис-фьорде в 1.8 раза в 2017 г., и незначительное увеличение рН на 0.1 и 0.2 ед. соответственно. По остальным исследованным показателям в 2017 г. наблюдается уменьшение концентраций: по фосфатам – в 2.5 раза в Ис-фьорде и в 2 раза в Грён-фьорде, по кремнию – в 1.7 и 2.1 раза соответственно. Более низкое содержание кислорода в 2017 г. очевидно связано с более высокой температурой водных масс в исследуемый период (в среднем выше на 1.4 °С, чем в 2015 г.). Повышенное содержания нитритов, как правило, наблюдается в слоях скопления органических остатков и достигает максимальных величин в осенний период (Гидрометеорология ..., 1992; Химические..., 1997). Причины изменения концентраций остальных биогенных элементов, возможно, связаны с климатическими особенностями, наблюдаемыми на архипелаге Шпицберген в последнее время. А. Р. Анциферова с соавторами (2016) отмечает высокую интенсивность и продолжительность осадков в 2015 г., что, вероятно, повлияло на количество речных и ледниковых, обогащенных биогенными элементами, водных масс, поступивших в рассматриваемые нами заливы.

Таким образом, на акваториях Ис-фьорда и Грён-фьорда архипелага Шпицберген в ноябре–декабре гидрохимические показатели следующие: кремний – 33–266 мкг/л, фосфаты – 18–181 мкг/л, рН – 7.5–8.2, кислород – 5.7–8.1 мл/л, насыщенность кислородом – 80–98 %. По величине и характеру распределения гидрохимических параметров водные массы находятся на завершении осеннего сезона. Основное влияние на параметры гидрохимического комплекса водных масс заливов в зимний период времени оказывают абиотические факторы.

## Литература

Анциферова А. Р., Сиеккинен Е. Д., Чаус О. М. Климатические особенности распределения осадков на архипелаге Шпицберген по данным ГМО “Баренцбург” // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.). Вып. 13. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2016. С. 26–30.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб.: Гидрометеоздат, 1992. 181 с.

Руководство по химическому анализу морских вод. Руководящий документ. Л.: Гидрометеоздат, 1993. 263 с.

Химические процессы в экосистемах северных морей (гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение) / Г. Г. Матишов, Л. Г. Павлова, Г. В. Ильин и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

## РЕПРОДУКТИВНАЯ БИОЛОГИЯ *ROSSIA MEGAPTERA* В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ И ПРИЛЕГАЮЩИХ АКВАТОРИЯХ

М. М. Канафина<sup>1</sup>, А. В. Голиков<sup>1</sup>, Р. М. Сабиров<sup>1</sup>, Д. В. Захаров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск, Россия

Арктические моря славятся своими богатыми биологическими ресурсами (The Barents ..., 2012). В то же время их условия с низкими значениями температуры и солености неблагоприятны для широкого распространения одного из самых высокоорганизованных классов беспозвоночных – Cephalopoda (Changes ..., 2013). Однако в последнее время в Арктике наблюдается потепление климата (The Barents ..., 2012), в связи с которым в арктические воды возможно проникновение бореальных и бореально-субтропических видов беспозвоночных (List ..., 2001), в том числе и головоногих (Changes ..., 2013). В Арктике известно 10 видов цефалопод, среди которых наиболее распространены представители семейства Sepiolidae (Несис, 1985; Функциональная ..., 2013). Ранее считалось, что в Баренцевом море обитает всего два вида сепиолид – *Rossia palpebrosa* Owen, 1834 и *R. moeleri* Streenstrup, 1856, но не так давно было установлено присутствие еще одного вида – *R. megaptera* Verrill, 1881 (Ильсова и др., 2017). Этот вид, очевидно, всегда присутствовал на юго-западных окраинах моря в небольших количествах. Особенно актуальным в данное время представляется изучение репродуктивной биологии этого вида, в частности с целью сравнения с таковой в типичной части ареала.

Материал для работы был собран в экосистемных съемках Полярного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича в 2003–2018 гг. В ходе работы были исследованы 55 самок *R. megaptera* на стадиях зрелости I–V<sub>2</sub> [длина мантии 12–42 мм (28.4±0.96 мм), масса 1.8–37.2 г (15.2±1.20 г)] и 46 самцов на стадии зрелости I–V<sub>3</sub> [длина мантии 12–37 мм (2.4±0.09 мм), масса 2.5–27.82 г (9.4±0.78 г)], из которых для 23 самок и 21 самца был сделан полный анализ репродуктивной системы, включавший также измерение яичника или семенника, половых желез самок, сперматофорного комплекса органов самцов, диаметра ооцитов, размеров сперматофоров.

Половая система самок состоит из непарного округлого яичника, непарного левого яйцевода с яйцеводной железой, парных нидаментальных и добавочных нидаментальных желез. Наибольшее увеличение яичника и всей репродуктивной системы в целом наблюдается на стадии зрелости IV. Относительная масса яичника составляет 0.4–26.4 % (в среднем 11.5±1.79 %), относительная масса всей половой системы в целом – 1.9–29.6.% (в среднем 14.9±2.07 %). Левая и правая нидаментальные железы примерно одинакового размера, их длина равна 4.3–18.0 мм (в среднем 11.3±0.64 мм, 37.4±1.29 % длины мантии). Основную массу яичника на всех фазах развития, включая самые поздние из изученных, составляют ооциты на фазах превителлогенеза и раннего вителлогенеза (диаметр 0.1–1.9 мм). Диаметр зрелых ооцитов равен 5.3–9.4 мм, 15.5–27.1 % длины мантии (в среднем 6.6±0.21 мм и 20.4±2.61 % длины мантии соответственно). Плодовитость самок составляет 145–416 ооцитов (в среднем 298.6±15.09 ооцитов), а доля резорбции – 1.1–27.0 % (12.8±2.12 %). Сперматангии не имеют специализированных участков крепления и имплантируются снаружи на голове и на краю мантии с левой стороны, что является примитивной особенностью *R. megaptera*. У одной самки может насчитываться до 13 сперматангиев длиной 1.8–2.4 мм (2.08±0.14 мм).

Половая система самцов состоит из непарного овального семенника и сперматофорного комплекса органов, в котором выделяют семяпровод, шесть отделов последовательно соединенных

желез и сперматофорный мешок. Наибольшее увеличение семенника до 5.8 % наблюдается на стадии зрелости III, затем в связи с интенсивным расходом половых клеток в течение последующих стадий онтогенеза происходит постепенное уменьшение до 0.6 % у предвыбойных самцов. Относительная масса сперматофорного комплекса органов достигает в среднем 7.5 % (зрелые самцы). Количество сперматофоров у зрелых самцов составляет 11–31 (21.6±1.9). Сперматофоры представляют собой изогнутые трубки длиной 9.1–17.6 мм (13.6±0.3 мм), что составляет 35.0–67.7 % длины мантии (46.1±1.1 %), они состоят из головки, эйякуляторной трубки, цементного тела, семенного резервуара и задней полой части. Длина эйякуляторной трубки равна 1.1–6.0 мм (3.0±0.2 мм), что составляет 43.2 % длины сперматофора. Она соединяется с крупным цементным телом, длина которого достигает 1.8–4.3 мм (3.0±0.1 мм) и до 33.3 % длины сперматофора. Семенной резервуар при длине 2.6–8.2 мм (6.4±0.2 мм) и до 53.6 % длины сперматофора является самой массивной его частью. Объем семенного резервуара составляет 0.18–2.29 мм<sup>3</sup> (0.97±0.07 мм<sup>3</sup>).

Несмотря на сходство строения репродуктивной системы *R. megaptera* с другими представителями этого рода, она все же имеет ряд отличительных черт (в плане метрических характеристик и плодовитости), которые, в частности, могут помочь отличить *R. megaptera* от других видов рода в Баренцевом море. Очевидно, эти черты сохраняются и в других районах совместной встречаемости представителей данного рода.

### Литература

Ильцова А. И., Голиков А. В., Сабиров Р. М. Сравнительный анализ морфометрических показателей двух видов рода *Rossia* (Cephalopoda, Sepiolida) из Баренцева моря // Pontus Euxinus 2017: Тез. докл. X Всерос. науч.-практ. конф. молодых ученых по проблемам водных экосистем в рамках проведения года экологии в Российской Федерации (11–16 сентября 2017 г.). Севастополь: DigitPrint, 2017. С. 90–93.

Несис К. Н. Океанические головоногие моллюски: распространение, жизненные формы, эволюция. М.: Наука, 1985. 288 с.

Функциональная морфология репродуктивной системы *Rossia palpebrosa* (Cephalopoda, Sepiolida) в Баренцевом море / А. В. Голиков, А. Р. Мороз, Р. М. Сабиров и др. // Учен. зап. Казанского ун-та. Сер. Естественные науки. 2013. Т. 155(3). С. 116–129.

Changes in distribution and range structure of Arctic cephalopods due to climatic changes of the last decades / A. V. Golikov, R. M. Sabirov, P. A. Lubin, L. L. Jørgensen // Biodiversity. 2013. Vol. 14(1). P. 28–35.

List of species of the free-living invertebrates of Eurasian Arctic seas and adjacent deep waters // Explorations of the fauna of the seas. St. Petersburg: ZIN RAS, 2001. Vol. 51(59). 132 p.

The Barents Sea: Ecosystem, resources, management. Half a century of Russian–Norwegian Cooperation / T. Jakobsen, V. Ozhigin (Eds.). Trondheim: Tapir Academic Press, 2012. 832 p.

## ВЛИЯНИЕ ЛАНДШАФТНОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА ЭМИССИЮ CO<sub>2</sub> ПОЧВАМИ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОС. БАРЕНЦБУРГ (ШПИЦБЕРГЕН)

Г. М. Кашулина<sup>1</sup>, Т. И. Литвинова<sup>1</sup>, О. Р. Сидорова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,  
г. Кировск, Мурманская область, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Благодаря влиянию теплого атлантического течения, а также теплых и влажных воздушных потоков из Атлантики, юго-западное побережье о. Западный Шпицберген характеризуется относительно мягким и влажным климатом и развитием более сомкнутого мохово-кустарничкового растительного покрова (Ronning, 1996), под которым формируются хорошо развитые арктические серогумусовые почвы (Переверзев, 2012). Одной из наиболее характерных особенностей этих почв является относительно высокое для таких широт содержание гумуса. Выявление происхождения органического вещества в почвах Шпицбергена – одна из наиболее интересных фундаментальных задач почвенных исследований на архипелаге. Обычно высокое содержание органического вещества в арктических почвах связывают с

заторможенностью процессов трансформации растительных остатков вследствие низких температур и короткого периода с положительными температурами (Васильевская, 1980). Однако полевые эксперименты (неопубликованные данные) показали, что скорость разложения растительных остатков в серогумусовых почвах в районе пос. Баренцбург является достаточно высокой, соизмеримой с лесными почвами Кольского полуострова. Предварительная оценка суммарной микробиологической активности почв по интенсивности выделения  $\text{CO}_2$  (Кашулина и др., 2016) показала, что по этому показателю серогумусовые почвы близки к почвам тундровой зоны европейской части России. В продолжение исследований биологической активности почв Шпицбергена в летний период 2017 г. была определена интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  почвами, сформированными в различных ландшафтных условиях около пос. Баренцбург.

Интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  почвами определялась на 5 стационарных площадках (пл.), расположенных на склонах горного хребта выше пос. Баренцбург на отметках 92 м (пл. 1), 142 м (пл. 2), 148 м (пл. 3), 252 м (пл. 4) и 258 м (пл. 5) над уровнем моря с 23 июля по 2 августа 2017 г. На площадках 1, 2 и 3 растительность представлена сплошным мохово-кустарничковым покровом, на пл. 4 этот покров мозаичный. На площадке 5 растительность характеризуется отдельным пятном мхов и лишайников среди каменистой россыпи. На площадках 1, 2, 3 и 4 под растительностью сформированы серогумусовые почвы, на пл. 5 – литозем. Для характеристики условий, в которых протекает деятельность населяющих почвы организмов, одновременно велись наблюдения за температурой и влажностью верхнего органогенного горизонта. На площадках 1, 2, 4 и 5 с середины июля 2016 г. на глубине 2 см (нижняя часть верхнего органогенного горизонта) установлены регистраторы температуры. Влажность почвы определялась в начале и по окончании эксперимента в 4–7-кратной повторности.

По данным метеорологической обсерватории “Баренцбург” ([www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)), переход среднесуточной температуры воздуха через  $0\text{ }^\circ\text{C}$  в 2017 г. произошел 5 мая. В верхних слоях почв переход на положительные температуры задержался всего на несколько дней. К началу эксперимента сумма положительных температур воздуха составила  $240\text{ }^\circ\text{C}$ . На этом же уровне ( $247\text{ }^\circ\text{C}$ ) была сумма положительных температур на глубине 2 см в почве на пл. 4 (вершина хребта). На других площадках сумма положительных температур почвы была ниже:  $184\text{ }^\circ\text{C}$  на пл. 2,  $189\text{ }^\circ\text{C}$  на пл. 1 и  $197\text{ }^\circ\text{C}$  на пл. 5. Различия по сумме положительных температур в почве между площадками за время проведения эксперимента (с 23 июля по 2 августа) были менее значительными: пл. 1 –  $70\text{ }^\circ\text{C}$ , пл. 2 –  $64\text{ }^\circ\text{C}$ , пл. 4 –  $78\text{ }^\circ\text{C}$ , пл. 5 –  $77\text{ }^\circ\text{C}$ . Медиана среднесуточных температур воздуха за это время составила  $6.9\text{ }^\circ\text{C}$ , в почве на пл. 1 –  $6.4\text{ }^\circ\text{C}$ , на пл. 2 –  $5.8\text{ }^\circ\text{C}$ , на пл. 4 –  $7.1\text{ }^\circ\text{C}$ , на пл. 5 –  $7.2\text{ }^\circ\text{C}$ . При этом распределение всех определенных температурных показателей в верхних слоях почв между площадками не соответствовало абсолютным отметкам. Наоборот, площадки 4 и 5, занимающие верхние позиции в ландшафте, оказались более теплыми.

Различия по влажности верхних слоев почв между площадками были более значительными: медиана влажности варьировала от 209 до 104 % к верхнему слою почвы. Наиболее высокая влажность была свойственна почвам на площадках 1 и 3. Наиболее сухими местообитаниями были площадки 2 и 4.

На площадке 1 суточная эмиссия  $\text{CO}_2$  за время наблюдений варьировала от 56 до  $77\text{ мг/м}^2$ , на пл. 2 – от 28 до  $63\text{ мг/м}^2$ , на пл. 3 – от 50 до  $73\text{ мг/м}^2$ , на пл. 4 – от 51 до  $67\text{ мг/м}^2$ , на пл. 5 – от 43 до  $63\text{ мг/м}^2$ . Согласно распределению медиан, самая низкая интенсивность эмиссии  $\text{CO}_2$  была свойственна пл. 2 (самая сухая и самая холодная) –  $52\text{ мг/м}^2$  в сутки и пл. 5 (почва представлена только маломощным органогенным горизонтом, залегающим на обломках горной породы) –  $54\text{ мг/м}^2$  в сутки, наиболее высокая –  $63\text{ мг/м}^2$  в сутки – на пл. 1. Распределение площадок по интенсивности эмиссии  $\text{CO}_2$  в отдельные дни не имело регулярного характера. На площадке 1, например 28, 29 и 31 июля интенсивность эмиссии была самой высокой среди всех площадок, а 1 августа – самой низкой. Небольшие различия по суточной эмиссии и отсутствие четкой приуроченности минимальных и максимальных значений к определенным площадкам свидетельствуют о том, что высотное положение места не оказывает влияние на интенсивность дыхания почв. Расчеты U-критерия Манна-Уитни подтвердили отсутствие значимых различий по суточной эмиссии  $\text{CO}_2$  между всеми обследованными площадками, кроме площадок 1 и 5.

Относительно небольшие различия по интенсивности эмиссии между площадками в отдельные дни при расчетах суммарной эмиссии за 8 сут. (с 26 июля по 2 августа) становятся более значительными: минимальная суммарная эмиссия  $\text{CO}_2$  составила  $406\text{ мг/м}^2$  (пл. 2), максимальная –  $499\text{ мг/м}^2$  (пл. 1). По величине суммарной эмиссии площадки расположились в том же порядке, что и медианы:  $1 > 4 > 3 > 5 > 2$  и также не зависели от ландшафтного положения площадки.

Таким образом, предварительные исследования продемонстрировали отсутствие существенных различий по суточной эмиссии CO<sub>2</sub> почвами в самый теплый период года между площадками, расположенными на разных элементах ландшафта. Какие-то индивидуальные особенности места (благоприятное сочетание температуры и увлажнения, а также количество и состав растительного опада) оказывают влияние на интенсивность дыхания почв. Влияние абсолютной отметки, однако, может сказаться в годовом цикле, например, за счет различий по продолжительности отрицательных температур и залегания снежного покрова.

### Литература

- Васильевская В. Д.* Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М.: Наука, 1980. 235 с.
- Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Баскова Л. А.* Эмиссия углерода арктическими серогумусовыми грубогумусными почвами острова Западный Шпицберген в летний период // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Вып. 13. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 183–188.
- Переверзев В. Н.* Почвы побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 122 с.
- Rønning O. I.* The flora of Svalbard. Oslo: Norwegian Polar Institute, 1996. 184 p.

## КОМПЛЕКСНЫЕ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В РАЙОНЕ ИС-ФЬОРДА (ШПИЦБЕРГЕН)

**Г. М. Кашулина, Т. И. Литвинова, Н. М. Коробейникова**

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, г. Кировск,  
Мурманская область, Россия

Архипелаг Шпицберген характеризуется уникальным сочетанием природных факторов: географического положения, геологического сложения, климата и рельефа. Исследования химического состава основных поверхностных компонентов окружающей среды на Шпицбергене, как правило, носят узкодисциплинарный подход. Используемый в наших исследованиях комплексный биогеохимический подход позволяет не только охарактеризовать химический состав сразу нескольких природных сред (атмосферные осадки, основные виды растений, главные горизонты почв и поверхностные воды) этой удаленной и уникальной территории, но и выявить факторы и механизмы его формирования. С одной стороны, это позволяет решить фундаментальные задачи сразу в нескольких смежных дисциплинах, с другой стороны, – охарактеризовать экологическую обстановку и условия жизни здесь человека.

Горные породы считаются основным первичным источником элементов для почв, растений и поверхностных вод. Верхние слои четвертичных отложений, служащих почвообразующим материалом, в наших исследованиях представляют нижние горизонты почв (глубина 30–40 см) из 35 обследованных разрезов на побережьях Ис-фьорда, Грэн-фьорда, Булле-фьорда в районе Конгрессдален и Колесбухты. В большинстве разрезов верхние четвертичные отложения были представлены кислыми породами с высоким содержанием SiO<sub>2</sub> и экстремально низким содержанием CaO и MgO. Исключением являются три разреза из района Булле-фьорда, в которых, благодаря присутствию карбонатов, содержание Ca и Mg значительно выше. Сравнение с кларками литосферы (Иванов, 1994–1997) свидетельствует о том, что медианы концентраций Bi, Cr, Sc, Sn, V и Zn в верхних слоях четвертичных отложений исследуемой территории близки к средним содержаниям в литосфере. В то же время медианы концентраций Ag (в 16 раз), As (в 8 раз), Se (в 4 раза) и Te (в 28 раз) и менее значительно Cd, Hg, Mo, Pb и Sb выше, а концентрации Co, Cu, Mn, Ni, Rb, Sr и Tl ниже относительно кларка.

Сравнение с данными исследований других территорий несколько меняет оценки. Например, медианы концентраций большинства элементов (Ag, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Rb, Se и Tl) в нижней части наших разрезов близки по медианам и диапазону варьирования к верхним слоям четвертичных отложений на северо-востоке Европы (Geochemical ..., 2004). Специфическими природными особенностями почвообразующего материала на обследованной территории остаются повышенные содержания As [более

высокие концентрации As были обнаружены в осадочных породах на полуостровах Варангер (Норвегия) и Рыбачий (Environmental ..., 1998)] и пониженные содержания Ca, Mg, Mn и Sr.

Изучение трансформации химического состава почвообразующего материала в процессе формирования главных горизонтов почв очень важно не только для понимания механизма формирования плодородия почв, но и фоновых уровней концентраций элементов в почвах. Наши исследования показали, что в процессе почвообразования содержание всех важных биогенных элементов (Ca, Mg, и Mn), несмотря на их экстремально низкие концентрации в почвообразующем материале, а также K и P в верхних горизонтах O/AO и AYao значительно увеличивается относительно почвообразующего материала, обеспечивая достаточно высокое плодородие почв, несмотря на высокое широтное положение территории.

В процессе почвообразования концентрации большинства микроэлементов (Ag, As, Bi, Rb, Sc, Tl, V, Co, Cr, Cu, Mo, Sb и Zn) в верхнем органогенном горизонте O/AO снижаются относительно почвообразующего материала. В то же время содержание Cd (в 2 раза), Hg (в 4 раза), Se (в 4 раза) и Sr (в 2.5 раза) выше, чем в почвообразующем материале. Повышение концентраций Cd и Hg в верхних органогенных горизонтах почв также не связано с антропогенным влиянием, а является природной особенностью, поскольку было отмечено в почвах фоновых условий северо-востока Европы (Environmental ..., 1998; Geochemical ..., 2004). Верхнему минеральному горизонту AYao свойственны очень незначительные отличия по содержанию элементов от почвообразующего материала.

Растения, как и все живые организмы, активно регулируют свой химический состав. Наши исследования показали, что, несмотря на высокое широтное положение и очень низкие концентрации в почвообразующем материале, растения в окрестностях пос. Баренцбург обеспечены основными элементами питания (Ca, Mg, K и P) на достаточно высоком уровне. Особенностью химического состава растений здесь является высокие концентрации Si, Al, Fe за счет пыления оголенных поверхностей гор и грунтов.

Единичное опробование летних атмосферных осадков на метеоплощадке гидрометеорологической обсерватории “Баренцбург” показало, что по концентрациям основных ионов дождевая вода на Шпицбергене попадает в область высоких значений, свойственных северо-востоку Европы (Geochemical ..., 2004). Это характерно не только для  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Cl}^-$ , повышенные концентрации которых могут быть обусловлены влиянием морских аэрозолей, но и для  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{K}^+$ .

Изучение химического состава поверхностных вод, с одной стороны, имеет важное самостоятельное значение для характеристики этого важного компонента окружающей среды и важного природного ресурса. С другой стороны, характеризуя поток на выходе за пределы водосбора, оно предоставляет важную информацию о процессах, происходящих в наземной части водосбора, особенно в почвах. Эпизодическое опробование водотоков в окрестностях пос. Баренцбург показало, что, несмотря на низкие температуры, концентрации основных ионов во всех обследованных поверхностных водах около пос. Баренцбург выше медианы из набора данных, представляющих реки 1–2 порядка на северо-востоке Европы (Geochemical ..., 2004). Концентрации Al, Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Sr и Zn в фильтрованной воде всех водотоков около пос. Баренцбург выше, а Cr и Fe значительно ниже медианы того же набора данных.

Таким образом, несмотря на высокое широтное положение и экстремально низкие концентрации Ca, Mg и Mn в верхних слоях четвертичных отложений, на обследованной территории формируются почвы с достаточно высоким уровнем плодородия, растения не испытывают дефицита важных элементов питания, а поверхностные воды не уступают по минерализации водотокам первого-второго порядка северо-востока Европы.

## Литература

- Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: Справочник в 6 кн. М.: Недра, 1994–1997.
- Geochemical atlas of eastern Barents region / R. Salminen, V. Chekushin, M. Tenhola et al. // J. Geochem. Exp. 2004. Vol. 83, № 1–3. 530 p.
- Environmental geochemical atlas of the central Barents region / C. Reimann, M. Ayras, V. Chekushin et al. // NGU-GTK-CKE special publ. Trondheim: Geological Survey of Norway, 1998. 745 p.



## ПОЧВЕННОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ОСНОВНЫХ ЛАНДШАФТОВ В РАЙОНЕ ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН)

В. Н. Кондакова<sup>1</sup>, В. И. Поляков<sup>2,3</sup>, Е. Я. Явид<sup>1</sup>, Е. В. Абакумов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Архипелаг Шпицберген характеризуется специфическими климатическими особенностями. Относительно теплый и влажный климат для высоких широт в совокупности с распространением непрерывной многолетней мерзлоты определяет значительное почвенное разнообразие.

Классификация и морфологическая структура почвенного покрова архипелага Шпицберген слабо изучена. Поэтому основная цель данного исследования заключалась в описании типов почв в районе залива Грён-фьорд и выявлении особенностей их образования. В работе представлены характеристика исследуемых почв, их таксономическое разнообразие (World ..., 2014), классификация и диагностика (Герасимова, 2004), результаты лабораторного химического анализа (рН, базальное дыхание, содержание органического углерода и азота) и данные, полученные в ходе использования метода вертикального электрического зондирования. Для оценки почвенного разнообразия региона отбор образцов почвы осуществляли в различных ландшафтных позициях.

В соответствии с (World ..., 2014), изученные почвы были отнесены к шести группам: Leptosols, Cambisols, Fluvisols, Regosols, Cryosols, Gleysols. Преобладали Leptosols и Regosols, определенные как молодые почвы со значительными включениями грубообломочного материала и низким содержанием органического вещества. Данные группы почв преимущественно были распространены в перигляциальных ландшафтах, характеризующихся недавним отступлением края современного ледника. Cambisols были обнаружены на пологих склонах, где наряду с грубообломочным материалом присутствовали включения песчаной фракции. Cryosols и Gleysols являются типичными для долин, речных террас, пинго (гидролакколитов) и других форм рельефа с выраженной аккумуляцией четвертичных отложений. На морских террасах были обнаружены Fluvisols. Согласно И. П. Герасимовой (2004), исследуемые почвы можно отнести к следующим отделам: литозёмы, криозёмы, криометаморфические почвы, бурозёмы, стратозёмы, пелозёмы, где наиболее часто встречались криозёмы, стратозёмы и криометаморфические почвы.

По данным, полученным в ходе лабораторных исследований, почвы архипелага Шпицберген характеризуются низким содержанием углерода и азота и низкой обогащенностью гумуса азотом, что связано с недавним отступлением ледника (молодые почвы не успели накопить существенное количество органических элементов). В условиях Крайнего Севера скорость накопления органического материала и его минерализация существенно ниже. Относительно высокое содержание углерода наблюдается в верхних горизонтах почвы, что обусловлено развитием растительного покрова и высокой активностью микробных сообществ. По результатам исследований микробиологической активности почвы также характеризуются низкой активностью за исключением верхних горизонтов. На микробиологическую активность почвы оказывает негативное влияние формирование восстановительных условий. Величина рН варьирует от 5.0 до 8.4. Щелочность обусловлена наличием карбонатов в составе почвообразующей породы.

Вертикальные профили изменения величин удельного электрического сопротивления (Ra) характеризуются постепенным увеличением показателей с глубиной, что связано с распространением многолетнемерзлых пород. В целом для данной территории характерно более близкое к поверхности залегание слоя многолетнемерзлых пород в случае выровненных плоских морских террас. Хорошо дренированные позиции, такие как останцы и пинго, характеризуются более глубоким залеганием верхней границы многолетнемерзлых пород.

Для данной территории выявлены основные факторы почвообразования:

аккумуляция морских отложений в геологически динамичных флювиальных долинах;

преобразование почвообразующей породы – выветривание, эрозия, перераспределение материала в верхних горизонтах почвы;

процесс первичного почвообразования и гумификации после отступления ледника. В результате перигляциальных процессов происходит криотурбация вещества, нарушение структуры почвенного профиля, внедрение органического вещества, морозобойное пучение и растрескивание;

зональные процессы, участвующие в формировании почвенных горизонтов, – трансформация молодых почв, криогенный массообмен, возникновение восстановительных условий в почве (оглеение, смена валентности железа с  $Fe^{+3}$  на  $Fe^{+2}$ , миграция органоминеральных соединений по профилю почвы и накопление их на границе с ММП).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 16-34-60010).

### Литература

Герасимова И.П. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.

World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps // World soil resources reports. Rome, Italy: FAO, 2014. № 106. 203 p.

## ЛИШАЙНИКИ ОКРЕСТНОСТЕЙ БЫВШЕГО ПОСЕЛКА КОЛСБЕЙ (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Л. А. Конорева

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, г. Кировск,  
Мурманская область, Россия

Законсервированный в 1961 г. шахтерский пос. Колсбей находится на берегу одноименной бухты (залив Ис-фьорд) о. Западный Шпицберген.

Согласно принятой системе зонального деления территории архипелага (Øvstedal et al., 2009), она подразделяется на две зоны – полярных пустынь и арктических тундр. В свою очередь, зона арктических тундр представлена северными и средними арктическими тундрами. Считается, что зона полярных пустынь включает районы со средней температурой самого теплого месяца ниже 3 °С, тогда как зона северных арктических тундр – 3–5 °С; средних арктических тундр – 5–7 °С. Южные арктические тундры (7–9 °С) на архипелаге практически отсутствуют, но могут быть представлены небольшими участками, где обитают теплолюбивые виды (например, *Betula nana*, *Sampanula gieseckiana*, *Calamagrostis purpurascens*). Для Шпицбергена был предложен так называемый ряд “горячих точек” (Elvebakk, 2005), одной из них является исследуемая нами территория. Долина Колсдален (Colesdalen) известна на архипелаге природными условиями, существенно отличающимися от остальной территории архипелага (Floraen ..., 2004; Elvebakk, 2005; Øvstedal et al., 2009). Это влажный, защищенный горным хребтом от сильных ветров район, что сказывается на видовом составе высших растений (среди которых, к примеру, нами неоднократно обнаружена *Betula nana*) и, разумеется, лишайников.

Изучение лишайников было начато в июле–августе 2009 г. маршрутным методом в окрестностях пос. Колсбей и продолжено в 2015 г. Сборы лишайников выполнены со всех возможных субстратов: почвы, камней, растительных остатков, мхов, плавника, обработанной древесины, оставшейся от заброшенных построек. При сборе материала учитывались, по возможности, все варианты экологических условий: разная степень освещенности, увлажненности и др.

Несмотря на более чем 200-летнюю историю изучения лишайников архипелага, территория остается изученной крайне неравномерно (Elvebakk, Hertel, 1996; Øvstedal et al., 2009 и др.).

В настоящее время подготовлен предварительный список лишайников окрестностей пос. Колсбей, который включает 124 вида. Нами подтверждены гербарным материалом сведения о 75 видах, в том числе 66 из них приведены для указанного района впервые. Учитывая, что наши данные пока предварительны, список лишайников этой интересной территории будет значительно дополнен. Среди выявленных видов – ряд редких для архипелага, а также находящихся под охраной. Три вида

обнаружены разными авторами только в долине Колесдален – *Lecanora bicincta* Ram., *Miriquidica deusta* (Stenh.) Hertel & Rambold, *Thelenella sordidula* (Th. Fr.) H. Mayrh.

Среди впервые обнаруженных для данного района лишайников приведены редкие и рассеянно распространенные виды на архипелаге, в том числе *Baeomyces rufus* (Huds.) Rebert., *Leptogium saturninum* (Dickson) Nyl., *Peltigera didactyla* (With.) J. Laundon, *P. leucophlebia* (Nyl.) Gyeln., *Phaeorrhiza nimbosea* (Fr.) H. Mayrhofer & Poelt. Выявлены новые места обитания ранее приведенного нами впервые для архипелага *Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant. (Konoreva, 2011).

Виды, включенные в Красную книгу Шпицбергена (Norsk ..., 2015) – *Cladonia mitis* Sandst., *Flavocetraria nivalis* (L.) Kärnefelt & Thell, *Nephroma arcticum* (L.) Torss., *Pilophorus cereolus* (Ach.) Th. Fr.

Учитывая значительное своеобразие лишайнофлоры изучаемого района, а также и других ботанических объектов, наличие редких и охраняемых видов, можно рекомендовать к охране эту уникальную территорию. Долина Колесдален расположена к северу от национального парка (Nordenskiöld Land), но не входит в парк из-за интересов горнодобывающей промышленности.

Работа выполнена в рамках госзадания ПАБСИ КНЦ РАН. Автор выражает признательность сотрудникам лаборатории флоры и растительных ресурсов, совместно с которыми осуществлялись полевые исследования на архипелаге.

### Литература

Elvebakk A. A vegetation map of Svalbard on the scale 1:3.5 mill // *Phytocoenologia*. 2005. Vol. 35. P. 951–967.

Elvebakk A., Hertel H. Lichens // A catalogue of Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria. Part 6. Oslo: Norsk Polarinsitutt Skrifter, 1996. Vol. 198. P. 271–359.

Floraen i Colesdalen, Svalbard / I. G. Alsos, K. Westergaard, L. Lund, B. F. Sandbakk // *Blyttia*. 2004. Vol. 62. P. 142–150.

Konoreva L. Five lichen species new to Svalbard // *Graphis Scripta*. 2011. Vol. 23. P. 24–26.

Norsk rødliste for arter 2015 / S. Henriksen, O. Hilmo (Eds.). Artsdatabanken, Norge. 2015. 193 p. URL: [https://www.artsdatabanken.no/Files/13973/Norsk\\_r\\_dliste\\_for\\_arter\\_2015](https://www.artsdatabanken.no/Files/13973/Norsk_r_dliste_for_arter_2015).

## КОЛЛЕКЦИЯ МОХООБРАЗНЫХ ШПИЦБЕРГЕНА В ГЕРБАРИИ ПАБСИ И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ

**Н. А. Константинова, А. Н. Савченко**

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,  
г. Кировск, Мурманская область, Россия

В гербарии Полярно-альпийского ботанического сада-института Кольского научного центра РАН (ПАБСИ КНЦ РАН) коллекция мохообразных с архипелага Шпицберген вторая по числу образцов после коллекции с территории Мурманской области. Коллекция является уникальным источником для изучения как современного разнообразия мохообразных на архипелаге, так и для исследования процессов видообразования в Арктике. Это результат 13-летнего исследования архипелага коллективом бриологов ПАБСИ. Работы проводились бриологами с 2004 по 2016 гг. без перерыва. Всего в настоящее время в гербарии (КРАВГ – международная аббревиатура гербария) хранится около 3000 идентифицированных образцов. Еще несколько тысяч образцов определены до рода и пока не внесены в основные фонды.

Подавляющее число образцов, хранящихся в гербарии ПАБСИ, собрано на архипелаге сотрудниками лаборатории флоры и растительных ресурсов института: О. А. Белкиной, Н. А. Константиновой и А. Н. Савченко. В 2013 году сборы в окрестностях пос. Пирамида и в бухте Колсбей выполнены Е. А. Боровичевым. Кроме этого в гербарии представлено небольшое число образцов, собранных Н. Е. Королевой в ходе геоботанических описаний, и несколько образцов, присланных на идентификацию специалистам ПАБСИ из других институтов.

Выбранная бриологами ПАБСИ стратегия изучения мохообразных на территории Шпицбергена заключалась в кратковременном обследовании локальных флор (обычно 5–7, но не

более 10 дней). В течение сезона исследовались одна-две флоры в зависимости от финансовых и транспортных возможностей. Исключение представляет собой побережье Грэн-фьорда, где работы проводились в течение нескольких лет как целенаправленно, так и во время ожидания вылетов на другие точки (Флора ..., 2008), а также окрестности пос. Пирамида и бухта Колсбей, где сборы выполнялись в течение двух сезонов. Маршруты планировались до полевого сезона с учетом геологических особенностей и геоморфологии планируемых районов работ и корректировались во время полевого сезона в зависимости от погодных условий и транспортных возможностей. В маршрутах обследовались все подходящие местообитания с возможно большей повторностью с тем, чтобы не пропустить наиболее редкие и мелкие виды, трудно различимые в поле. Во всех местах сбора обязательно фиксировались координаты и давалась краткая характеристика растительного покрова и разнообразия микроместообитаний.

Несмотря на относительно небольшой объем, коллекция имеет большое значение по двум основным причинам. Во-первых, возраст образцов коллекции не превышает 15 лет, что позволяет использовать их для молекулярно-филогенетического изучения. Значение таких исследований как для исследования бриофлоры Арктики, так и для решения вопросов видообразования трудно переоценить. Виды на Шпицбергене нередко представлены арктическими разновидностями. Сравнение их с образцами из более южных регионов, в том числе на молекулярном уровне, позволяет изучить границы варибельности таксонов, выявить новые виды или разновидности, уточнить таксономический статус ранее описанных видов. Так, например, на основании молекулярно-филогенетических исследований собранных коллекций нами была подтверждена находка нового для архипелага вида – *Bucegia romanica* Radian (Konstantinova et al., 2014), причем показано, что он не так и редок на Шпицбергене, но пропускается из-за внешнего сходства с широко распространенной *Preissia quadrata* (Scop.) Nees. Во-вторых, это хорошо документированная коллекция. Точные координаты мест сбора, достаточно подробное описание микроместообитаний и тщательная идентификация всех видов в образцах являются хорошей отправной точкой для использования ее в качестве основы для мониторинга таких природных процессов как солифлюкция, зарастание пятен в пятнистых тундрах, полигонов в полигональных тундрах и др. Коллекция служит фактической основой картирования мохообразных на Шпицбергене. К настоящему времени удалось значительно уточнить и дополнить сведения о распространении большого числа видов, выявить новые для архипелага виды (Konstantinova, Savchenko, 2008, 2012; Belkina, Likhachev, 2013 и др.). Было показано, что многие мохообразные, отнесенные ранее к редким и очень редким на архипелаге, на самом деле таковыми не являются, а местами обильны.

Несомненным достоинством хранящихся в гербарии КРАВГ коллекций является то, что данные этикеток всех изученных образцов внесены в открытую информационную систему Cryptogamic Russian Information System (cris/?q=node/16) и, соответственно, доступны в интернете.

Несколько тысяч собранных образцов пока еще не определены, что обусловлено значительной сложностью и трудоемкостью идентификации арктических образцов мохообразных и очень ограниченным числом соответствующих специалистов. Дальнейшее изучение собранных коллекций позволит уточнить видовой состав флоры и распространение видов мохообразных на Шпицбергене, описать новые для науки таксоны.

## Литература

Флора и растительность побережья залива Грэн-фьорд (архипелаг Шпицберген) / Н. Е. Королева, Н. А. Константинова, О. А. Белкина и др. Апатиты: Изд. К&М, 2008. 132 с.

Belkina O. A., Likhachev A. Yu. Mosses of the Prince Oscar Land (Nordaustlandet, Svalbard) // Arctoa. 2013. Vol. 22. P. 27–34.

Konstantinova N. A., Savchenko A. N. Contributions to the hepatic flora of Svalbard // Lindbergia. 2008. Vol. 33. P. 13–22.

Konstantinova N. A., Savchenko A. N. Contribution to the Hepatic flora of the Nordaustlandet (Svalbard). I. Hepatics of the north coast of Murchison Fjorden // Polish Botanical J. 2012. Vol. 57, № 1. P. 181–195.

Konstantinova N. A., Vilnet A. A., Ștefănuț S. On the distribution and variability of *Bucegia romanica* Radian // Arctoa. 2014. Vol. 23. P. 137–144.

# СРАВНЕНИЕ ГОЛЬЦОВЫХ ПУСТЫНЬ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ШПИЦБЕРГЕНА

Н. Е. Королева, А. Д. Данилова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН,  
г. Кировск, Мурманская область, Россия

Растительность самых высоких позиций в горах европейской Арктики и Субарктики остается слабоизученной. Этот недостаток фактических данных связан в основном с труднодоступностью горных районов и влечет за собой слабую разработанность таких фундаментальных понятий как “горный ландшафт”, “тип поясности”, а также отсутствие знаний о причинах, которые определяют обособление элементов поясности в каждой горной стране и о признаках этих элементов. Своеобразие природы горных территорий и очень сложная картина их ландшафтов и растительного покрова даже в пределах небольших пространств также затрудняет их изучение и ведет к использованию устаревших сведений в статьях.

Цель исследования – сравнить состав растительного покрова гольцовых пустынь в самых высоких горах Мурманской области (Хибинских и Ловозерских) и в горах Шпицбергена (в окрестностях пос. Баренцбург).

Гольцовые пустыни в горах Мурманской области представляют собой пояс растительности, расположенный на самых высоких позициях рельефа, на вершинах и плато, на мелкоземле, щебне, между каменными глыбами, занимая приблизительно от 50 до 90 % общей площади поверхности на предвершинных ступенях и защищенных участках склона и от 1 до 30 % на вершинах и плато.

В горах Шпицбергена группировки гольцовых пустынь распространены выше границы сомкнутой растительности и представляют собой небольшие многовидовые подушки, криптогамные корочки и отдельные дерновинки граминоидов на щебне, плитняке и дресве на высоте от 150–200 м до линии снегов.

С 2013 по 2017 годы были выполнены 48 геоботанических описаний группировок гольцовых пустынь в центральной, северной и южной части Хибинских гор и в центральной части Ловозерского массива (Мурманская область, северо-таежная зона) на высоте от 970 до 1200 м и с привязкой к географическим координатам, в 2003 г. – 10 описаний в горах арктической зоны внутренних фьордов в окрестностях пос. Баренцбург (Шпицберген). Названия сосудистых растений приведены в соответствии со списком С. К. Черепанова (1995), мхов – М. С. Игнатова и О. М. Афоной (1992), лишайников – Р. Сантессона с соавторами (Lichen-forming ..., 2004), синтаксоны приведены в соответствии со сводкой Л. Муцины с соавторами (Vegetation ..., 2016).

В результате табличной обработки и эколого-флористической классификации в гольцовых пустынях гор Мурманской области была описана одна ассоциация *Loiseleurio–Diapensietum* (Fries 1913) Nordh., 1943 и ее варианты:

1) *Carex bigelowii*. Диагностические виды – *Juncus trifidus* (D – доминант), *Carex bigelowii* (D), *Festuca ovina*, *Hyperzia selago*, *Vaccinium myrtillus*. Сообщества-подушки разнообразной формы, площадью от нескольких квадратных дециметров до нескольких квадратных метров, с доминированием *Juncus trifidus* и *Carex bigelowii*. С высоким постоянством встречаются *Salix polaris*, *Silene acaulis* и *Harrimanella hypnoides* (два последних вида доминируют), также *Phyllodoce coerulea* и *Avenella flexuosa*. Из мохообразных постоянны *Polytrichastrum alpinum*, *Racomitrium lanuginosum*, *R. canescens* и *Polytrichum juniperinum*, из лишайников – *Cetraria islandica*;

2) *Racomitrium lanuginosum*. Диагностический вид – *Andreae rupestris*. Сообщества и несомкнутые группировки варианта представляют собой небольшие подушки мхов и лишайников размером до 30 см<sup>2</sup> с доминированием *Racomitrium lanuginosum* и с высоким постоянством лишайников *Flavocetraria nivalis*, *Andreae rupestris*, *Racomitrium lanuginosum*, *Cetraria islandica* и *Stereocaulon alpinum* и незначительным присутствием сосудистых растений (*Juncus trifidus*);

3) *Flavocetraria nivalis*. Диагностические виды – *Flavocetraria nivalis* (D), *F. cucullata*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Alectoria ochroleuca*, *Thamnolia vermicularis*, *Empetrum hermaphroditum* и *Dryas octopetala*. Сообщества и несомкнутые группировки варианта представляют собой подушки и куртины размером от 1 до нескольких квадратных метров, преобладают лишайники *Flavocetraria nivalis*, *F. cucullata* и *Alectoria ochroleuca*, из сосудистых постоянны *Vaccinium vitis-idaea* и *Empetrum hermaphroditum*, из мохообразных – *Racomitrium lanuginosum*. Сообщества-подушки в Хибинских горах при сплошном

покрове лишайников имеют большую толщину – 15–20 см, что связано с отсутствием зоогенного пресса, а именно, выпаса оленей.

В горах в окрестностях Баренцбурга (Грэнфьордфьеллет) были описаны следующие типы сообществ (не отнесены к ассоциациям из-за недостатка данных):

1) ожиковые группировки, принадлежащие к союзу *Luzulion arcuatae* Elvebakk, 1985. Среди постоянных видов сосудистые растения *Luzula confusa*, *Cardamine bellidifolia*, мохообразные *Racomitrium lanuginosum*, *Gymnomitrium corallioides*, лишайники *Sphaerophorus globosus*, *Cetrariella delisei*. Группировки представляют собой отдельные дерновинки сосудистых растений, перемежающиеся с подушечками и корочками мохообразных и лишайников;

2) группировки мака Даля, союз *Papaverion dahliani* Hofmann ex Daniëls, Elvebakk et Matveyeva in Daniëls et al., 2016. Отдельные особи мака *Papaver dahlianum* были описаны на осыпи плитняка на вершине горы Опккувет на площади в несколько квадратных метров, кроме него встречены *Luzula confusa*, *Saxifraga cespitosa*, *Minuartia rubella*, *Cladonia* spp.;

3) травяно-гипновые сообщества, принадлежат к союзу *Caricion stantis* Matveyeva, 1994, представляют собой сомкнутые монодоминантные куртины из гигро-, гидрофитных мхов *Campylium stellatum*, *Limprichtia revolvens*, в которых укореняются отдельные особи сосудистых гигрофитов *Saxifraga rivularis*, *Ranunculus pygmaeus*, *Phippsia algida*, встречаются в сырых приснежных местообитаниях на платообразных участках хребта Грэнфьордфьеллет.

Были построены таблицы геоботанических описаний, для типов определены соотношения жизненных форм и географических элементов видов сосудистых растений.

### Литература

Игнатов М. С., Афонина О. М. Список мхов территории бывшего СССР // Арктоа. 1992. Т. 1, № 1–2. 187 с.

Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.

*Lichen-forming and lichenicolous fungi of Fennoscandia* / R. Santesson, R. Moberg, A. Nordin et al. // Uppsala. 2004. 359 p.

*Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities* / L. Mucina, H. Bueltmann, K. Dierßen et al. // Applied Vegetation Science. 2016. Vol. 19. 264 p.

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ

Е. О. Кременецкая<sup>1</sup>, Ю. А. Виноградов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Кольский филиал ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН”, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр “Единая геофизическая служба РАН”, г. Обнинск, Россия

В течение последних трех десятилетий Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН проводит совместные геофизические наблюдения на Шпицбергене с Норвежским геоинформационным центром НОРСАР (NORSAR). Благодаря этой кооперации была создана западно-арктическая сеть автоматизированного сейсмологического мониторинга (Сейсмоинфразвуковой ..., 2012; Формирование ..., 2012) и показано, что она может служить основой для формирования комплексной сейсмоакустической системы геофизического мониторинга природной среды. В условиях Шпицбергена появилась возможность эффективного применения сейсмоинфразвуковых групп для контроля импульсных процессов энергоразрядки в криосфере (Сейсмоинфразвуковой ..., 2017) и отслеживания структуры атмосферы, влияющей на дальний перенос аэрозольных потоков загрязняющих веществ (Виноградов, Виноградов, 2005; Виноградов, 2012). Шпицбергенская система сейсмоакустического мониторинга трех сред – литосферы, криосферы и атмосферы – сопрягается с глобальной сетью геохимического и метеорологического мониторинга МСМ, созданной в рамках Договора о всеобщем запрещении

ядерных испытаний. Первая ячейка этой сети – ст. RN49 на о. Западный Шпицберген – была введена в эксплуатацию НОРСАР в 2003 г. для регистрации концентрации в приземном слое воздуха радионуклидов и благородных газов. В соответствии с многолетним соглашением между НОРСАР и КоФ ЕГС РАН, данные станции доступны для анализа в региональном информационно-обрабатывающем центре “Апатиты” ЕГС РАН.

Известно, что радиоактивные аэрозоли и благородные газы, попадающие в атмосферу при промышленных выбросах и атомных взрывах, могут пройти в стратосфере и тропосфере тысячи километров, прежде чем выпадут на поверхность Земли (Кароль, 1972; Израэль, 1996). Мелкие аэрозоли (размером не более нескольких микрометров), попавшие в верхнюю тропосферу, обычно распространяются вдоль зонального пояса широт с запада на восток, а заброшенные в стратосферу выпадают на поверхность Земли в пределах всего полушария, а в некоторых случаях – в обоих полушариях.

На Шпицбергене отсутствуют источники радиоактивных изотопов, но на ст. RN49 периодически регистрируются повышенные концентрации  $^{133}\text{Xe}$ ,  $^{135}\text{Xe}$ ,  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ,  $^{140}\text{Ba}$  и некоторых других радионуклидов, которые связаны с выбросами атомных станций и предприятий изотопной фармакологии. Нами были предприняты попытки поиска соответствующих внешних источников, поставляющих загрязнение на архипелаг. Для каждого зарегистрированного случая повышенного уровня радионуклидов мы применили разработанную методологию с использованием расчетов прямого и обратного атмосферного переноса для определения вероятных областей источника, в которых мог произойти выброс излучения в атмосферу (Global ..., 2007; International ..., 2018).

Аномально высокий уровень радиоактивного загрязнения пришелся на 2011 г. в связи с аварией на японской АЭС “Фукусима”. Уровень концентрации изотопов и благородных газов, зарегистрированных ст. RN49, был сравним с уровнем, отмеченным японскими станциями. В 2012–2016 годах было зафиксировано сезонное повышение концентрации радионуклидов в конце лета и начале осени, предположительно связанное с потенциальными источниками в северо-западной Гренландии. Аналогичный вывод был сделан на основе данных, записанных ст. RN34 в Исландии.

Проведенный анализ показал, что вследствие специфики распространения атмосферных потоков в Арктике, даже такой экологически чистый и удаленный от промышленных зон островной архипелаг как Шпицберген подвержен существенному трансокеаническому радиоактивному загрязнению. Современная разреженная сеть метеорологического и геофизического мониторинга в Арктике не позволяет в деталях проследить пути воздушного переноса радионуклидных аэрозолей (Маловичко и др., 2014а). Для надежного контроля структуры атмосферы, определяющей пути распространения загрязнений, целесообразно расширить сеть акустического мониторинга путем установки инфразвуковых групп на существующих метеостанциях, локализованных на арктических островах Медвежий, Гукера, Новая Земля, Белый, Северная Земля и Новосибирские (Маловичко и др., 2014б).

## Литература

*Виноградов Ю. А.* Первые результаты регистрации инфразвуковых полей на архипелаге Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. XI Междунар. науч. конф., 1–3 ноября 2012 г., г. Мурманск. Вып. 11. М.: ГЕОС, 2012. С. 33–38.

*Виноградов Ю. А., Виноградов А. Н.* Перспективы развития инфразвукового и сейсмического мониторинга волновых полей в районе архипелага Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 35–40.

*Израэль Ю. А.* Радиоактивные выпадения после взрывов и аварий. СПб.: Прогресс-погода, 1996. 355 с.

*Кароль И. П.* Радиоактивные изотопы и глобальный перенос в атмосфере. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 365 с.

*Маловичко А. А., Виноградов А. Н., Виноградов Ю. А.* Развитие систем геофизического мониторинга в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2014а. № 2(14). С. 16–23.

*Маловичко А. А., Виноградов А. Н., Виноградов Ю. А.* Государственная стратегия освоения Арктической зоны России и задачи ГС РАН по развитию систем геофизического мониторинга в Арктике // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. IX Междунар. сейсмологической школы, Республика Армения, 8–12 сентября 2014 г. Обнинск: Изд. ГС РАН, 2014б. С. 3–11.

*Сейсмоинфразвуковой мониторинг на Шпицбергене* / В. Э. Асминг, С. В. Баранов, Ю. А. Виноградов, А. И. Воронин // Сейсмические приборы. 2012. Т. 48, № 3. С. 20–33.

*Сейсмоинфразвуковой мониторинг криосферы Шпицбергена* / С. В. Баранов, А. Н. Виноградов, А. И. Воронин, Д. В. Снегов, И. С. Федоров // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. XII Междунар. сейсмологической школы (Республика Казахстан, 11–15 сентября 2017 г.). Обнинск: Изд. ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 44–47.

*Формирование системы сейсмологического и инфразвукового мониторинга в Западной Арктике в XX веке и перспективы ее дальнейшего развития* / А. Н. Виноградов, Ю. А. Виноградов, Е. О. Кременецкая, С. И. Петров // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2012. № 4. С. 145–163.

*Global backtracking of anthropogenic radionuclides by means of a receptor oriented ensemble dispersion modeling system in support of Nuclear-Test-Ban Treaty verification* / A. Becker, G. Wotawa, L.-E. De Gees et al. // Atmospheric Environment. 2007. Vol. 41. P. 4520–4534.

*International challenge to model the long-range transport of radioxenon released from medical isotope production to six Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty monitoring stations* / C. Maurer, J. Bare, J. Kusmierczyk-Michulec et al. // J. Environmental Radioactivity. 2018. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2018.01.030>.

## **ВЛИЯНИЕ СОСТАВА КОРЕННЫХ ПОРОД НА ГЕОХИМИЧЕСКИЙ ОБЛИК И УРОВНИ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН (ДОЛИНА ЧЕМБЕРЛЕНДАЛЕН)**

**К. А. Кукса<sup>1</sup>, В. В. Шарин<sup>1,2</sup>, А. С. Окунев<sup>2</sup>, Н. Н. Костева<sup>2</sup>, А. Н. Сироткин<sup>2</sup>, В. А. Сумина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург – Ломоносов, Россия

Круговорот химических элементов является одним из важнейших процессов, обеспечивающих существование жизни на нашей планете. Частично он осуществляется благодаря перемещению элементов по пищевой цепи от растений к высшим животным и человеку. Однако антропогенное воздействие часто приводит к нарушению природного баланса веществ и вызывает избыточное накопление одних элементов и дефицит других, что может губительно сказываться на здоровье и жизнедеятельности всех элементов этой цепи, включая и человека.

Для корректной оценки степени антропогенного воздействия на почвы необходимо иметь достоверную информацию об общем геохимическом фоне на изучаемой территории, который для арктических районов в значительной степени определяется химическим составом подстилающих коренных пород и перекрывающих их четвертичных отложений. В данной работе мы предприняли попытку оценить влияние состава природной среды на уровни содержания в почвах о. Западный Шпицберген тяжелых металлов и некоторых нетоксичных элементов.

Участок, на котором проведено геоэкологическое опробование, располагается у подножия восточного борта долины Чемберлендален (о. Западный Шпицберген) в ее устьевой части. В геологическом отношении восточный борт долины и сама долина сложены породами среднерифейской осадочно-вулканогенной серии Чемберлендален и прорывающими их среднерифейскими интрузиями ультрабазит-базитового состава. Все породы подвергнуты слабому региональному метаморфизму. Западный борт долины и его подножие сложены верхнерифейскими филлитами и кварцитами и вендскими диамиктитами.

В пределах участка 500x300 м в восточном борту долины были отобраны 14 проб почв, в которых затем рентгено-флуоресцентным методом были определены содержания Pb, As, Ni, Zn, Cu, Co, Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, K, P, Ca и Sr. Анализ был выполнен на энергодисперсионном анализаторе Спектроскан-Макс GV в лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ.

Результаты исследования показали, что основными компонентами почв являются кремнезем (SiO<sub>2</sub>, 43–48 вес. %) и алюминий (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 14–21 %), а также в подчиненном количестве железо (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 9–13 %), магний (MgO, 2.5–7 %), калий (K<sub>2</sub>O, 2.5–3.3 %) и кальций (CaO, 1.5–3.7 %). Уровни



содержания остальных компонентов не превышают 1 %. Концентрации тяжелых металлов и ряда нетоксичных элементов варьируют незначительно, г/т: Ni – 120, Zn – 100, Cu – 80, Co – 80, Sr – 150, Pb – 30. Наиболее низкие концентрации характерны для мышьяка (7 г/т), а наиболее высокие – для марганца (870 г/т). В целом по уровням содержаний названных элементов почвы долины Чемберлендален близки к почвам других участков архипелага Шпицберген (Plichta, Kuczynska, 1991; Кашулина, 2006; Kuksa et al., 2015; The presence ..., 2017; Распределение ..., 2017), и лишь концентрации Ni и Co в них повышены в 2–3 раза относительно других районов. При этом они слегка превышают и максимальные значения в 110 и 58 г/т соответственно, приводимые для средней почвы мира (по: Kabata-Pendias, 2011). Химический анализ метавулканитов и перидотитов, широко развитых в районе исследований, выявил высокие концентрации в них не только никеля (490–1120 г/т) и кобальта (80–88 г/т), но также цинка (100–140 г/т), хрома (640–1530 г/т) и марганца (1200–1400 г/т). При этом в почвах участка Чемберлендален установлена сильная положительная корреляция между содержаниями окислов железа и магния и концентрациями большей части тяжелых металлов (Co, Ni, Cu, Zn, V, Mn). Все это позволяет рассматривать основные и ультраосновные породы, слагающие борта долины, в качестве основного источника поступления в почвы как основных элементов (Si, Al, Mg, Fe, K, Ca), так и тяжелых металлов. Это подтверждается и результатами шлихового опробования, которое выявило пирит-авгит-ильменитовую минеральную ассоциацию в восточном борту долины и магнетит-авгит-ильменитовую в ее осевой части. Поскольку для ильменита из основных пород характерно присутствие примесей V, Cr, Co и Ni, механическое концентрирование этого минерала в тяжелой фракции русловых отложений в устье долины может приводить к дополнительному обогащению данными элементами как самих отложений, так и развивающихся на них почв.

### Литература

Кашулина Г. М. Геохимические особенности почв окрестностей Баренцбурга, Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 321–330.

Распределение тяжелых металлов и ряда нетоксичных элементов в почвах бухты Дундер (архипелаг Шпицберген, о. Западный Шпицберген) / К. А. Куksа, В. В. Шарин, Н. Н. Костева, А. С. Окунев // География арктических регионов 2017. Кол. монография по матер. Междунар. науч.-практ. конф., Санкт-Петербург, РГПУ им. А. И. Герцена, 9–10 ноября 2017 г. СПб.: Тип. ООО “Старый город”, 2017. С. 83–87.

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Fourth Ed. Publ. CRC Press, 2011. 548 p.

Kuksa K., Tabuns E., Sharin V. Natural vs. anthropogenic sulfur in Spitsbergen soils: first results // 2<sup>nd</sup> International Conference Polar Climate and Environmental change in the Last Millenium. Torun, Poland, 2015, August 24–26. Torun, 2015. P. 55–56.

Plichta W., Kuczynska I. Metal contents in soils of Kaffiøyra, Spitsbergen // Polish Polar Res. 1991. Vol. 12(2). P. 183–193.

The presence of mercury and other trace metals in surface soils in the Norwegian Arctic / K. Halbach, Ø. Mikkelsen, T. Berg, E. Steinnes // Chemosphere. 2017. Vol. 188. P. 567–574.

## ДИНАМИКА ГЛУБИНЫ СЕЗОННОГО ПРОТАИВАНИЯ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

В. Ю. Кустов, П. В. Богородский

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются процессы сезонной эволюции криолитозоны в прибрежной зоне Западного Шпицбергена. Целью работы является улучшение понимания процессов теплопереноса в системе деятельный слой–снежный покров–приземный слой, определяющей энергообмен атмосферы с вечной

мерзлотой. Основное внимание уделяется наблюдениям и моделированию термической структуры и мощности сезонно-талого слоя, которые контролируют тепловой баланс арктических грунтов. Работа мотивирована интересом к многолетней динамике сезонного протаивания арктических грунтов в прошлом и оценке влияния меняющихся атмосферных условий на тепловой режим деятельного слоя и вечной мерзлоты. Представленные результаты отвечают типичному для прибрежной зоны Западного Шпицбергена участку относительно сухой арктической пустыни, где влияние растительности, включая теплоизоляцию и транспирацию, является незначительным. Приведены данные метеорологических и мерзлотных измерений на организованном на южном берегу залива Ис-фьорд (в 2 км к северу от Баренцбурга) в начале сентября 2016 г. криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген. Выполнен обзор климатических и ландшафтных характеристик района исследований, а также параметризация теплофизических свойств его грунтов (Гаврильев, 1998; Putkonen 1998). С помощью стационарной модели промежуточного уровня сложности (Sazonova, Romanovsky, 2003), реализующей известный алгоритм Кудрявцева (Основы ..., 1974), и данных метеорологических наблюдений на станции "Баренцбург" получены оценки многолетней динамики глубины сезонно-талого слоя и температуры на его нижней границе, хорошо согласующиеся с данными наблюдений (Variability ..., 2013). Установлено, что несмотря на использование ряда упрощающих предположений, модельные данные мерзлотно-климатических изменений, показавшие уверенный рост сезонного протаивания начиная с 1980-х гг., удовлетворительно согласуются с ходом глобального потепления (Modeling ..., 2011; МГЭИК ..., 2014).

### Литература

Гаврильев Р. И. Теплофизические свойства горных пород и напочвенных покровов криолитозоны. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1998. 280.

МГЭИК, 2014: Изменение климата, 2014 г.: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р. К. Пачаури и Л. А. Мейер (ред.)]. Женева, Швейцария, 2014. 163 с.

Основы мерзлотного прогноза при инженерно-геологических исследованиях / В. А. Кудрявцев, Л. С. Гарагуля, К. А. Кондратьева, В. Г. Меламед. М.: Наука, 1974. 431.

Modeling the temperature evolution of Svalbard permafrost during the 20<sup>th</sup> and 21<sup>st</sup> century / B. Eitzelmüller, T. V. Schuler, K. Isaksen et al. // The Cryosphere. 2011. Vol. 5. P. 67–79.

Putkonen J. Soil thermal properties and heat transfer processes near Ny-Ålesund, northwestern Spitsbergen, Svalbard // Polar Res. 1998. Vol. 17(2). P. 165–179.

Sazonova T. S., Romanovsky V. E. A model for regional-scale estimation of temporal and spatial variability of active-layer thickness and mean annual ground temperatures // Permafrost and periglacial processes. 2003. Vol. 2. P. 125–140.

Variability of temperature and thickness of permafrost active layer at coastal sites of Svalbard / P. Dolnicki, M. Grabiec, D. Puczko et al. // Polish Polar Res. 2013. Vol. 34(4). P. 353–374.

## ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ОНЧ-ДИАПАЗОНА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН В ЭКСПЕРИМЕНТАХ ПО НАГРЕВУ ИОНОСФЕРЫ

А. В. Ларченко, С. В. Пильгаев, С. В. Лебедь, Ю. В. Федоренко

Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

Эксперименты по нагреву высокоширотной ионосферы позволяют исследовать физические процессы, происходящие в ионосферной плазме, и эффекты распространения низкочастотных волн в волноводе Земля–ионосфера. В данных экспериментах мощная модулированная КВ-радиоволна, излучаемая нагревным стендом, создает модуляцию электроджета и образует на высотах D-слоя ионосферы низкочастотный ионосферный источник. Поляризация сигнала ионосферного источника имеет непосредственную связь с параметрами волновода Земля–ионосфера и определяется как механизмами возбуждения волновода, так и эффектами распространения. Конфигурация самого

ионосферного источника также зависит от состояния анизотропной верхней стенки волновода в области КВ-нагрева.

Данная работа посвящена исследованию структуры поля ионосферного источника, образованного в результате нагрева ионосферы мощным модулированным КВ-радиоизлучением стенда “EISCAT/Heating”, расположенного вблизи г. Тромсё (Норвегия). В работе рассматриваются результаты регистрации трех компонент электромагнитного поля в ОНЧ-диапазоне частот: двух горизонтальных магнитных и вертикальной электрической. Приемное оборудование разработано и создано в Полярном геофизическом институте на основе унифицированной системы сбора данных (Универсальное ..., 2008; Филатов и др., 2011). В нагревных экспериментах 2014 и 2016 гг., которые проводились ААНИИ, были получены сведения о поляризации горизонтального магнитного поля ионосферного источника на сети высокоширотных станций, расположенных в обсерваториях ПГИ на Кольском полуострове и на архипелаге Шпицберген.

В ходе обработки данных экспериментов были обнаружены вариации индекса круговой поляризации, которые могут быть объяснены как изменениями высотного профиля электронной концентрации ионосферы, так и вариациями внешнего электрического поля электроджета. В работе приводится сравнительный анализ вариаций индексов круговой поляризации сигналов ионосферного источника зарегистрированных на материке и на архипелаге Шпицберген (пос. Баренцбург). Выявлено, что на частоте 2017 Гц, которая находится вблизи поперечного резонанса волновода Земля–ионосфера, на материке индекс круговой поляризации за время проведения эксперимента испытывает сильные вариации, в то время как в Баренцбурге поляризация сигнала стабильно левая. На частоте 3017 Гц индекс круговой поляризации во всех пунктах регистрации за время эксперимента сильно варьирует. Результаты наблюдений сравниваются с результатами моделирования генерации и распространения ОНЧ-волн в волноводе Земля–ионосфера методами прямого решения уравнения теплового баланса (Moore, 2007) и волнового уравнения (Lehtinen, Inan, 2008) и обсуждаются возможные объяснения эффектов наблюдаемых в эксперименте.

### Литература

*Универсальное* устройство синхронизации данных от GPS-приемника / С. В. Пильгаев, О. И. Ахметов, М. В. Филатов, Ю. В. Федоренко // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 3. С. 175–176.

*Филатов М.В., Пильгаев С.В., Федоренко Ю.В.* Четырехканальный 24-разрядный синхронизированный с мировым временем аналого-цифровой преобразователь // Приборы и техника эксперимента. 2011. № 3. С. 73–75.

*Lehtinen N.G., Inan U.S.* Radiation of ELF/VLF waves by harmonically varying currents into a stratified ionosphere with application to radiation by a modulated electrojet // J. Geophys. Res. 2008. Vol. 113. A06301.

*Moore R.C.* ELF/VLF wave generation by modulated HF heating of the auroral electrojet: PhD thesis, Stanford University, 2007. URL: <http://www.vlf.ece.ufl.edu/moore/papers/RMooreThesis.pdf>.

## ПТИЦЫ РАННЕЙ ВЕСНОЙ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОС. БАРЕНЦБУРГ (ШПИЦБЕРГЕН)

**Н. В. Лебедева**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия  
Федеральный исследовательский центр “Южный научный центр РАН”, г. Ростов-на-Дону, Россия

Одно из важных направлений современной экологии – изучение реакции фауны на изменение климатических показателей. Авифауна Шпицбергена, несмотря на его удаленность, изучена достаточно полно по сравнению с другими архипелагами Западной и Восточной Арктики (Lervenskiold, 1964; Camphuysen, 1993; Strøm, 2006; Гаврило, 2007). В начале XXI века погодно-климатические условия на архипелаге Шпицберген изменились: было зарегистрировано изменение количества осадков и повышение зимних температур по сравнению со средними многолетними значениями (Temperature ..., 2011). В связи с этим актуально изучение адаптаций птиц к погодно-климатическим изменениям, сроков их прилета с мест зимовок, поведения, изменений в орнитофауне архипелага.

Исследования проводили в районе российского пос. Баренцбург (78°04' с. ш., 14°13' в. д.), расположенного на берегу залива Грэн-фьорд на о. Западный Шпицберген. Материал собран в апреле 2014, 2016 и 2018 гг. Для анализа инвазий использовали базу данных о распространении видов в Норвегии (<http://artsobservasjoner.no/>). Статус видов оценивали по данным (<http://www.svalbardbirds.com/artsliste-web.htm>). Также были использованы метеоданные, представленные на сайтах погоды (<http://www.yr.no> и <http://www.rp5.com>).

Анализ температуры в период наблюдений за фауной птиц Шпицбергена показывает, что нет достоверного тренда в изменении среднемесячной температуры для апреля–июля за последние 12 лет. Однако весна и лето в среднем стали теплее по сравнению с предыдущим столетием на 2–4 °С. Так, величины средних среднемесячных температур с 2005 по 2017 гг. в сравнении с многолетними аналогичными температурами были, соответственно, равны: –12.2 и –8.1 °С – апрель, –4.1 и –1.5 °С – май, 2 и 4.3 °С – июнь, 5.9 и 7.5 °С – июль.

Ранней весной в период наблюдений мы зарегистрировали несколько залетных видов птиц: крякву *Anas platyrhynchos*, снегиря *Pyrrhula pyrrhula*, свиристелей *Bombycilla garrulus*. Анализ показал устойчивый рост числа залетов кряквы ( $R^2 = 0.306$ ) и свиристелей на архипелаг с 1995 г.

Установлено, что колебания сроков прилета пуночек *Plectrophenax nivalis* связаны не только с температурными характеристиками весны, но также условиями на путях миграций и ветровыми процессами перед миграционным “броском” птиц этого вида с материка на архипелаг (Лебедева, 2016). Пуночки прибыли с зимовки в пос. Баренцбург в 2014 г. 11 апреля, а в 2016 г. – до 6 апреля, а в 2018 г. – 15 апреля.

## Литература

Гаврило М. В. Наблюдения за птицами и млекопитающими в районе архипелага Шпицберген летом 2003 года // Русский орнитол. журн. 2007. Т. 16, № 385 (экспресс-выпуск). С. 1459–1476.

Лебедева Н. В. Пуночка *Plectrophenax nivalis* ранней весной в окрестностях пос. Баренцбург (Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.). Вып. 13. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2016. С. 212–217.

Camphuysen K. C. Birds and (marine) mammals in Svalbard, 1985–91 // Sula. 1993. Vol. 7(5). P. 3–44.

Lervenskiold H. L. Avifauna Svalbardensis with a discussion on the geographical distribution of the birds in Spitsbergen and adjacent islands // Norsk Polarinst. Skr. 1964. № 129. P. 1–460.

Strøm H. Birds of Svalbard // Birds and Mammals of Svalbard / K. M. Kovacs, C. Lydersen (Eds.). Tromsø: Publ. Norsk Polarinst., 2006. P. 86–191 (Ser. Polarhåndbok № 13).

Temperature and precipitation development at Svalbard 1900–2100 / E. J. Førland, R. Benestad, I. Hanssen-Bauer et al. // Advances in Meteorology. 2011. P. 1–14.

## РТУТЬ В БЕНТОСЕ ЗАЛИВОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД 2017 ГОДА

Н. В. Лебедева<sup>1,2</sup>, **Н. Н. Фатеев**<sup>3</sup>, А. Л. Никулина<sup>3</sup>, О. Л. Зимина<sup>1</sup>, Е. А. Гарбуль<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Федеральный исследовательский центр “Южный научный центр РАН”, г. Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Ртуть – опасный загрязнитель морских экосистем, который подлежит особому экологическому и гигиеническому контролю (UNEP/AMAP ..., 2013). Этот токсикант поступает в экосистемы Арктики с промышленными отходами и путем трансграничного атмосферного переноса (Dietz et al., 2009; AMAP ..., 2011; UNEP/AMAP ..., 2013). Интерес представляет изучение концентрации ртути в представителях бентосного сообщества в Арктике, которые аккумулируют соединения ртути в органах и тканях. От бентосных организмов, входящих в состав пищевых цепей морской экосистемы, токсичный металл поступает к высшим звеньям (рыбам, птицам, морским млекопитающим, человеку). Следовательно,

исследование содержания ртути в различных компонентах арктических экосистем, анализ источников и путей их миграции представляет важную задачу, решение которой способствует минимизации последствий загрязнения ртутью. Наше исследование посвящено изучению содержания ртути в воде, донных отложениях и бентосных организмах в заливах Булле-фьорд, Ис-фьорд и Грён-фьорд (архипелаг Шпицберген) в летний период. Отборы проб воды, донных отложений и бентосных организмов были выполнены 21–24 июля 2017 г. с борта научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы”. Содержание ртути во всех образцах (вода, донные отложения и биологические объекты) определяли в химико-аналитической лаборатории Российского научного центра на Шпицбергене (пос. Баренцбург).

Выявлены предварительные закономерности аккумуляции ртути в донных осадках в зависимости от глубины, распределение валового содержания элемента донных отложениях в трех фьордах, получены данные о содержании ртути в различных видах бентосных организмов с разной пищевой специализацией. Концентрация ртути в водах из заливов Булле-фьорд, Ис-фьорд и Грён-фьорд была менее 10 нг/л, как и в Грён-фьорде весной 2016 г. (Ртуть ..., 2018). При этом предельно допустимая концентрация в природной воде рыбохозяйственного назначения составляет 10 нг/л. В донных отложениях самые высокие валовые концентрации ртути были отмечены в Ис-фьорде. Это может быть связано с режимами течений и аккумуляции наносов. Содержание ртути в гидробионтах было относительно низким, но самым высоким в Ис-фьорде. Аккумуляция ртути в гидробионтах была связана с их трофическим статусом в экосистеме и локализацией во фьордах. Ртуть в большей степени накапливали детритофаги-грунтоеды в менее глубоководных фьордах.

### Литература

*Ртуть* в гидробионтах и среде обитания Грён-фьорда (Западный Шпицберген) ранней весной / Н. В. Лебедева, О. Л. Зимина, Н. Н. Фатеев и др. // Геохимия. 2018. № 4. С. 351–362.

AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, 2011. 193 p.

AMAP/UNEP, 2013: Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2013. Arctic Monitoring and Assessment Programme, Oslo, Norway/UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, 2013. 263 p.

Dietz R., Outridge P. M., Hobson K. A. Anthropogenic contributions to mercury levels in present-day Arctic animals – a review // Sci. Tot. Environ. 2009. Vol. 407(24). P. 6120–6131.

### МОРФОЛОГИЯ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ *ROSSIA MOELLERI* (CERPHALOPODA, SEPIOLIDA) НА ШЕЛЬФЕ ЕВРАЗИЙСКОЙ АРКТИКИ

П. П. Лепихина<sup>1</sup>, А. В. Голиков<sup>1</sup>, Р. М. Сабиров<sup>1</sup>, Д. В. Захаров<sup>2</sup>, О. Л. Зимина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск, Россия

<sup>3</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Актуальность научных исследований в Арктике с каждым годом возрастает. Именно этот регион имеет определяющее влияние на климат планеты, здесь сосредоточены глобальные природные ресурсы и транспортные пути Северного Ледовитого океана (Thurston, 2008; The Varents ..., 2012). Одной из основных целей изучения Арктики рассматривается сохранение биоразнообразия важнейших таксономических групп (Атлас ..., 2011). Особый интерес ученых вызывает класс наиболее высокоорганизованных беспозвоночных животных – головоногих моллюсков (Cephalopoda). Ввиду огромной биомассы и численности их экологическая роль в Мировом океане колоссальна. Они являются важным звеном морских экосистем и ценнейшими промысловыми объектами (Несис, 1985; Jereb et al., 2010). Сепиолида *Rossia moelleri* Steenstrup, 1856 (сем. Sepiolidae) – высокоарктический приатлантический вид, единственный среди десятируких цефалопод эндемик высокой Арктики (Changes ..., 2013). Изучение репродуктивной биологии и экологии размножения этого вида арктических головоногих крайне важно для понимания особенностей

его адаптации к суровым условиям среды Арктики. В связи с этим цель данной работы – изучение репродуктивной системы и особенностей репродуктивной стратегии *R. moelleri* в западной и восточных частях российского сектора Арктики.

Материал для исследования собран в научных рейсах НИС “Вильнюс” (2007–2012, 2014, 2017 гг.), НИС “Ф. Нансен” (2007 г.), НИС “Дальние Зеленцы” (2014 г.) донным тралом на глубине 40–397 м на акватории Баренцева, Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей. Образцы фиксировались в растворе 4 %-го формалина. Исследования включали определение стадий зрелости, измерение длины мантии и общей массы тела, длины яичника и семенника и других органов половой системы, ее массы в целом и отдельных частей, подсчет числа ооцитов и сперматофоров. Стадии зрелости определялись по шкале, разработанной для сепиолид на основе существующих шкал для кальмаров (Методические ..., 1977; Зуев и др., 1985). Изучено 23 самки с длиной мантии 11–76 мм ( $44.9 \pm 4.0$  мм) и 26 самцов – 19–46 мм ( $35.5 \pm 1.7$  мм) на стадиях зрелости I–V<sub>2</sub>.

Половая система самок располагается в задней части мантийной полости и состоит из непарного яичника, левого непарного яйцевода с яйцеводной железой, парных нидаментальных и добавочных нидаментальных желез. Коэффициент репродуктивной системы варьирует от 1.0 % у незрелых особей (стадия зрелости I) до 40.2 % у зрелых самок (стадия зрелости V<sub>2</sub>), в среднем  $11.2 \pm 3.01$  %. Коэффициент гонады варьирует от 0.3 % у незрелых особей (стадия зрелости II) до 24.7 % у зрелых (стадия зрелости V<sub>2</sub>), в среднем  $5.6 \pm 1.77$  %. Коэффициент яичника не превышает 61.4 %, что связано с развитием нидаментальных желез: их суммарная масса у зрелых самок достигает 12.6 % массы тела (в среднем  $9.7 \pm 1.06$  %), длина составляет 31.0–47.0 % длины мантии ( $39.2 \pm 2.94$  %) с правой стороны и 32.0–47.0 % ( $39.6 \pm 2.69$  %) с левой при ширине 22.0–28.0 % ( $24.4 \pm 1.12$  %) и 21.0–27.0 % ( $24.8 \pm 1.11$  %) соответственно. Плодовитость самок *R. moelleri* составляла 310–648 ооцитов ( $444.7 \pm 19.2$  ооцита) в морях европейской Арктики и 350–430 ооцитов ( $390.0 \pm 40.0$  ооцитов) на шельфе Сибири, диаметр зрелых ооцитов 8–13 мм, 11.9–19.4 % длины мантии. В кладках обнаружено до 149 яиц ( $24 \pm 6.4$  яиц), диаметр внешней оболочки яиц варьирует от 10.0 до 16.5 мм, внутренней – от 9.0 до 14.0 мм. Сперматангии *R. moelleri* отмечены только у зрелых самок в количестве 6–24 шт. ( $12.1 \pm 1.4$  шт.).

Репродуктивная система самцов *R. moelleri* представлена сперматофорным комплексом органов и смещенным относительно главной оси тела семенником. Сперматофорный комплекс органов состоит из семяпровода, 6 отделов сперматофорной железы, сперматофорного протока и сперматофорного мешка с пенисом с характерной для сепиолид петлей (Голиков, 2014). Коэффициент гонады у самцов достигает максимальных значений на стадии зрелости V<sub>1</sub> – 8.0 %. Коэффициент сперматофорного комплекса органов достигает максимума в 6.0 % у зрелых самцов (стадия зрелости V<sub>2</sub>), а наибольший коэффициент зрелости – 11.0 % у предзрелых самцов при максимальных значениях коэффициента гонады. Сперматофоры *R. moelleri* имеют вид изогнутых трубок длиной 15.3–21.3 мм ( $19.0 \pm 0.1$  мм), 33.3–53.3 % длины мантии ( $43.9 \pm 0.2$  %). Их количество у зрелых самцов составляло от 35 (очевидно, начало зрелой стадии) до 141 шт. ( $94.5 \pm 9.0$  шт.). Сперматофоры в сперматофорном мешке располагаются в трех отделах: в петле фундуса (от 1 до 7 сперматофоров), в основной части мешка (47–138) и в пенисе (1–34). У *Rossa moelleri* обнаружено явление наладочного сперматофорогенеза (Голиков, 2014) на стадиях зрелости IV и V<sub>1</sub>. В мешках присутствовали от 1 до 2 поздних квазисперматофоров длиной 10.4–16.0 мм ( $13.2 \pm 1.3$  мм).

Таким образом, потенциальная плодовитость обоих полов *R. moelleri* является одной из самой высоких в подсемействе Rossiinae, и при этом они имеют одни из крупнейших по размерам ооциты и сперматофоры.

## Литература

Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики / Под ред. В. А. Спиридонова, М. В. Гаврило, Е. Д. Красновой, Н. Г. Николаевой. М.: WWF России, 2011. 64 с.

Голиков А. В. Распространение и репродуктивная биология десятируких головоногих моллюсков (Sepiolida, Teuthida) в Баренцевом море и прилегающих акваториях: Дис. ... канд. биол. наук (03.02.04). Казань, 2014. 236 с.

Зуев Г. В., Нигматуллин Ч. М., Никольский В. Н. Нектонные океанические кальмары. М.: Агропромиздат, 1985. 224 с.

Методические основы разработки шкал зрелости репродуктивной системы самок кальмаров на примере *Sthenoteuthis pteropus* (Cephalopoda, Ommastrephidae) / Р. Н. Буруковский, Г. В. Зуев, Ч. М. Нигматуллин, М. А. Цымбал // Зоол. журн. 1977. Т. 52(12). С. 1781–1791.

*Hecus K. H.* Океанические головоногие моллюски: распространение, жизненные формы, эволюция. М.: Наука, 1985. 288 с.

*Changes in distribution and range structure of Arctic cephalopods due to climatic changes of the last decades / A. V. Golikov, R. M. Sabirov, P. A. Lubin, L. L. Jørgensen // Biodiversity. 2013. Vol. 14(1). P. 28–35.*

*Jereb P., Roper C. F. E., Vecchione M.* Introduction // *Cephalopods of the World. An annotated and illustrated catalogue of species known to date. Vol. 2. Myopsid and Oegopsid Squids. FAO Species Catalogue for Fishery Purposes, № 4. Rome: FAO, 2010. P. 1–11.*

*The Barents Sea: Ecosystem, resources, management. Half a century of russian-norwegian cooperation / T. Jakobsen, V. Ozhigin (Eds.). Trondheim: Tapir Academic Press, 2012. 832 p.*

*Thurston D. K.* Oil and gas in the Arctic – past, present and future activities // *Challenges in oil and gas development in the Arctic: Abstract book. Tromsø, 2008. P. 17.*

## МОРФОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТОРФЯНО-ГЛЕЕЗЕМА В ПОЙМЕ РЕКИ ГРЁН ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

Т. И. Литвинова, Г. М. Кашулина, Н. М. Коробейникова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина, г. Кировск, Мурманская область, Россия

Архипелаг Шпицберген – один из участков арктической суши в Северном Ледовитом океане, наиболее близко расположенный к Северному полюсу. Почвенные исследования на Шпицбергене представляют особый научный интерес для познания особенностей формирования арктических почв в регионе, а также для более глубокого понимания генезиса почв в целом. В данной работе будет представлена полная морфолого-генетическая характеристика торфяно-глеезема кочковатого болота в пойме р. Грён.

Разрез торфяно-глеезема был заложен в июле 2013 г. (78°01'32" с. ш, 14°19'41" в. д., абсолютная отметка – 5 м над уровнем моря). В полевых условиях было проведено морфологическое описание разреза и отобраны образцы основных генетических горизонтов. Химический анализ образцов проводился традиционными методами.

**Морфологические признаки.** Обследованный торфяно-глеезем формируется на морской глине в условиях избыточного увлажнения. Представлен в виде кочки высотой 26 см. Растительный покров – ивово-травяно-моховое сообщество. Проективное покрытие ивки (*Salix* sp.) составляет 10 %, травянистых растений – 30 %, гигрофитных мхов – 90 %. Почва характеризуется следующим набором горизонтов:

T<sub>1</sub>, 0–6 см – зеленовато-коричневый торфяной, сложен из остатков слабо разложившихся, сохранивших морфологические особенности мхов, трав и листьев ивки, рыхлый, сырой, минеральная примесь, много корней, переход постепенный;

T<sub>2</sub>, 6–12 см – серовато-коричневый, более высокая степень разложения, фрагментированные растительные остатки, рыхлый, сырой, минеральная примесь, много корней;

T<sub>3</sub>, 12–20 см – темно-коричневый, среднеразложившийся торфяной, рыхлый, сырой, много корней, переход постепенный;

T<sub>4</sub>, 20–25 см – темно-коричневый, среднеразложившийся торфяной, рыхлый, сырой, многочисленные корни, минеральная примесь с ржавыми пятнами, переход заметный;

T<sub>5</sub> – 24–26 см – по центру кочки, темно-коричневый, хорошо разложившийся торфяной, с высоким содержанием минеральных частиц, уплотнен, густо переплетен корнями растений, сырой, переход заметный;

CG, 26–32 см – сизовато-серый с охристыми пятнами, тяжелый суглинок, компактный, бесструктурный, сырой, редкие корни.

**Гранулометрический состав почвы** был определен в минеральном горизонте CG (26–32 см). Преобладающими фракциями мелкозема (< 1 мм) являются мелкий песок (0.25–0.05 см) – 25.1 % и крупная пыль (0.05–0.01 см) – 24.8 %. Доля илистых частиц (< 0.001 мм) составляет 21.4 %. По содержанию физической глины (частиц < 0.01 мм) – 45 % – почва классифицируется как тяжелый суглинок.

**Валовой химический состав.** Горизонт СG, как и в почвах, сформированных на континентальных отложениях (Переверзев, 2012; Комплексные ..., 2017), характеризуется высоким содержанием SiO<sub>2</sub> и экстремально низким содержанием щелочно-земельных элементов – CaO и MgO. Отличительной особенностью морского суглинка является сравнительно высокое содержание MnO благодаря преобладанию восстановительных условий. Химический состав торфяной толщи значительно варьирует с глубиной. Самым низким содержанием SiO<sub>2</sub> (около 60 % на прокаленную навеску) и высоким содержанием важных для растений CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MnO и SO<sub>3</sub> характеризуется самый верхний слой торфа – T<sub>1</sub>. Следующий слой торфа T<sub>2</sub> резко отличается от остальных самым высоким содержанием SiO<sub>2</sub> и низким содержанием важных для растений элементов. Это обусловлено высоким содержанием минеральной примеси эолового происхождения. Как было показано ранее (Комплексные ..., 2017), минеральная пыль с оголенных поверхностей гор и грунтов оказывает существенное влияние на химический состав растений и верхних органогенных горизонтов почв в регионе. Остальные слои торфа почв также в различной степени обогащены минеральными частицами.

**Физико-химические показатели почвы.** Обследованный торфяно-глезем характеризуется слабокислой реакцией среды: актуальная кислотность (pH<sub>H2O</sub>) в торфяной части профиля варьирует от 5.8 (T<sub>3</sub>) до 5.5 (T<sub>4</sub>), а в минеральном горизонте СG – 5.3 ед. Содержание обменного Н<sup>+</sup> в значительной степени определяется содержанием органического вещества. В торфяных горизонтах содержание обменного Н<sup>+</sup> варьирует от 19.6 до 26.1, а в минеральном горизонте СG резко снижается до 2.6 мг-экв/100 г почвы. По содержанию обменного водорода и главных обменных катионов Ca<sup>++</sup> и Mg<sup>++</sup> торфяные горизонты сравнимы с верхними органогенными горизонтами автоморфных серогумусовых почв в регионе. Как и серогумусовые почвы все горизонты торфяно-глезема характеризуются достаточно высокой долей оснований в почвенном поглощающем комплексе – от 59 % в горизонте T<sub>2</sub> до 77 % в горизонте T<sub>3</sub>. Отличительной особенностью обследованного торфяно-глезема является относительно высокая доля обменного Na<sup>+</sup> в поглощающем комплексе торфяной части профиля. Однако это не является следствием особенностей почвообразования, а обусловлено влиянием морских аэрозолей в силу близкого расположения к берегу моря.

**Органическое вещество почвы.** Содержание органического вещества и его профильное распределение является важной генетической характеристикой почв. Распределение органического вещества в торфяной части профиля обычно обусловлено степенью разложения растительных остатков, возрастающего с глубиной, в данном случае – долей минеральной примеси. Самое низкое содержание C<sub>орг</sub> – 14.5 % – было обнаружено с горизонта T<sub>2</sub>, в образце которого морфологически фиксируется высокое содержание минеральных частиц.

**Состав органического вещества.** Характерной чертой обследованной торфяно-глеевой почвы является высокая доля негидролизующего остатка (НО). Распределение негидролизующего остатка в торфяной части почвы хорошо прослеживается степенью гумификации органического вещества. Его доля здесь снижается от 79.5 % в верхней части (T<sub>1</sub>) до около 60 % в средней части (T<sub>1</sub>–T<sub>4</sub>) и до 15 % в нижней части (T<sub>5</sub>). В минеральной части профиля доля негидролизующего осадка в составе органического вещества возрастает – 54.5 %. Высокая доля этого осадка здесь может быть обусловлена прочностью связи с глинистыми частицами.

В составе гумуса торфяной части профиля явно преобладают фульвокислоты. Соотношение C<sub>гк</sub>/C<sub>фк</sub> варьирует от 0.2 до 0.4. Минеральный горизонт СG характеризуется гуматно-фульватным типом гумуса – C<sub>гк</sub>/C<sub>фк</sub> = 0.97.

## Литература

Комплексные биогеохимические исследования окружающей среды на острове Западный Шпицберген / Г. М. Кашулина, Т. И. Литвинова, С. В. Дрогобужская, Л. А. Баскова // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2017. Вып. 4. С. 75–80.

Переверзев В. Н. Почвы побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 122 с.



## ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕДНИКА АЛЬДЕГОНДА С НАЧАЛА XX ВЕКА

Б. Р. Мавлюдов, А. В. Кудиков

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Горно-долинный ледник Альдегонда расположен на западном берегу залива Грэн-фьорд в 7 км к юго-западу от российского пос. Баренцбург. Ледник имеет протяженность около 3 км и ширину около 2 км, площадь около 6 км<sup>2</sup>. Перепад высот ледника от 130 до 770 м над уровнем моря. Средняя часть ледника располагается на высоте примерно 250 м над уровнем моря. Долина ледника ориентирована на восток–северо-восток. В настоящее время ледник находится в верховьях собственной долины, его язык расположен более чем в 2 км от берега моря. Регулярные наблюдения, которые включают изучение баланса массы льда на леднике Альдегонда, проводятся с 2001 г.

Согласно геофизическим исследованиям в 1999 г. (Радиофизические ..., 2001), толщина льда на леднике варьирует от первых метров на языке до 100 м в средней части и до 200 м в правой части ледника. При этом выяснилось, что ледник Альдегонда является двухслойным (верхний слой представлен холодным льдом, нижний – теплым льдом). Такие ледники получили название политермальных (или политермических). Имеется предположение, что в конце XIX–начале XX века ледник Альдегонда мог быть пульсирующим ледником (Мавлюдов, Кокин, 2008). Для анализа изменения ледника во времени были использованы доступные материалы: старые и современные карты, космические снимки и собственные наблюдения.

Отступление края ледника происходило на протяжении всей известной истории ледника. Граница максимального распространения ледника была выявлена в море примерно в 600–700 м от берега по моренным грядам, обнаруженным при эхолотных исследованиях вблизи выхода долины Альдегонды в залив Грэн-фьорд. Предполагается, что это граница максимального распространения ледника на пике малого ледникового периода в конце XIX–начале XX века. В это время толщина льда могла достигать 50 м. В 1909–1911 годах ледник Альдегонда еще заканчивался в море, формируя ледяной обрыв высотой около 10–15 м. Язык ледника не находился на плаву и продуцировал айсберги. Общая мощность льда, вероятно, превышала 30–35 м.

Язык ледника Альдегонда, спускающийся в море, подвергался регулярному воздействию морских приливов и агрессивному воздействию теплой морской воды залива Грен-фьорд. Вероятно, именно по этим причинам язык ледника быстро деградировал от положения своего максимального распространения до положения вблизи берега моря, как это было в 1909 г. Дополнительная причина быстрой деградации языка ледника – отсутствие поступления новых порций льда из его верховий, так как после пульсации ледяной материал в верховьях ледника был исчерпан. И требовалось некоторое количество лет для того, чтобы в верховьях накопилось достаточное количество нового льда, который был бы способен восстановить движение ледника.

Не зная времени максимума распространения ледника, мы не можем рассчитать скорость отступления языка ледника до 1910 г. А наличие нескольких гряд конечной морены в море свидетельствует о том, что по мере отступления края льда происходили временные активизации движения ледника, что могло быть связано с быстрым разрушением языка ледника, т. е. удалением препятствия движению ледника в виде подпруживающего языка.

С 1911 по 1936 годы язык ледника Альдегонда передвинулся на сушу, в связи с чем скорость отступления языка ледника вероятно существенно ослабла. За 25-летний период ледник отодвинулся от берега моря примерно на 250 м. Поскольку точного положения фронта льда в 1911 г. мы не знаем, то можем предположить, что скорость отступления льда в течение этого периода превышала 10 м/год. Положение ледника в 1936 г. зафиксировано на топографической карте Норвежского полярного института. По-видимому, в таком положении язык ледника располагался довольно продолжительное время. Во всяком случае, именно в это время был построен водопровод по забору воды с языка ледника Альдегонда, которая потом баржами доставлялась в пос. Баренцбург. О продолжительной стабильности языка ледника также свидетельствуют перспективные фотографии, выполненные немецкими летчиками в 1943 г. На них хорошо видно, что положение фронта языка ледника не изменилось, как не изменилось и положение языков соседних ледников Западный и Восточный Грэнфьорд. Иными словами, в течение 1936–1943 гг. положение языка ледника не менялось. Можно предположить, что это было связано со значительной толщиной языка ледника.

Дальнейший период – с 1943 по 1966 гг. – характеризуется постепенным сокращением длины и площади ледника. Однако сам этот период никак не задокументирован. Значительное сокращение площади ледника было связано как с плоским основанием ледника, так и с малой толщиной ледника, который не получал питания льдом из верховий. Плоское основание ледника может свидетельствовать о равномерном отступании края льда в этот период. В течение этого периода язык ледника отступил примерно на 800 м от берега моря, что соответствует скорости отступления около 30 м/год.

Наиболее интенсивное отступление края льда было отмечено в 1966–1990 гг., когда он отодвинулся примерно на 1000 м (скорость отступления около 40 м/год). С 1990 по 2017 годы край ледника отступил еще на приблизительно 400 м (скорость отступления около 16 м/год). Уменьшение скорости отступления ледника связано с повышением его поверхности на языке, а, следовательно, и с меньшей скоростью таяния льда.

Анализ изменения ледника Альдегонда с 1936 по 2003 гг. показывает, что язык ледника за 67 лет отодвинулся от своего положения приблизительно на 2 км, что соответствует скорости отступления края льда около 30 м/год. Прямые измерения скорости отступления летом 2003 г. показали изменения до 70 м. За указанный период уменьшение толщины льда составило от 85 до 160 м (среднее 130 м), или 1.25–2.5 м/год (среднее 2 м/год). В среднем поверхность ледника за 67 лет понизилась примерно на 64 м (или около 1 м в год). Средний баланс массы ледника составил 86 г/см<sup>2</sup>.

Интенсивное сокращение ледника было связано как с повышением средней летней температуры воздуха, так и с уменьшением количества выпадающих твердых осадков.

Мы говорили только об отступании языка ледника во времени. Однако, примерно в конце XX века высота границы питания ледников в районе Баренцбурга поднялась выше самой высокой точки ледника (вершина на правом борту ледника высотой около 770 м над уровнем моря). Иными словами, вся поверхность ледника оказалась в пределах области абляции. Это привело к тому, что площадь ледника стала сокращаться не только со стороны ледника, но и со всех сторон. Особенно заметные изменения произошли в верховьях ледника. Если ранее (до конца XX века) ледник Альдегонда снежным полем соединялся с ледником Линне, то с конца XX века снежное поле исчезло, и оба ледника оказались разобщены.

Работа на архипелаге Шпицберген выполнена в рамках госзадания и при логистической помощи Российского научного центра на Шпицбергене.

## Литература

*Мавлюдов Б. Р., Кокин О. В.* Был ли ледник Альдегонда (Западный Шпицберген) пульсирующим? // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 222–226.

*Радиофизические исследования ледника Альдегонда на Шпицбергене в 1999 г.* / Е. В. Василенко, А. Ф. Глазовский, Ю. Я. Мачерет и др. // Материалы гляциологических исследований. 2001. Вып. 90. С. 86–99.

## МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ УРОВНЯ МОРЯ В ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН НА ФОНЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

**В. А. Меркулов, Л. А. Тимохов, К. В. Фильчук**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Приводится анализ многолетних наблюдений за уровнем моря в поселках Баренцбург и Нью-Олесунн, расположенных на западном побережье о. Западный Шпицберген. С середины прошлого столетия были накоплены среднемесячные и среднегодовые ряды наблюдений за уровнем в этих пунктах, что дает возможность проанализировать не только межгодовую, но и внутригодовую изменчивость уровня. Так же благодаря наличию месячных значений можно увидеть как изменялся многолетний уровень для летнего и зимнего периодов отдельно. Материалы наблюдений за уровнем поверхности были взяты из сети интернет (Permanent Service for Mean Sea Level – <http://www.psmsl.org/>; ААНИИ – <http://www.aari.ru>).

Ряд данных для пос. Баренцбург покрывает период с 1949 по 2016 гг., для пос. Нью-Олесунн – с 1977 по 2017 гг. Для дальнейшего анализа данные об уровне были приведены к одному горизонту путем вычитания из натуральных данных среднемноголетнего значения уровня. В результате были получены две временных серии аномалий среднемесячных значений уровня для указанных пунктов. В качестве метода исследований привлекался статистический анализ.

Многолетние изменения уровня на отдельных станциях в общем виде определяются тремя основными факторами: геологическим, объемным и динамическим (Ашик, Павлов, 2008). В случае станций, расположенных на Западном Шпицбергене, все три фактора должны иметь существенное влияние на уровенную поверхность.

Первое, что было сделано в ходе исследований – рассмотрены линейные тренды в многолетних изменениях уровня. И в Нью-Олесунне и в Баренцбурге наблюдается отрицательный тренд в многолетнем ходе уровня. Чтобы понять, почему это происходит, необходимо обратить внимание на геологические процессы, происходящие на архипелаге. В данном случае нужно отметить изостатические движения земной коры. В работе (Nuth et al., 2010) показано, что на архипелаге Шпицберген происходит постоянное уменьшение ледникового покрова. В итоге, из-за уменьшения массы ледников, наблюдается быстрый подъем земной коры. Таким образом, среднемноголетняя уровенная поверхность моря у побережья Западного Шпицбергена имеет постоянную тенденцию к уменьшению, что подтверждается наличием отрицательного тренда во временном ходе характеристики (Меркулов и др., 2017). Поэтому, самым заметным фактором, влияющим на многолетний уровень в пунктах Нью-Олесунн и Баренцбург, можно считать изостатический эффект (геологический фактор).

Как показано многими исследователями, основным фактором, влияющим как на внутригодовую, так и на многолетнюю изменчивость уровня, является динамический. Он складывается из трех составляющих: статическое действие атмосферного давления, влияние динамики атмосферы и долгопериодные приливные колебания уровня. Последние связаны с влиянием космофизических факторов и, как показано в работе (Меркулов и др., 2017), не имеют существенного влияния на изменчивость уровня морей Северного Ледовитого океана, поэтому в дальнейшем они учитываться не будут. Что касается факторов, связанных с процессами, происходящими в атмосфере, то для расчета их влияния были взяты различные индексы циркуляции атмосферы.

Для полноты картины в работе были учтены и другие факторы, способные повлиять на изменчивость уровенной поверхности в районе рассматриваемых пунктов: ледовитость, температура воды и воздуха, сток рек, динамика воды и др. Все эти факторы имеют немалую долю влияния на изменение высоты уровенной поверхности в арктических морях (Proshutinsky et al., 2004).

В результате работы удалось не только оценить вклад различных характеристик на изменчивость уровня моря, но и построить регрессионную модель.

## Литература

*Ашик И. М., Павлов В. К.* Сезонные и многолетние колебания уровня в морях Северо-Европейского бассейна Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2008. № 3(80). С. 98–114.

*Меркулов В. А., Ашик И. М., Тимохов Л. А.* Тенденции многолетней изменчивости уровня моря на прибрежных станциях Северного Ледовитого океана // Проблемы Арктики и Антарктики. 2017. № 3(113). С. 51–66.

*Nuth C., Moholdt G., Kohler J.* Svalbard glacier elevation changes and contribution to sea level rise // J. Geophysical Res. 2010. Vol. 115. F01008 (DOI:10.1029/2008JF001223).

*Proshutinsky A., Ashik I., Dvorkin E.* Secular sea level change in the Russian sector of the Arctic Ocean // J. Geophysical Res. 2004. Vol. 109. C03042 (DOI:10.1029/2003JC002007).

## СЕЗОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОТОКА ОСАДКОВ В ОЗЕРЕ БРЕТЪЁРНА (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Н. И. Мещеряков<sup>1</sup>, Г. В. Тарасов<sup>2</sup>, А. Л. Новиков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия.

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

С начала прошлого века наблюдается значительное повышение температурного режима Арктики (Анциферова и др., 2014) и, как следствие, существенное сокращение ледниковых массивов архипелага Шпицбергена (Мавлюдов и др., 2012). В результате этого на освободившейся от льда территории сформировался молодой экзарационно-ледниковый рельеф, который в настоящий момент подвергается динамичному изменению под действием экзогенных процессов в условиях перигляциала. Среди компонентов новообразованного ландшафта особый интерес для седиментологии представляют озера, примыкающие к краевым зонам отступающих ледников. Седиментогенез в подобных водоемах специфичен и имеет ряд характерных особенностей. Изучение сезонной изменчивости вертикального потока осадков в ледниковых озерах способно дополнить представления о механизмах формирования лимно-гляциальных отложений в условиях потепления в Арктике. В данном аспекте выделяется озеро Бретъёрна, его котловина сформировалась относительно недавно – 700–100 лет назад (Тарасов, Кокин, 2007), а современный вид озеро приобрело порядка 80 лет назад, после значительного отступления ледника Грэнфьорд (Кокин, Тарасов, 2008).

Озеро Бретъёрна располагается на юго-западе Земли Норденшельда, в краевой зоне ледника Грэнфьорд, к югу от залива Грэн-фьорд. Котловина озера имеет экзарационно-ледниковое происхождение, ее формирование приурочено к пульсации ледника Грэнфьорд (Кокин, Кириллова, 2017). В настоящее время ледники Западный и Восточный Грэнфьорд разгружают свои талые воды в озеро, которое в свою очередь регулирует сток р. Бретъёрна в залив Грэн-фьорд.

Экспедиционные работы проводились 30.08–16.09.2017 г. и 20.03–20.04.2018 г. Цель работ – изучение сезонных вертикальных потоков осадочного вещества в оз. Бретъёрна.

Для отбора проб использовались контейнерные седиментологические ловушки и батометры Нискина и Паталаса. Седиментологические ловушки устанавливались севернее географического центра озера (77°29.56' с. ш., 14°27.40' в. д.). Место постановки ловушек выбиралось с учетом батиметрии и подводного рельефа озера. Глубина озера в точке постановки ловушек – 20 м, глубина постановки – 15 м. Для определения характеристик термохалинной структуры водной толщи использовался зонд RBR Concerto. Пробы отбирались с придонного и поверхностного горизонтов в точке постановки ловушек. В зимнее время из-за незначительного содержания взвешенных частиц в водной толще озера наряду с гравиметрическим методом применялся оптический метод с использованием нефелометрических единиц (NTU — nephelometric turbidity units).

В августе–сентябре 2017 г. ловушки устанавливались по стандартной методике (Тарасов, 2004), отбор проб осуществлялся с дискретностью 48 ч. В марте–апреле 2018 г. ловушки устанавливались под лед, экспозиция составила 31 сут. Полученный материал обрабатывался с помощью стандартного гравиметрического метода. При этом использовались мембранные фильтры или применялось выпаривание (в зависимости от количества осадочного материала в пробе). Для обработки проб с помощью фильтров были предварительно подготовлены (высушены до постоянной массы) мембраны. Размер пор мембранного фильтра составлял 0.45 мкм, диаметр – 47 мм. Далее проба высушивалась до постоянной массы при температуре 50 °С и взвешивалась на весах с точностью до 0.0001 г. Количество осадочного материала в пробе определялось по разнице массы мембраны до фильтрования и после. Для обработки проб при помощи выпаривания использовалась подготовленная посуда (высушена до постоянной массы), в которой проба подвергалась выпариванию при температуре 105 °С (до приобретения постоянной массы). Количество осадочного материала в пробе определялось по разнице массы чистой посуды и посуды с осадком. Для выделения исключительно терригенной составляющей осадочного материала проба подвергалась прокаливанию в муфельном шкафу при температуре 400 °С в течение 6 ч.

Температура воздуха в районе работ составляла от 3.7 до 7.2 °С в августе–сентябре и от 0.7 до –15.7 °С в марте–апреле. Количество осадков, выпавших с 29 августа по 3 сентября, составило 30.8 мм, что является месячной нормой для данного времени года. При этом максимальное количество

выпавших осадков пришлось на две даты – 29 августа (14.4 мм) и 3 сентября (13.3 мм) (Мещеряков, 2018). Температура водной толщи озера изменялась от 3.4 до 4.2 °С в летнее время и от 0.03 (у поверхности) до 0.6 °С (у дна) в зимнее.

По результатам исследований установлено, что с конца августа до середины сентября значение вертикального потока осадков за 48 ч изменялось от 6.60 до 827.4 г/м<sup>2</sup>. Наибольшее значение вертикального потока приурочено в обильному выпадению атмосферных осадков и повышению температуры. Всего за 12 сут. поток осадочного вещества составил 1690 г/м<sup>2</sup>, скорость осадконакопления – 0.106 мм/сут. (Мещеряков, 2018). Осадочный материал представлен исключительно терригенными частицами, доля органических частиц не превышает 0.2 % общей массы. Поток осадочного вещества в марте–апреле составил 6.62 г/м<sup>2</sup> за 31 сут., скорость осадконакопления – 0.00015 мм/сут. В составе поступающего на дно осадка преобладает терригенный материал – 61.7 % общей массы, 38.3 % приходится на долю органических частиц.

Содержание взвеси в августе–сентябре в поверхностном слое изменялось от 6 до 250 мг/л, в придонном слое – от 10 до 100 мг/л (Мещеряков, 2018). Наибольшее количество взвеси отмечалось в период обильного выпадения осадков. В марте–апреле содержание взвешенных частиц в водной толще практически не изменялось во времени и варьировало от 0.83 до 1.09 мг/л в поверхностном слое и от 0.87 до 1.02 мг/л в придонном. Мутность водной толщи находилась в диапазоне от 1.00 до 2.00 NTU.

Таким образом, в летнее время вертикальный поток терригенных частиц в озере Бретъёрна тесно связан с погодными особенностями региона. Среди наиболее значимых факторов следует выделить температурный режим и атмосферные осадки. При этом значения вертикального потока не постоянны и способны изменяться более чем в 100 раз. Поступающие на дно озера осадки представлены в основном терригенными частицами. В зимнее время бассейн седиментации находится в изоляции от внешнего воздействия, поступление осадочного материала на дно водоема происходит в основном за счет терригенных частиц не успевших осесть за летнее время, а также за счет органики. При этом осадконакопление происходит монотонно.

## Литература

*Анциферова А. Р., Мокротоварова О. И., Сиеккинен Е. Д.* Изменения климата на архипелаге Шпицберген. Климатические особенности зимы 2013/2014 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 12. М.: ГЕОС, 2014. С. 16–21.

*Кокин О. В., Кириллова А. В.* Реконструкция динамики ледника Грэнфьорд (Западный Шпицберген) в голоцене // Лед и снег. 2017. № 57(2). С. 241–252.

*Кокин О. В., Тарасов Г. А.* Подводный рельеф и донные отложения приледникового озера Ледовое (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 173–177.

*Мавлюдов Б. Р., Саватюгин Л. М., Соловьянова И. Ю.* Реакция ледников Земли Норденшельда (арх. Шпицберген) на изменение климата // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 1. С. 67–77.

*Мещеряков Н. И.* Вертикальный поток осадочного вещества в озере Бретъёрна (Западный Шпицберген) // Материалы XXXVI конференции молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию научно-исследовательского судна “Дальние Зеленцы”. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018. С. 67–70.

*Тарасов Г. А.* Новые данные о потоках осадочного вещества в заливах Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) // Комплексные исследования Шпицбергена. Вып. 4. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 151–158.

*Тарасов Г. А., Кокин О. В.* Новые данные о возрасте напорного вала ледника Грэнфьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 7. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. С. 85–92.

## ГЛАВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ СКЛАДЧАТОГО ОСНОВАНИЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЗЕМЛИ ВЕДЕЛЯ ЯРЛСБЕРГА (ЮГО-ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

М. Ю. Милославский, А. Н. Сироткин, Н. Н. Костева

Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург – Ломоносов, Россия

В северной части Земли Веделя Ярлсберга в период полевых сезонов 2016–2017 гг. проводились исследования в рамках проекта “Геологическое доизучение и оценка минерально-сырьевого потенциала недр архипелага Шпицберген”. По результатам работ составлена геологическая карта северной части Земли Веделя Ярлсберга масштаба 1:100 000 и обновленная тектоно-стратиграфическая схема расчленения среднерифейского–нижнепалеозойского разреза складчатого основания юго-западного Шпицбергена (включая Землю Веделя Ярлсберга).

Геологическое строение северной части Земли Веделя Ярлсберга характеризуется широким развитием комплексов древнего основания, перекрытых со структурным несогласием породами позднепалеозойского–палеогенового чехла. Внутри основания выделены толщи среднерифейского комплекса Вереншельдбреен (серии Чемберлендален и Нордбухта) и комплексы верхнего рифея–нижнего палеозоя. Они представлены дислоцированными и метаморфизованными в разной степени осадочными и вулканогенными породами, разделенными между собой многочисленными стратиграфическими и угловыми несогласиями. Интрузивные образования этого района представлены интрузиями перидотит-габбрового состава района Чемберлендален и другими мелкими телами.

Общая структура позднедокембрийских комплексов в этом районе характеризуется как сочетание трех крупных складчатых форм – антиклиналей Нордбухты и Антониобреен, и разделяющей их синклинали мыса Лайеля. Крылья этих крупных складчатых форм осложнены многочисленными мелкими асимметричными складками с простиранием шарниров в северо-западных румбах. Это указывает на формирование структуры позднедокембрийских комплексов в условиях сжатия в направлении юго-запад–северо-восток, при северо-восточном направленном тектоническом движении. Синклиналь мыса Лайеля имеет мульду, в которой залегают вендские конгломераты. К востоку от этой структуры, в долине Чемберлендален, вскрывается среднерифейский осадочно-вулканогенный комплекс с интрузиями базит-гипербазитовой формации.

Осадочно-вулканогенная серия Чемберлендален характеризуется широким присутствием в своих разрезах горизонтов метавулканитов основного и среднего состава, а также наличием пластообразных основных-ультраосновных интрузий. По результатам работ в составе серии выделены многочисленные горизонты и линзы туффоидов, имеющих осадочно-вулканогенное происхождение. Все породы испытали региональный метаморфизм зеленосланцевой фации. Общая мощность пород серии достигает 3,5 км. Отложения серии Нордбухта представлены хлорит-серицитовыми и слюдяными сланцами, среди которых присутствуют горизонты кварцитов, доломитов и зеленокаменных пород. Соотношения с нижележащими породами остаются неясными. Общая мощность толщи превышает 3000 м. Породы серии метаморфизованы в условиях зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций. В породах обеих серий зафиксированы системы сопряженных складок, в том числе и лежащих, север–северо-западного простирания и шириной до 2–3 км, что указывает на сложности строения их разрезов.

Материалы по литохимии пород комплекса Вереншельдбреен показывают, что разрезы серий Чемберлендален и Нордбухта формировались последовательно в ходе единого тектонического цикла. Внутриплитный континентальный вулканизм ультраосновного, основного и среднего состава привел к образованию туффоидов серии Чемберлендален; одновременно с этим в разрезе серии появляются метапелиты, указывающие на высокую степень химического выветривания пород в источниках сноса того времени. Разрез серии Нордбухта характеризуется ассоциацией кварцитовых и пелитовых пород, что является бесспорным признаком остаточного продукта рифейской коры выветривания. Характер пород серии указывает на основные и ультраосновные магматиты как на главный источник осадочного материала. Присутствие в разрезах железистых кварцитов и близких к ним по литохимии пород является указателем на древнюю кору выветривания по высокожелезистым основным и ультраосновным породам. Таким образом, формирование вулканогенно-осадочного разреза комплекса Вереншельдбреен шло в континентальных условиях в обстановках, связанных с вулканизмом щелочно-основного состава. Одновременно с этим в регионе проявились с нарастанием процессы химического выветривания, вплоть до формирования коры выветривания, которые захватывали и вновь образованные магматиты.

Для верхнерифейского комплекса северной части Земли Веделя Ярлсберга – серия Софиебоген (верхний рифей) – собран доказательный материал о стратиграфической последовательности составляющих ее литостратонов (снизу вверх) – свит Слюнгфьеллет, Хеферпонтен и Госхамна, так как в существующих стратиграфических схемах такая триада свит меняется местами, демонстрируя обратную стратификацию; проведено геохронологическое датирование пород серии Софиебоген, что очень важно для более обоснованного определения их возраста и для сравнения с уже имеющимися в литературе; впервые получены важные данные по битуминологической характеристике карбонатных сланцев свиты Хеферпонтен. Получена ясная картина об особенностях стратификации вендской толщи, которая идет в разрез с представлениями предшественников. При стратификации вендских толщ в северной части Земли Веделя Ярлсберга используем структуру: комплекс Белльсунн → серия Кап-Лайель → свиты Дундрабейсен, Логна и Лайельстранда. Впервые для этого района в вендской толще были найдены и определены палеонтологические остатки – строматолиты. Это позволяет более определенно говорить о вендском возрасте серии Кап-Лайель, более корректно проводить сопоставления разрезов этого возраста с другими разрезами Шпицбергена, где палеонтологические остатки определены или по ним существуют изотопные данные. Собран обширный материал по структурно-геологическим характеристикам пород серии. Толщи венда представляют собой сложно дислоцированный комплекс пород. В нем отмечены не менее двух разновозрастных структурных парагенезисов, каждый из которых проявлен образованием складок, сопровождающихся квиважом осевой плоскости.

В долине Чемберлендален проведено изучение метабазит-ультрабазитового комплекса, который представлен пластовыми интрузиями, согласно залегающими в осадочно-вулканогенной толще рифейского возраста. Интрузии характеризуются как дифференцированные. Мощность интрузий составляет десятки метров, иногда более 50–60 м. Породы комплекса испытали региональный метаморфизм зеленосланцевой фации. Выявлены факты смятия в систему складок плоскости контакта между интрузией и вмещающей породой. Интрузии согласны с общей структурой серии Чемберлендален. Все указывает на допозднерифейский возраст этих образований. Петрохимический анализ интрузивных и эффузивных пород позволяет объединить их в единую субщелочную кали-натровую серию и отнести к трахибазальт-трахиандезитовой формации, сформированной в обстановках континентального рифтогенеза.

Анализ цирконов из пробы габбро-диоритов позволил получить возраст магматической кристаллизации этих пород:  $967.1 \pm 6.4$  млн лет, т. е. является гренвильским. Это хорошо сопоставляется с возрастными магматических объектов в южной части Земли Веделя Ярлсберга. По андезибазальтам получены две группы возрастов: 1744–1870 млн лет и 950–987 млн лет. По цирконам метаандезита получен конкордантный возраст  $561.7 \pm 4.6$  млн лет. Учитывая, что вулканогенная толща прорвана габбро-диоритами с возрастом  $967.1 \pm 6.4$  млн лет, можно интерпретировать, что ранний протерозой (1744–1870 млн лет) – возраст захваченных реликтовых цирконов, т. е. возраст пород, подстилающих на глубине изучаемые нами комплексы. Гренвильский возраст (950–987 млн лет) – время формирования терригенно-вулканогенной толщи. Последняя цифра –  $561.7 \pm 4.6$  млн лет – это возраст регионального метаморфизма среднерифейских пород, что соответствует границе венда и кембрия.

## **ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИРКУЛЯЦИИ НИЖНЕЙ И СРЕДНЕЙ АРКТИЧЕСКОЙ АТМОСФЕРЫ И ВЛИЯНИЯ НА НЕЕ ГОРНЫХ МАССИВОВ ШПИЦБЕРГЕНА**

**И. В. Мингалев, К. Г. Орлов, В. С. Мингалев**

Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

Численная глобальная модель горизонтального и вертикального ветра в нижней и средней атмосфере Земли, которая была разработана в Полярном геофизическом институте (Мингалев, Мингалев, 2005; Mingalev et al., 2007), изменялась и применялась для исследования общей циркуляции атмосферы Земли (Мингалев, Мингалев, 2006; Мингалев и др., 2008, 2012, 2016). Недавно она была в очередной раз усовершенствована за счет учета в ней рельефа поверхности планеты, которая в предыдущих вариантах численной модели считалась гладкой.

Эта численная модель применяется и в настоящей работе. Она основывается на решении системы нестационарных трехмерных уравнений переноса, которая включает в себя уравнения Навье-Стокса для сжимаемого вязкого газа, а также уравнения неразрывности и теплопроводности для него. Модель позволяет рассчитывать трехмерные глобальные распределения зональной, меридиональной и вертикальной компонент скорости нейтрального ветра, температуры и плотности воздуха на уровнях нижней и средней атмосферы Земли. Рассчитываемая в модели вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, как это делается в большинстве моделей атмосферной циркуляции, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной составляющей скорости без пренебрежения какими-либо членами. Поэтому применяемая численная модель является негидростатической, что позволяет получать с ее помощью более точные результаты, чем с использованием гидростатических моделей.

В настоящей работе обсуждаются результаты расчетов системы нейтрального ветра в земной арктической атмосфере в январских условиях, выполненных при помощи двух вариантов этой модели, в первом из которых поверхность Земли считается гладкой, а во втором – учитывается рельеф земной поверхности.

Оказалось, что на уровнях стратосферы и мезосферы могут существовать горизонтальные области, в которых горизонтальные и вертикальная компоненты скорости нейтрального ветра, рассчитанные в приближении гладкой земной поверхности, могут существенно отличаться от аналогичных компонент скорости, рассчитанных в учетом рельефа земной поверхности. Некоторые из этих горизонтальных областей находятся непосредственно над горными массивами, в частности над горными массивами Шпицбергена.

Таким образом, результаты расчетов показали, что рельеф планеты должен оказывать заметное влияние на распределения скорости горизонтального ветра в арктической атмосфере Земли не только в прилегающих к земной поверхности слоях, но и на вышележащих уровнях нижней и средней атмосферы.

## Литература

*Мингалева И. В., Мингалева В. С.* Модель общей циркуляции нижней и средней атмосферы Земли при заданном распределении температуры // Математическое моделирование. 2005. Т. 17, № 5. С. 24–40.

*Мингалева И. В., Мингалева В. С.* Моделирование особенностей крупномасштабной циркуляции атмосферы Арктики в разные сезоны // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 76–80.

*Мингалева И. В., Мингалева В. С., Орлов К. Г.* Моделирование изменений крупномасштабной циркуляции атмосферы Арктики при переходе от лета к зиме // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 9–11 ноября 2008 г.). Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 238–241.

*Мингалева И. В., Мингалева Г. И., Мингалева В. С.* Влияние солнечной активности на крупномасштабную циркуляцию арктической средней атмосферы в летних условиях // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 1–3 ноября 2012 г.). Вып. 11. М.: ГЕОС, 2012. С. 190–195.

*Мингалева И. В., Орлов К. Г., Мингалева В. С.* Влияние геомагнитной активности на крупномасштабную циркуляцию арктической средней атмосферы в летних и зимних условиях // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.). Вып. 13. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2016. С. 267–273.

*Mingalev I. V., Mingalev V. S., Mingaleva G. I.* Numerical simulation of global distributions of the horizontal and vertical wind in the middle atmosphere using a given neutral gas temperature field // J. Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics. 2007. Vol. 69, № 4/5. P. 552–568.



## РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ В РАЙОНЕ БАРЕНЦБУРГА В 2017–2018 ГОДАХ

**В. В. Мовчан, В. Ю. Кустов, П. В. Богородский, А. П. Макштас, О. Р. Сидорова, Г. В. Тарасов**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Рассматриваются результаты годового цикла метеорологических измерений в районе криосферного полигона Российского научного центра на архипелаге Шпицберген, расположенного на южном берегу залива Ис-фьорд в 2 км к северу от Баренцбурга ( $78^{\circ}5.572'$  с. ш.,  $14^{\circ}13.406'$  в. д.). Цель измерений – улучшение понимания процессов взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью в прибрежных районах Западного Шпицбергена при наличии снежного и растительного покрова, а также сезонно-талого слоя грунта. Работа инициирована интересом к многолетней динамике наиболее инерционной составляющей криосферы – вечной мерзлоты в прошлом и оценке влияния меняющихся атмосферных условий на ее деградацию в будущем. Поскольку полный анализ данных измерений в рамках доклада не представляется возможным, в настоящей работе дано описание характеристик изменчивости метеонаблюдений, наиболее информативных для описания основных свойств годовой изменчивости атмосферных процессов и наиболее актуальных для обеспечения мерзлотных наблюдений на базе Российского научного центра на Шпицбергене.

Для измерений использовался градиентный метеорологический комплекс Campbell Scientific (CS), установленный в сентябре 2017 г. на вершине пологого холма и оснащенный датчиками для измерения параметров приземного слоя атмосферы на высоте 2, 8 и 10 м. Помимо них, в состав аппаратуры входят осадкомер, измерители температуры и влажности верхнего 0.16-метрового слоя грунта, потока тепла на глубине 0.1 м, акустический датчик высоты снега, а также термокоса с датчиками температуры на уровнях 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 и 0.5 м ниже и 0.04, 0.08, 0.12, 0.16, 0.2, 0.24, 0.28, 0.32, 0.36, 0.4, 0.44 и 0.48 м выше поверхности грунта, обеспечивающая непрерывные измерения в снежном покрове и поверхностном слое грунта.

На основе полученных данных выполнены статистические оценки годовой изменчивости основных характеристик атмосферы, снежного покрова, грунта, атмосферной изменчивости синоптического масштаба и ее суточного хода. Высказано предположение о возникновении конвекции воздуха в снежном покрове и ее влиянии на темпы промерзания оттаявшего слоя грунта. Выявлена согласованность трендов температуры воздуха и балла общей облачности в летний и зимний сезоны. Проведено сравнение данных, полученных комплексом CS, с данными стандартных наблюдений метеостанции “Баренцбург”, репрезентативность которых по отдельным параметрам вызывала обоснованные сомнения в их достоверности.

### ВЕРИФИКАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МОРЯ И КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА В ИС-ФЬОРДЕ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ И *IN SITU*

**Д. В. Моисеев, Г. Н. Духно**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Для проведения сравнительного анализа данных дистанционного зондирования и контактного мониторинга использовалась информация со спутников NOAA и NASA, а также результаты измерений температуры воды и хлорофилла *a* в поверхностном слое на станциях контактного мониторинга в Ис-фьорде на архипелаге Шпицберген в июле 2017 г.

**Верификация данных OISST и температуры воды *in situ*.** Исходные данные дистанционного зондирования Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) получены с сайта “National Centers for Environmental Information” за период 21–25 июля 2017 г. (<https://www.nodc.noaa.gov>). Ежедневные наблюдения проводятся по сетке 0.25 (1/4) градуса по широте и долготе. Данные

поставляются в формате netCDF-3 и сопровождаются соответствующей документацией алгоритма, диаграммой потоков данных и исходным кодом (<https://www.ncdc.noaa.gov/cdr/oceanic/sea-surface-temperature-optimum-interpolation>). Время регистрации данных соответствует часовому поясу Гринвича (англ. Greenwich Mean Time, GMT). Для сравнения с данными *in situ* время переведено в московское. Каждый файл содержит следующие данные:

daily sea surface temperature (ежедневная температура поверхности моря);  
daily sea surface temperature anomalies (ежедневные аномалии температуры поверхности моря);  
estimated error standard deviation of analysed\_sst (оценочное стандартное отклонение ошибки анализируемой температуры поверхности моря);  
sea ice concentration (сплоченность морского льда).

Для анализа облачности были взяты спутниковые снимки спектрорадиометра MODIS Aqua за эти же дни. Размер пикселя – 250 м, изображение в видимом диапазоне (полноцветное изображение).

При обработке данных дистанционного зондирования использовали следующее программное обеспечение: NOAA Weather and Climate Toolkit (URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/wct/>); ESRI ArcGIS 10 и модули расширения; MS Excel.

Для измерения температуры воды на станциях контактного мониторинга использовался СТД-зонд SEACAT SBE 19 plus, при верификации с данными дистанционного зондирования – значения температуры, зарегистрированные в слое 0–0.5 м (SBE ..., 2005).

В среде ArcGIS проведено сравнение температуры морской воды на поверхности. Данные дистанционного зондирования Земли (ДДЗ) из растра сравнивались с результатами СТД-зондирования в поверхностном слое. Результаты сравнения показали прямую зависимость температуры поверхности моря от облачности. В период наличия облачности в Ис-фьорде значения температуры OISST имели большой разброс в сравнении с данными СТД-зондирования (*in situ*). Разница в значениях температуры изменялась от 1.6 до 5.2 °С. Начиная с 23 июля, когда над Ис-фьордом рассеивается облачность, наблюдалось уменьшение разброса данных OISST и *in situ*. Различия между значениями температуры воды по данным ДДЗ и *in situ* находились в пределах 0–1.1 °С.

**Верификация данных Ocean Color и хлорофилла *a in situ*.** Одной из важнейших характеристик продуктивности морских экосистем является содержание хлорофилла в морской воде. Его концентрация определяется как по данным дистанционного мониторинга широко известной системы Ocean Color, так и традиционными методами – путем отбора и анализа проб воды поверхностного слоя.

Для акватории Ис-фьорда была проведена верификация спутниковых растров Ocean Color (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>) и данных измерений хлорофилла *a in situ*. Дополнительно к перечисленному выше списку программ использовали комплексный пакет программного обеспечения для обработки, отображения, анализа и контроля качества данных о цвете океана SeaDAS 7.4 (<https://seadas.gsfc.nasa.gov/>).

Исходные данные дистанционного зондирования поставляются в формате netCDF-4. Для сравнения с данными *in situ* время GMT переведено в московское время. Каждый файл сопровождается соответствующими метаданными.

В июле 2017 г. спутниковые данные имели довольно слабое покрытие. В связи с этим в сравнение попал только один день – 23 июля. На эту дату проведена оценка спутниковой информации и данных, полученных в экспедиции. Для измерений хлорофилла *a*, выполненных на четырех станциях 23 июля 2017 г., найдено два ближайших растра Ocean Color. Разница в значениях оказалась весьма существенной – 0.24 и 0.51 мг/м<sup>3</sup> для каждого растра соответственно.

Таким образом, проведено сравнение данных дистанционного зондирования и контактного мониторинга в Ис-фьорде. Показано, что максимальная точность данных по температуре поверхностного слоя моря возможна при открытом небе, т. е. при отсутствии облачности. Установлено, что в период наблюдений в июле 2017 г. только в Ис-фьорде наблюдалось ясное небо. За пределами Ис-фьорда по данным спутниковых и визуальных наблюдений была 10-балльная облачность. Следовательно, можно использовать данные дистанционного зондирования для определения поверхностной температуры воды в Ис-фьорде на архипелаге Шпицберген летом в период полярного дня при открытом небе. Верификация данных о концентрации хлорофилла *a* требует проведения дальнейших полевых исследований.

Авторы выражают благодарность В. В. Водопьяновой и О. П. Калинка за предоставление данных о концентрации хлорофилла *a in situ*.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы “Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020

годы” проекта “Разработка методов экосистемного мониторинга заливов и шельфа Баренцева моря и высокоширотной Арктики, сценарного моделирования аварийных ситуаций при транспортировке нефтепродуктов и радиоактивных отходов и экспериментальных технологий их защиты от загрязнения в условиях морского перигляциала” [уникальный идентификатор прикладных научных исследований (проекта) RFMEFI61616X0073, соглашение № 14.616.21.0073].

## **МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ЗАЛИВЕ ИС-ФЬОРД В 2001–2018 ГОДАХ**

**Д. В. Моисеев, Т. М. Максимовская**

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Важнейшим фактором, определяющим термохалинный режим залива Ис-фьорд и, как следствие, характеристики ледяного покрова в зимнее время, является заток атлантических вод. В связи с этим мониторинг интенсивности затока и выявление определяющих его процессов являются одними из основных задач океанологических исследований на Шпицбергене.

В работе использовался массив термохалинных данных, полученных в ходе экспедиций ММБИ в 2001–2018 гг. (Моисеев, Ионов, 2006; Моисеев, Громов, 2009; Мещеряков и др., 2014; Моисеев, Бобров, 2015 и др.). Профилирование толщи вод залива осуществлялось с борта НИС “Дальние Зеленцы” с помощью СТД-зондов фирмы SeaBird Electronics (США). Выполненные океанографические измерения не имели регулярной основы во времени и пространстве, однако практически все станции расположены вдоль оси залива, что дает возможность охарактеризовать основные черты его гидрологического режима.

Проанализированы данные о вертикальном распределении температуры и солености воды, полученные с 67 станций в следующие периоды: 8–10.08.2001 г. – 4 станции; 3–6.07.2002 г. – 5 станций; 12.08.2003 г. – 3 станции; 22–26.08.2008 г. – 3 станции; 5–6.08.2009 г. – 4 станции; 27.11–6.12.2015 г. – 15 станций; 21–25.07.2017 г. – 6 станций; 15–21.11.2017 г. – 17 станций; 2–3.05.2018 г. – 12 станций.

При анализе использовались разрезы температуры и солености, проходящие вдоль центральной оси Ис-фьорда по направлению к Булле-фьорду, построенные в программе Golden Software Surfer. В качестве критерия адвекции атлантических вод в Ис-фьорд принята дальность распространения, площадь и средняя величина температуры в слое, ограниченном изохалиной 34.8 ‰. Приток атлантических вод носит нерегулярный характер и зависит от особенностей атмосферной циркуляции. В частности сильные и продолжительные северные ветра приводят к аномальному проникновению атлантических вод в залив (Потепление ..., 2010). В связи с этим, а также малым количеством натурных наблюдений, в качестве граничной была принята соленость 34.8 ‰. Данная соленость характерна в большей степени атлантическим трансформированным водам, но может служить надежным показателем влияния атлантических вод даже в те периоды, когда адвекция атлантических вод была минимальной. Используемая точка отсчета расположена в устье залива на линии створа между входными мысами.

В летний период отмечалась тенденция распространения атлантических вод в виде линз, ограниченных горизонтами 150 и 250 м. В период осенне-зимней конвекции распространение атлантических вод наблюдалось по всей толще примерно с горизонта 100 м и до дна. За рассматриваемый период максимальный заток атлантических вод в летние месяцы наблюдался в июле 2017 г., когда водная масса с соленостью 34.8 ‰ занимала слой от 45 до 230 м, проникая на расстояние 20.7 км от входа в Ис-фьорд. Минимальный заток наблюдался в августе 2003 г., когда слой, ограниченный изохалиной 34.8 ‰, занимал на продольном разрезе всего 0.03 км<sup>2</sup>. Средняя температура воды в этом слое в летний период 2001–2009 гг. имела значимую тенденцию к повышению. Размах значений составил 1.17 °С. Наибольшего значения средняя температура достигала в 2009 г., когда в залив поступила линза атлантических вод малого объема. Однако в июле 2017 г. температура ядра входящих атлантических вод превысила таковую 2009 г. на 0.6 °С.

В зимний период (ноябрь–декабрь) было проведено лишь две экспедиции – в 2015 и 2017 гг. В это время приток атлантических вод происходил с большей интенсивностью в сравнении с

рассматриваемыми летними месяцами. В частности, средняя температура вод рассматриваемого слоя в ноябре–декабре превышала температуру вод в том же ограниченном изохалиной 34.8 ‰ слое в июле–августе на 1.4 °С. Максимальный приток атлантических вод в Ис-фьорд наблюдался в середине ноября 2017 г., когда теплые и соленые воды, поступающие с Западно-Шпицбергенским течением, занимали толщу в слое 60 м–дно вплоть до входа в Булле-фьорд.

Исследования в весенний период были проведены в начале мая 2018 г. Распространение атлантических вод 2–3 мая 2018 г. по изохалине 34.8 ‰ прослеживалось на расстоянии 16 км от центральной точки поперечного разреза между входными мысами. Глубина залегания атлантических вод изменялась от 10 до 400 м, а площадь на продольном разрезе составила 1.8 км<sup>2</sup>.

Максимальная адвекция атлантических вод наблюдалась в июле и ноябре 2017 г., а минимальная – в августе 2003 г. Максимальные показатели залива атлантических вод в Ис-фьорд в 2017 г. не помешали активному льдообразованию зимой 2018 г., что, скорее всего, можно объяснить сильным распреснением поверхностного слоя в этот период. Анализ дополнительных гидрологических данных из других источников позволит сформировать более целостную картину изменчивости залива атлантических вод в Ис-фьорд в последние 15 лет.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания ММБИ КНЦ РАН “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген”.

### Литература

*Мещеряков Н. И., Бобров К. А., Тарасов Г. А.* Седиментологические и океанологические исследования в апреле 2014 года в заливе Грэн-фьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Вып. 12. М.: ГЕОС, 2014. С. 210–215.

*Моисеев Д. В., Бобров К. А.* Океанографические исследования в заливе Грэн-фьорд // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН): Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 1–3 апреля 2015 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2015. С. 168.

*Моисеев Д. В., Громов М. С.* Термохалинные условия в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2003 и 2008 гг. // Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 332–335.

*Моисеев Д. В., Ионов В. В.* Некоторые результаты океанографических исследований в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2001 и 2002 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 261–270.

*Потепление в заливах Западного Шпицбергена: кратковременное явление или устойчивая тенденция? / А. К. Павлов, Б. В. Иванов, Д. М. Журавский, В. Тверберг // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3(86). С. 70–78.*

## ФАУНА ГУБОК (PORIFERA) ШЕЛЬФА И БАТИАЛИ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА И ПУТИ ЕЕ ФОРМИРОВАНИЯ

Г. С. Морозов<sup>1</sup>, Р. М. Сабиров<sup>1</sup>, Н. А. Стрелкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

<sup>2</sup>Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н. М. Книповича, г. Мурманск, Россия

Современный биологический режим Арктики во многом обуславливают воды Северной Атлантики (Golikov, Scarlato, 1989). Около 60 % поступающих в Арктический бассейн североатлантических вод проникают сюда вдоль западного склона Баренцева моря с Западно-Шпицбергенским течением (Walczowski, Piechuga, 2007). Благодаря струям сравнительно теплых и соленых атлантических вод, расположенный в высоких широтах архипелаг Шпицберген становится переходной зоной между бореальной североатлантической и арктической фаунами.

По материалам бентосных сборов, выполненных ПИПРО в 2005 г. на НИС “Ф. Нансен” в рамках проведения полномасштабной бентосной съемки Баренцева моря (2003–2006 гг.), изучена фауна губок шельфа и батиали к западу и югу от архипелага Шпицберген. Всего для акватории исследований отмечено 29 видов губок. Значительная их часть (36 %) приходится на североатлантические формы. Из них некоторые виды (*Suberites carnosus*, *Craniella cranium*, *Tedania suctoria*, *Haliclona rosea* и *Weberella bursa*) довольно широко распространены в средиземноморском районе Атлантики и лишь изредка обнаруживаются на севере бореальной области и в Арктике, где границей их ареалов служат прилегающие к Шпицбергену районы. Основным фактором, ограничивающим распространение таких видов далее на восток вдоль батиали Северного Ледовитого океана, по-видимому, является изменение температурного режима. Именно с постепенным выхолаживанием связывают основные изменения параметров атлантических вод Западно-Шпицбергенского течения по мере их внедрения в высокие широты (Walczowski, 2013). Поскольку потеря тепла атлантическими водами на пути их распространения от Фарерско-Шетландского желоба к Шпицбергену происходит постепенно, плавный широтный температурный градиент облегчает проникновение некоторых наиболее эврибионтных бореальных форм губок далеко на север. Интересно отметить, что в районе Шпицбергена нередко обнаруживаются близкие производные формы таких видов: североатлантическая *Tethya aurantium* vs арктическая *T. norvegica* (Sarà et al., 1992), североатлантическая *Halicnemia patera* vs арктическая *H. wagini* (Morozov et al., 2018a). И хотя различия их сводятся главным образом к незначительным изменениям в морфологии скелетных элементов, последние могут отражать глубинные адаптивные изменения.

В некоторых случаях возможно проследить последовательно сменяющие друг друга, по мере продвижения от средиземноморской Атлантики через Субарктику (Норвежское, Гренландское, Исландское моря) к Арктике, ряды близких видов, чьи ареалы, за исключением районов прилежащих к Шпицбергену, в настоящее время почти не перекрываются между собой: североатлантическая *Iophon nigricans* – субарктическая *I. dubium* – арктическая *I. koltuni*; североатлантическая *Geodia barretti* – субарктическая *G. macandrewii* – арктическая *G. hentscheli*. Первая группа stenotherмных тепловодных видов, будучи довольно широко распространенной в Северной Атлантике, проникает в Арктику вдоль шельфа Скандинавии вместе с Норвежским течением, а с его основным ответвлением – Западно-Шпицбергенским течением – достигает северных берегов архипелага Шпицберген, где ареал таких видов обрывается. Большая часть ареалов видов второй группы ограничена морями Субарктики, где ее представители встречаются от литорали до нижних отделов батиали в довольно широком диапазоне температур. Представители последней группы ограничены в своем распространении морями высокой Арктики (отмечаются в батиали субарктических морей) и являются преимущественно stenotherмными холодноводными формами.

Традиционно происхождение отмеченных выше субарктических и арктических форм связывалось с межледниковыми бореальными трансгрессиями и последующими похолоданиями плейстоценовой эпохи, когда процесс видообразования и формирования автохтонной арктической фауны шел наиболее интенсивно (Зенкевич, 1933; Гурьянова, 1939; Дьяконов, 1945; Колтун, 1964; Несис, 1983). Как показано на примере фауны губок моря Лаптевых (Morozov et al., 2018b), значительный вклад в формирование облика последней привносят североатлантические высокобореально-арктические формы, которые, будучи безусловно связаны тесным родством с североатлантической фауной, оказались изолированы от последней в ходе четвертичных оледенений и далее продолжили развиваться независимо. Такие виды, относимые нами к вторично-арктическим формам, составляют в фауне губок Шпицбергена около 40 % и являются, по существу, автохтонами Арктики: *Tethya norvegica*, *Craniella polyura*, *Thenea valdiviae*, *Polymastia thielei*, *Halicnemia wagini*, *Iophon koltuni*, *Sycandra utriculus*, *Polymastia grimaldii*, *Lycopodina cupressiformis* и *Halichondria oblonga*.

Вероятным представляется вариант развития событий при котором формирование холодноводных форм происходит и в современную эпоху, но в значительно меньших масштабах. Как отмечено выше, существующий на границе между бореальной североатлантической и арктической областями плавный градиент условий обитания, очевидно, благоприятствует приспособительным изменениям, приводящим в конечном итоге к отщеплению новых форм. Однако этот вопрос довольно обширен и требует проведения дополнительных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 18-34-00079).

## Литература

- Гурьянова Е. Ф. К вопросу о происхождении и истории развития фауны Полярного бассейна // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1939. № 5. С. 679–704.
- Дьяконов А. М. Взаимоотношения арктической и тихоокеанской морской фауны на примере зоогеографического анализа иглокожих // Журн. общей биол. 1945. Т. 6(2). С. 125–153.
- Зенкевич Л. А. Некоторые моменты зоогеографии Северного Полярного бассейна в связи с вопросом о его палеогеографическом прошлом // Зоол. журн. 1933. Т. 12(4). С. 17–34.
- Колтун В. М. К изучению донной фауны Гренландского моря и центральной части Арктического бассейна // Тр. Арктического ин-та. 1964. Т. 259. С. 33–39.
- Несис К. Н. Гипотеза о причине возникновения западно- и восточноарктических ареалов морских донных животных // Биология моря. 1983. № 5. С. 3–13.
- Golikov A. N., Scarlato O. A. Evolution of Arctic ecosystems during the Neogene period / Y. Herman (Ed.) // The Arctic seas: climatology, oceanography, geology, and biology. New York: Springer, 1989. P. 257–279.
- Morozov G. S., Sabirov R. M., Anisimova N. A. New data on sponges from Svalbard Archipelago with a description of a new species of *Halicnemida* // J. Natural History. 2018a. Vol. 52. Iss. 7–8. P. 491–507.
- Morozov G. S., Sabirov R. M., Zimina O. L. Sponge fauna of the New Siberian Shoal and some features of its formation // J. Natural History. 2018b. (in press).
- Sarà M., Bavestrello G., Mensi P. Redescription of *Tethya norvegica* Bowerbank (Porifera, Demospongiae), with remarks on the genus *Tethya* in the north east Atlantic // Zool. Scr. 1992. Vol. 21(3). P. 211–216.
- Walczowski W. Frontal structures in the West Spitsbergen Current margins // Ocean Sci. 2013. Vol. 9. P. 957–975.
- Walczowski W., Piechura J. Pathways of the Greenland Sea warming // Geophys. Res. Lett. 2007. Vol. 34(10). L10608.

### ПЕРВЫЕ ГЕОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА ОСТРОВАХ САЛЬМ, ЛИ-СМИТА, ЭТЕРИДЖ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА- ИОСИФА

Д. С. Мосеев<sup>1</sup>, Л. А. Сергиенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет, Институт биологии, экологии и агротехнологий, г. Петрозаводск, Россия

В летний период 2016 г. проводилась комплексная экспедиция “Открытый океан: Архипелаги Арктики – 2016 (О2А2)”, в ходе которой геоботаническими работами охвачены следующие острова Земли Франца-Иосифа: Гукера, Джексона, Ева-Лив, Кейна, Хейса, Алджера, Сальм, Ли-Смита, Этеридж (большой), Мейбел, Земля Георга, Белл. Из которых впервые обследованы острова Сальм (южное побережье), Ли-Смита (мыс Виттенбурга), Этеридж (большой). Все три острова небольшие по площади, из них самый крупный Сальм – 273.03 км<sup>2</sup>.

Одним из основных объектов исследований являлся растительный покров, изученный на 17 пробных площадках и маршрутах. При выделении экотопов описаны типы берегового рельефа островов, грунтов, характер увлажнения, степень дренажа.

На берегах этих островов выражена аккумуляция преимущественно ледникового происхождения, с преобладанием каменистых субстратов из гальки и валунов. На островах Сальм и Ли-Смита неширокие галечно-валунные пляжи с серией береговых валов, выработанных волноприбойным воздействием, сменяются низкими каменистыми террасами, расчлененными водотоками. В микродепрессиях террас расположены небольшие ледниковые озера, также соединенные ручьями. Так, на о. Ли-Смита образуется каскад водотоков вытекающих из ледниковых озер.

На о. Этеридж аккумулятивный рельеф представлен моренной равниной с эрозионным расчленением. Равнина пронизана мерзлотными трещинами шириной до 30 см, в которых накапливается мелкозем, в свою очередь мерзлотные трещины делят равнину на полигоны, сложенными галькой и валунами. У берегов развиты серии каменистых береговых валов. На значительном удалении от береговой линии между валунами в ложбинах слабо развиты торфянистые грунты мощностью до 5 см с примесью гальки и щебня.

Растительный покров на островах Сальм и Ли-Смита приурочен к увлажненным местообитаниям с каменистыми грунтами вдоль берегов водотоков и водоемов. Здесь образуются узкие полосы растительных сообществ с доминированием мхов, видовой состав которых представлен *Campylium stellatum*, *Bryum cyclophyllum*, *B. cryophyllum*, *B. pseudotriquetrum*, *Pohlia cruda*, *Philonotis tomentella*, *Pseudocalliergon turgescens*, *Brachythecium cirrosum*, *Hydrohypnella polare*, *Scorpidium revolvens*, *Ceratodon heterophyllum*, *Syntrichia norvegica*.

Сосудистые растения образуют нанокомплексы с мхами и развиты на участках скопления мелкозема с примесью гумуса. По берегам ручьев на о. Ли-Смита в моховых сообществах развитие получает *Cochlearia groenlandica*, покрытие которой на отдельных участках достигает 10 %. Остальные виды сосудистых растений в тех же местообитаниях представлены *Phippsia algida*, *Dupontia fisheri*, *Lusula confusa*, *Saxifraga cernua*, *S. hyperborea*, *S. rivularis*, *Stellaria longipes*, *S. crassipes*. В пониженном участке о. Ли-Смита, на берегу ледникового озера с торфянистыми грунтами, отмечено мохово-злаковое сообщество с доминированием *Alopecurus magellanicus*, проективное покрытие которого достигает 60 %. На щебнистых буграх развиты маково-лишайниковые группировки полярнопустынного типа с доминированием *Papaver polare* и *Saxifraga oppositifolia*.

В расщелинах глыб на берегах о. Сальм обнаружены единичные группировки из *Saxifraga svalbardensis*. Этот вид, эндемичный для соседнего архипелага Шпицберген, отмечен на Земле Франца-Иосифа, как и в российской Арктике впервые (Моисеев, Сергиенко, 2017).

В составе мхов на о. Ли-Смита впервые для Земли Франца-Иосифа зарегистрирован *Syntrichia norvegica* (Моисеев и др., 2018).

Интересны покрывающие моренные валуны прибрежные лишайниковые сообщества, которые состоят из скальных видов *Umbilicaria proboscidea*, *U. decussate*, *U. cylindrica*. Все три вида рода *Umbilicaria* ранее на архипелаге не отмечались.

На берегах озер и ручьев обычен *Cetraria islandica*. Для галечных субстратов характерен *Rhizocarpon subgeminatum*.

Существенно отличаются местообитания на о. Этеридж. Большую часть здесь занимают галечно-щебнистые полигональные моренные равнины. Практически вся растительность таких экотопов приурочена к мерзлотным трещинам, где накапливается мелкозем. В составе сосудистых растений встречается *Saxifraga cernua*, мхи представлены *Hymenoloma crispulum*, *Syntrichia* sp. Общее проективное покрытие не превышает 1–3 %.

В ложбинах за скатами береговых валов, удаленных от береговой линии моря, видовой состав богаче (*Papaver polare*, *Saxifraga oppositifolia*, *S. hyperborea*, *Draba micropetala*). Мхи представлены *Hymenoloma crispulum*, *Syntrichia norvegica*, *Sanionia uncinata*.

Проведенные исследования имеют большое значение для организации природоохранных мероприятий на территории Национального парка “Русская Арктика”, куда входит Земля Франца-Иосифа, в частности для ведения мониторинга растительности. Большинство островов архипелага в ботаническом отношении до сих пор изучено слабо, поскольку являются редко посещаемыми территориями. На многих из малых островов геоботанические исследования не проводились. Следует отметить, что в течение практически каждой крупной экспедиции на архипелаге обнаруживаются новые виды сосудистых растений, мхов, лишайников, что свидетельствует в пользу дальнейшего изучения растительного покрова архипелага.

Работа выполнена в рамках экспедиции “Открытый Океан: Архипелаги Арктики – 2016” по гранту проекта Программы развития ООН в России, Глобального экологического фонда и Минприроды России (ПРООН/ГЭФ-МПР) “Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах энергетического развития России”, а также по теме Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН № 0149-2018-0016 в рамках госзадания “Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек”.

## Литература

- Мосеев Д. С., Сергиенко Л. А. К флоре островов архипелага Земля Франца-Иосифа и северного части архипелага Новая Земля (аннотированный список видов) // Уч. Зап. ПетрГУ. 2017. № 4(165). С. 48–64.
- Мосеев Д. С., Сергиенко Л. А., Кузьмина Е. Ю. Новые виды мхов (*Bryophyta*) для Земли Франца-Иосифа (Российская Арктика) // Новости систематики низших растений. 2018. № 52(1). С. 195–203.

### ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СТРУКТУРА РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА В ЭСТУАРИИ РЕКИ ДРЕСВЯНКА ПЕЧОРСКОЙ ГУБЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Д. С. Мосеев<sup>1</sup>, Л. А. Сергиенко<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет, Институт биологии, экологии и агротехнологий, г. Петрозаводск, Россия

На развитие приморских растительных сообществ основное влияние оказывают береговой рельеф, формируемый под влиянием морских приливов, нагонов и волноприбойного воздействия, механический состав почвогрунтов, засоленность почвогрунтов и воды.

В черте эстуария р. Дресвянка представлено несколько форм аккумулятивного рельефа морских побережий:

1) пляжи с серией береговых валов и авантюны, выражены вдоль берега Печорской губы, формируются в основном под влиянием сильных ветров и волноприбойного воздействия;

2) марши (лайды), формируются под влиянием приливов и нагонов, при ослаблении волноприбойного воздействия на берег, вдали от береговой линии моря, сменяя пляжи и авантюны с продвижением вверх по эстуарию.

Такие условия формирования аккумулятивных форм рельефа характерны для морских берегов при доминировании волноприбойного воздействия над средней величиной приливов в прибрежной акватории морей, в частности для Печорской губы (Мосеев, 2017).

Приморские растительные сообщества Дресвянки подвержены сильному антропогенному воздействию из-за развития нефтяной инфраструктуры. На территории устья расположен небольшой пос. Вангурей, который ранее был пунктом базирования геологоразведки. В устье реки построен нефтяной терминал с развитой сетью грунтовых автодорог, общежитиями и нефтехранилищами. Территории, на которых расположены марши, являются землями сельскохозяйственного назначения и летом используются для выпаса оленей.

Изучение растительного покрова в устье Дресвянки проводилось летом 2015 г. методом опорных геоботанических профилей, в пределах которых на марше Дресвянки было заложено 28 пробных площадей, выполнено подробное геоботаническое описание.

Исследования показали, что фитоценозы маршей в эстуарии Дресвянки не отличаются большим разнообразием. Основные площади маршей приходятся на фитоценозы с доминированием *Carex subspathaceae* и *Potentilla egedei*.

По направлению от береговой линии эстуария к склону коренного берега, вдоль которого в настоящее время отстроена грунтовая дорога, представлен следующий эколого-динамический ряд приморской растительности.

В илито-песчаных осушках русла эстуария распространение получают сообщества с доминированием гигрофильного вида *Hippuris tetraphylla* при небольшом участии *Puccinellia phryganodes*, вероятно являющегося первым поселенцем на осушках эстуария. Эти же виды образуют сомкнутые сообщества и в солоноватых маршевых микроводоемах глубиной до 30 см. В полосе осушек, заливаемых сизигийными приливами, преобладают фитоценозы с доминированием *Carex subspathaceae*, образующего верхний ярус сообществ, и *Potentilla egedei* в нижнем ярусе. На некоторых участках таких фитоценозов обилён *Arctanemum hooltenii*. Лишь на некоторых участках



маршей с суглинистыми грунтами встречаются сообщества из *Carex mackenziei*, а ближе к коренному берегу *Carex glareosa*, занимающих небольшие площади в несколько квадратных метров. Сообщества с доминированием *Carex subspathaceae* сменяют фитоценозы из *Festuca richardsonii* и *Potentilla egedei* в нижнем ярусе, которые формируют сомкнутый растительный покров вдоль коренного берега на маршах нагонного уровня с суглинистыми грунтами.

Собственно коренные берега древней террасы покрытой тундрой в устье Дресвянки в настоящее время на значительном протяжении антропогенно преобразованы в насыпь грунтовой автодороги, проходящей от причала Печорской губы через пос. Вангурей. По отсыпным склонам автодороги развитие получают кустарниковые ценозы из *Salix lanata*, *S. phylicifolia*. Обильны здесь *Calamagrostis neglecta*, *C. deschampsiioides*, *Chamaepericlymenum suecicum*, *Festuca richardsonii*, *Agrostis straminea*, *Equisetum arvense*. Вдоль бровки автодороги продвигаются узкие полосы из *Deschampsia orientalis* и *Leymus arenarius*, которые расселяются из сообществ гребней песчаных береговых валов побережья Печорской губы.

Из многообразия видов сосудистых растений, получающих развитие на автодороге, лишь два наиболее характерны для антропогенно нарушенных местообитаний тундровой зоны: *Calamagrostis neglecta* и *Equisetum arvense*, что подтверждено и другими (Колосов, 2016). По нашим данным, характерным для антропогенных местообитаний Дресвянки является *Deschampsia orientalis*, имеющая развитую корневую систему, что частично закрепляет бровку грунтовых дорог поселка.

### Литература

Колосов Д. Ф. Оценка воздействия эксплуатируемых нефтегазовых месторождений на современное состояние почв и растительности юго-восточной части Большеземельской тундры: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Ростов н/Д., 2016. 19 с.

Мосеев Д. С. Некоторые особенности развития маршевых берегов Белого и Баренцева морей // Геология морей и океанов: Матер. XII Междунар. науч. конф. (Школа) по морской геологии (Москва, 20–24 ноября 2017 г.). М.: Изд. Ин-та океанологии РАН, 2017. С. 245–249.

## ЭКОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МОРСКОГО АРКТИЧЕСКОГО БИОПРОСПЕКТИНГА

В. А. Мухин, В. Ю. Новиков

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии  
им. Н. М. Книповича, г. Мурманск. Россия

Биопроспектинг (*bioprospecting* – биоразведка) является перспективным направлением научной и промышленной деятельности, способствующим развитию инновационных технологий, основанных на использовании уникальных свойств организмов.

Арктические моря характеризуются экстремальными факторами окружающей среды. Очевидно, что организмы, обитающие в таких условиях, сформировали генетически закрепленные адаптации, которые обеспечиваются уникальными химическими соединениями. Выявление химических агентов, обладающих полезными для человека свойствами, расшифровка их структуры и дальнейший лабораторный и промышленный синтез являются основной целью относительно нового направления – морского арктического биопроспектинга. Он не является отраслью промышленности или направлением науки в традиционном понимании, но он может дать толчок к развитию целого ряда отраслей человеческой деятельности.

Морской арктический биопроспектинг можно условно разделить на три этапа, которые связаны между собой:

1) классификационный – сбор, идентификация и хранение биологических материалов (образцов);

2) аналитический – скрининг различных видов биологической активности (антивирусной, противоопухолевой, иммунной и др.). Определение структуры веществ, обеспечивающих эту активность;

3) коммерциализации – создание, клиническая апробация и реализация препаратов, полученных на базе соединений, проявивших биологическую активность.

Первый этап морского арктического биопроспектинга фактически является изучением арктического биоразнообразия, которое не вызывает сомнений в своей актуальности.

Что касается второго этапа, то, на наш взгляд, нет ни одной материалистической причины, объясняющей увеличенную по сравнению с наземными животными возможность синтеза в тканях именно морских организмов веществ, обладающих противоопухолевой и иммуномодулирующей или иной биологической активностью.

Природа новообразований тесно связана с процессом мутагенеза. В свою очередь, причиной мутагенеза являются главным образом внешние природные и антропогенные факторы, такие как радиация всех видов (альфа-, бета- и гамма-излучение), ультрафиолет, различные химические агенты и др.

Все эти факторы, с большой долей вероятности, могут присутствовать в наземных экобиотопах. Более того, глубоководная соленая среда характеризуется максимальной стабильностью. Прямые солнечные лучи практически не проникают в толщу океана. Экологическая емкость Мирового океана чрезвычайно велика, поэтому даже агрессивные химические вещества, попадая в воду, достаточно быстро разбавляются до ничтожных концентраций. Кроме того, низкая температура среды значительно замедляет все биологические процессы, в том числе и деление живых клеток, нарушение которого и лежит в основе механизма формирования новообразований.

Оставаясь на позициях материализма и, исходя из посыла целесообразности эволюционных процессов, мы задаемся вопросом: с какой целью организмам, обитающим в толще океана, вырабатывать некие специальные химические формы защиты от новообразований, вероятность появления которых в этих организмах ничтожно мала?

Рассуждая аналогичным образом, мы приходим к подобным же выводам касательно иммуномодулирующей способности веществ, выделенных из тканей обитателей морских глубин. Зачем обитателям морских глубин улучшенная иммунная система? В экстремальных условиях их обитания априори снижена концентрация чужеродных клеток, тел и белков! Содержать “дорогую” с точки зрения метаболизма иммунную систему на “всякий случай” для любого живого организма просто “не по карману”!

Исходя из этого, обнаружение противоопухолевых и иммуномодулирующих химических агентов значительно более вероятно в тканях и органах наземных существ.

Однако, это ни в коей мере не является причиной, по которой интерес к обитателям холодных морей должен быть снижен. Мы лишь призываем к корректировке методических подходов в этих чрезвычайно актуальных исследованиях. Очевидно, что существование живых организмов при низких температурах, высоком давлении и солености, в отсутствие солнечного света обеспечивается уникальными химическими механизмами. Именно на изучении этих механизмов и стоит сосредоточить усилия исследователей! К этим механизмам следует отнести, как минимум, два очевидных принципиальных различия в биохимическом статусе водных пойкилотермных животных от такового наземных животных: 1) существенное отличие упаковки белков за счет различий в их вторичной и третичной структурах (Новиков и др., 2000; Мухин, 2003); 2) количественные различия в содержании полиненасыщенных жирных кислот, которые в результате обеспечивают качественные отличия в структуре биомембран (Сидоров, 1983; Влияние ..., 2010).

Мы считаем, что третий этап исследований (коммерциализация) должен основываться не на случайно обнаруженной биологической активности в ходе скрининга, а на биотехнологическом потенциале морских арктических организмов, изученных эколого-биохимических факторах.

Итак, рассматривая модный инновационный тренд “морской арктический биопроспектинг” с точки зрения традиционной биологической науки, мы можем сформулировать несколько выводов.

Актуальность изучения биоразнообразия в рамках морского арктического биопроспектинга не вызывает сомнений.

В тканях обитателей морских глубин не следует ожидать открытия принципиально новых химических соединений, обладающих противоопухолевой или иммуномодулирующей активностью. По нашему мнению, скрининг в рамках морского арктического биопроспектинга – основной метод поиска веществ с указанной биологической активностью – является малоперспективным.

Мы считаем, что поиск химических агентов, которые могут составить основу высокоэффективных препаратов нового поколения должен быть основан на доказанных биохимических различиях в структуре белков и липидов обитателей холодных морей и наземных существ, обеспечивающих возможность существования в качественно различных природных средах.

## Литература

*Влияние* экологических условий обитания люмпена пятнистого *Leptoclinus maculatus* на липидный состав печени и мышц / С. А. Мурзина, Н. Н. Немова, З. А. Нефедова, С. Фальк-Петерсен // *Экология*. 2010. № 1. С. 54–57.

*Мухин В. А.* Разработка стратегии получения ферментативных белковых гидролизатов из тканей морских гидробионтов: Дис. ... докт. биол. наук (03.00.23; 03.00.04). М., 2003. 280 с.

*Новиков В. Ю., Мухин В. А., Харзова Л. П.* Комплексная переработка панциря ракообразных // *Журн. прикладной химии*. 2000. Т. 73, № 9. С. 1533–1537.

*Сидоров В. С.* Экологическая биохимия рыб: Липиды. Л.: Наука, 1983. 240 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ ДЛЯ АНАЛИЗА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

**М. А. Новиков**

Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии  
им. Н. М. Книповича, г. Мурманск, Россия

Картографирование глубин и типа донных отложений имеет важное значение при изучении их связи со структурой сообществ и биомассой распределения морских донных организмов, а также с целью выявления возможных районов аккумуляции антропогенного загрязнения. Кроме того, причинно-следственные связи, существующие между гидродинамической активностью и распределением осадочного материала, позволяют на основе карт донных отложений лучше представлять себе характер распространения наиболее устойчивых водных потоков в гидродинамической системе Баренцева моря. Тип донных отложений обычно определяется их гранулометрическим составом. Донные отложения (осадки) представляют собой дисперсный грунт. Распространение грунтов различного гранулометрического состава в море в значительной степени отражает характеристики его придонных течений и рельефа дна. В понижениях рельефа (депрессиях), как правило, скапливаются мелкодисперсные илы (пелит), а на мелководьях с активной гидродинамикой преобладает песок (алеандрит).

На основе фондовых данных ПИНРО выполнена цифровая сеточная модель рельефа и гранулометрического состава донных отложений Баренцева моря. При выполнении этой модели использовали результаты более 5000 промеров глубин и отбора отложений на основной части его акватории в границах трапеции (по диагонали с юга-запада на северо-восток) 67°50' с. ш., 20° в. д.– 76° с. ш., 57° в. д. Модель включает распределение пяти основных типов грунтов – песка, илистого песка, песчанистого ила, ила и глинистого ила – по узлам регулярной координатной сетки с шагом 10'×30' по широте и долготе соответственно. Всего было обработано 2830 квадратов (трапеций). Классификация грунтов приводилась на основе подходов, предложенных М. В. Кленовой (1931) и принятых к использованию рыболовными организациями Северного бассейна (включая ПИНРО) при проведении траловых съемок (Виноградова, 1957). Основным признаком для характеристики осадка в этой классификации принято считать содержание фракции размерностью меньше 0.01 мм. Посредством приложения Golden Software Surfer 8.01 построена трехмерная цифровая карта (блок-диаграмма) распределения донных отложений Баренцева моря, совмещенная с рельефом дна. Для наглядности изображения выполнена аналитическая отмывка рельефа. Дополнительно на трехмерное изображение наложены данные по содержанию тяжелых металлов, таких как Cu, Pb, Hg, Cr, Zn и Ni в верхнем слое донных отложений (мкг/г сухой массы осадка). Сведения о последних содержатся в отдельной цифровой базе данных ПИНРО и являются результатом химического анализа донных отложений в лаборатории прикладной экологии и токсикологии. В этой базе обобщены результаты химического анализа проб, отобранных на 574 станциях в Баренцевом море с 1998 по 2016 гг.

Анализ трехмерной карты рельефа дна и донных отложений показал, что большая часть дна Баренцева моря покрыта песчанистым илом. Значительные участки дна, особенно в северной половине и центральной части моря, заняты илом – дно Медвежинского желоба, желоба Персея,

Центральной впадины, участки новоземельских желобов и др. Наличие здесь системы замкнутых понижений способствует образованию ловушек, затишных зон и отложению илистого материала и глины. В южной части моря илом покрыто дно Норвежского желоба восточнее 26 меридиана и большие участки дна у южной оконечности Новой Земли. Распределение песка связано с активными гидродинамическими процессами, происходящими в море, и в значительной степени приурочено к мелководьям. Песок располагается вдоль прибрежных склонов и на поверхности Медвежинской и Шпицбергенской банок, на Канино-Колгуевском мелководье, Северо-Канинской банке, в Западно-Центральном районе, в Печорском море и у побережья Новой Земли. Илистый песок то узкой, то широкой полосой окаймляет прибрежные склоны и покрывает гребни Мурманской и Рыбачьей банок, Центральной возвышенности. В юго-восточной части Баренцева моря в связи с ослабленной подвижностью вод илистые грунты залегают на меньших глубинах, чем в западных районах. К востоку от о. Колгуев можно встретить ил на глубине меньше 100 м. Осадки здесь более рыхлые, чем в западных районах.

С использованием цифровой модели показано распределение тяжелых металлов – Pb, Cu, Hg, Ni, Zn, Cr – в донных отложениях Баренцева моря в количествах, превышающих фоновые значения – загрязнение (аномалии). Выявлено, что донные отложения юго-восточной части моря, практически не загрязнены тяжелыми металлами. В этом мелководном районе на песчаных осадках повышенное содержание изученных металлов отмечено единично только для Cr – его высокие концентрации встречались, как правило, только в прибрежной зоне. Наиболее загрязненными являются мелкозернистые осадки желобов и их склонов в центральной части Баренцева моря. Для илов Центральной впадины (желоба) характерно комплексное загрязнение тяжелыми металлами, илов Медвежинского желоба – свинцом. Высокие уровни Hg отмечены на северо-западной границе юго-восточной части Баренцева моря, в Центральной впадине (желобе) вдоль склонов Северо-Канинской и Гусиной банок в основном на тонкозернистых осадках – разных типах илов. Таким образом, наиболее загрязненными являются тонкозернистые осадки морских желобов – илы и глины, наименее – крупнозернистые осадки мелководных районов – пески. Согласно нашим предшествующим исследованиям, присутствие повышенных содержаний Hg и Pb в донных осадках Баренцева моря является следствием устойчивого техногенного загрязнения (Новиков, Жилин, 2016; Новиков, 2017).

Характер рельефа дна Баренцева моря, наличие на морском дне седиментационных ловушек, затишных зон в значительной степени способствует накоплению металлов, поступающих сюда с взвесью, приносимой в основном течениями и атмосферными осадками. Этот же фактор в целом определяет и преобладающий гранулометрический состав отложений того или иного участка морского дна. Наиболее загрязнены металлами тонкозернистые осадки морских желобов и впадин – все виды илов и глина. В Центральном желобе Баренцева моря наблюдается комплексное загрязнение тяжелыми металлами. Загрязнение песчаных грунтов – песка и илистого песка – за редким исключением отсутствует. Основной причиной этого явления, очевидно, является активная гидродинамика мелководных морских зон.

## Литература

*Виноградова П. С.* Грунты Баренцева моря // Научно-технический бюллетень ПИНРО. 1957. № 4. С. 30–35.

*Кленова М. В.* Отчет о работе комиссии по механическому анализу при Государственном океанографическом институте // Бюл. ГОИН. 1931. Вып. 1. 8 с.

*Новиков М. А.* К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря // Вестн. МГТУ. 2017. Т. 20, № 1/2. С. 280–288.

*Новиков М. А., Жилин А. Ю.* Характер распределения тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря (по результатам статистического анализа) // Вестн. КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле. 2016. Вып. 29, № 1. С. 78–88.

## РЕЛЬЕФ И ЧЕТВЕРТИЧНЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ РАЙОНА БУХТЫ СТОРВИКА (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН)

А. С. Окунев

Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург – Ломоносов, Россия

Геоморфологическое строение района определяет крупная приморская равнина, протянувшаяся с севера на юг, которую осложняют формы рельефа более мелкого порядка, а также разнообразные четвертичные отложения, имеющие фрагментарное площадное распространение.

К северу от бухты Сторвика (Фонхусбухта, Олафсонбухта, Нордбухта) широко развиты морские террасы аккумулятивного генезиса, сложенные гравийно-галечным материалом. Основные морфологические элементы террас (бровки, тыловые швы) плохо выражены в рельефе. В районе Нордбухты, вдоль ручья Дёрдальсбеккен, выделены террасы уровней 8–10, 12–16, 19–22, 25–36, 36–40, 40–45 м ранне-среднеголоценового времени образования.

Значительные площади занимают абразионные морские террасы, верхний морской уровень которых достигает 50 м. Они распространены к северу и югу от бухты Сторвика. Их поверхность сложена коренными породами, часто с маломощным чехлом четвертичных отложений. На поверхности террас проходят процессы криолитогенеза, солифлюкции, что приводит к появлению и развитию каменных фестонов, элювиальных развалов, натечных форм.

В устьевой части долины Орвиндален, вдоль восточного борта р. Орвинэльвы, сформирован озерно-ледниковый рельеф. Его поверхность сильно заболочена, заозерена и сложена, преимущественно, покровными суглинками. По характеру четвертичных отложений и ряду геоморфологических признаков здесь установлено развитие озерно-ледниковых (камовых) террас, которые расположены отдельными останцами вблизи долины Орвиндален.

На приморской равнине распространены многочисленные водотоки. К наиболее крупным из них относится р. Орвинэльва, имеющая высокую пойму.

Юг района занимает протяженная флювиогляциальная равнина с конечно-моренным комплексом ледника Западный Торрель.

Широкие площади занимает структурно-денудационный рельеф, который представлен протяженными грядами северо-западного простирания коренных пород. Их высота составляет 1.5–2 м, длина достигает 50–70 м; гряды расположены отдельными цепочками, параллельными друг другу.

Четвертичные отложения области бухты Сторвика имеют голоценовый возраст. Морские террасы на приморской равнине в независимости от их высотного положения сложены чередованием галечников, гравийников и песков различной крупности. Ископаемая макрофауна встречается в виде неопределимых обломков раковин и детрита. Аккумулятивные морские террасы на данной территории, исходя из анализа отложений, полностью представлены пляжевой фацией.

На юго-западе Сёрбухты, неподалеку от мыса Бортена, была изучена терраса низкого уровня (4 м). Мыс далеко вдаётся в море, формируя на цоколе коренных пород морские образования. Здесь терраса сложена толщами переслаивания гальки и гравия с песками различной крупности. В серых среднезернистых песках на высоте 2.4 м залегает прослой органики (захороненная растительность или водоросли). В разрезе и в осыпях на склоне террасы найдены обломки и целые раковины *Mytilus edulis* (Linne). Хотя раковины этого моллюска, а также раковины *Modiolus modiolus* (Linne), отобранные с песчано-гравийных толщ террас тех же уровней, расположенных значительно севернее – на равнине Флэйслетта, показали раннеголоценовый возраст (Mangerud, Svendsen, 2017). Отложения, которыми представлена терраса мыса Бортена имеют, вероятно, среднеголоценовый возраст. На это указывает высотное положение террасы, характер макрофауны и прослой органики.

Морская терраса уровня 6 м, расположенная на юго-западном борту ручья, вытекающего из долины Турсьёдален и впадающего в Орвинэльву, сложена песками различной крупности (от крупного до мелкозернистых). Разрез данной террасы также включает прослой гальки и целые раковины *Balanus balanus* (Linne). Мощность отложений 1.5 м, время формирования – средний голоцен. В 500 м от описанного разреза в русле реки, ниже по течению, встречаются раковины *Mya truncata* (Linne), *Hiatella arctica* (Linne), *Macoma calcaria* (Gmelin). Судя по всему, раковины находились в продуктивном горизонте, сложенном алевро-песчанистыми отложениями, которые были полностью размыты водотоком.

Вблизи долины Орвиндален расположены террасированные участки озерно-ледниковых отложений. Они сложены переслаивающимися монотонными пачками песков средне- и мелкозернистого состава с глинистой составляющей. Отсутствие детрита и раковин, наличие угловатой гальки свидетельствует о озерно-ледниковом генезисе. В одном из разрезов, расположенном под горой Кваснилкен, на равнине Марфлюа, пески залегают на гравийниках и галечниках с обломками раковин. Пачки песков, вероятно, были сформированы в позднем голоцене. Их мощность достигает 2 м.

Современный пляж сложен отложениями поздеголоценового возраста. Пляжевые фации представлены песчано-галечным материалом мощностью до 2 м.

Водотоки часто эродуют морские террасы, формируя мощные конуса выноса в перигляциальной зоне ледника Торрель. Флювиальными и флювиогляциальными отложениями выстилаются днища долин (Орвиндален) и многочисленные мелкие ручьи на равнинах Сторвикфлюа и Марфлюа (Лаврушин, 1969). Литологически они представлены галечниками, гравийниками, разнозернистыми песками и алевритами. Максимальная мощность отложений составляет 5 м.

Ледниковые отложения сформировали мощный конечно-моренный комплекс вдоль ледника Западный и Восточный Торрель. Они представлены в основном плохо сортированным материалом: валунами, суглинками, песками, а также раковинами *Mya truncata* (Linne), *Hiatella arctica* (Linne) и др. Их мощность в краевой части достигает 50 м.

Гряды субпараллельны горным массивам, образованы коренными породами (сланцами, кварцитами, филлитами), при процессах выветривания дают дресву и каменные развалы, образуя поля элювиальных отложений. Элювиальные развалы занимают значительные площади на равнине Сторвикфлюа и Марфлюа мощностью до 0.5 м.

В пределах крупной приморской равнины выделены аккумулятивные морские террасы и абразионные, занимающие более протяженные пространства. Были установлены уровни морских террас, фиксирующие положение моря в течение голоцена.

Морские террасы, литологически представленные гравийно-галечными отложениями и плохо сохраненной макрофауной, свидетельствуют о быстром отступании моря в течение голоцена и небольших глубинах осадконакопления. Вероятно, продуктивный горизонт алевро-песчанистых отложений, содержащий раковины *Mya truncata* (Linne), *Hiatella arctica* (Linne), *Macoma calcarea* (Gmelin) накапливался в раннем голоцене, когда в районе бухты Сторвика уровень моря был выше, чем в последующие периоды времени.

Камовые террасы вблизи долины Орвиндален свидетельствуют о возможном существовании подпруженного озера в позднем голоцене. Сток р. Орвинэльва в это время на равнину проходил через узкое горла каньона, что способствовало накоплению хорошо сортированных пачек песков.

## Литература

Лаврушин Ю. А. Четвертичные отложения Шпицбергена. М.: Наука, 1969. 181 с.

Mangerud J., Svendsen J. I. The Holocene thermal maximum around Svalbard, Arctic North Atlantic; molluscs show early and exceptional warmth // The Holocene. 2017. Vol. 28. P. 65–83.

## ГИДРОИДЫ И ГИДРОМЕДУЗЫ ПРИБРЕЖНЫХ ВОД АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Н. Н. Пантелеева

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

В последние годы в ходе комплексных исследований и мониторинга состояния арктических экосистем сотрудниками Мурманского морского биологического института КНЦ РАН собран обширный материал по изучению биоразнообразия прибрежных вод архипелага Шпицберген.

Гидроиды – преимущественно колониальные прикрепленные беспозвоночные, и гидромедузы – репродуктивная (пелагическая) стадия жизненного цикла некоторых из них, являются составной частью бентосных и планктонных сообществ морских экосистем, в том числе и арктических.

Материалом для настоящей работы послужили коллекции гидроидов и гидромедуз, собранные в ходе морских экспедиций на НИС “Дальние Зеленцы” (2001, 2002, 2008, 2015, 2017 гг.), “Ф. Нансен” (2005 г.) и “Johan Hjort” (2013 г.), а также в береговых экспедициях на геобиостанции ММБИ в пос. Баренцбург (1995, 2007–2010, 2014, 2015 гг.). В морских экспедициях пробы отбирались преимущественно дночерпателем ван-Вина, а также придонным и пелагическим тралом, в береговых – дночерпателем Петерсена, ручной драгой и сетью Джеди с лодки, а также вручную на литорали с грунта, соскобом с валунов и камней, а также сачком.

Район исследований охватывает южную часть архипелага: прибрежные воды у островов Эдж и Надежды, вдоль южного и юго-западного побережья, включая заливы Хорнсунн, Белльсунн и Ис-фьорд (в том числе Грэн-фьорд, Адвент-фьорд, Булле-фьорд).

В районе исследований отмечен как минимум 51 вид гидроидов и гидромедуз, из которых идентифицировано 42 вида (состояние остальных не позволяет точно установить видовую принадлежность). По биогеографическим параметрам подавляющее большинство видов – бореально-арктические (27 видов, 64 %), половина из них – высокобореально-арктические, более широко распространенные тропическо-бореально-арктические (4 вида) и субтропическо-бореально-арктические (4 вида) – 10 % соответственно; бореальные, включая субтропическо-бореальные (5 видов) – 11 %, арктические (2 вида) – 5 %.

Следует отметить, что арктические виды (*Halecium curvicaule* Lorenz, 1886 и *Halecium scutum* Clark, 1877) встречены только во внешних водах архипелага: в юго-восточной части (в акватории Баренцева моря) между островами Эдж и Надежды на глубине 60–79 м при температуре от 0.44 до 2.7 °С. Более того, фауна гидроидов внешних вод (исключая заливы) представлена 21 видом с менее широкими ареалами, чем фауна заливов, и включает 16 бореально-арктических видов (76 %), 3 субтропическо-бореально-арктических вида (14 %), 2 арктических вида (10 %).

Фауна же гидроидов заливов Западного Шпицбергена наоборот отличается большим разнообразием видов с более широкими ареалами (в направлении теплых вод), присутствием бореальных видов и отсутствием арктических, что, вероятно, обусловлено воздействием теплого Западно-Шпицбергенского течения (Танцюра, 1959).

Известно, что в арктических морских экосистемах практически повсеместно преобладают бореально-арктические виды. Однако в заливах Западного Шпицбергена отмечена интересная тенденция: их численность (в процентном соотношении) убывает в направлении с юга на север: Хорнсунн – 69 %, Белльсунн – 57 %, Ис-фьорд с заливами – 36 % за счет увеличения числа видов с более широким ареалом (включая тропическо-бореально-арктические виды), что согласуется с отмеченным повышением температуры воды и солености в этих заливах в этом же направлении (Моисеев, Громов, 2009).

Аналогичная закономерность наблюдается и в заливах Ис-фьорда. По мере снижения температуры воды с запада на восток в системе заливов Грэн-фьорд–Адвент-фьорд–Булле-фьорд увеличивается доля бореально-арктических видов в фауне гидроидов (36, 67 и 100 % соответственно).

Таким образом, на примере гидроидов отмечена следующая закономерность. Чем ниже температура воды и меньше амплитуда колебаний температуры и, вероятно, солености воды, тем выше доля бореально-арктических видов в фауне региона (за счет снижения численности видов с более широким ареалом). А повышение температуры воды и, соответственно, расширение амплитуды колебаний параметров воды приводит к уменьшению доли бореально-арктических видов в фауне региона и увеличению процента более широко распространенных видов, толерантных к повышенной температуре воды.

Фауна беспозвоночных залива Грэн-фьорд изучена значительно лучше благодаря постоянно работающей с 2001 г. в Баренцбурге геобиологической станции ММБИ. Так, в ходе работы береговых экспедиций в период с 1995 по 2015 гг. в заливе Грэн-фьорд разнообразными методами собран 31 вид гидроидов и гидромедуз (Донные ..., 2005; Особенности ..., 2009; Пантелеева, 2011, 2013). А с учетом видов, собранных с глубины примерно 130 м (НИС “Дальние Зеленцы”), – *Rhizocaulus verticillatus* (Linnaeus, 1758), *Ptychogena crocea* Kramp & Damas, 1925 (syn. *Modeeria* = *Stegopoma plicatile*) и *Lafoeina tenuis* M. Sars in G. O. Sars, 1874) – к настоящему времени в заливе Грэн-фьорд зарегистрировано 34 вида гидроидов.

Работа на станции позволяет проводить мониторинг состояния популяций животных, в частности гидроидов, наблюдать за их развитием в природе, изучать жизненные циклы видов и особенности адаптации организмов и популяций к экстремальным и изменяющимся (сезонно и глобально) условиям среды, что дает возможность получать ценную информацию для пополнения фундаментальных знаний о природе Арктики.

## Литература

Моисеев Д. В., Громов М. С. Термохалинные условия в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2003 и 2008 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 332–335.

Особенности развития беспозвоночных залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) в летний период / Н. Н. Пантелеева, О. Ю. Ахметчина, О. Л. Зими́на и др. // Комплексные исследования архипелага Шпицберген. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 337–353.

Пантелеева Н. Н. К биоразнообразию экосистем: новые виды беспозвоночных в фауне залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) // Изучение и освоение морских и наземных экосистем в условиях арктического и аридного климата: Матер. Междунар. науч. конф. (6–10 июня 2011 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2011. С. 308–311.

Пантелеева Н. Н. Беспозвоночные обитатели залива Грэн-фьорд // Русский вестник Шпицбергена. 2013. № 7. С. 26–27.

Танцюра А. И. О течениях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1959. Вып. 11. С. 35–54.

Донные биоценозы залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) / Е. А. Фролова, Е. А. Гарбуль, А. В. Гудимов, А. А. Фролов // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 480–499.

### ИСКОПАЕМЫЕ ДИАТОМОВЫЕ КОМПЛЕКСЫ ГОЛОЦЕНОВЫХ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ РАЙОНА ДУНДЕРБУХТЫ (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

К. В. Полещук<sup>1,2</sup>, С. Р. Веркулич<sup>2</sup>, З. В. Пушина<sup>2,3</sup>, А. С. Окунев<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов  
Мирового океана им. академика И. С. Грамберга, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург – Ломоносов, Россия

В июле–августе 2016 г. специалистами Полярной морской геологоразведочной экспедиции и Арктического и антарктического научно-исследовательского института выполнены комплексные исследования в районе Дундербухты (Земля Ведела Ярлсберга, о. Западный Шпицберген). Работы геоморфологического отряда были направлены на сбор материала для формирования представлений об изменениях природной среды в районе в позднем неоплейстоцене–голоцене.

В ходе маршрутов выполнялась геоморфологическая съемка территории и проводилось описание разрезов четвертичных отложений и отбор образцов на различные виды анализов. Всего было описано 7 разрезов. Наиболее детально были изучены и отобраны отложения морских алевритовых песков серого цвета с раковинами *in situ* (*Mya truncata*, *Astarta* sp., *Hiatella arctica*), встреченных в высотном диапазоне от 3 до 13 м над уровнем моря. Этот материал в основном слагает вторую аккумулятивно-абразионную террасу (8–10 м над уровнем моря).

Диатомовый анализ отобранных из разрезов 43 образцов показал, что диатомовые комплексы сохранились только в разрезе Sd-40 мощностью 2.5 м. Его верхняя граница соответствует поверхности второй террасы. Разрез сложен преимущественно средне-, тонкозернистыми песками и алевритами. Наибольший интерес представляют горизонты морских алевритовых песков серого и темно-серого цвета с раковинами морских моллюсков *in situ*, в которых сохранился полноценный диатомовый комплекс. Этим горизонтам соответствуют глубины 0.95–2.4 м от поверхности террасы. Датировка органического материала по <sup>14</sup>C из нижней части разреза в 8380±150 лет назад позволяет предполагать формирование толщи морских песков в конце раннего–среднем голоцене.

Отбор образцов на диатомовый анализ из разреза Sd-40 проводился через 5–10 см, всего было отобрано 22 образца. Подготовка проб выполнялась по стандартной методике (Диатомовые ..., 1974) в лаборатории ААНИИ (пос. Баренцбург).



В установленных комплексах представлены четыре экологические группы: сублиторальные солоноватоводно-морские, сублиторальные морские, неритические морские и неритические ледово-морские. Количественно преобладают виды сублиторальной морской экологической группы (60 %) – *Cocconeis costata* W. Gregory, *Grammatophora angulosa* Ehrenberg, *Pleurosigma angulatum* (J. T. Quekett) W. Smith, *Odontella aurita* (Lyngbye) C. Agardh и др. Наличие в значительном количестве морских неритических видов [*Thalassiosira hyalina* (Grunow) Gran, *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowski и др.], а также их распределение по колонке, может свидетельствовать о трансгрессивных периодах. Важную роль играет присутствие ледово-морских видов [*Bacretosira fragilis* (Gran) Gran и *Fragilariopsis oceanica* (Cleve) Hasle]. Велико разнообразие сублиторальных солоноватоводно-морских видов [*Tabularia fasciculata* (C. Agardh) D. M. Williams and Round, *Rhoicosphenia abbreviata* (C. Agardh) Lange-Bertalot и др.], что свидетельствует о вероятном распреснении прибрежной зоны, в которой формировался данный комплекс (Campeau et al., 1999; Witkowski et al., 2000). На основе изменения процентного соотношения видов экологических групп по разрезу были выделены четыре зоны.

Зона 1 соответствует началу формирования отложений, расположена на глубине 2.4–2.2 м. Для нее характерно относительно высокое количество сублиторальных морских видов с постепенным уменьшением вверх по разрезу. Также зоне 1 соответствуют максимальные значения количества неритических морских видов. При этом отмечается незначительное количество ледово-морских видов и относительно высокое – сублиторальных солоноватоводно-морских видов. Этот период характеризуется относительно тепловодными условиями и небольшой глубиной прибрежной зоны, в которой происходит некоторое опреснение и приток морских вод.

Зона 2 расположена на глубине 2.2–1.75 м. На фоне доминирующей группы сублиторальных морских видов заметно уменьшение доли неритических морских и увеличение доли сублиторальных солоноватоводно-морских видов. В то же время отмечается некоторое увеличение доли неритической ледово-морской флоры. Таким образом, относительно предыдущего данный период характеризуется возможной тенденцией к похолоданию и большему опреснению водоема, а также уменьшением влияния открыто-морских вод.

Зона 3 соответствует глубине 1.75–1.2 м. На этом отрезке доля доминирующих сублиторальных морских видов достигает своего максимума. При этом значительно уменьшается процент неритических морских видов, а доля неритических ледово-морских, напротив, увеличивается. В целом этот отрезок времени характеризуется более холодноводными условиями, а также понижением уровня моря и формированием на небольшой глубине прибрежного водоема сублиторального морского комплекса с постоянным небольшим распреснением.

В зоне 4 диатомовые водоросли представлены единично или отсутствуют.

Изученные четвертичные отложения, слагающие вторую морскую аккумулятивно-абразионную террасу долины, формировались в конце раннего–среднем голоцене. Отложения представляют собой морские алевритовые пески, включают раковины морских моллюсков и содержат богатый диатомовый комплекс.

Диатомовый анализ образцов четвертичных отложений показал, что доминируют виды сублиторальной морской экологической группы. При этом соотношение остальных трех групп по разрезу отражает динамику водоема. Представленный диатомовый комплекс формировался в условиях неглубокого водоема, вероятно в прибрежно-морской зоне на глубине нескольких метров. С конца раннего голоцена уровень воды находился в регрессивной фазе за исключением небольшого подъема в начале описываемого периода. Также прослеживается тенденция к похолоданию на фоне уменьшения опреснения и снижения роли открыто-морских вод. Предположительно, большее опреснение и относительно теплые условия в первой половине описываемого периода свидетельствуют о таянии ледников в оптимум голоцена. Этому отрезку времени также соответствует относительно высокий уровень моря. Последующее увеличение холодолюбивых видов, а также уменьшение опреснения и понижение уровня, вероятно, говорят о возможном похолодании.

## Литература

Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные. Т. 1. Л.: Наука, 1974. 403 с.

Campeau S., Pienitz R., Hequette A. Diatom from the Beaufort Sea coast, southern Arctic Ocean (Canada): modern analogues for reconstructing Late Quaternary environments and sea levels. Canada, 1999. 244 p.

## ОПТИЧЕСКИЕ И МИКРОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АЭРОЗОЛЯ В РАЙОНЕ БАРЕНЦБУРГА (2011–2017 ГОДЫ)

В. Ф. Радионов<sup>1</sup>, Д. М. Кабанов<sup>2</sup>, В. С. Козлов<sup>2</sup>, С. М. Сакерин<sup>2</sup>, О. Р. Сидорова<sup>1</sup>, Д. Г. Чернов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Институт оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, г. Томск, Россия

Одним из самых изменчивых компонентов атмосферы является аэрозоль, знания о котором необходимы для решения различных климатических и экологических задач. В 2011 году организованы регулярные измерения оптических, микрофизических характеристик и химического состава аэрозоля на архипелаге Шпицберген (пос. Баренцбург). Исследования ведутся в рамках межведомственной лаборатории полярного аэрозоля (ИОА СО РАН и ААНИИ).

В измерениях используется комплект приборов в следующем составе: солнечные фотометры (SPM и SP-9), фотоэлектрические счетчики частиц (АЗ-10, Grimm 1.109), аэталометр МДА-02, а также заборник проб на фильтры для последующего химического анализа. По данным измерений определяются аэрозольные оптические толщи в диапазоне спектра 0.4–2.4 мкм, мелко- и грубодисперсные компоненты ( $\tau^f$  и  $\tau^c$ ), счетные концентрации частиц ( $N_A$ ) в диапазоне диаметров от 0.3 до 10 мкм, массовые концентрации аэрозоля ( $M_A$ ) и поглощающего вещества (сажи –  $M_{BC}$ ). Характеристики приборов и методик приведены в работах (Предварительные ..., 2012; Особенности ..., 2014; Обобщение ..., 2017).

В докладе обсуждаются особенности сезонной и суточной изменчивости оптических и микрофизических характеристик аэрозоля за 7-летний период измерений, а также сравнение со средними характеристиками, полученными над Баренцевым морем. Учитывая большое влияние выносов в Арктику дымов лесных пожаров из бореальной зоны, сезонный ход рассчитывался в двух вариантах: по общим массивам данных (с дымами) и с исключенными ситуациями дымовых выносов.

**Аэрозольные оптические толщи атмосферы.** Их сезонная изменчивость в варианте “без дымов” характеризуется максимумом весной (апрель–май) и последующим спадом к осени. При учете дымовых замутнений средние аэрозольные оптические толщи (0.5 мкм) в июле увеличиваются почти в 1.5 раза, и в сезонном ходе появляется летний максимум. В августе 2017 г. из-за прихода дымового аэрозоля средние аэрозольные оптические толщи в 1.77 раза превысили многолетнюю норму. Под их влиянием спектральные зависимости аэрозольных оптических толщ в июле–августе становятся такими же, как весной. Сравнение с данными наблюдений на соседней станции “Хорнсунн” (AERONET Hornsund) показало, что там сезонный ход аналогичный, хотя аэрозольные оптические толщи несколько меньше – на 0.01–0.02.

Межгодовая изменчивость аэрозольных оптических толщ оценивалась для двух периодов: апрель–май и июль–август. В апреле–мае их среднемесячные значения относительно устойчивы: межгодовые вариации составляют  $\pm 0.018$ . В июле–августе средние значения аэрозольных оптических толщ уменьшаются, но межгодовые колебания возрастают в 1.4 раза, а при учете дымовых выносов – в 2 раза. Самый большой вклад в увеличение среднемесячных аэрозольных оптических толщ внес кратковременный (2–3 сут.), но мощный вынос дымов из Северной Америки 10–13 июля 2015 г.

**Микрофизические характеристики аэрозоля.** Концентрации аэрозоля и сажи в приземном слое атмосферы отличаются более высокой изменчивостью, чем величины аэрозольных оптических толщ. Это обусловлено дополнительным эпизодическим воздействием местных источников в пос. Баренцбург, которые могут исказить естественную сезонную изменчивость. Чтобы хотя бы частично исключить влияние этого фактора, оценки среднего годового хода  $N_A$  и  $M_{BC}$  проводились как на основе общего массива данных, так и после дополнительной их фильтрации по критерию “3 сигма”. Отметим, что годовой ход  $N_A$  и  $M_{BC}$  для периода апрель–сентябрь рассчитывался по данным за 7 лет измерений (2011–2017), а с сентября по апрель – только для двух последних лет круглогодичных измерений.

В годовом ходе концентраций сажи проявились следующие закономерности: основной максимум в августе ( $M_{BC} = 0.19 \text{ мкг/м}^3$ ), вторичный максимум в феврале–апреле, основной минимум в декабре ( $M_{BC} = 0.06 \text{ мкг/м}^3$ ) и промежуточный минимум в июне. Аналогичный годовой ход наблюдается и для отфильтрованных (“3 сигма”) данных, но среднемесячные значения  $M_{BC}$  на 30 % меньше.

Годовой ход счетных концентраций частиц характеризуется хорошо выраженным максимумом в марте ( $N_A = 20.6 \text{ см}^{-3}$ ), быстрым спадом до конца лета (в августе  $N_A = 4.4 \text{ см}^{-3}$ ) и последующим ростом с началом холодного периода. При фильтрации данных (“3 сигма”) среднемесячные значения  $N_A$  немного снижаются, но годовой ход не меняется.

Впервые для арктического района сделана попытка оценить средний суточный ход концентраций  $N_A$  и  $M_{BC}$ . Анализ нормированных на среднесуточные значения концентраций сажи показал существенное отличие суточного хода в весенний и летний периоды. Летом суточный ход нормированных значений  $M_{BC}$  хорошо выражен и характеризуется дневным максимумом (примерно с 7 до 14 ч) и быстрым спадом до 22 ч. Его амплитуда составляет 25–30 % относительно среднесуточного значения.

Амплитуда суточного хода счетных концентраций частиц меньше –  $\pm 10\%$ . В суточном ходе нормированных значений  $N_A$  тоже есть различия в исследованные сезоны: весной основной закономерностью являются утренний (7 ч) и ночной (23 ч) максимумы  $N_A$  (минимумы – в 3 и 12 ч соответственно), а летом наблюдаются 6-часовые периодичности максимумов и минимумов. Такие особенности суточного хода  $N_A$  и различия в разные сезоны пока не получили объяснения и требуют дополнительного анализа.

**Сравнение характеристик аэрозоля в соседних районах Арктики.** В сравнительном анализе использовались средние характеристики аэрозоля, полученные в Баренцбурге (июль–сентябрь 2011–2017 гг.) и в шести экспедициях в Баренцевом море (2007–2017 гг.) с учетом выносов дымового аэрозоля (“без дымов” и “с дымами”). Независимо от варианта сравнения, аэрозольные оптические толщи атмосферы в коротковолновой части спектра в Баренцбурге несколько больше, чем над акваториями морей. Среднее превышение  $\tau^f$  составляет 0.016, а грубодисперсная компонента  $\tau^c$  везде одинакова.

В отличие от аэрозольных оптических толщ, концентрации аэрозоля и сажи в морском и островном районах различаются более значительно. В обоих вариантах сравнения средняя концентрация сажи в Баренцбурге в 4 раза больше, чем над Баренцевым морем. Средние концентрации сажи в Баренцбурге оказались в несколько раз выше, чем на станциях “Цеппелин” (Нью-Олесунн) и “Барроу” (Аляска). Эти факты свидетельствуют о наличии в Баренцбурге дополнительного источника поглощающего аэрозоля – антропогенного и(или) пылевого. Но счетные концентрации частиц над морями в 2.4 раза выше, чем в Баренцбурге.

Работа выполнялась в рамках программы Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ААНИИ и при финансовой поддержке Комплексной программы фундаментальных исследований СО РАН II.1 (проект 0368-2018-0014).

## Литература

*Обобщение* результатов измерений спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы на арх. Шпицберген в 2011–2016 гг. / С. М. Сакерин, Д. М. Кабанов, В. Ф. Радионов и др. // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 11. С. 948–955.

*Особенности* изменчивости концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в 2011–2013 гг. / Д. Г. Чернов, В. С. Козлов, М. В. Панченко и др. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. Т. 4(102). С. 34–44.

*Предварительные* результаты исследований аэрозольных характеристик атмосферы в районе Баренцбурга (Шпицберген) / С. М. Сакерин, Д. Г. Чернов, Д. М. Кабанов и др. // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. Т. 1(91). С. 20–31.

## **УЗКОУГОЛЬНАЯ КАМЕРА ДЛЯ АВРОРАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

**А. В. Ролдугин, Б. В. Козелов, С. В. Пильгаев**

Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

Авроральные явления являются зримым отражением процессов, происходящих в околоземном космическом пространстве и верхних слоях атмосферы. Архипелаг Шпицберген, в силу своего уникального географического положения под полярным каспом, служит важной платформой для проведения исследований данных процессов. Мощным средством их изучения являются оптические методы. При проведении экспериментальных исследований геофизических явлений, кроме стандартной аппаратуры, нередко необходимо адаптированное к специфическим научным задачам измерительное оборудование с уникальными характеристиками.

В Полярном геофизическом институте разработаны, созданы и эксплуатируются таковые приборы, они предназначены для наблюдений пространственного распределения интенсивности и спектрального состава полярных сияний. Из этих приборов сформированы высокоширотные многоцелевые измерительные комплексы, которые используются как для непрерывного измерения с целью контроля изменений космической погоды, так и в отдельных геофизических экспериментах. Один из комплексов развернут в обсерватории “Баренцбург” (ПГИ) на архипелаге Шпицберген. Комплексы в целом подобны по приборному составу и включают камеру всего неба, меридиональный спектрометр (Камера ..., 2017).

Для расширения возможностей данного аппаратного комплекса разработана узкоугольная камера с высоким пространственно-временным разрешением. Ее применение позволяет выделять мелкомасштабные неоднородности аврорального свечения и проводить оценку его высот при исследовании морфологии, динамических и статистических параметров авроральных явлений в целом и полярных сияний в частности. Рассматриваемая камера может быть использована не только для наблюдения полярных сияний, но и мониторинга состояния нижней атмосферы.

### **Литература**

*Камера всего неба для регистрации трех авроральных эмиссий / А. В. Ролдугин, Ж. В. Дашкевич, М. В. Кузнецова, Ю. В. Федоренко // Приборы и техника эксперимента. 2017. Т. 2. С. 117–122. DOI: 10.7868/S0032816217020239.*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЛКОМАСШТАБНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ В F-ОБЛАСТИ ИОНОСФЕРЫ НАД АРХИПЕЛАГОМ ШПИЦБЕРГЕН (ПОС. БАРЕНЦБУРГ)**

**Н. Ю. Романова**

Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

На основе большого массива данных (2012–2013 гг.), полученных наземным томографическим приемником в пос. Баренцбург (архипелаг Шпицберген), исследованы параметры мелкомасштабных неоднородностей (с размерами несколько сотен метров поперек магнитного поля) электронной плотности в F-области ионосферы в спутниковых сеансах, временной интервал между которыми составлял 16–40 мин. Анализ данных по ориентации поперечной анизотропии мелкомасштабных неоднородностей позволил определить направление конвекции в полярной шапке.

# ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИЙ МОЗГОВОГО НАТРИЙУРЕТИЧЕСКОГО ПЕПТИДА, ИРИСИНА, ЭНДОТЕЛИНА-1 НА СОСТОЯНИЕ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ У ЛИЦ, РАБОТАЮЩИХ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

А. В. Самодова, Л. К. Добродеева, В. А. Штаборов, К. О. Пашинская

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики им. академика Н. П. Лаверова РАН,

Институт физиологии природных адаптаций, г. Архангельск, Россия

Защитные иммунные реакции являются частью общей нейро-иммунно-эндокринной регуляторной системы, обеспечивающей адаптивный жизнеобеспечивающий ответ в конкретных условиях влияния неблагоприятных факторов. Наиболее ранние адаптивные реакции обеспечиваются катехоламинами, пептидами и пролонгируются гормоном кортизолом. Короткие пептиды, открытые в 1980-е гг. эффективны в очень малых дозах, не имеют многообразия эффекта, инициируют, как правило, одно действие и обеспечивают в дальнейшем различные реактивные проявления со стороны разных органов и систем. Так, короткий пептид ирисин индуцирует экспрессию термогенина в клетках бурой жировой ткани, преобразует белую жировую ткань в бурую, в которой жир быстро расщепляется и используется на нужды терморегуляции (Frcp 1 ..., 2002). Мозговой натрийуретический пептид (Nt-pro-BNP) обеспечивает сохранение внутриклеточного давления путем удержания натрия против градиента плотности (Hall, 2004). В многочисленных исследованиях доказана взаимосвязь содержания в крови мозгового натрийуретического пептида и тяжести сердечной недостаточности (Национальные ..., 2010). Эндотелин обладает мощным сосудосуживающим действием (Yanagasawa, 1988). Цель работы – изучение влияния срочной реакции мозгового натрийуретического пептида, ирисина, эндотелина-1 на состояние иммунной системы человека в зависимости от времени проживания на архипелаге Шпицберген.

Обследовали 74 трудоспособных жителей пос. Баренцбург (архипелаг Шпицберген) – 45 женщин и 29 мужчин в возрасте от 20 до 60 лет в период полярного дня (июль–август 2017 г.). При этом учитывали время проживания в пос. Баренцбург: до 2 мес. (n = 21 чел, 6 мес.–1 год (n = 18 чел.), 1.5–5.5 года (n = 23 чел.), более 6 лет (n = 12 чел.). Средний возраст лиц в каждой группе составил 35.5±2.69, 37.65±2.74, 40.43±2.73 и 55.25±3.01 лет соответственно. Все исследования проводились с согласия волонтеров и в соответствии с требованиями Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации об этических принципах проведения медицинских исследований (2000). Комплекс иммунологического исследования включал изучение гемограммы, фагоцитарной активности нейтрофильных лейкоцитов периферической крови. Изучены фенотипы лимфоцитов периферической крови (CD3+, CD4+, CD8+, CD10+, CD19+, CD23+, CD71+, CD95+) методом непрямой иммунопероксидазной реакции. Содержание цитокинов IL-1β, TNF-α, IL-6, коротких пептидов ирисина, эндотелина-1, Nt-pro-BNP изучали методом иммуноферментного анализа в сыворотке крови на автоматическом иммуноферментном анализаторе “Evolis” (Bio-RAD, Германия). Концентрацию циркулирующих иммунных комплексов определяли стандартным методом преципитации с использованием 3.5 %, 4 %, 7.5 % ПЭГ-6000. Математический и статистический анализ результатов исследования проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Excel 2010 (США) и Statistica 7.0 (StatSoft, США).

При проживании на Шпицбергене до 2 мес. даже в летний период резко увеличивается содержание в крови мозгового натрийуретического пептида Nt-pro-BNP (до 81.94±20.54 фмоль/мл) по сравнению с таковым средним (26.97±10.81 фмоль/мл). Повышенные концентрации (100 фмоль/мл и более) установлены в 9 случаях из 21. Подобные результаты были получены при обследовании молодых людей, спортсменов-лыжников, рабочих целлюлозного производства, проживающих в г. Архангельске и заполярном пос. Ревда Мурманской области (Добродеева и др., 2016). Параллельно регистрировали повышение содержания ирисина у всех обследуемых данной группы. Реакции со стороны содержания эндотелина-1 не установлено. Таким образом, наиболее ранние пептидные реакции сохранения гомеостаза у прибывших на Шпицберген обеспечивают стабильность осмотического давления и увеличение теплопродукции. Клеточные реакции характеризуются снижением концентрации лейкоцитов за счет всех типов ядросодержащих клеток; нейтропения выявлена у 7 чел., лимфопения – у 5 чел. из обследуемой данной группы людей. Известно, что

снижение содержания лейкоцитов является основным сигналом для поступления в циркуляцию соответствующих клеток из депо. В этот период заметно снижается уровень реактивности иммунной системы с формированием дефицита фагоцитарной защиты (6 чел.), зрелых Т-лимфоцитов (20 чел.), активированных Т-клеток (17 чел.) и Т-хелперов (11 чел.). Другими словами – этот период адаптации чрезвычайно рискован в отношении формирования Т-хелперного иммунодефицита.

В период 6–12 мес. пребывания на Шпицбергене содержание Nt-pro-BNP резко снижается, концентрации ирисина фактически не изменяются, но регистрируется повышение содержания эндотелина-1. Это означает, что исчезает необходимость регуляции сохранения натрия против градиента плотности для стабильности осмотического давления, но сохраняется потребность в дополнительной теплопродукции и вазодилатации эндотелином. Изменений со стороны содержания и уровня активированности иммунокомпетентных клеток по сравнению с малым сроком проживания в Арктике фактически не происходит, и риск формирования вторичного иммунодефицитного состояния сохраняется.

Пребывание на архипелаге более 6 лет ассоциировано с постепенным снижением содержания в крови ирисина и эндотелина-1, что свидетельствует о формировании стабильной адаптации теплорегуляционных механизмов без участия бурой жировой ткани и регуляции увеличения клеточной миграции в ткани активностью белков системы комплемента, хемокинов и молекул адгезии. Эффективность иммунной защиты к этому моменту несколько повышается, риск формирования вторичного иммунодефицита снижается до уровня, характерного для северян. У большей части обследуемых людей этой группы концентрации Nt-pro-BNP существенно не возрастают, но в 30 % в этот период снова регистрировали повышение его содержания в крови. Мы склонны рассматривать эту реакцию в качестве риска нарушения гемодинамики с возможными признаками перегрузки миокарда, гипертрофии левого желудочка и недостаточности ренин-ангиотензиновой системы, обеспечивающей уровень оксигенации тканей (Минушкина и др., 2000; Yao, Li, 2012). У лиц данной группы с содержанием Nt-pro-BNP более 50 фмоль/мл выше частота регистрации нейтропении и дефицита фагоцитарной защиты в 1.5 раза.

## Литература

*Добродеева Л. К., Самодова А. В., Карякина О. Е.* Взаимосвязь уровней содержания мозгового натрийуретического пептида в крови и активности иммунных реакций у людей // Физиология человека. 2016. Т. 42, № 6. С. 106–115.

*Минушкина Л. О., Затейщикова А. А., Хотченкова Н. В.* Активность ренин-альдостероновой системы и особенности структуры и функции миокарда левого желудочка у больных артериальной гипертензией // Кардиология. 2000. № 9. С. 23.

*Национальные рекомендации ВНОК и ОССН по диагностике и лечению ХСН (третий пересмотр) / В. Ю. Мареев, Ф. Т. Агеев, Г. П. Арутюнов и др. // Сердечная недостаточность. 2010. Т. 11. № 1(57). 62 с.*

*Frcp 1 and Frcp 2, two novel fibronectin type III repeat containing genes / A. Teufel, N. Malik, M. Mukhopadhyay, H. Westphal // Gene. 2002. Vol. 297, № 1/2. P. 79–83.*

*Hall C.* Essential biochemistry and physiology of NT-pro-BNP // Eur. J. Heart. Fail. 2004. Vol. 3. P. 257.

*Yanagasawa M.* A novel potent vasoconstrictor peptide produced by vascular endothelial cells // Nature. 1988. Vol. 332, № 6163. P. 411–415.

*Yao Y., Li Y.* Scheng Tissue kallikrein promotes cardiac neovascularization by enhancing endothelial progenitor cell functional capacity // Hum. Gen. Ther. 2012. Vol. 23, № 8. P. 859.

# ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ ЕВРО-АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА (АРХИПЕЛАГИ ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА И НОВАЯ ЗЕМЛЯ)

Л. А. Сергиенко<sup>1</sup>, Д. С. Мосеев<sup>2</sup>, Н. А. Зорина<sup>1</sup>, М. В. Гаврило<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup>Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия

<sup>3</sup>Ассоциация “Морское наследие: исследуем и сохраним”, г. Санкт-Петербург, Россия

В условиях приливной зоны устойчивость приморских экосистем поддерживается за счет компенсированного повышения качественного разнообразия, отражающего сложность взаимодействий между различными компонентами сообществ. Особую актуальность приобретают работы по изучению естественных сообществ островов Арктики в условиях освоения углеводородного сырья на шельфе и его транспортировки морскими путями, что признается наиболее серьезной внешней угрозой для арктических природных комплексов.

С целью мониторинга природных экосистем в условиях нефтедобычи в арктической зоне Российской Федерации в 2016 г. была проведена комплексная экспедиция по проекту Программы развития ООН, Глобального экологического фонда и Минприроды России (ПРООН/ГЭФ-МПР) “Задачи сохранения биоразнообразия в политике и программах развития энергетического сектора России”. Флористическое исследование уникальных слабо изученных островов русской Арктики с уязвимыми растительными сообществами включает в себя как составление списка видов (видовое богатство –  $\alpha$ -разнообразие), так и оценку их количественных экологических параметров [изменение видового богатства по градиенту местообитаний – по островам (видовое богатство  $\beta$ -разнообразие), распределение видов и значимостей (выравненность –  $\beta$ -разнообразие)].

Цель данной работы заключается в апробации оценок встречаемости и значимости видов при проведении экологической классификации и картографирования растительных сообществ. Результаты гербарных сборов 2016 г. опубликованы в статье Д. С. Мосеева, Л. А. Сергиенко (2017). Всего на 13 исследованных островах было обнаружено 43 вида цветковых растений (45 с учетом подвидов), при этом на о. Ева-Лив у мыса Клюв сосудистых растений найдено не было, а на островах Земля Георга и Белл участниками экспедиции отмечена только встречаемость видов.

Изменение видового богатства по островам архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа позволяет провести сравнение их видовых списков, а также сравнение сосудистых растений по показателю их встречаемости и значимости на островах. Применение кластерного анализа позволило выделить 4 группы островов, наиболее близких по видовому составу сосудистых растений. Наиболее бедны видами острова Этеридж (большой), Белл, Восточный, Земля Георга. Объединение островов Гукера, Мейбел, Ли-Смита, Хейса, Кейна связано с количественным разнообразием видов в сочетании с их качественным составом, представленным в основном широко распространенными, устойчивыми к условиям в арктических приморских сообществах, видами. Несмотря на то, что острова Сальм, Джексона, Алджер сходны представленностью в них массовых видов, для каждого характерен свой уникальный набор редких видов, что определяет и отличие в количественном разнообразии цветковых. Наконец, наиболее обособленное положение занимает о. Северный, характеризующийся максимальным разнообразием видового состава сосудистых растений (32 вида из 45, или 71 %).

Результаты итоговой кластеризации (метод Уорда, Евклидово расстояние) представлены в виде классификации островов по видовому составу и количественному многообразию сосудистых растений, а также в виде определенных экологических групп цветковых растений и их выраженности на исследованных островах в процентном соотношении. При классификации территорий высокое разнообразие и значимость видов сосудистых растений были отмечены на островах Северный, Алджер, Гукера, Мейбел, Джексона. Под особым контролем при проведении мониторинга находятся популяции редких видов: плевропогон Сабини, дюпонция Фишера, бескильница Валя, луговик коротколистный, кисличник двустолбчатый, камнеломка рыхловидная, камнеломка шпицбергенская и др. Из классов растительных сообществ, уязвимых к нефтяным загрязнениям, следует выделить сообщества с “низким” или “средним” разнообразием и значимостью видов на островах Сальм, Ли-Смита, Этеридж (большой), Восточный.

Статистически обоснованный выбор территорий для осуществления мониторинга, как минимум, должен учитывать следующие факторы: богатство видового состава; произрастание редких видов; произрастание новых, ранее не обнаруженных видов; уязвимость видов и сообществ к антропогенному (в частности, к нефтяному) загрязнению. Классификация островов и видов арктических экосистем с учетом перечисленных выше факторов с последующим представлением результатов кластеризации в виде картографического материала представляется оптимальным способом выявления приоритетных точек для проведения многолетних научных исследований.

Все исследованные острова входят в состав особо охраняемой природной территории (ООПТ) «Национальный парк “Русская Арктика”». Непосредственно к морским границам ООПТ прилегают лицензионные участки ПАО «НК “Роснефть”» и “Газпром нефть”, деятельность которых признается наиболее серьезной внешней угрозой для природных комплексов Арктики. Дополнительную нагрузку оказывают судоходные пути и стоянки судов (транспортных и туристических) в акватории национального парка. Своевременное выявление и оценка изменений уникальных природных высокоширотных комплексов невозможна без проведения экологического мониторинга.

Биологические изменения от загрязнений и антропогенных воздействий могут дать объективную интегральную оценку качества среды, информацию о степени экологической опасности и основания для прогноза состояния экосистем. Среди количественных методов мониторинга арктических труднодоступных территорий, оценки встречаемости и значимости видов могут служить доступным “инструментом”: при проведении классификации растительных сообществ (экосистем, территорий, в частности, при выделении приоритетных точек на островах), при выделении экологических групп видов (рассмотрено на примере сосудистых растений), при построении серии экологических карт, отображающих распространение видов в пространстве или изменение сообществ во времени.

Для 13 островов оценена встречаемость видов по принципу отсутствие–присутствие, которая хорошо характеризует изменение видового богатства по исследованным территориям и распространенность вида по островам. Относительная значимость вида, как встречаемость конкретного вида по отношению к общей встречаемости видов той же группы на той же территории, была рассчитана для 11 островов. В результате кластеризации выделены четыре класса островов, отличающихся по видовому составу и количественному многообразию сосудистых растений. Цветковые растения классифицированы на четыре экологические группы по параметрам их встречаемости и значимости на островах. Результаты итоговой кластеризации представлены в виде экологических карт

## Литература

Мосеев Д. С., Сергиенко Л. А. К флоре островов архипелага Земля Франца-Иосифа и северной части архипелага Новая Земля (аннотированный список видов) // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. 2017. № 4(165). С. 48–64.

### ВАРИАЦИИ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ОСАДКОВ В ПОС. БАРЕНЦБУРГ (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

А. А. Скакун<sup>1,2</sup>, К. Б. Чихачев<sup>1</sup>, А. Н. Верес<sup>1,3</sup>, А. В. Козачек<sup>1,4</sup>,  
Д. О. Владимирова<sup>1,3</sup>, А. А. Екайкин<sup>1,3</sup>, О. Р. Сидорова<sup>1</sup>, С. Р. Веркулич<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup>Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Концентрация тяжелых стабильных изотопов ( $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta\text{D}$ ) в природных водах является комплексным климатологическим параметром, характеризующим условия, при которых происходило формирование влаги. Отечественные изотопно-геохимические исследования на Шпицбергене были



начаты еще в 1974 г. в рамках советской гляциологической экспедиции Института географии РАН, но были прерваны в 1980-х гг. В данной работе мы провели исследование изотопного состава атмосферных осадков в пос. Баренцбург с июля 2016 г. по апрель 2017 г. Измерения изотопного состава проб проводились в лаборатории изменений климата и окружающей среды ААНИИ на лазерном анализаторе изотопного состава Picarro L2120-*i*. Вычисленная нами линия метеорных вод за указанный период времени описывается уравнением

$$\delta D = 6.95 \cdot \delta^{18}O - 0.24$$

и соответствует значениям изотопного состава осадков в этом регионе, рассчитанным в Международном агентстве по атомной энергии (МАГАТЭ). Также наблюдается соответствие полученных изотопных кривых и метеоусловий в районе станции, в частности, температурного ряда. Данная работа продолжила завершённые в 1981 г. мониторинговые исследования изотопного состава атмосферных осадков в районе пос. Баренцбург.

## ПАЛИНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН: ИСТОРИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Д. А. Соловьева<sup>1,2</sup>, Л. А. Савельева<sup>2</sup>, С. Р. Веркулич<sup>1</sup>, М. П. Дорожкина<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Палеоботанические исследования отложений Шпицбергена предоставляют важную информацию о развитии природной среды архипелага в голоцене и позволяют получить наиболее детальные представления о ландшафтах прошлого. Количество объектов, пригодных для палеоботанических изысканий, ограничено. Они представлены болотными и озерно-болотными отложениями. Также анализируются колонки донных отложений озер.

В начале XX века Г. Андерссоном были сделаны первые находки торфяников мощностью до 2 м. В 1960 году А. Шродонем для района Хорнсунн и в 1971 г. Э. М. Зеликсон для района Семмельдален выполнены спорово-пыльцевые анализы и получены первые радиоуглеродные датировки, позволившие отнести изучаемые отложения к позднему голоцену. По результатам палинологических исследований донных отложений озер на севере о. Западный Шпицберген и Северо-Восточной Земли, Х. Хювариненом к 1970 г. был получен первый датированный спорово-пыльцевой профиль для всего голоцена (Huäginen, 1970). В дальнейшем на основании изучения реликтовых торфяников в долинах Рейндален и Адвентдален впервые была построена палеогеографическая схема голоцена (Сурова и др., 1982; Троицкий и др., 1985). В качестве основы в данной схеме послужила шкала Блитта–Сернардера, которая была разработана для плейстоцена–голоцена севера Европы. В дальнейшем при палинологических изысканиях данная схема применялась редко и зачастую встречается только в статьях русских исследователей. В 1980-х годах советскими исследователями были изучены реликтовые торфяники в долинах Колесдален и Грёндален. Изменения в растительном покрове и климатических условиях были реконструированы с конца позднего ледникового периода до субатлантического (Реконструкции ..., 1984; Палеоэкология ..., 1993).

Важный вклад в общую систему знаний о развитии растительности на архипелаге Шпицберген внес нидерландский исследователь Ван-дер-Кнаап с 1985 по 1991 гг. (Кнаап, 1986, 1987, 1988a,b,c, 1989, 1990, 1991). Он определил, что профили небольшой толщины также могут быть источниками интересной информации. Особое внимание было уделено изучению поверхностных проб. В районе Нью-Олесунна им был изучен торфяник мощностью 1 м, реконструировано изменение растительности за период примерно 4400–800 лет (<sup>14</sup>C). Составление палеоботанических реконструкций в районах Медден и Агарддален выполнено по осадку так называемых скуанских курганов – торфяных возвышений, используемых поморниками для наблюдения за гнездом. Кроме этого, В. О. Кнаап по спорово-пыльцевому анализу субфоссильных экскрементов оленей в отложениях под птичьими базарами установил время их появления – примерно 6700–5000 лет назад (<sup>14</sup>C). Также им проводились палеоботанические изыскания на островах Майен и Эдж.

В 1990-е годы норвежский исследователь Х. Биркс представила новую схему развития климата и растительности на архипелаге Шпицберген в позднеледниковье, в основу которой помимо прочего были включены результаты палеоботанических изысканий 1991 г. в районе Линнедален (оз. Скардьерна) (Birks, 1991). Изучение макроостатков озерных отложений позволило установить наиболее благоприятный период в голоцене – примерно 8 тыс. лет назад (<sup>14</sup>C).

В начале текущего столетия выделяются работы российского палинолога М. В. Дорожкиной, проводившей изучения торфяников в окрестностях оз. Нурдамен (Дорожкина, 2005), на мысе Фуглехукен (Дорожкина, 2007). На основе анализа полученных данных была составлена схема развития растительности на о. Западный Шпицберген, охватывающая последние примерно 5000 лет (<sup>14</sup>C).

В 2015 году сотрудниками палеогеографической партии ААНИИ был изучен разрез четвертичных образований в приустьевой части долины Грэндален. Анализ содержания пыльцы и спор в отложениях позволил сделать вывод об особенностях развития растительности и условий осадконакопления в этом районе. При сопоставлении полученных результатов с опубликованными данными (Палеоэкология ..., 1993) была получена схема развития растительного покрова в долине Грэндален в голоцене.

Имеющиеся сводные схемы эволюции растительности на архипелаге не являются исчерпывающими. Применение широко известной схемы Блитта–Сернандеса в этом регионе затруднительно вследствие специфической истории развития архипелага. Несмотря на то, что палеоботанические изыскания здесь ведутся с начала прошлого столетия, массив накопленной информации недостаточен. Изучение новых объектов и применение новых методов статистической обработки данных позволит внести существенный вклад в понимание эволюции ландшафтов на архипелаге Шпицберген.

## Литература

Дорожкина М. В. Палинологическое изучение голоценовых озерно-болотных отложений района озера Нурдамен, Земля Бюнсва, остров Западный Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 167–173.

Дорожкина М. В. Результаты палинологического изучения голоценового торфяника района мыса Фуглехукен, о. Земля Принца Карла, архипелаг Шпицберген // Изв. РГО. 2007. Т. 139, Вып. 6. С. 30–33.

Зеликсон Е. М. Палинологическое исследование голоценового торфяника на Шпицбергене // Палинология голоцена. 1971. С. 199–212.

Палеоэкология Арктико-Атлантического региона в голоцене / Л. Р. Серебряный, А. А. Тишков, О. Н. Соломина и др. // Изв. Акад. наук СССР. Сер. Географ. 1993. № 2. С. 39–52.

Реконструкция развития растительности в высокоширотной Арктике / Л. Р. Серебряный, А. А. Тишков, Е. С. Малясова и др. // Изв. АН СССР. Сер. Геогр. 1984. № 6. С. 75–84.

Сурова Т. Г., Троицкий Л. С., Пуннинг Я.-М. К. Об истории оледенения Шпицбергена в голоцене по данным палеоботанических исследований // Материалы гляциологических исследований. 1982. № 42. С. 100–106.

Троицкий Л. С., Пуннинг Я.-М. К., Сурова Т. Г. Оледенение архипелага в плейстоцене и голоцене // Гляциология Шпицбергена. М.: Наука, 1985. С. 160–175.

Birks H. H. Holocene vegetational history and climatic change in West Spitsbergen – plant macrofossils from Skardtjorna // The Holocene. 1991. Vol. 1. P. 209–218.

Knaap W. O. van der. On the presence of reindeer (*Rangifer tarandus* L.) on Edgeoya, Spitsbergen, in the period 3800–5000 B.P. // Circumpolar J. 1986. № 2. P. 3–9.

Knaap W. O. van der. Long-distance transported pollen and spores on Spitsbergen and Jan Mayen // Pollen and Spores. 1987. Vol. 29. P. 449–454.

Knaap W. O. van der. A pollen diagram from Brøggerhalvøya, Spitsbergen: changes in vegetation and environment from ca. 800 BP // Arctic and Alpine Res. 1988a. Vol. 20. P. 106–116.

Knaap W. O. van der. Palynology of two 4500 year old skua mounds of the Arctic Skua (*Stercorarius parasiticus* [L.]) in Svalbard // Polar Res. 1988b. Vol. 6. P. 43–57.

Knaap W. O. van der. Age and stability of bird-manured vegetation on Spitsbergen // Acta Botanica Neerlandica. 1988c. Vol. 37. P. 171–179.

*Knaap W. O. van der.* Past vegetation and reindeer on Edgeøya (Spitsbergen) between ca. 7900 and ca. 3800 B.P. studied by means of peat layers and reindeer faecal pellets // *J. Biogeography*. 1989. Vol. 16. P. 379–394.

*Knaap W. O. van der.* Relations between present-day pollen deposition and vegetation in Spitsbergen // *Grana*. 1990. Vol. 29. P. 63–78.

*Knaap W. O. van der.* Palynology of peat section from Spitsbergen covering the last few centuries // *Nordic J. Botany, Section of Geobotany*. 1991. Vol. 11. P. 213–223.

## **ВЛИЯНИЕ МОХОВОГО И СНЕЖНОГО ПОКРОВОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ НА ЗАПАДНОМ ШПИЦБЕРГЕНЕ ПРИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЯХ**

**А. В. Сосновский, Н. И. Осокин**

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Рост средней годовой температуры воздуха на Западном Шпицбергене от  $-5.3$  до  $-3.9$  °C за периоды с 1985–2000 по 2001–2010 гг. (Климатические ..., 2012) ведет к росту температуры многолетнемерзлых пород. В дальнейшем это может привести к деградации многолетнемерзлых пород и сокращению их площади. Сохранность многолетнемерзлых пород, их термическая и механическая устойчивость зависят от термического состояния многолетней мерзлоты и определяется как параметрами поверхностных покровов (снежного и мохового) и грунта, так и возможными климатическими изменениями.

Цель работы – исследовать влияние параметров снежного и мохового покровов на температурный режим, промерзание и таяние многолетнемерзлых пород и оценить время начала формирования несливающейся мерзлоты с учетом климатических изменений.

Наши измерения показали, что различие в температуре грунта при толщине снежного покрова 15 и 150 см может составлять  $10-20$  °C в зимний период и  $3-6$  °C в летний (Влияние ..., 2013). При максимальной толщине снежного покрова 1 м температура грунта на глубине 1 м составляет  $0...-1$  °C, а температура поверхности грунта не опускается ниже  $-3$  °C. При высоте снежного покрова 2 м уже и температура поверхности грунта в зимний период не опускается ниже  $-1$  °C. При высоте снежного покрова на уровне 2 м и более в ряде случаев (отсутствие мохового покрова, повышенная влажность грунта и др.) может сформироваться слой несливающейся мерзлоты (Климатические ..., 2012), что ослабит прочностные свойства и несущую способность грунта.

Если сезонный снежный покров является препятствием для выхолаживания грунта в зимний период, то влияние мохового покрова на температурный режим грунта разнонаправленно. В холодный период моховой покров увеличивает слой теплоизоляции и препятствует охлаждению многолетнемерзлых пород, тогда как в период с положительными температурами воздуха он их защищает от быстрого прогревания и протаивания. Измерения в районе пос. Баренцбург показали, что температура грунта под 8-сантиметровым моховым покровом на  $4$  °C ниже, чем в его отсутствие (Тишков и др., 2013). При моховом покрове толщиной 7–8 см скорость протаивания грунта в конце июля–начале августа составляет около 0.33 см в сутки, что в 3 раза ниже, чем при отсутствии мохового покрова. Таким образом, в условиях небольших положительных температур воздуха на архипелаге Шпицберген ( $4-5$  °C) снижение температуры грунта под моховым покровом на несколько градусов может компенсировать возможный рост температуры воздуха при потеплении, что предохраняет многолетнюю мерзлоту от деградации. Так, в работе (Cable et al., 2016) показано, что в некоторых ландшафтах Западной Аляски отсутствие мохового слоя указывает на отсутствие вблизи поверхности многолетней мерзлоты.

Исследования по влиянию мохового покрова на температурный режим грунта проводились на разных площадках для различных видов мхов с разными теплофизическими свойствами. Для оценки влияния мохового покрова на термическое состояние грунта необходимо знание теплофизических свойств основных видов мхов, преобладающих на данной территории. В ходе измерений были получены значения теплопроводности некоторых видов мхов. Теплопроводность мхов больше в 3–4

раза в холодный период года, чем летом. Поэтому моховой покров не является существенным препятствием для выхолаживания подстилающих пород в холодный период года. В период с положительными температурами воздуха наличие мохового покрова снижает температуру грунта и значительно уменьшает глубину его протаивания.

По данным метеостанции “Баренцбург”, средняя суточная положительная и отрицательная температура воздуха за 2001–2010 гг. составила 4.3 и –7.8 °С соответственно. При этом отмечена тенденция к их росту – тренды положительной и отрицательной температуры воздуха за 1982–2013 гг. показывают рост на 0.38 и 1.19 °С за 10 лет (Климатические ..., 2012). Эти данные были использованы для оценки условий деградации многолетней мерзлоты архипелага Западный Шпицберген. Деградация многолетней мерзлоты вызывается образованием несливающейся мерзлоты, переходящей в талик. Это происходит при росте температуры воздуха и толщины снежного покрова до их критических значений. Для супеси влажностью 18 % были рассчитаны критические значения высоты снежного покрова в комбинации с возможной положительной и отрицательной температурами воздуха. В другой серии расчетов были использованы сценарии изменения климата по региональной (Temperature ..., 2011) и глобальной климатическим моделям (Large, Yeager, 2009). За основу были приняты теплофизические параметры снежного и мохового покровов Западного Шпицбергена. Расчеты времени начала деградации многолетнемерзлых пород по региональной модели изменения климата показали, что при толщине снежного покрова 0.5, 1 и 1.5 м (без мохового покрова) время начала формирования несливающейся мерзлоты приходится на 2053, 2032, 2023 гг. при максимальной толщине талого слоя 1.82, 1.65 и 1.5 м соответственно; по глобальной модели – при толщине снежного покрова 1, 1.5 и 2 м (без мохового покрова) время начала формирования несливающейся мерзлоты приходится на 2057, 2047, 2041 гг. при максимальной толщине талого слоя 1.55, 1.39 и 1.35 м соответственно. При наличии мохового покрова *Hylocomium splendens* var. *alaskanum* толщиной 5 см начало формирования несливающейся мерзлоты по региональной модели изменения климата для снежного покрова толщиной 1 м произойдет в 2055 г., 2 м – в 2034 г. Результаты расчетов свидетельствуют, что время начала формирования несливающейся мерзлоты зависит от климатических изменений, параметров снежного и мохового покровов, влажности грунта, и в ближайшее время возможна комбинация параметров, при которых будет происходить деградация многолетней мерзлоты.

## Литература

- Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене / А. Б. Шмакин, Н. И. Осокин, А. В. Сосновский и др. // Лед и снег. 2013. № 4. С. 52–59.
- Климатические изменения и возможная динамика многолетнемерзлых грунтов на архипелаге Шпицберген / Н. И. Осокин, А. В. Сосновский, П. Р. Накалов и др. // Лед и снег. 2012. № 2. С. 115–120.
- Тишков А. А., Осокин Н. И., Сосновский А. В. Влияние синузий мохообразных на деятельный слой арктических почв // Изв. РАН. Сер. Географ. 2013. № 3. С. 39–46.
- Cable W. L., Romanovsky V. E., Jorgenson M. T. Scaling-up permafrost thermal measurements in Western Alaska using an ecotype approach // The Cryosphere. 2016. Vol. 10. P. 2517–2532.
- Large W. G., Yeager S. G. The global climatology of an interannually varying air-sea flux data set // Clim. Dyn. 2009. Vol. 33. P. 341–364.
- Temperature and precipitation development at Svalbard 1900–2100 / E. J. Førland, R. Benestad, I. Hanssen-Bauer et al. // Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology. 2011. 14 p. DOI:10.1155/2011/893790.

## К ОЦЕНКЕ ТЕРМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ЗАПАДНОМ ШПИЦБЕРГЕНЕ

А. В. Сосновский, Н. И. Осокин

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Снежный покров является важным фактором взаимодействия в системе атмосфера–подстилающие породы (Павлов, 2008). Он оказывает влияние на промерзание грунта и термическое состояние верхних горизонтов многолетнемерзлых пород (Климатические ..., 2012; Влияние ..., 2013). Тепловой поток через снежный покров при квазистационарном режиме прямо пропорционален температурному градиенту и обратно пропорционален термическому сопротивлению снежного покрова (Осокин и др., 2013). Поэтому влияние температуры воздуха и термического сопротивления снежного покрова на термическое состояние верхних горизонтов многолетнемерзлых пород соизмеримо (Осокин, Сосновский, 2016).

Термическое сопротивление снежного покрова характеризует его теплозащитные свойства и равно отношению толщины снежного покрова к коэффициенту эффективной теплопроводности снега (Термическое ..., 2013). Определению коэффициента теплопроводности снега посвящено много работ. Наиболее полный их обзор представлен в работе (The thermal ..., 1997). Известные зависимости коэффициента теплопроводности снега дают большой разброс значений при одинаковой плотности снега (Осокин и др., 2017). Одной из причин этого являются структурные особенности снежного покрова. Так, коэффициент теплопроводности глубинной изморози в несколько раз меньше, чем зернистого снега при равной плотности. Поэтому слоистость снежного покрова, обусловленная как метеорологическими условиями, так и процессами метаморфизма, влияет на его термическое сопротивление и температурный режим подстилающих оснований.

Теплопроводность снега состоит в основном из двух составляющих – конвективной и кондуктивной теплопроводности. Кондуктивная теплопроводность снега зависит от контактов между кристаллами льда. Чем больше площадь контактов, тем лучше происходит передача тепла от одного слоя к другому. Но от связей между кристаллами льда зависят и прочностные характеристики снега, в частности его твердость. Поэтому теплопроводность и твердость снега зависят от плотности и структуры снега. При этом измерения твердости снега менее трудоемки, чем измерения его теплопроводности.

Цель исследования – определить влияние твердости снега на коэффициент его теплопроводности, разработать методику расчета коэффициента теплопроводности снега по его плотности и твердости, оценить влияние коэффициента теплопроводности снега с учетом его структуры на термическое сопротивление снежного покрова.

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований коэффициента теплопроводности снега на Западном Шпицбергене в условиях естественного залегания снежного покрова. Наблюдения проводились весной 2013–2015 гг. в окрестностях метеостанции “Баренцбург”. Полученные данные по динамике температуры снежного покрова были обработаны с помощью уравнения теплопроводности Фурье, что позволило определить коэффициенты теплопроводности снега разной структуры и плотности. Для проверки достоверности рассмотренного подхода к определению теплопроводности снега выполнены численные эксперименты на математической модели, которые показали хорошую сходимость результатов. Для слоев снежного покрова разной твердости (согласно международной классификации для сезонно-выпадающего снега за 2012 г.) получены зависимости теплопроводности снега от плотности (Сосновский, Осокин, 2017). Проведено сравнение полученных зависимостей с известными формулами. Установлено, что при плотности снега 0.15–0.40 г/см<sup>3</sup> полученные зависимости охватывают основной диапазон изменения теплопроводности снега. Это позволяет оценить коэффициент теплопроводности и определить термическое сопротивление снежного покрова в полевых условиях путем измерения плотности и твердости различных слоев снега.

Результаты проведенных исследований показали, что для снега плотностью 200 кг/м<sup>3</sup> значения коэффициента теплопроводности снега твердостью от очень рыхлого до среднего изменяются от 0.06 до 0.21 Вт/(м·К) соответственно. Для снега плотностью 300 кг/м<sup>3</sup> коэффициент теплопроводности снега твердостью от очень рыхлого до твердого изменяется от 0.13 до 0.32 Вт/(м·К), для снега

плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$  – от 0.21 до 0.36 Вт/(м·К). Таким образом, коэффициент теплопроводности снега плотностью  $200 \text{ кг/м}^3$  и разной твердостью различается в 3–4 раза, для снега плотностью  $300 \text{ кг/м}^3$  – в 2.5 раза и плотностью  $400 \text{ кг/м}^3$  – в 1.7 раза.

На примере стратиграфии конкретного шурфа в снежном покрове Западного Шпицбергена показано отличие значений термического сопротивления с учетом структуры снега и без учета. Так, для снежного покрова высотой 1.45 м термическое сопротивление составило  $4.24 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$  без учета структуры снега и  $5.29 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$  с ее учетом. Такая ошибка в определении значений термического сопротивления снежного покрова аналогична росту эффективной толщины снега на 25 % – до 1.81 см. При этом еще более значительная ошибка в определении термического сопротивления снежного покрова будет при использовании средней плотности снега без учета его слоистости. В последнем случае термическое сопротивление составило  $4.08 \text{ м}^2\cdot\text{К/Вт}$ . Таким образом, неучет структуры и стратиграфии снежного покрова может привести к занижению термического сопротивления снежного покрова, что увеличит расчетное выхолаживание грунта в холодный период. В реальности промерзание будет меньше и можно пропустить момент опасного снижения прочности грунта и деградации многолетней мерзлоты.

### Литература

- Влияние снежного покрова на промерзание и протаивание грунта на Западном Шпицбергене* / А. Б. Шмакин, Н. И. Осокин, А. В. Сосновский и др. // Лед и снег. 2013. № 4. С. 52–59.
- Климатические изменения и динамика многолетнемерзлых грунтов на архипелаге Шпицберген* / Н. И. Осокин, А. В. Сосновский, П. Р. Накалов и др. // Лед и снег. 2012. № 2. С. 115–120.
- Павлов А. В.* Мониторинг криолитозоны. Новосибирск: Акад. изд-во “Гео”, 2008. 229 с.
- Осокин Н. И., Сосновский А. В.* Влияние термического сопротивления снежного покрова на устойчивость многолетнемерзлых пород // Криосфера Земли. 2016. № 3. С. 105–112.
- Осокин Н. И., Сосновский А. В., Чернов Р. А.* Влияние стратиграфии снежного покрова на его термическое сопротивление // Лед и снег. 2013. № 3. С. 63–70.
- Осокин Н. И., Сосновский А. В., Чернов Р. А.* Коэффициент теплопроводности снега и его изменчивость // Криосфера Земли. 2017. Т. XXI, № 3. С. 60–68.
- Сосновский А. В., Осокин Н. И.* Патент № 2627971. Способ определения коэффициента теплопроводности снега в условиях естественного залегания снежного покрова. Оpubл. 14.08.2017. Бюл. № 23.
- Термическое сопротивление снежного покрова и его влияние на промерзание грунта* / Н. И. Осокин, А. В. Сосновский, П. Р. Накалов, С. В. Ненашев // Лед и снег. 2013. № 1. С. 93–103.
- The thermal conductivity of seasonal snow* / M. Sturm, J. Holmgren, M. Konig, K. Morris // J. Glaciology. 1997. Vol. 43, № 143. P. 26–41.

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО БАЛАНСА РЕКИ АЛЬДЕГОНДА (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

**М. В. Третьяков, В. А. Бирюкова**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом ведется комплексный мониторинг гидрологического цикла и состояния водных объектов, включая проведение наблюдений за элементами водного баланса речных водосборов архипелага Шпицберген, а также проведение стандартных и специализированных наблюдений за физическими и гидрохимическими показателями выбранных поверхностных водных объектов.

По результатам проведенных наблюдений с 2001 по 2017 гг. составлена база данных гидрологических характеристик элементов водного режима на исследуемых объектах, которая кроме измеренных характеристик содержит рассчитанные ряды, такие как ежедневные расходы воды, весенние снегозапасы на водосборах и некоторые другие.

К сожалению, вследствие различных причин наблюдения за стоком исследуемых рек разрознены, относятся к разным фазам гидрологического цикла, различным синоптическим ситуациям и не охватывают весь период существования стока (главным образом за счет отсутствия наблюдений в весенний и осенний переходные периоды). До решения методических вопросов организации и проведения наблюдений за гидрологическими характеристиками на водосборе в весенний и осенний переходные периоды, для получения этих характеристик необходимо привлекать расчетные методы.

Для восстановления стока воды р. Альдегонда в периоды, неосвещенные прямыми гидрологическими наблюдениями, была разработана модель его формирования, основанная на теплобалансовом методе расчета снеготаяния П. П. Кузьмина (1961; Иванова и др., 1973), распространенного также на ледниковую поверхность для расчета баланса массы ледника, методе расчета водоотдачи из снега Г. П. Ковзеля (1962), методе трансформации стока Калинина–Миллюкова (Георгиевский, 1982).

Была проведена адаптация метода Кузьмина к данному региону путем деления водосбора на высотные зоны в предположении, что значение температуры понижается в среднем на  $0.6\text{ }^{\circ}\text{C}$  каждые 100 м высоты. Водосбор р. Альдегонда был разделен на ледниковую (ледник Альдегонда) и внеледниковую (моренную) части. Морена в основном располагается в нижней части водосбора на высотах от 0 до примерно 80 м над уровнем моря. Ледник разделен еще на четыре высотные зоны по 100 м. Деление водосбора на высотные зоны позволяет провести расчет снеготаяния и водоотдачи отдельно для каждой зоны с расчетом трансформации стока.

Межгодовая изменчивость высоты снега на водосборе р. Альдегонда в период максимального снегонакопления имеет незначительную тенденцию к увеличению. Наибольшая средняя высота снега на водосборе наблюдалась в 2008 г. – 200 см. Изменение средней высоты снега на водосборе в целом соответствует изменению максимальной высоты снега за год, измеряемой на метеоплощадке станции “Баренцбург”. Коэффициент корреляции между этими значениями составляет 0.70.

Плотность снега на водосборе р. Альдегонда к моменту его максимального накопления по данным наблюдений с 2002 по 2017 гг. в среднем составляет  $0.4\text{ г/см}^3$ . Максимальное значение средней плотности по водосбору наблюдалось в 2004 г. –  $0.52\text{ г/см}^3$ , минимальное в 2016 г. –  $0.29\text{ г/см}^3$ .

Многолетние наблюдения позволили выявить, что пространственное распределение плотности снежного покрова на поверхности ледника Альдегонда имеет четкую зависимость от абсолютной высоты местности, однако связь между высотой снега и его плотностью не прослеживается, как на ледниковой, так и на неледниковой части водосбора.

Запас воды в снеге  $Q_c$  (водный эквивалент) для этого водосбора за период наблюдений изменился от 347 мм (2016 г.) до 801 мм (2012 г.) и составляет в среднем 659 мм. Значимой многолетней тенденции в водозапасах на этом водосборе не прослеживается.

Восстановление стока реки за периоды, неохваченные наблюдениями, проведено с привлечением модели стока, основанной на теплобалансовых расчетах поверхности ледника с учетом жидких атмосферных осадков. Моделирование стока р. Альдегонда показало удовлетворительное соответствие результатов моделирования данным наблюдений за речным стоком в последние годы.

Расчет снеготаяния и водоотдачи из снега на водосборе р. Альдегонда на основе данных снегомерных съемок и стандартных метеорологических наблюдений на метеостанции “Баренцбург” показал, что процесс таяния начинается в конце апреля–начале мая, задолго до начала водоотдачи из него. Водоотдача из снега начинается одновременно для всего водосбора, несмотря на то, что водосбор расположен в различных высотных зонах. Максимальное снеготаяние происходит в конце мая–начале июня, а к первой декаде июля снег успевает стаять со всей территории водосборного бассейна, не создавая условий для положительного баланса массы ледника, что подтверждается гляциологическими наблюдениями на леднике Альдегонда, который в последние десятилетия активно деградирует.

Дальнейшее формирование стока р. Альдегонда происходит за счет таяния ледника и выпадения жидких атмосферных осадков. Режим стока воды полностью зависит от реакции ледника на метеорологические условия, при этом формируются летние и осенние паводки с расходами, превышающими таковые половодья. Осенью при снижении до нуля солнечной радиации основными факторами формирования стока являются турбулентные потоки тепла.

Наблюдения и расчеты показали, что условий для накопления снега не создается, поэтому баланс массы ледника во все годы наблюдений отрицательный.

По результатам наблюдений, а также восстановленных значений на основе моделирования, получены оценки основных характеристик стока р. Альдегонда. Наиболее водным месяцем является июль (29 % стока).

В соотношении источников питания реки по многолетним данным можно заключить, что в приходной части водного баланса на долю снегового питания приходится в среднем 26 %, дождевая составляющая незначительна – около 10 %, основная составляющая приходной части формируется за счет таяния ледника – 64 %.

В многолетнем разрезе соотношение источников питания реки меняется незначительно. Можно отметить в последние годы уменьшение доли снегового питания и его увеличение за счет абляции ледника.

Многолетние изменения стока р. Альдегонда показывают, что с 2005 по 2017 гг. наблюдается увеличение стока в среднем на 800 тыс. м<sup>3</sup> в год. Это происходит за счет увеличения стока в летние и осенние месяцы, когда питание реки происходит преимущественно за счет таяния ледника. Таким образом, сток с водосбора р. Альдегонда отчетливо реагирует на климатические изменения, происходящие в последнее десятилетие в районе архипелага Шпицберген, главным фактором которых является турбулентный поток тепла из атмосферы, увеличение которого ведет к усиленному таянию ледника. При отсутствии значимой многолетней тенденции в весенних водозапасах снега на этом водосборе и количестве осадков в летний период усиление таяния ледника является основной причиной многолетних изменений речного стока р. Альдегонда за последние 15 лет.

### Литература

*Георгиевский Ю. М.* Краткосрочные гидрологические прогнозы: Учеб. пособие. Л.: ЛПИ, 1982. 100 с.

*Иванова А. А., Румянцев В. А., Делеур М. С.* Математическое моделирование процесса снеготаяния для расчета гидрографов половодья // Тр. ГГИ. 1973. Вып. 211. С. 105–111.

*Ковзель А. Г.* Упрощенная схема водоотдачи из снега // Тр. ГГИ. 1962. Вып. 99. С. 141–176.

*Кузьмин П. П.* Процесс таяния снежного покрова. Л., Гидрометеиздат, 1961. 345 с.

## ОЦЕНКА ГОДОВОГО СТОКА ВОДЫ И НАНОСОВ РЕК ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН) В СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

**М. В. Третьяков, К. В. Ромашова**

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

Климатические изменения, происходящие в последние десятилетия в районе архипелага Шпицберген, находят свое отражение на каждой составляющей системы атмосфера–криосфера–гидросфера–биосфера: океанические течения приносят с собой тепло из южных районов океана, оказывая воздействие на атмосферную циркуляцию, она способствует таянию ледников и увеличению речного стока, который, в свою очередь, распределяет прибрежные районы моря, что оказывает влияние на биотическую составляющую экосистемы. Для изучения этой системы в 2001 г. были начаты комплексные экспедиционные исследования ААНИИ на архипелаге Шпицберген (Комплексные ..., 2004; Соловьянова, 2004). При этом особое внимание уделяется изучению поверхностного пресноводного стока как индикатора, интегрирующего климатический и другие эффекты, в том числе адвекцию тепла течениями и воздушными массами, загрязнение, вызванное как атмосферным трансграничным переносом, так и хозяйственной деятельностью, и как фактора, влияющего на морскую экосистему. Для фиксации современного состояния системы важно оценить современный сток воды и наносов.

Объектами гидрологических исследований экспедиции ААНИИ являются в первую очередь поверхностные водные объекты суши водосборного бассейна залива Грён-фьорд, на берегу которого расположен российский пос. Баренцбург. Это реки Грён (другое название Грэндален), Грёнфьорд, Брехьерна, Альдегонда, Брюде, Конгресс, Стемме. Поскольку ситуация на некоторых водосборах рек



очень быстро меняется (в частности, уменьшается степень оледенения), оценки годового стока воды и наносов рек залива Грён-фьорд выполнялись с использованием данных наблюдений 2014–2017 гг. на реках Грён и Альдегонда и 2016–2017 гг. на реках Грёнфьорд, Брехьерна, Брюде и Конгресс.

Таяние снега на водосборах рек залива Грён-фьорд начинается во второй половине мая. Начало половодья, вызванное повышением средних суточных температур воздуха, отмечается в первой половине июня. Наиболее водным месяцем для водосборов с большой степенью оледенения (например, р. Альдегонда) является как правило июль, для водосборов с небольшой степенью оледенения (например, р. Грён) – июнь. Расходы воды при осенних паводках, вызванных теплом и осадками, приносимыми циклонами, могут превышать расходы воды в половодье. В настоящее время происходит изменение водного режима рек бассейна залива Грён-фьорд. Из-за увеличения теплого периода происходит смещение фаз водного режима – весенних на более ранние, осенних на поздние. Так, если в 2014 г. максимальные расходы воды рек, обусловленные половодьем, проходили в основном в начале–середине июля, в 2017 г. пик половодья наблюдался в середине июня. Если ранее сток рек прекращался по причине их замерзания к концу октября (Соловьянова и др., 2005), то в настоящее время существенный сток наблюдается и в ноябре.

Процесс формирования и переноса речных наносов на Шпицбергене происходит в условиях низких температур и влияния ледниковой эрозии. Наличие многолетнемерзлых пород провоцирует насыщение водой активного поверхностного слоя во время таяния снега и выпадения дождей. Количество взвеси в речной воде тесно связано с режимом стока. В период до начала половодья вода в реках обычно чистая, на подъеме половодья мутность воды резко возрастает, затем количество взвеси в воде снижается вместе со спадом половодья. Мутность воды повышается в результате обнажения и оттаивания пород деятельного слоя склонов и моренных отложений у ледников.

За рассматриваемый период выполнена оценка годового стока пресной воды и количества выноса взвешенного твердого вещества реками в залив Грён-фьорд. Установлено, что р. Брехьерна является наиболее полноводной, годовой объем стока составляет 45–55 млн м<sup>3</sup>, при этом она выносит сравнительно небольшое количество твердого вещества – до 400 т за год.

Годовой сток р. Грён, наиболее мутной из рек, составляет примерно 40 млн м<sup>3</sup>, она выносит в залив около 20 тыс. т взвешенного вещества в год.

Сток остальных рек бассейна залива Грён-фьорд суммарно составляет 40 % от всего стока в залив. Годовой сток р. Грёнфьорд оценивается в 20 млн м<sup>3</sup>, при этом вынос взвешенного вещества – до 18 тыс. т., р. Альдегонда – 22–28 млн м<sup>3</sup> и 4–8 тыс. т, р. Брюде – 5 млн м<sup>3</sup> и до 2 тыс. т, р. Конгресс – 5–8 млн м<sup>3</sup> и до 0.3 тыс. т соответственно.

Всего годовой сток с водосбора залива Грён-фьорд в последние годы оценивается в среднем в 150 млн м<sup>3</sup> и до 47 тыс. т наносов. При этом 2016 и 2017 гг. являются наиболее многоводными с 2001 г.

Ввиду того, что сток рек отчетливо реагирует на климатические изменения, происходящие в последние годы в районе архипелага Шпицберген, гидрологические исследования поверхностных водных объектов, несомненно, должны быть продолжены с увеличением продолжительности наблюдений, впервые успешно осуществленным в 2017 г. Такие измерения дают более полное представление о характере стока в переходные весенние и осенние периоды и позволяют с большей достоверностью судить о количестве выноса как пресной воды, так и твердого вещества в залив Грён-фьорд, которые в свою очередь играют немаловажную роль в изучении климатической системы атмосфера–криосфера–гидросфера–биосфера в целом.

## Литература

*Комплексные* гидрометеорологические исследования некоторых ледниковых бассейнов Шпицбергена / И. Ю. Соловьянова, М. В. Третьяков, П. Н. Священников и др. // Арктика и Антарктика. 2004. Вып. 3. С. 40–49.

*Соловьянова И. Ю.* Особенности формирования ледникового стока арх. Шпицберген // VI Всероссийский гидрологический съезд. Тез. докл. Секция 5. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. С. 127–128.

*Соловьянова И. Ю., Третьяков М. В., Прямыков С. М.* Особенности формирования стока р. Альдегонда (Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 348–354.

# ИСКУССТВЕННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ ВОД МОРЕЙ ПОЛЯРНОГО БАССЕЙНА

И. С. Усягина, Н. Е. Касаткина, Г. Г. Матишов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Качество морской воды важно для человека. Особое беспокойство вызывает радиоактивное загрязнение, сформировавшееся в морях Полярного бассейна после испытаний атомного оружия на Новой Земле (1950–1960-е гг.), в результате которого в воде стали обнаруживаться техногенные изотопы  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (Вакуловский и др., 1985). В 1970–1980-е годы радиоактивность вод Баренцева и Карского морей значительно повысилась в связи с трансокеаническим переносом из Ирландского моря сбросов радиохимического завода “Селлафилд” (Великобритания). Установлено, что радиоактивные отходы “Селлафилда” переносились в Баренцево море в составе атлантических вод за 5–6 лет (Aarkrog, 1994). Атмосферные выпадения радионуклидов после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. также повлияли на загрязненность арктических морей. В 1980–1986 годах объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в поверхностных водах Баренцева моря составляла 17–43 Бк/м<sup>3</sup> (Pollution ..., 1997; Экология ..., 2001; Bouldakov et al., 2002). В 1989 году произошло снижение уровня цезия до 6.4 Бк/м<sup>3</sup>.

Исследования искусственной радиоактивности в арктических морях со второй половины 1990-х гг. по 2017 г. показали спад загрязнения (Матишов, Матишов, 2001; Тенденции ..., 2007). В настоящее время особую актуальность приобретает проблема вторичного попадания техногенных изотопов в воды Полярного бассейна при таянии многолетних льдов, накопивших долгоживущие радионуклиды из атмосферных осадков.

Исследования радиоактивности вод Центрального Полярного бассейна проводились в 1983 г. на станции “CESAR” в районе поднятия Альфа на 87° с. ш. (Smith et al., 1998) и в 1994 г. в экспедиции шведского ледокола “Оден” (Crane, Galasso, 1999). В последние два десятилетия радиоактивность вод Центрального Полярного бассейна вблизи Северного полюса Земли практически не изучалась (<https://maris.iaea.org>). В 2017 году впервые в XXI веке получены результаты радиоэкологических исследований непосредственно на акватории Северного полюса. Также проведено сравнение загрязнения вод Центрального Полярного бассейна с сопредельными акваториями морей Баренцева, Карского, Восточно-Сибирского и Лаптевых.

Материалы по загрязнению вод Центрального бассейна собраны в экспедиции на атомном ледоколе “50 лет Победы” по маршруту г. Мурманск–Северный полюс с 15 по 25 августа 2017 г. Оценка радиоактивного загрязнения других российских морей Северного Ледовитого океана выполнена по данным, полученным в комплексных экспедициях ММБИ КНЦ РАН на НИС “Дальние Зеленцы” и на дизель-электроходах “Мончегорск”, “Талнах”, “Надежда”, “Норильский никель” в 2013–2017 гг.

Концентрирование радионуклидов цезия из морской воды проводили из пробы объемом 100 л на целлюлозно-неорганическом сорбенте “Анфеж”. Измерения полученных счетных образцов выполняли на гамма-спектрометре “InSpektor-2000” фирмы “Canberra”, США. Для определения содержания  $^{90}\text{Sr}$  пробы воды объемом 20 л подвергались радиохимической обработке оксалатным методом с последующим измерением счетного образца на жидкосцинтилляционном бета-радиометре “LS 6500” фирмы “Beckman coulter”, США. Статистические расчеты выполнены с помощью специализированной программы SPSS Statistics.

В 2017 году объемная активность антропогенных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в поверхностных водах Центрального Полярного бассейна вблизи географической точки “Северный полюс” составила  $2.0 \pm 0.2$  Бк/м<sup>3</sup> и  $2.1 \pm 0.3$  Бк/м<sup>3</sup> соответственно. Эти значения согласуются с результатами аналогичных измерений, выполненных в смежных арктических морях в последние годы. Для сравнения отметим, что в 1979 г. поверхностные воды Центрального Полярного бассейна содержали 6.7 Бк/м<sup>3</sup>  $^{137}\text{Cs}$  и 5.3 Бк/м<sup>3</sup>  $^{90}\text{Sr}$  (Crane, Galasso, 1999; Vertical ..., 1984), в 1983 г. – около 5.5 Бк/м<sup>3</sup>  $^{137}\text{Cs}$  (Smith et al., 1998; Crane, Galasso, 1999). В 1990-х годы воды Северного Ледовитого океана в районе Северного полюса характеризовались более высокими содержанием радиоактивного цезия – 11.0–16.5 Бк/м<sup>3</sup> (Pollution ..., 1997; Crane, Galasso, 1999).

Результаты сравнений значений объемных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в четырех морях с помощью критерия Манна-Уитни (U) показали, что среднее объемные активности  $^{137}\text{Cs}$  в Баренцевом и Карском морях не различаются между собой, но значимо выше, чем в море Лаптевых или Восточно-

Сибирском. Для интерпретации результатов парных сравнений использован критический уровень значимости  $p^*$ , равный 0.0085 ( $p^* = 1 - 0.95^{1/n}$ , где  $n$  – количество производимых сравнений).

С 2000 года объемная активность  $^{137}\text{Cs}$  в водах Центрального Полярного бассейна, Баренцева и Карского морей находится приблизительно на одном уровне. Это обусловлено общностью источников радиоактивного загрязнения. В морях Лаптевых и Восточно-Сибирском, которые в меньшей степени подвержены влиянию Атлантики, отмечаются минимальные уровни загрязнения  $^{137}\text{Cs}$ .

Распределение  $^{90}\text{Sr}$  в водах арктических морей характеризуется большим разбросом значений объемной активности. Уровень  $^{90}\text{Sr}$  в водах Центрального Полярного бассейна заметно ниже, чем в смежных арктических акваториях, что, вероятно, обусловлено отсутствием влияния материкового стока – поставщика этого изотопа в морскую среду (Pollution ..., 1997).

Таким образом, современная радиационная обстановка в российских морях Полярного бассейна, оцененная по данным 2013–2017 гг., характеризуется как благополучная и отражает общее снижение влияния приоритетных ранее источников.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-05-60249 по теме “Радиоактивное загрязнение и вторичные источники антропогенных изотопов в морях Северного Ледовитого океана на рубеже XX–XXI веков”.

### Литература

*Вакуловский С. М., Никитин А. И., Чумичев В. Б.* О загрязнении арктических морей отходами западноевропейских радиотехнических заводов // Атомная энергия. 1985. Т. 58, вып. 6. С. 445–449.

*Матишов Д. Г., Матишов Г. Г.* Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 417 с.

*Тенденции и динамика загрязнения природной среды Российской Федерации на рубеже XX–XXI вв.* / Под ред. акад. РАН Ю. А. Израэля. М.: Изд-во Росгидромета, 2007. 65 с.

*Экология промысловых видов рыб Баренцева моря* / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 461 с.

*Aarkrog A.* Radioactivity in Polar Regions – main sources // J. Environ. Radioactivity. 1994. № 25. P. 21–35.

*Bouldakov V. V., Kryshev I. I., Rissanen K.* Dose estimation for the population due to consumption of foodstuff from the Barents Sea // Thesis the 5<sup>th</sup> international conference on Environmental radioactivity in the Arctic and Antarctic, St. Petersburg, Russia, 16–20 June 2002. St. Petersburg, 2002. P. 21–23.

*Crane K., Galasso J. L.* Arctic environmental atlas. Washington DC., 1999. 164 p.

*Pollution Issues: a state of the Arctic environment report AMAP.* Oslo, 1997. 120 p.

*Smith J. N., Ellis K. M., Kilius L. R.* I-129, Cs-137 tracer measurements in the Arctic Ocean // Deep-Sea Res. 1998. № 6. P. 959–984.

*Vertical profiles of artificial radionuclide concentrations in the Central Arctic Ocean* / H. D. Livingston, S. L. Kupferman, V. T. Bowen, R. M. Moore // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1984. Vol. 48. P. 2195–2203.

## КОМПЛЕКСЫ ПОЛИХЕТ К ЮГУ И ЮГО-ВОСТОКУ ОТ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИИ 2015 ГОДА

**Е. А. Фролова<sup>1</sup>, Д. Р. Дикаева<sup>1</sup>, К. С. Хачатурова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия

В ноябре 2015 г. в экспедиции ММБИ КНЦ РАН (НИС “Дальние Зеленцы”) в районе архипелага Шпицберген (юг–юго-восток) на разрезе из шести станциях были взяты пробы бентоса. Придонная температура воды изменялась от 1.42 до 4.82 °С, соленость от 34.4 до 35.07 ‰. Пробы были взяты дночерпателем ван-Вина (0.1 м<sup>2</sup>) в 3-кратной повторности.

В результате идентификации группы многощетинковых червей на станциях разреза были определены 124 таксона, из которых 101 имеют видовой статус. Наиболее разнообразна фауна полихет Медвежинско-Надеждинского мелководья (ст. 27 – 67 таксонов), где происходит смешение теплых атлантических вод Южно-Шпицбергенского течения? поднимающихся по Зюйдкапскому желобу с холодным течением Баренца, огибающим архипелаг Шпицберген с востока. Наименьшим видовым разнообразием отличается северная станция (26) – 47 таксонов. Видовое разнообразие многощетинковых червей увеличивается по мере продвижения по Зюйдкапскому желобу с востока на запад вместе с ростом температуры придонной воды. При этом увеличивается число бореальных видов полихет. На станции 26 зарегистрировано всего 2 бореальных вида, с продвижением на запад их количество постепенно увеличивается до 8 (ст. 31).

Биомасса полихет на станциях изменяется от 24.3 до 100.7 г/м<sup>2</sup>. Максимум биомассы приурочен к ст. 29 (глубина 226 м). Доминирующий вид по биомассе среди полихет здесь *Spiochaetopterus typicus*, как и на других станциях Зюйдкапского желоба. Минимальные значения биомассы полихет отмечены на ст. 27 (Медвежинско-Надеждинское мелководье) и на ст. 31. Доминирует на Медвежинско-Надеждинском мелководье и на ст. 26 *Nephtys ciliata*.

Трофическая структура биомассы полихет меняется в зависимости от изменения факторов среды. На северных станциях 26 и 27 теплые атлантические воды, поступающие по Зюйдкапскому желобу, встречаются с холодным течением Баренца. Здесь, в условиях фронтальной зоны, доминируют плотоядные, среди которых преобладают *N. ciliata*. На ст. 26 доля собирающих детритофагов и плотоядных составляет 47 и 46 % соответственно. На Медвежинско-Надеждинском мелководье (ст. 27) доля плотоядных достигает 64 %, собирающих детритофагов – 24 %. Сильные течения и каменистые грунты благоприятствуют развитию неподвижных сестонофагов – 7 %. С увеличением глубины (ст. 28) доля плотоядных резко уменьшается. На мягких грунтах Зюйдкапского желоба преобладают собирающие детритофаги и грунтоеды, соотношение которых меняется, возможно, в результате изменения кислородного режима.

Плотность поселения полихет изменялась от 1310 до 7217 экз/м<sup>2</sup>, при этом минимальное значение зарегистрировано на ст. 26, максимальное – в Зюйдкапском желобе. Доминировали по плотности поселения на ст. 26 *Galathowenia oculata*, на Медвежинско-Надеждинском мелководье – полихеты семейства Cirratulidae, в Зюйдкапском желобе – *Maldane sarsi*.

Таксоцены полихет выделялись по интенсивности метаболизма. В Зюйдкапском желобе и на ст. 26 преобладал таксоцен *S. typicus*, на Медвежинско-Надеждинском мелководье развивается таксоцен *N. ciliata*.

В результате кластерного анализа выделены комплексы полихет Медвежинско-Надеждинского мелководья, холодноводный баренцевоморский и тепловодный Зюйдкапского желоба.

Комплекс Медвежинско-Надеждинского мелководья развивается на глубине 65 м при средней температуре 2.5 °С на коричневых илах, серой с черными примазками глине с большим количеством донно-каменного материала, ракуши, мертвой органики. Он характеризуется средней биомассой (46.5 г/м<sup>2</sup>) с преобладанием плотоядных (64 %), средней плотностью поселения (3497 экз/м<sup>2</sup>), большим видовым разнообразием (67 таксонов на станцию). Доминирует *N. ciliata*.

Баренцевоморский комплекс развивается на глубине 165 м при температуре 1.42 °С на коричневом слабопесчаном иле, серой и коричневой “сухой” глине с небольшим количеством камней. Он характеризуется небольшой биомассой (26.4 г/м<sup>2</sup>) с примерно равной долей собирающих детритофагов и плотоядных (47 и 46 %), малой плотностью поселения (1310 экз/м<sup>2</sup>), небольшим видовым разнообразием (47 таксонов на станцию). Доминирует *S. typicus*.

Комплекс Зюйдкапского желоба развивается на глубине 141–226 м при температуре 3.08–4.82 °С на коричневом иле, серой с черными прожилками глине с небольшим количеством камней. Для него характерна биомасса от 24.3 до 100.7 г/м<sup>2</sup> (в среднем 57.6 г/м<sup>2</sup>), преобладание собирающих детритофагов и грунтоедов, плотность поселения от 2843 до 7217 экз/м<sup>2</sup> (в среднем 4291 экз/м<sup>2</sup>), видовое разнообразие от 51 до 65 таксонов на станцию (в среднем 58). Доминируют *S. typicus* и *M. sarsi*.

**ПОВЕДЕНИЕ НЕФТИ И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОСАДКОВ МОРСКОГО ДНА  
В АРКТИКЕ: ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ГОТОВНОСТИ К РАЗЛИВАМ НЕФТИ И ОТВЕТНЫХ МЕР**

**Т. Хантер<sup>1</sup>, М. Макаров<sup>2</sup>, Т. Сорокина<sup>3</sup>, А. Трифонов<sup>4</sup>, Д. Воробьев<sup>4</sup>, У. Уайтт<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Абердинский университет, г. Абердин, Великобритания

<sup>2</sup>Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

<sup>3</sup>Северный (Арктический) федеральный университет им. М. В. Ломоносова, г. Архангельск, Россия

<sup>4</sup>Томский государственный университет, г. Томск, Россия

**OIL BEHAVIOUR AND SEABED SEDIMENT POLLUTION IN THE ARCTIC MARINE  
ENVIRONMENT: IMPLICATIONS FOR LEGAL REFORM OF OIL SPILL PREPAREDNESS  
AND RESPONSE**

**T. Hunter<sup>1</sup>, M. Makarov<sup>2</sup>, T. Sorokina<sup>3</sup>, A. Trifonov, D. Vorobiev<sup>4</sup>, U. Witte<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>University of Aberdeen, Aberdeen, UK

<sup>2</sup>Murmansk Marine Biological Institute, Murmansk, Russia

<sup>3</sup>Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russia

<sup>4</sup>Tomsk State University, Tomsk, Russia

The development of the Arctic's enormous hydrocarbon deposits is regulated under existing regulatory frameworks that to date have been adapted to Arctic operating conditions. One such framework is that for oil spill prevention and response. Presently there exists a number of soft and hard law instruments that address the issues relating particularly to oil spill preparedness and response, particularly those arising from the Arctic Council and national laws. For example, Norway and Russia have strong requirements in their national laws necessitating preparedness and response plans for Arctic oil spills. Yet each of these instruments are predicated on the notion that an oil spill will occur on the sea surface, with spill preparedness, planning, modelling and responses similarly centred on ocean surface spills.

However, the Deepwater Horizon incident demonstrated that the source of oil spills may originate from the seabed, with much of the oil spill occurring on the sea bed and into the water column. Such a spill, although rare, demonstrated that in a major spill much of the contamination and impact is below the water surface. Two Arctic-centric features support the notion that a consideration of seabed oil spills is critical: the increased use of seabed installations rather than platforms to develop oil resources, and the behaviour of oil in extremely cold water.

This presentation examines existing Arctic oil spill prevention and response, challenging the existing framework in light of Arctic oil extraction technologies and climatic conditions. It will present the knowledge and gaps associated with oil spills in the Arctic, demonstrating the need for explicit spill regulation and planning throughout the water column and on the seabed rather than the current focus on the sea-water surface. The aim of the analysis is to identify whether new oil spill prevention, preparedness and response frameworks focussing on the seabed and water column are necessary.

**О ДЕГРАДАЦИИ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ В БАССЕЙНЕ  
ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)**

**Р. А. Чернов, А. Я. Муравьев**

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

Современное потепление климата на Шпицбергене, начало которого было отмечено в 1920-х гг., привело к значительному сокращению горного оледенения архипелага (Оледенение ..., 1975). Наиболее масштабные изменения ледников произошли в западной части Земли Норденшельда, где

влияние теплого Шпицбергенского течения создает область повышенного температурного фона. В начале прошлого века горные ледники бассейна залива Грэн-фьорд – Альдегонда, Восточный и Западный Грэнфьорд – спускались в залив, в настоящее время их фронты отступили от береговой линии на 1.5–2.2 км. Примерно на 1 км отступили ледники Вёринг, Вардэ, Баалсруд, Тунге, лежащие в верховьях ледниковых долин. Рекордно отступил на 2.5 км и разделился на три части ледник Янсона в верховье долины Грэнфьордален.

Безусловно, главной причиной деградации горного оледенения является повышение летней температуры воздуха, которое в последние десятилетия сопровождается уменьшением осадков в зимний период (Multidecadal ..., 2016). В связи с этим с 1980-х гг. на Западном Шпицбергене наблюдается повышение уровня климатической снеговой линии. В последние годы в исследуемом районе ее уровень достиг 500–550 м, т. е. стал на 150–200 м выше. По этой причине многие ледники фактически лишились области аккумуляции и оказались “климатически мертвыми”. На основе модельных расчетов летнего таяния их баланс массы в последние десятилетия был устойчиво отрицательный и продолжал уменьшаться (Glaciers ..., 2003). По данным полевых измерений в 2012–2018 гг., среднее значение баланса массы горно-долинного ледника Восточный Грэнфьорд было равно –1600 мм в. э., а минимальное значение за весь период наблюдений (с 1966 г.) было отмечено в 2016/2017 балансовом году (–2000 мм в. э.).

Значительные потери льда, обусловленные летним таянием, привели к отступанию фронтов и периферийных частей ледников. Сравнение данных аэрофотосъемки и данных космических снимков для этого района показало, что с 1936 по 2017 гг. наибольшие изменения площади произошли на ледниках Альдегонда и Вёринг, которые сократились на 50 и 74 % соответственно. В среднем за этот период крупные ледники залива Грэн-фьорд сократились на 49 %, небольшие ледники – до 75 %. В современных климатических условиях ледники исследуемого района будут продолжать деградировать, а небольшие ледники площадью менее 1 км<sup>2</sup> неизбежно исчезнут в ближайшие десятилетия.

### Литература

*Оледенение Шпицбергена (Свальбарда)* / Л. С. Троицкий, Е. М. Зингер, В. С. Корякин и др. М.: Наука, 1975. 275 с.

*Glaciers in Svalbard: Mass balance, runoff and freshwater flux* / J. O. Hagen, J. Kohler, K. Melvold, J. G. Winther // *Polar Res.* 2003. Vol. 22, № 2. P. 145–159.

*Multidecadal climate and seasonal snowconditions in Svalbard* / W. J. J. Van Pelt, J. Kohler, G. E. Liston et al. // *J. Geophysical Res. Earth Surf.* 2016. Vol. 121. P. 2100–2117.

## ДИСКРЕТНЫЕ ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ КАК ИНДИКАТОР ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОЛЯРНОЙ ИОНОСФЕРЫ НА НАВИГАЦИОННЫЕ СИГНАЛЫ

С. А. Черноус<sup>1</sup>, М. В. Филатов<sup>1</sup>, И. И. Шагмуратов<sup>2</sup>, И. И. Ефишов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Калининградский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн, г. Калининград, Россия

Приводятся результаты анализа данных приема навигационных сигналов высокоорбитальных спутников при развитии и наблюдении полярных сияний на станциях в Нью-Олесунне и Баренцбурге (Шпицберген). Продемонстрировано, что дискретные формы полярных сияний, существующие в полярной ионосфере, могут являться независимым признаком присутствия ионосферных авроральных неоднородностей, влияющих на распространение ГНСС-сигналов. Показано, что в высокоширотной ионосфере могут сосуществовать два типа авроральных возмущений, влияющих на распространение навигационных сигналов и регистрируемых оптическими методами – крупномасштабные пятна и дискретные формы. Обсуждается состояние вопроса и анализируются конкретные измерения, включающие наблюдения крупномасштабных пятен и дискретных форм сияний оптическими методами в периоды приема навигационных сигналов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНЕ ЗЕМЛИ ВЕДЕЛЯ ЯРЛСБЕРГА (ШПИЦБЕРГЕН)

В. В. Шарин

Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург – Ломоносов, Россия  
Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Район работ находится в северной части Земли Веделя Ярлсберга (южная часть о. Западный Шпицберген). Приблизительно четверть района, на западе и северо-востоке, занимает акватория Гренландского моря и залив Белльсунн с его восточным ответвлением – Ван-Кёлен-фьордом. Основная часть исследованной территории занята прибрежными равнинами, долинами и горными массивами, которые ограничивают район с запада, севера и востока.

В 2016–2017 годах Шпицбергенской партией ПМГРЭ были выполнены полевые работы на архипелаге Шпицберген, которые состояли из непосредственно полевых исследований и камеральной обработки материалов, проводимой как в полевых лагерях, так и на базе в пос. Баренцбург. Работы проводились на трех участках: Сторвика, Речёрч-фьорд (Чемберлендален) и Калипсо.

В связи тем, что ледники покрывают большую часть района, работы были сконцентрированы на узловых участках (наиболее значимых в геоморфологическом и стратиграфическом отношении).

Одним из главных результатов работ стала геоморфологическая карта северной части Земли Веделя Ярлсберга (масштаб 1:100 000), учитывающая требования Российской Федерации к картам геологического содержания. Необходимость создания геоморфологической карты масштаба северной части Земли Веделя Ярлсберга (района залива Белльсунн) обусловлена целым рядом факторов: различными типами рельефа, развитыми на породах складчатого основания и осадочного чехла, оледенением сетчатого типа, широким распространением перигляциальных образований, форм и элементов рельефа (морских террас, моренных комплексов), картирование которых позволит реконструировать неотектонический режим и восстановить палеогеографические обстановки этого района в плейстоцене–голоцене.

Карта составлена по морфогенетическому принципу. Были закартированы структурно-денудационные, денудационные, абразионно-аккумулятивные, аккумулятивные генетически однородные поверхности и сопутствующие им формы и элементы рельефа. При составлении карты были учтены материалы зарубежных исследователей (The Geographical ..., 2013).

Следующий результат работ – карта толщины льда ледников Земли Веделя Ярлсберга (масштаб 1:250 000). Она составлена на основании опубликованных геофизических данных, результатах бурения (Котляков, Троицкий, 1985; Корякин, 1988; Исе ..., 2014) и наших полевых наблюдений. По геофизическим данным установлено, что максимальная толщина льда исследованного района составляет 619 м (Исе ..., 2014), по данным бурения – 582 м (Котляков, Троицкий, 1985).

Предголоценовые морские осадки обнаружены нами в долине Чемберлендален. В 3.6 км от современной береговой линии в эрозионном борту реки, выполненном темно-серыми алевритами, обнаружены раковины *Mya truncata* (Linne) и *Hiatella arctica* (Linne). Радиоуглеродный возраст по раковинам *Mya truncata* (Linne) составил  $12630 \pm 120$  лет, калиброванный –  $14910 \pm 260$  лет (образец Лу-8793). Таким образом, этот факт указывает, что в долине Чемберлендален, как и во многих других районах архипелага, в этот период господствовали морские условия осадконакопления. Согласно этим данным, дегляциация района происходила примерно 15. тыс. лет назад, что свидетельствует о более раннем отступании ледникового покрова по сравнению с представлениями зарубежных исследователей (The last ..., 1998).

В этой же долине были найдены фрагменты раковин моллюска *Mytilus edulis* (Linne), который является индикатором голоценового климатического оптимума. Радиоуглеродный возраст по этим фрагментам составил  $9530 \pm 180$  лет, калиброванный –  $10850 \pm 250$  лет (образец Лу-8792). Таким образом, эти данные показывают, что голоценовый климатический оптимум установился на приморских равнинах и долинах Земли Веделя Ярлсберга уже в раннем голоцене.

На основании полученных материалов (геоморфологические, гляциологические, макрофаунистические данные) составлены схемы палеогеографических обстановок Земли Веделя Ярлсберга во временном отрезке позднего неоплейстоцена–голоцена.

На изученной площади были решены задачи, связанные с четвертичной геологией района и его геоморфологическим строением. Полученные данные позволят внести вклад в освещение таких вопросов как геоморфологическое строение, восстановление палеогеографических и палеоклиматических обстановок плейстоцена–голоцена, неотектонического режима Шпицбергена и всей Арктики в целом.

### Литература

- Корякин В. С. Ледники Арктики. М.: Наука, 1988. 160 с.
- Котляков В. М., Троицкий Л. С. Новые данные об оледенении Шпицбергена // Вестн. АН СССР. 1985. № 2. С. 128–138.
- Ice Volume Estimates from Ground-Penetrating Radar Surveys, Wedel Jarlsberg Land Glaciers, Svalbard* / F. J. Navarro, A. Martin-Espanol, J. J. Lapazaran et al. // Arctic, Antarctic and Alpine Res. 2014. Vol. 46, № 2. P. 394–406.
- The Geographical environment of NW part of Wedel Jarlsberg Land (Spitsbergen, Svalbard)* / P. Zagórski, M. Harasimiuk, J. Rodzik (Eds.). Lublin: Rubl. Maria Curie-Skłodowska University, 2013. 385 p.
- The last glacial maximum of Svalbard and Barents Sea area: ice sheet extent and configuration* / J. K. Landvik, S. Bondevik, A. Elverhoi et al. // Quaternary Sci. Rev. 1998. Vol. 17. P. 43–75.

### НОВЫЕ ГЕОХРОНОЛОГИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ИЗ РАЗРЕЗА ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ В БУХТЕ СКИЛВИКА (ШПИЦБЕРГЕН)

В. В. Шарин<sup>1,2</sup>, Ф. Е. Максимов<sup>2</sup>, В. Ю. Кузнецов<sup>2</sup>, С. Б. Левченко<sup>2</sup>, А. Ю. Петров<sup>2</sup>, В. А. Григорьев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург – Ломоносов, Россия

<sup>2</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Четвертичная история архипелага Шпицберген вызывает особый интерес, поскольку реконструкция ландшафтно-климатических вариаций в течение данного, достаточно близкого к настоящему времени, геологического периода создает базу для оценки современных и будущих изменений условий природной среды этого полярного региона.

Один из самых интересных разрезов четвертичных отложений на Шпицбергене расположен на южном берегу залива Белльсунн – в бухте Скилвика. Здесь они были изучены российскими (Семевский, 1967; Оледенение ..., 1975; Pleistocene ..., 1979), норвежскими (Weichselian ..., 1992; Fluctuations ..., 1998) и польскими (The Geographical ..., 2013) исследователями.

По результатам полевых работ, проведенных геологами Шпицбергенской партии ПМГРЭ, получены образцы, которые были переданы в лабораторию геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана СПбГУ для определения количественного возраста уран-ториевым (<sup>230</sup>Th/U) и радиоуглеродным (<sup>14</sup>C) методами. Впервые для образцов раковин из этого разреза было применено перекрестное <sup>230</sup>Th/U- и <sup>14</sup>C-датирование. Особенности применения <sup>230</sup>Th/U-метода для определения количественного возраста раковин моллюсков описаны в статье (Уран-ториевое ..., 2016).

Результаты определения радиоизотопного возраста четвертичных отложений изучаемого разреза охватили широкий временной диапазон – от среднего неоплейстоцена до раннего голоцена.

Отложения среднего неоплейстоцена обнаружены в западной части разреза в бухте Скилвика. Осадки залегают на коренных породах палеогена в виде линзы протяженностью до 30 м, мощность до 1.5 м. Образования представлены плотными темно-серыми оскольчатыми алевритами с включением гальки и валунов диаметром до 0.3 м. В отложениях отмечены мелкие линзочки углисто-черных вязких глин. Кроме этого, алевриты вмещают многочисленные мелкие (до 3 мм), неопределимые фрагменты раковин. <sup>230</sup>Th/U-датировка по этим фрагментам раковин составила 158±33/24 тыс. лет и, вероятно, отражает их минимальный возраст, что, по всей видимости, подтверждает среднеплейстоценовый возраст отложений. Нами эта толща интерпретирована как ледниково-морские образования.



Ледниково-морские образования залегают в основании разреза на коренных палеогеновых песчаниках и прослежены по простиранию с запада на восток в пределах 1 км в береговых обрывах бухты Скилвика. Их мощность достигает 6.5 м. Представлены темно-серыми плотными щебневидными алевритами, вмещающими валуны и гальку. Валуны различной степени окатанности, на их поверхности отмечена ледниковая штриховка. В отдельных местах видны структуры облекания (дроп стоуны). По поверхности алевритов прослеживаются солевые выплеты. Толща вмещает многочисленные мелкие (до 4 мм) неопределимые фрагменты раковин двустворок. Проведено  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датирование двух образцов обломков раковин.  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -возраст внешних и внутренних фракций составил  $101\pm 10/9$  и  $99\pm 10/9$  тыс. лет для первого образца и  $79\pm 6$  и  $72\pm 6$  тыс. лет для второго образца.

Эту толщу перекрывают морские серовато-желтые пески с прослоями (1–4 см) гравийников и мелкогалечников. Мощность горизонта варьирует от 0.5 до 3.6 м. Пески вмещают значительное количество фрагментов и раковин двустворок, среди которых доминируют *Macoma calcarea* (Gmelin) и *Serripes groenlandicus* (Bruguiere), а также многочисленные фрагменты *Balanus* sp. По раковинам *Macoma calcarea* (Gmelin) из этой толщи проведено перекрестное датирование  $^{14}\text{C}$ - и  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -методами. Для одного образца возраст по  $^{14}\text{C}$  составил  $39160\pm 1670$  лет (калиброванный –  $43700\pm 1610$  лет) и  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки внешних и внутренних слоев –  $34\pm 3$  и  $86\pm 8/7$  тыс. лет соответственно. Для другого образца возраст по  $^{14}\text{C}$  –  $38560\pm 2020$  лет (калиброванный –  $43410\pm 2050$  лет) и  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки внешних и внутренних слоев –  $56\pm 5$  и  $58\pm 5$  тыс. лет соответственно. Выше расположены ледниковые отложения, перекрывающие нижележащие пачки. Образования имеют пестрый литологический состав: валуны, галечники, разнотернистые светло-серые пески, алевриты. Диаметр отдельных валунов достигает 1.6 м. Мощность горизонта составляет 5 м. Материал не консолидирован, сортировка отсутствует. На многих валунах отмечена ледниковая штриховка. В составе валунов и гальки доминируют вендские тиллиты. Из этой толщи получена TL-датировка, которая показала возраст 26 тыс. лет (Pleistocene ..., 1979).

В кровле разреза четвертичных отложений в бухте Скилвика нами вскрыты морские пески и алевриты, перекрытые прибрежно-морскими косослоистыми гравийниками и галечниками мощностью до 6 м. Для определения количественного возраста были отобраны раковины *Mya truncata* (Linne). Возраст по  $^{14}\text{C}$  составил  $11250\pm 150$  лет (калиброванный –  $13100\pm 150$  лет), а  $^{230}\text{Th}/\text{U}$ -датировки внешних и внутренних слоев –  $11.3\pm 0.9$  и  $8.3\pm 0.7$  тыс. лет соответственно.

Полученные новые возрастные данные могут быть сопоставлены с результатами количественного датирования этого и других разрезов архипелага, опубликованными ранее, в том числе и авторами данной работы (Уран-ториевое ..., 2016; Новые ..., 2017 и др.). Все это позволит более качественно коррелировать хронологию ледниковых и межледниковых событий Шпицбергена с другими районами Арктики.

## Литература

Новые геохронологические данные по разрезам четвертичных отложений архипелага Шпицберген / В. В. Шарин, Ф. Е. Максимов, В. Ю. Кузнецов и др. // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Матер. X Всерос. совещ. по изучению четвертичного периода, г. Москва, 25–29 сентября 2017 г. М.: ГЕОС, 2017. С. 473–475.

Оледенение Шпицбергена (Свальбарда) / Л. С. Троицкий, Е. М. Зингер, В. С. Корякин и др. М.: Наука, 1975. 276 с.

Семевский Д.В. Плейстоценовые отложения Шпицбергена // Материалы по стратиграфии Шпицбергена. Л.: Изд. НИИГА, 1967. С. 205–215.

Уран-ториевое датирование высоких морских террас архипелага Шпицберген / Ф. Е. Максимов, В. В. Шарин, В. Ю. Кузнецов и др. // Вестн. Санкт-Петерб. ун-та. Сер. 7. Геология. 2016. Вып. 2. С. 54–62.

Fluctuations of the Svalbard – Barents Sea ice sheet during the last 150000 years / J. Mangerud, T. Dokken, D. Hebbeln et al. // Quaternary Sci. Rev. 1998. Vol. 17. P. 11–42.

Pleistocene glaciation chronology of Spitsbergen / L. Troitsky, J.-M. Punning, G. Hutt, R. Rajamae // Boreas. 1979. Vol. 8. P. 401–407.

The Geographical environment of NW Part of Wedel Jarlsberg Land (Spitsbergen, Svalbard) / P. Zagórski, M. Harasimiuk, J. Rodzik (Eds.). Lublin: Maria Curie-Skłodowska University, 2013. 385 p.

Weichselian stratigraphy and palaeoenvironments at Bellsund, Western Svalbard / J. Y. Landvik, M. Bolstad, A. K. Lycke et al. // Boreas. 1992. Vol. 21. P. 335–358.

## СООБЩЕСТВА МИКРООРГАНИЗМОВ В ВОДАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА В ИЮЛЕ 2017 ГОДА

Т. И. Широколобова, М. А. Болтенкова, В. В. Водопьянова

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

Воды северных районов Баренцева моря вследствие непродолжительной вегетации планктонных альгоценозов (Кузнецов, Шошина, 2003) большую часть года сохраняют олиготрофный статус (Планктон ..., 1997). Важная роль в трофодинамике столь низкопродуктивных пелагических экосистем отводится микрогетеротрофам, которые, используя образующиеся при фотосинтезе органические вещества, осуществляют передачу запасенной в них энергии на вышестоящие трофические уровни (Pomeroy, 1974; The ecological ..., 1983). При этом главными потребителями растворенной формы органических веществ являются бактерии, наиболее массовые и лабильные представители мельчайших организмов планктона. Немногочисленная информация об их сообществах в водах высокоширотных районов моря и определила актуальность нашего исследования.

Цель работы – изучение количественных характеристик бактериопланктона и факторов среды, определяющих его развитие в верхних слоях пелагиали Баренцева моря в летний период.

На участке с координатами 77.50°–78.75° с. ш., 27.98°–33.48° в. д. с борта НИС “Дальние Зеленцы” было выполнено 6 станций. Анализировали пробы воды с горизонтов 0, 10, 25 и 50 м. Температуру и соленость измеряли СТД-зондом. Бактерио- и вириопланктон определяли методом эпифлуоресцентной микроскопии, применяя, соответственно, ядерные фильтры (диаметр пор 0.2 мкм) с флуорохромом DAPI (Porter, Feig, 1980) и фильтры из оксида алюминия (диаметр пор 0.02 мкм) с флуорохромом SYBR Green I (Noble, Fuhrman, 1998). Концентрацию хлорофилла *a* устанавливали спектрофотометрически (Вода ..., 2001). В статистической обработке результатов применяли стандартный пакет программ Microsoft Excel, ранговый коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ) и U-критерий Манна-Уитни (при  $p < 0.05$ ).

В июле поверхность моря в исследуемых координатах еще не полностью освободилась от льда. В зоне его дрейфа (станции 34–36) в слое 0–10 м температура воды изменялась от –1.40 до –0.11 °С, соленость – от 31.45 до 32.98 ‰, в зоне свободной от льда (станции 29, 31, 38) от –0.60 до 2.39 °С и от 32.13 до 33.99 ‰ соответственно. С увеличением глубины, в слое 25–50 м, температура повсеместно была ниже 0 °С, соленость – выше 34.00 ‰.

Концентрация хлорофилла *a* в зоне плавучих льдов изменялась в диапазоне 0.24–3.05 мг/м<sup>3</sup> (среднее – 0.91 мг/м<sup>3</sup>), в зоне чистой воды – 0.19–1.28 мг/м<sup>3</sup> (0.46 мг/м<sup>3</sup>). Данный показатель в слое 0–10 м первой зоны превышал таковой второй зоны в среднем в 3.7 раза. С глубиной различия в содержании фитопигмента практически исчезали.

Численность и биомасса бактериопланктона в районе наблюдений в среднем достигали 0.39 млн кл/мл и 19.07 мг/м<sup>3</sup> соответственно. При максимальной амплитуде значений в ледовой зоне (0.12–0.76 млн кл/мл и 2.93–41.30 мг/м<sup>3</sup>) и минимальной в зоне чистой воды (0.16–0.49 млн кл/мл и 8.96–24.72 мг/м<sup>3</sup>) величины показателей в них достоверно не различались. На станциях первой и второй зоны средняя численность и биомасса были следующими: 0.44 млн кл/мл, 21.39 мг/м<sup>3</sup> и 0.33 млн кл/мл, 16.75 мг/м<sup>3</sup> соответственно.

Вириопланктон в исследуемых водах распределялся относительно равномерно. Его средняя численность составила 3.29 млн частиц/мл (0.88–8.42 млн частиц/мл) на станциях 34, 35 и 36 и 2.59 млн частиц/мл (1.23–6.89 млн частиц/мл) на станциях 29, 31 и 38. Отношение обилия вирусов к обилию бактерий ( $N_{vir}/N_{bak}$ ) в среднем равнялось 10 как в водах ледовой зоны (диапазон 2–50), так и в водах свободных от льда (диапазон 3–42).

Известно, что в северных районах моря значительное распреснение поверхностных вод при таянии льда создает предпосылки для активной вегетации фитопланктона. В наших исследованиях об активном цветении в водах с низкой температурой и соленостью свидетельствовали значительные концентрации хлорофилла *a*. Между температурой воды и содержанием в ней основного фитопигмента наблюдалась заметная обратная связь ( $r_s = -0.53$ ). По концентрации хлорофилла *a* зона с наличием льда характеризуется как мезотрофно-эвтрофная, зона чистой воды – как мезотрофная (Ведерников, 1975).

Изучение распределения численности бактерий и хлорофилла *a* в открытых и прибрежных акваториях Баренцева моря показало, что пики в развитии фито- и бактериопланктона не совпадают по срокам и следуют друг за другом со смещением обычно в 2–3 недели (Байтаз, 1998).

Среднее обилие бактериальных сообществ в период наших исследований не превышало значений, регистрируемых в олиготрофных морских водах (Сорокин и др., 1996). Корреляционный анализ выявил, что численность и биомасса бактериопланктона значительно связаны с хлорофиллом *a* ( $r_s = 0.67$  и  $r_s = 0.43$  соответственно), однако развитие микробных сообществ еще не достигло уровня, отмечаемого в июле в арктических водах (слой 0–50 м) Баренцева моря при цветении [0.2–3.2 млн кл/мл (среднее 0.9 млн кл/мл)] (Bacterial ..., 2008).

Особенности распределения вириопланктона, регулирующего состав микробных сообществ посредством лизиса, и отсутствие достоверной связи между ним и бактериопланктоном предполагают, что в период исследований вирусы не оказывали активного влияния на численность бактерий. Широкий диапазон и повышенные средние значения соотношения  $N_{vir}/N_{bak}$  по-видимому свидетельствуют о значительной доле лизогенных клеток в составе бактериоценоза на этапе его перехода от условий лимитирования к условиям избыточного поступления субстрата в среду в результате вегетации фитопланктона.

Результаты исследований ММБИ КНЦ РАН получены по теме 9-17-01(51) в рамках госзадания № 0228-2016-0001. Обработка материала выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 17-14-01268).

## Литература

Байтаз О. Н. Пространственно-временная изменчивость бактериопланктона Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук (03.00.18 – гидробиология). М., 1998. 25 с.

Ведерников В. И. Зависимость ассимиляционного числа и концентрации хлорофилла *a* от продуктивности вод в различных температурных областях Мирового океана // Океанология. 1975. Т. 15, вып. 4. С. 703–707.

Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a* (ГОСТ 17.1.4.02-90). М.: Изд-во стандартов, 2001. 10 с.

Кузнецов Л. Л., Шошина Е. В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. 308 с.

Планктон морей Западной Арктики / Отв. ред. Г. Г. Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 352 с.

Сорокин Ю. И., Вишнев В. С., Домников В. С. Биологическая структура вод, ее изменчивость и состояние гидробионтов // Техногенное загрязнение и процессы естественного самоочищения Прикавказской зоны Черного моря. М.: Недра, 1996. С. 266–312.

Bacterial biomass and activity in the marginal ice zone of the northern Barents Sea / H. Tammert, K. Olli, M. Sturluson, H. Hodal // Deep-Sea Res. II. 2008. Vol. 55. P. 2199–2209.

Noble R. T., Fuhrman J. A. Use of SYBR Green for rapid epifluorescence count of marine viruses and bacteria // Aquat. Microb. Ecol. 1998. Vol. 14. P. 113–118.

Pomeroy L. R. The ocean's food web, a changing paradigm // Bioscience. 1974. Vol. 24. P. 499–504.

Porter K. G., Feig Y. S. The use DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25, № 5. P. 943–948.

The ecological role of water-column microbes in the sea / F. Azam, T. Fenchel, J. D. Field et al. // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1983. Vol. 10. P. 257–263.

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И СОДЕРЖАНИЕ ПИГМЕНТОВ ПЛАСТИД У РАСТЕНИЙ ПОДУШКОВИДНЫХ ФОРМ В АРКТИЧЕСКИХ ТУНДРАХ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Н. Ю. Шмакова<sup>1</sup>, Е. Ф. Марковская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н. А. Аврорина КНЦ РАН, г. Кировск, Мурманская область, Россия

<sup>2</sup>Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

Подушковидные растения – успешная форма роста растений в высоких широтах и различных ландшафтах Арктики. Эта форма роста улучшает физические условия произрастания растений. Отмерший органический материал накапливается внутри подушки и имеет запас азота в форме, способствующей разложению органического вещества, и может способствовать росту в малопродуктивных экосистемах Арктики.

Нами проведены исследования содержания пигментов пластид у разных видов растений с подушковидной жизненной формой на Западном Шпицбергене. Большинство исследованных видов принадлежат к семействам Caryophyllaceae (*Sagina nivalis*, *S. cespitosa*, *Minuartia rubella*, *M. biflora*, *Arenaria pseudofrigida*, *Silene acaulis*) и Saxifragaceae (*Saxifraga oppositifolia*, *S. aizoides*, *S. cespitosa*). Содержание хлорофиллов и каротиноидов определяли спектрофотометрическим методом (СФ-26, Россия).

Исследованные виды растений имеют содержание суммы хлорофиллов ниже 1 мг/г сырой массы. Наиболее низкие значения содержания хлорофиллов отмечены у *Silene acaulis* и *Saxifraga cespitosa*. Большая часть видов этой группы имеет соотношение *a/b* высокое (выше 3), что свидетельствует об их светолюбии. У видов сем. Saxifragaceae этот показатель ниже 3. Соотношения хлорофиллов к каротиноидам варьируют незначительно.

Низкое содержание пигментов компенсируется у этой жизненной формы способностью к увеличению ассимиляционного аппарата за счет роста побеговой системы растения. При расчете на всю ассимилирующую поверхность фотосинтетическая продуктивность этой группы растений становится достаточно высокой. Подушковидные растения отличаются наиболее мелкими и толстыми листьями, крупными клетками и максимальным количеством хлоропластов в единице площади объема листа, имеют наиболее высокие индексы мембранных структур в клетке (мембран клеток и хлоропластов), что свидетельствует о высокой функциональной активности.

На юго-западном склоне горы Улаф (Баренцбург) проведено исследование размеров подушек *Silene acaulis* у 50 особей, произрастающих на участке площадью 1000 м<sup>2</sup>. Подушки *Silene acaulis* были разных размеров – от 0.27 до 110 дм<sup>3</sup>. Большая часть из них (58 %) имеют поверхностный объем до 5 дм<sup>3</sup>, 17 % – до 10 дм<sup>3</sup>, 15 % – до 20 дм<sup>3</sup>, 6 % – до 30 дм<sup>3</sup>, 4 % – до 110 дм<sup>3</sup>. Крупные экземпляры произрастали у подножья склона, что связано с особенностями обитания этой жизненной формы. Корреляционный анализ между поверхностным объемом подушки и их периметром показал высокий уровень связи ( $r = 0.8$ ), что дает основание проводить сравнение подушек на основании более простого показателя – периметра. Средний объем подушки *Silene acaulis* на исследуемом склоне оказался  $9.8 \pm 2.5$  дм<sup>3</sup>, ее средний периметр –  $121.9 \pm 6.6$  см.

Условия Арктики, в которых произрастают эти растения, характеризуются высоким уровнем нестабильности суточного температурного режима. Подушковидные формы имеют специфический механизм терморегуляции, связанный с процессом поглощения световой энергии “подушкой” как “линзой”, дыхательным газообменом как в системе надземных, так и подземных органов в связи с локальным разложением органического вещества. Измерения температуры проведены непосредственно над и на поверхности и в толще подушки на разной глубине.

Показано, что температура на поверхности подушек была на 3–5 °С выше температуры окружающего воздуха. Внутри подушки на глубине температура варьировала в пределах 1.1–1.2 °С, но оставалась выше температуры окружающего воздуха. Внутри подушковидных растений создается довольно стабильный температурный режим, способствующий нивелированию резких кратковременных колебаний температуры и играющий роль в быстром восстановлении физиологической активности генеративных и вегетативных органов после заморозков и холодных ночей. Одним из источников теплоемкости является процесс разложения органики внутри крупных плотных подушковидных форм, что приводит к повышению средней температуры внутри этих

растений. Для подушек наиболее активно процесс разложения происходит на глубине 20–25 см, где отмечается некоторое повышение температуры.

Подушки относятся к долгоживущим растениям. Подушки *Silene acaulis* могут жить до 350 лет и достигать в диаметре до 180 см. С использованием радиоактивного метода был проанализирован возраст исследованной крупной подушки. Возраст растения в самой нижней части оказался около 200 лет, что согласуется с данными других исследователей для *S. acaulis* в более южных широтах.

Подушковидные жизненные формы могут служить субстратом нескольким поколениям колонизирующих растений. Механические свойства подушки, такие как компактность, способствуют заселению их другими организмами. Проведенное исследование показало, что в разных подушках *Silene acaulis* встречается до 16 сопутствующих видов: *Oxyria digyna*, *Salix polaris*, *Poa alpigena*, *Poa arctica*, *Poa pratensis*, *Bistorta vivipara*, *Equisetum arvense*, *Draba alpina*, *Cerastium alpinum*, *Luzula confusa*, *Minuartia biflora*, *Ranunculus pygmaeus*, *Dryas octopetala*, *Carex bigelowii*, *Saxifraga cespitosa*, *Trisetum spicatum*. Из них наиболее часто встречалась *Bistorta vivipara*, *Salix polaris*, *Oxyria digyna*, *Dryas octopetala*, *Trisetum spicatum*, *Carex bigelowii*, *Poa pratensis*, остальные виды – единично. Виды растений, колонизирующих подушки, всегда встречаются и на открытом пространстве, т. е. подушки не влияют на видовое богатство крупных территорий, но могут увеличивать локальное биоразнообразие сообщества. В условиях Шпицбергена нами обнаружено, что в одной подушке *Silene acaulis* произрастало до 5 видов растений, а крупные подушки могут быть “фитоценозами”, состоящими из 12 видов. Защищенные подушками растения могут не только иметь более высокую температуру для роста (на 1–2 °С), что важно для растений, существующих на нижней границе температурного оптимума, но и избегать стрессов, связанных с резким изменением температуры.

Таким образом, низкое содержание пигментов в единице массы подушковидных растений компенсируется большим объемом надземной фотосинтезирующей биомассы, что обеспечивает этой форме роста успешное произрастание в экстремальных условиях и создание оптимально локальных климатических условий для произрастания.

## ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ДАТИРОВКА РУССКИХ ПОСЕЛЕНИЙ НА ЮГЕ ШПИЦБЕРГЕНА: СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАДИОУГЛЕРОДНОГО АНАЛИЗА

О. И. Шумилов<sup>1,2</sup>, Е. А. Касаткина<sup>1,2</sup>, М. Крапиек<sup>3</sup>, Я. Хохоровски<sup>4</sup>, Э. Жиховска-Крапиек<sup>3</sup>,  
А. Г. Канатьев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Полярный геофизический институт, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера КНИЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область,  
Россия

<sup>3</sup>Научно-технический университет, г. Краков, Польша

<sup>4</sup>Ягеллонский университет, Институт археологии, г. Краков, Польша

## TREE-RING DATING OF RUSSIAN SETTLEMENTS AT SOUTHERN SPITSBERGEN: COMPARISON WITH THE RESULTS OF RADIOCARBON ANALYSIS

O. I. Shumilov<sup>1,2</sup>, E. A. Kasatkina<sup>1,2</sup>, M. Krapiec<sup>3</sup>, J. Chochorowski<sup>4</sup>, E. Szychowska-Krapiec<sup>3</sup>,  
A. G. Kanatjev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Polar Geophysical Institute, Apatity, Russia

<sup>2</sup>Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Apatity, Russia

<sup>3</sup>University of Science and Technology, Krakow, Poland

<sup>4</sup>Jagiellonian University, Institute of Archaeology, Krakow, Poland

The earliest history of the Spitsbergen archipelago (Svalbard) is still a subject of discussion. According to the “Viking hypothesis” Svalbard was discovered in the 12<sup>th</sup> century by Norse sailors (Albrethsen, Arlov, 1988; Arlov, 2005). Famous Russian archaeologist V. F. Starkov declared that Russian

hunting in the Spitsbergen archipelago was initiated in 1550 (if not earlier) (Starkov, 1988, 2009). Officially, the archipelago was discovered in 1596 by Dutch explorer Willem Barentsz. While Barentsz' discovery in 1596 is generally accepted as a historical fact, the question about the earlier visits of the Russian Pomors at Svalbard remains controversial and needs reinforcement with new data (Arlov, 2005; Hultgreen, 2005; Chochorowski, Krapiec, 2017). The results of the dendrochronological analysis of the three Russian hunting stations in Southern Spitsbergen (Bjornbeinflyene, Palffyodden and Schonningholmane) and their comparison with the results of radiocarbon and archaeological analysis are presented. These stations were discovered during excavations conducted by the Polish archaeological expedition of Jagiellonian University in the Sorkapland and Hornsund fjord regions of Spitsbergen (Chochorowski, Krapiec, 2017). Wood samples found during excavations are fragments of wood dwellings, monumental crosses, and a shipwreck. Some of them were analyzed with help of radiocarbon dating and wiggle-matching method at the University of Science and Technology and the Laboratory of Absolute Dating (Krakow, Poland) (Chochorowski, Krapiec, 2017). Here we present the results of dendrochronological dating of some floating chronologies. In total, 8 samples of larch (3 pieces) and pine (5 pieces) were examined. These samples are constructional elements of dwellings, appearing to be prefabricates brought from the continent. Traditionally, the Pomor hunting huts were mostly prefabricated and brought from the mainland, and only the oldest ones were built of driftwood timber (Starkov, 2009). To obtain absolute dates, these floating chronologies were cross-dated against more than 200 master tree-ring chronologies from Siberia, Komi, Archangelsk region, Karelia, Kola Peninsula, and Northern Fennoscandia, including our own data. Cross-dating was performed by CORINA software which includes *t*-values calculated with different detrending options. Samples from two stations (Bjornbeinflyene and Schonningholmane) were successfully dendro-dated with the existing master tree-ring chronologies. The dendro-dating obtained for the wood samples from these two stations were established as AD 1759–1812 (*t* = 5.7; pine, Archangelsk region) and AD 1698–1776 (*t* = 4.6; larch, Yamal Peninsula) respectively. The first dating does not contradict the results of radiocarbon and archaeological dating. The discovery of some relics in Bjornbeinflyene (kaolinite pipe) helped determine 1770–1810 as the time period when the hut was used. In other cases, additional information is required. Nevertheless, the second dating is consistent with the fact that since the XV century, the Pomors regularly went on their ships from Arkhangelsk to the Yamal Peninsula and the Gulf of Ob where they founded the town of Mangazeya. This route, known as the Mangazeya seaway, was an early precursor to the Northern Sea Route. Using our own tree-ring chronology developed from *Pinus sylvestris* L. samples collected near the northern timber line at Kola Peninsula (68.6° N; 33.3° E), we discuss climatic variations in Arctic during the periods of the supposed discovery of Svalbard by Vikings in the 12<sup>th</sup> century and by Russian Pomors in the 16<sup>th</sup> century. Our results confirmed the radiocarbon and archaeological dating of Russian hunting stations at South Spitsbergen.

## Literature

Albrethsen S. E., Arlov T. B. The discovery of Svalbard – a problem reconsidered // *Fennoscandia archaeologica*. 1988. Vol. 5. P. 105–110.

Arlov T. B. The discovery and early exploitation of Svalbard. Some historiographical notes // *Acta Borealia*. 2005. Vol. 22. P. 3–19.

Chochorowski J., Krapiec M. Dating of Russian hunting stations in South Spitsbergen using dendrochronological and radiocarbon analyses // *Radiocarbon*. 2017. Vol. 59. P. 519–530.

Hultgreen T. The chronology of the Russian hunting stations on Svalbard: A reconsideration // *Acta Borealia*. 2005. Vol. 22. P. 79–91.

Starkov V. F. Russian sites on Spitsbergen and the problem of chronology // *Fennoscandia archaeologica*. 1988. Vol. 5. P. 111–116.

Starkov V. F. Ocherki istorii osvoenija Arktiki. T. 1. Spitsbergen. (Review of the Arctic pioneering). Moscow: Scientific World, 2009. 96 p. (in Russian).

## СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
<i>Макаревич П. Р., Моисеев Д. В.</i> Исследования Мурманского морского биологического института в районе архипелага Шпицберген в 2017–2018 годах .....	5
<i>Анциферова А. Р., Сиеккинен Е. Д., Чаус О. М.</i> Погодно-климатические особенности архипелага Шпицберген в XXI веке .....	6
<i>Асминг В. Э., Федоров А. В., Аленичева А. О., Евтюгина З. А.</i> Применение системы автоматической локации NSDL для детального изучения сейсмичности архипелага Шпицберген .....	7
<i>Ахметчина О. Ю.</i> Современные исследования таксономической структуры и распределения мшанок ( <i>Bryozoa</i> ) в водах юго-западной части архипелага Шпицберген ...	8
<i>Балабин Ю. В., Гвоздевский Б. Б., Германенко А. В., Маурчев Е. А., Михалко Е. А., Григорьев В. Ф., Щур Л. И.</i> Станция космических лучей на Шпицбергене .....	10
<i>Балабин Ю. В., Гвоздевский Б. Б., Германенко А. В., Маурчев Е. А., Михалко Е. А., Григорьев В. Ф., Щур Л. И.</i> Исследование вариаций фонового гамма-излучения в Баренцбурге ...	11
<i>Балякин Г. Г., Губаницев М. А., Ившин В. А.</i> Особенности океанографических условий и промысла трески в районе архипелага Шпицберген в 2009–2017 годах .....	12
<i>Баранов С. В., Асминг В. Э., Виноградов А. Н., Федоров А. В.</i> Сейсмичность района архипелага Шпицберген в 2016 и 2017 годах .....	13
<i>Белкина О. А., Лихачев А. Ю.</i> Влияние экологических факторов на локальные флоры мхов Шпицбергена .....	15
<i>Берченко И. В., Зимина О. Л.</i> Особенности распределения ледовой фауны и некоторых видов зоопланктона в прикромочной зоне в северо-западной части Баренцева моря .....	17
<i>Блошкина Е. В., Фильчук К. В., Рыжов И. В.</i> Современное состояние вод фьордов Западного Шпицбергена .....	17
<i>Богородский П. В., Фильчук К. В., Куссе-Тюз Н. А., Рыжов И. В.</i> Особенности формирования снежного льда в заливе Диксон-фьорд (Западный Шпицберген) .....	18
<i>Богородский П. В., Фильчук К. В., Марченко А. В., Пнюшков А. В., Рыжов И. В., Морозов Е. Г.</i> Рост припая и замерзание дна залива Браганцаваген (Ван-Майен-фьорд, Западный Шпицберген) .....	19
<i>Васильев А. А., Стрелецкая И. Д., Облогов Г. Е.</i> Содержание и эмиссия метана в атмосферу в доминантных ландшафтах типичных тундр западного сектора российской Арктики .....	20
<i>Виноградов Ю. А., Федоров А. В.</i> Применение методов геофизического мониторинга для определения мест технических аварий .....	22
<i>Водопьянова В. В., Ващенко П. С., Калинин О. П.</i> Концентрация хлорофилла в пелагиали прибрежья и фьордах архипелага Шпицберген в летний период .....	23
<i>Воскобойников Г. М., Рыжик И. В., Салахов Д. О.</i> Карликовые фукусы на архипелаге Шпицберген .....	25
<i>Вязилова А. Е., Алексеев Г. В., Смирнов А. В.</i> Экспериментальный аппаратно-программный комплекс мониторинга и прогноза климатических изменений в зоне архипелага Шпицберген и в западном секторе арктической зоны Российской Федерации ...	26
<i>Гудимов А. В.</i> Исследования поведения двустворчатого моллюска <i>Chlamys islandica</i> в заливе Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) .....	27
<i>Дворецкий В. Г., Дворецкий А. Г.</i> Зимний зоопланктон прибрежных вод Шпицбергена .....	28
<i>Демешкин А. С.</i> Стойкие органические загрязнители в природной среде острова Западный Шпицберген .....	30
<i>Демидов Н. Э., Веркулич С. Р., Саватюгин Л. М.</i> Первые результаты мерзлотных наблюдений на криосферном полигоне Российского научного центра на архипелаге Шпицберген .....	31
<i>Державин В. Л.</i> Рекогносцировочная русско-шведская экспедиция на Шпицбергене 1898 года .....	32
<i>Дикаева Д. Р., Фролова Е. А.</i> Распределение полихет в районе архипелага Шпицберген ...	34

Дружкова Е. И. Нанофитопланктон фьордов Западного Шпицбергена в летний период 2001 и 2017 годов. Сравнительный анализ .....	35
Друщиц В. А., Садчикова Т. А. Эволюция криогенных скоплений гидратов природного газа в арктических регионах в квартере .....	36
Етифанов В. П. Влияние естественных факторов на морфологию снежного покрова (по данным экспериментов на Шпицбергене) .....	38
Етифанов В. П. Тектоническая структура и распределение скоростей в придонных слоях ледников .....	40
Жилин А. Ю., Плотицына Н. Ф., Лантева А. М. Мониторинг стойких органических загрязнителей и тяжелых металлов в промысловых рыбах Медвежинско-Шпицбергенского района .....	41
Зимица О. Л. Peracarida (Crustacea, Malacostraca) фьордов и прилегающего шельфа архипелага Шпицберген .....	43
Иванов Б. В. Закономерности и различия первого и современного потепления в Арктике на примере архипелага Шпицберген .....	44
Ильин Г. В., Усягина И. С., Валуйская Д. А. Влияние ледников на радиозоологическое состояние морской среды во фьордах Шпицбергена .....	46
Ильясова А. И., Голиков А. В., Порфирьев А. Г., Сабиров Р. М. Морфология добавочных нидаментальных желез самок двух видов рода <i>Rossia</i> (Cephalopoda, Sepiolida) из Баренцева моря .....	47
Ишуклова Т. Г., Пастухов И. А. Гидрохимический режим заливов Ис-фьорд и Грён-фьорд архипелага Шпицберген в зимний период .....	49
Канафина М. М., Голиков А. В., Сабиров Р. М., Захаров Д. В. Репродуктивная биология <i>Rossia megarptera</i> в Баренцевом море и прилегающих акваториях .....	51
Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Сидорова Т. И. Влияние ландшафтного положения на эмиссию CO <sub>2</sub> почвами в окрестностях пос. Баренцбург (Шпицберген) .....	52
Кашулина Г. М., Литвинова Т. И., Коробейникова Н. М. Комплексные биогеохимические исследования окружающей среды в районе Ис-фьорда (Шпицберген) .....	54
Кондакова В. Н., Поляков В. И., Явид Е. Я., Абакумов Е. В. Почвенное разнообразие основных ландшафтов в районе залива Грён-фьорд (архипелаг Шпицберген) .....	56
Конорова Л. А. Лишайники окрестностей бывшего поселка Колсбей (Западный Шпицберген) .....	57
Константинова Н. А., Савченко А. Н. Коллекция мохообразных Шпицбергена в гербарии ПАБСИ и ее значение .....	58
Королева Н. Е., Данилова А. Д. Сравнение гольцовых пустынь Кольского полуострова и Шпицбергена .....	60
Кременецкая Е. О., Виноградов Ю. А. Геофизический мониторинг антропогенных факторов на Шпицбергене .....	61
Кукса К. А., Шарин В. В., Окунев А. С., Костева Н. Н., Сироткин А. Н., Сумина В. А. Влияние состава коренных пород на геохимический облик и уровни содержания тяжелых металлов в почвах о. Западный Шпицберген (долина Чемберлендален) .....	63
Кустов В. Ю., Богородский П. В. Динамика глубины сезонного протаивания вечной мерзлоты прибрежной зоны Западного Шпицбергена в условиях современных изменений климата .....	64
Ларченко А. В., Пильгаев С. В., Лебедь С. В., Федоренко Ю. В. Особенности структуры электромагнитного поля ОНЧ-диапазона на архипелаге Шпицберген в экспериментах по нагреву ионосферы .....	65
Лебедева Н. В. Птицы ранней весной в окрестностях пос. Баренцбург (Шпицберген) ...	66
Лебедева Н. В., [Фатеев Н. Н.], Никулина А. Л., Зимица О. Л., Гарбуль Е. А. Ртуть в бентосе заливов Западного Шпицбергена в летний период 2017 года .....	67
Летихина П. П., Голиков А. В., Сабиров Р. М., Захаров Д. В., Зимица О. Л. Морфология репродуктивной системы <i>Rossia moelleri</i> (Cephalopoda, Sepiolida) на шельфе евразийской Арктики .....	68
Литвинова Т. И., Кашулина Г. М., Коробейникова Н. М. Морфолого-генетическая характеристика торфяно-глеезема в пойме реки Грён острова Западный Шпицберген .....	70
Мавлюдов Б. Р., Кудиков А. В. Изменение ледника Альдегонда с начала XX века ....	72



Меркулов В. А., Тимохов Л. А., Фильчук К. В. Многолетняя изменчивость уровня моря в прибрежной зоне архипелага Шпицберген на фоне климатических изменений .....	73
Мещеряков Н. И., Тарасов Г. В., Новиков А. Л. Сезонные особенности вертикального потока осадков в озере Бретгёрна (Западный Шпицберген) .....	75
Милославский М. Ю., Сироткин А. Н., Костева Н. Н. Главные черты геологического строения складчатого основания северной части Земли Веделя Ярлсберга (Юго-Западный Шпицберген) .....	77
Мингалев И. В., Орлов К. Г., Мингалев В. С. Численное моделирование циркуляции нижней и средней арктической атмосферы и влияния на нее горных массивов Шпицбергена .....	78
Мовчан В. В., Кустов В. Ю., Богородский П. В., Макитас А. П., Сидорова О. Р., Тарасов Г. В. Результаты измерений параметров приземного слоя атмосферы в районе Баренцбурга в 2017–2018 годах .....	80
Моисеев Д. В., Духно Г. Н. Верификация температуры поверхности моря и концентрации хлорофилла в Ис-фьорде по данным дистанционного зондирования и <i>in situ</i> ...	80
Моисеев Д. В., Максимовская Т. М. Межгодовая динамика распространения атлантических вод в заливе Ис-фьорд в 2001–2018 годах .....	82
Морозов Г. С., Сабиров Р. М., Стрелкова Н. А. Фауна губок (Porifera) шельфа и батиали Западного Шпицбергена и пути ее формирования .....	83
Мосеев Д. С., Сергиенко Л. А. Первые геоботанические исследования на островах Сальм, Ли-Смита, Этеридж архипелага Земля Франца-Иосифа .....	85
Мосеев Д. С., Сергиенко Л. А. Пространственная структура растительного покрова в эстуарии реки Дресвянка Печорской губы Баренцева моря .....	87
Мухин В. А., Новиков В. Ю. Эколого-биохимические основы морского арктического биопроспектинга .....	88
Новиков М. А. Применение цифровой модели донных отложений Баренцева моря для анализа загрязнения .....	90
Окунев А. С. Рельеф и четвертичные отложения района бухты Сторвика (архипелаг Шпицберген) .....	92
Пантелеева Н. Н. Гидроиды и гидромедузы прибрежных вод архипелага Шпицберген .....	93
Полещук К. В., Веркулич С. Р., Пушина З. В., Окунев А. С. Ископаемые диатомовые комплексы голоценовых морских отложений района Дундербухты (Западный Шпицберген) ...	95
Радионов В. Ф., Кабанов Д. М., Козлов В. С., Сакерин С. М., Сидорова О. Р., Чернов Д. Г. Оптические и микрофизические характеристики аэрозоля в районе Баренцбурга (2011–2017 годы) .....	97
Ролдугин А. В., Козелов Б. В., Пильгаев С. В. Узкоугольная камера для авроральных исследований .....	99
Романова Н. Ю. Исследование мелкомасштабных неоднородностей в F-области ионосферы над архипелагом Шпицберген (пос. Баренцбург) .....	99
Самодова А. В., Добродеева Л. К., Штаборов В. А., Пашинская К. О. Влияние реакций мозгового натрийуретического пептида, ирисина, эндотелина-1 на состояние иммунной системы у лиц, работающих на архипелаге Шпицберген .....	100
Сергиенко Л. А., Мосеев Д. С., Зорина Н. А., Гаврило М. В. Экологическая классификация сосудистых растений Евро-Арктического шельфа (архипелаги Земля Франца-Иосифа и Новая Земля) .....	102
Скаун А. А., Чихачев К. Б., Верес А. Н., Козачек А. В., Владимирова Д. О., Екайкин А. А., Сидорова О. Р., Веркулич С. Р. Вариации изотопного состава осадков в пос. Баренцбург (Западный Шпицберген) .....	103
Соловьева Д. А., Савельева Л. А., Веркулич С. Р., Дорожкина М. П. Палинологические исследования четвертичных отложений на архипелаге Шпицберген: история и перспективы .....	104
Сосновский А. В., Осокин Н. И. Влияние мохового и снежного покровов на устойчивость многолетней мерзлоты на Западном Шпицбергене при климатических изменениях .....	106

<i>Сосновский А. В., Осокин Н. И.</i> К оценке термического сопротивления снежного покрова на Западном Шпицбергене .....	108
<i>Третьяков М. В., Бирюкова В. А.</i> Многолетние изменения элементов водного баланса реки Альдегонда (Западный Шпицберген) .....	109
<i>Третьяков М. В., Ромашова К. В.</i> Оценка годового стока воды и наносов рек залива Грэн-фьорд (архипелаг Шпицберген) в современных климатических условиях .....	111
<i>Усягина И. С., Касаткина Н. Е., Матишов Г. Г.</i> Искусственная радиоактивность вод морей Полярного бассейна .....	113
<i>Фролова Е. А., Дикаева Д. Р., Хачатурова К. С.</i> Комплексы полихет к югу и юго-востоку от архипелага Шпицберген по результатам экспедиции 2015 года .....	114
<i>Хантер Т., Макаров М., Сорокина Т., Трифонов А., Воробьев Д., Уайт У.</i> Поведение нефти и загрязнение осадков морского дна в Арктике: значение для правового регулирования обеспечения готовности к разливам нефти и ответных мер .....	116
<i>Чернов Р. А., Муравьев А. Я.</i> О деградации горных ледников в бассейне залива Грэн-фьорд (Западный Шпицберген) .....	116
<i>Черноус С. А., Филатов М. В., Шагимурастов И. И., Ефишов И. И.</i> Дискретные полярные сияния на Шпицбергене как индикатор влияния состояния полярной ионосферы на навигационные сигналы .....	117
<i>Шарин В. В.</i> Результаты геоморфологических исследований в районе Земли Веделя Ярлсберга (Шпицберген) .....	118
<i>Шарин В. В., Максимов Ф. Е., Кузнецов В. Ю., Левченко С. Б., Петров А. Ю., Григорьев В. А.</i> Новые геохронологические данные из разреза четвертичных отложений в бухте Скилвика (Шпицберген) .....	119
<i>Широколобова Т. И., Болтенкова М. А., Водопьянова В. В.</i> Сообщества микроорганизмов в водах северо-западной части Баренцевоморского шельфа в июле 2017 года .....	121
<i>Шмакова Н. Ю., Марковская Е. Ф.</i> Структурно-функциональные особенности и содержание пигментов пластид у растений подушковидных форм в арктических тундрах Западного Шпицбергена .....	123
<i>Шумилов О. И., Касаткина Е. А., Крапиек М., Хохоровски Я., Жиховска-Крапиек Э., Канатъев А. Г.</i> Дендрохронологическая датировка русских поселений на юге Шпицбергена: сравнение с результатам радиоуглеродного анализа .....	124

## CONTENTS

	Page
<i>Makarevich P. R., Moiseev D. V.</i> Murmansk Marine Biological Institute research in the area of Spitsbergen in 2017–2018 .....	5
<i>Antsiferova A. R., Siekkinen E. D., Chaus O. M.</i> Weather and climatic features of Spitsbergen in XXI Century .....	6
<i>Asming V. E., Fedorov A. V., Alenicheva A. O., Jevtjugina Z. A.</i> Usage of the NSDL location system for the detailed study of the Spitsbergen archipelago seismicity .....	7
<i>Akhmetchina O. Yu.</i> Modern research of taxonomic structure and distribution of bryozoans (Bryozoa) in waters of south-western part of Spitsbergen archipelago .....	8
<i>Balabin Yu. V., Gvozdevsky B. B., Germanenko A. V., Mauricev E. A., Mikhalko E. A., Grigoriev V. F., Shchur L. I.</i> Cosmic ray station of Spitsbergen archipelago .....	10
<i>Balabin Yu. V., Gvozdevsky B. B., Germanenko A. V., Mauricev E. A., Mikhalko E. A., Grigoriev V. F., Shchur L. I.</i> Investigation of background gamma-ray variation in Barentsburg .....	11
<i>Balyakin G. G., Gubanishchev M. A., Ivshin V. A.</i> Features of oceanographic conditions and cod fishing near the Spitsbergen archipelago in 2009–2017 .....	12
<i>Baranov S. V., Asming V. E., Vinogradov A. N., Fedorov A. V.</i> Seismicity of the Spitsbergen archipelago area in 2016 and 2017 .....	13
<i>Belkina O. A., Likhachev A. Yu.</i> The influence of some ecological factors on local bryofloras in Spitsbergen .....	15
<i>Berchenko I. V., Zimina O. L.</i> Peculiarities of distribution of sympagic ice fauna and some zooplankton species near the ice edge in the north-western part of Barents Sea .....	17
<i>Bloshkina E. V., Filchuk K. V., Ryzhov I. V.</i> The present water masses conditions of West Spitsbergen fjords .....	17
<i>Bogorodskii P. V., Filchuk K. V., Kusse-Tiuz N. A., Ryzhov I. V.</i> Features of snow ice formation in dicksonfjorden (Spitsbergen) .....	18
<i>Bogorodskii P. V., Filchuk K. V., Marchenko A. V., Pnyushkov A. V., Ryzhov I. V., Morozov Ye. G.</i> The fast-ice growth and freezing of the bottom in the Braganzavågen gulf (Van Mijenfjorden, Spitsbergen) .....	19
<i>Vasiliev A. A., Streletskaya I. D., Oblogov G. E.</i> Methane production and emission in the dominant ecosystems of the typical tundra of western Russian Arctic .....	20
<i>Vinogradov Yu. A., Fedorov A. V.</i> An application of the methods of the geophysical monitoring for the sites of technical accidents location .....	22
<i>Vodopyanova V. V., Vashenko P. S., Kalinka O. P.</i> The chlorophyll concentration in the coastal pelagic zone and fjords of Spitsbergen in summer time .....	23
<i>Voskoboinikov G. M., Ryzhik I. V., Salakhov D. O.</i> Undersized fucuses in the archipelago of Spitsbergen .....	25
<i>Vyazilova A. E., Alekseev G. V., Smirnov A. V.</i> Experimental hardware and software system for climate change monitoring and forecast in Spitsbergen and the western part of arctic zone of the Russian Federation .....	26
<i>Gudimov A. V.</i> Behavioral research of the bivalve <i>Chlamys islandica</i> in the Grøn fjord (West Spitsbergen) .....	27
<i>Dvoretzky V. G., Dvoretzky A. G.</i> Winter zooplankton of Spitsbergen coastal waters .....	28
<i>Demeshkin A. S.</i> Persistent organic pollutants in the natural environment of the island of West Spitsbergen .....	30
<i>Demidov N. E., Verkulich S. R., Savatyugin L. M.</i> First results of permafrost monitoring on the cryospheric site of Russian scientific center on Spitsbergen .....	31
<i>Derzhavin V. L.</i> Russian-Swedish reconstruction expedition at Spitsbergen 1898 .....	32
<i>Dikaeva D. R., Frolova E. A.</i> Distribution of Polychaeta in the area of the Spitsbergen archipelago .....	34
<i>Druzhkova E. I.</i> Nanophytoplankton of West Spitsbergen fjords in summer 2001 and 2017. Comparative analysis .....	35
<i>Drouchits V. A., Sadchikova T. A.</i> Permafrost gas hydrate development in the arctic regions for quaternary .....	36
<i>Epifanov V. P.</i> Effect of natural factors on the morphology of the snow cover .....	38

<i>Epifanov V. P.</i> Tectonic structure and velocity distribution in the bottom layers of glaciers .....	40
<i>Zhilin A. Yu., Plotitsyna N. F., Lapteva A. M.</i> Monitoring of persistent organic pollutants and heavy metals in commercial fish from the Medvezhinsky-Spitsbergen area .....	41
<i>Zimina O. L.</i> Peracarida (Crustacea, Malacostraca) of Spitsbergen archipelago fjords and adjacent shelf .....	43
<i>Ivanov B. V.</i> Regularities and differences of the first and modern warming in the arctic on the example of the Spitsbergen archipelago .....	44
<i>Ilyin G. V., Usyagina I. S., Valuyskaya D. A.</i> Radioecological status of marine environment in Spitsbergen fjords. Influence of glaciers .....	46
<i>Ilyasova A. I., Golikov A. V., Porfiriev A. G., Sabirov R. M.</i> Morphology of accessory nidamental glands in females of <i>Rossia</i> (Cephalopoda, Sepiolida) from the Barents Sea .....	47
<i>Ishkulova T. G., Pastukhov I. A.</i> Hydrochemical regime of Isfjord and Grønfjord Spitsbergen archipelago in the winter period .....	49
<i>Kanafina M. M., Golikov A. V., Sabirov R. M., Zakharov D. V.</i> Reproductive biology of <i>Rossia megaptera</i> in the Barents Sea and adjacent areas .....	51
<i>Kashulina G. M., Litvinova T. I., Sidorova O. R.</i> Summer CO <sub>2</sub> emission by soil near Barentsburg (Spitsbergen) .....	52
<i>Kashulina G. M., Litvinova T. I., Korobeynikova N.</i> Multi-element, multi-medium environmental biogeochemistry in the Isfjord coastal area (Spitsbergen) .....	54
<i>Kondakova V. N., Polyakov V. I., Iavid E. I., Abakumov E. V.</i> Soil diversity of the main landscapes of the Grønfjord area (Spitsbergen archipelago) .....	56
<i>Konoreva L. A.</i> Lichens of vicinity of the former township Kolsbey (West Spitsbergen) .....	57
<i>Konstantinova N. A., Savchenko A. N.</i> Spitsbergen bryophyte collection of Polar-Alpine Botanical Garden Institute as an important source for monitoring of nature processes in the Arctic .....	58
<i>Koroleva N. E., Danilova A. D.</i> Goltsy zone vegetation in the mountains of Kola peninsula and Spitsbergen .....	60
<i>Kremenetskaya E. O., Vinogradov Yu. A.</i> Geophysical monitoring of anthropogenic factors on Spitsbergen .....	61
<i>Kuksa K. A., Sharin V. V., Okunev A. S., Kosteva N. N., Sirotkin A. N., Sumina V. A.</i> Geochemical background of soils at Chamberlindalen area (West Spitsbergen) and its trace elements content .....	63
<i>Kustov V. Yu., Bogorodskii P. V.</i> Dynamics of permafrost seasonal thawing at the costal zone of West Spitsbergen in the context of modern climate changes .....	64
<i>Larchenko A. V., Pil'gaev S. V., Lebed' O. M., Fedorenko Yu. V.</i> Peculiarities of the VLF electromagnetic field structure in Spitsbergen exciting by ionosphere heating experiments .....	65
<i>Lebedeva N. V.</i> Birds during early spring in the vicinities of Barentsburg (Spitsbergen) .....	66
<i>Lebedeva N. V., Fateev N. N., Nikulina A. L., Zimina O. L., Harbul E.A.</i> Mercury in benthos of the gulf of West Spitsbergen, summer 2017 .....	67
<i>Lepikhina P. P., Golikov A. V., Sabirov R. M., Zakharov D. V., Zimina O. L.</i> Morphology of reproductive system in <i>Rossia moelleri</i> (Cephalopoda, Sepiolida) on the shelves of the Eurasian Arctic .....	68
<i>Litvinova T. I., Kashulina G. M., Korobeynikova N. M.</i> Histic gleysols of the hilly bog at the coastal area of the Grønfjord, Spitsbergen: morphology and chemistry .....	70
<i>Mavlyudov B.R., Kudikov A.V.</i> Changings of Aldegonda Glacier from the beginning of 20 <sup>th</sup> century .....	72
<i>Merkulov V. A., Timokhov L. A., Filchuk K. V.</i> Multi-year variability of the sea level in the coastal zone of the Spitsbergen with modern climatic changes .....	73
<i>Meshcheryakov N. I., Tarasov G. V., Novikov A. L.</i> Seasonal features of vertical precipitation flow in Lake Bretjørn (West Spitsbergen) .....	75
<i>Miloslavskiy M. Ju., Sirotkin A. N., Kosteva N. N.</i> The main features of the geological structure of the folded base of the northern part of the Wedel Jarlsberg Land (South-West Spitsbergen) .....	77
<i>Mingalev I. V., Orlov K. G., Mingalev V. S.</i> Numerical modeling of the circulation of the arctic lower and middle atmosphere and its dependence on the Spitsbergen's mountains .....	78

<i>Movchan V. V., Kustov V. Yu., Bogorodskii P. V., Makshatas A. P., Sidorova O. R., Tarasov G. V.</i> The results of atmospheric boundary layer measurements in the Barentsburg region during 2017–2018 .....	80
<i>Moiseev D. V., Dukhno G. N.</i> Verification of sea surface temperature and chlorophyll concentration in Isfjorden based on remote sensing and <i>in situ</i> data .....	80
<i>Moiseev D. V., Maximovskaya T. M.</i> Inter-annual dynamics of the atlantic water distribution in Isfjorden in 2001–2018 .....	82
<i>Morozov G. S., Sabirov R. M., Strelkova N. A.</i> Shelf and bathyal sponge (Porifera) fauna of the West Spitsbergen and patterns of its formation .....	83
<i>Moseev D. S., Sergienko L. A.</i> The first geobotanical studies on the island of Salm, Lee-Smith, Eteridge speech of the archipelago Franz-Joseph Land .....	85
<i>Moseev D. S., Sergienko L. A.</i> Spatial structure of vegetation in the estuary of the River Dresvyanka of the Pechora Bay of the Barents Sea .....	87
<i>Mukhin V. A., Novikov V. Yu.</i> Ecological-biochemical basis of marine arctic bioprospecting .....	88
<i>Novikov M. A.</i> Application of the digital model of the Barents Sea bottom deposits for analysis of the contamination .....	90
<i>Okunev A. S.</i> Relief and quaternary deposits near the Bay Storvika (Spitsbergen archipelago) .....	92
<i>Panteleeva N. N.</i> Hydroids and hydromedusae of Spitsbergen's coastal water .....	93
<i>Poleshchuk K. V., Verkulich S. R., Pushina Z. V., Okunev A. S.</i> Holocene diatom assemblages from marine sediments of Dunderbukta (West Spitsbergen) .....	95
<i>Radionov V. F., Kabanov D. M., Kozlov V. S., Sakerin S. M., Sidorova O. R., Chernov D. G.</i> Optical and microphysical characteristics of atmospheric aerosol in Barentsburg area (2011–2017) .....	97
<i>Roldugin A. V., Kozelov B. V., Pilgaev S. V.</i> Narrow-angle camera for auroral studies .....	99
<i>Romanova N. Yu.</i> Investigation of small-scale irregularities in F-region of ionosphere over Spitsbergen archipelago (St. Barentsburg) .....	99
<i>Samodova A. V., Dobrodeeva L. K., Shtaborov V. A., Pashinskaya K. O.</i> The influence of the reactions of brain natriuretic peptide, irisin, endothelin-1 on the immune system of people working on Spitsbergen .....	100
<i>Sergienko L. A., Moseev D. S., Zorina A. A., Gavriilo M. V.</i> Ecological classification of vascular plants of the Euro-Arctic shelf (archipalagos of Frantz-Josef Land and Novaya Zambiya) .....	102
<i>Skakun A. A., Tchikhachev K. B., Veres A. N., Kozachek A. V., Vladimirova D. O., Ekaykin A. A., Sidorova O. R., Verkulich S. R.</i> Variations of the precipitations isotopic composition in Barentsburg (West Spitsbergen) .....	103
<i>Solovieva D. A., Savelieva L. A., Verkulich S. R., Dorozhkina M. P.</i> Palynological researches of quaternary deposits on Spitsbergen archipelago: the history and prospects .....	104
<i>Sosnovsky A. V., Osokin N. I.</i> Effect of moss and snow cover on permafrost stability in Western Spitsbergen under climate change .....	106
<i>Sosnovsky A. V., Osokin N. I.</i> To the assessment of thermal resistance of snow cover in Western Spitsbergen .....	108
<i>Tretyakov M. V., Biryukova V. A.</i> Long-term changes of water balance elements of the river Aldegonda (West Spitsbergen) .....	109
<i>Tretiakov M. V., Romashova K. V.</i> Estimation of annual runoff and sediment transport to the Grenfjord Gulf (Spitsbergen) in the current climatic conditions .....	111
<i>Usyagina I. S., Kasatkina N. E., Matishov G. G.</i> Man-made radioactivity of waters of the Polar Basin .....	113
<i>Frolova E. A., Dikaeva D. R., Khacheturova K. S.</i> Polychaete complexes south and south-east of the Spitsbergen archipelago based on the results of the expedition in 2015 .....	114
<i>Hunter T., Makarov M., Sorokina T., Trifonov A., Vorobiev D., Witte U.</i> Oil behaviour and seabed sediment pollution in the Arctic marine environment: Implications for legal reform of oil spill preparedness and response .....	116
<i>Chernov R. A., Muraviev A. Ya.</i> About the degradation of mountain glaciers in the Grönfjorden (Spitsbergen) .....	116

<i>Chernouss S. A., Filatov M. V., Shagimuratov I. I., Efishov I. I.</i> Discrete aurora as indicator of impact of polar ionosphere disturbances on navigation signals .....	117
<i>Sharin V. V.</i> The results of the geomorphological studies from the Wedel Jarlsberg Land (Spitsbergen) .....	118
<i>Sharin V. V., Maksimov F. E., Kuznetsov V. Yu., Levchenko S. B., Petrov A. Yu., Grigoriev V. A.</i> New geochronological dates from section Quaternary sediments at the Skilvikabukta (Spitsbergen) .....	119
<i>Shirokolobova T. I., Boltenkova M. A., Vodopianova B. B.</i> Microbial communities in the waters of the north-western part of the Barents Sea shelf in July 2017 .....	121
<i>Schmakova N. Yu., Markovskaya E. F.</i> Structural and functional features and the content of plastid pigments in plants cushion-like forms in the arctic tundra of West Spitsbergen .....	123
<i>Shumilov O. I., Kasatkina E.A., Krapiec M., Chochorowski J., Szychowska-Krapiec E., Kanatjev A. G.</i> Tree-ring dating of russian settlements at southern Spitsbergen: comrarison with the results of radiocarbon analysis .....	124



*Российская Академия Наук*  
**КОЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР**  
Мурманский морской биологический институт  
РОССИЯ, Мурманск, ул. Владимирская, д. 17

