



КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА



Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции
(г. Мурманск, 28–30 октября 2020 г.)

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации

Российская академия наук
Мурманский морской биологический институт



КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА

Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции
(г. Мурманск, 28–30 октября 2020 г.)



Издательство Кольского научного центра
2020

DOI: 10.37614/978.5.91137.435.8

УДК 574.5

Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XV Всерос. науч. конф. (г. Мурманск, 28–30 октября 2020 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2020. 113 с.

ISBN 978-5-91137-435-8

Представлены материалы XV Всероссийской научной конференции “Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа” (г. Мурманск, 28–30 октября 2020 г.), посвященные различным аспектам современных исследований архипелага.

Редколлегия:

д.б.н. П.Р. Макаревич (отв. редактор),
к.г.н. Д.В. Моисеев, А.С. Булавина, Н.Н.Пантелеева

*Мероприятие проведено в рамках темы государственного задания ММБИ РАН
“Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген”,
издание опубликовано при финансовой поддержке
Министерства науки и высшего образования Российской Федерации*

ISBN 978-5-91137-435-8

© Коллектив авторов, 2020

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт РАН, 2020

Ministry of Science and Higher Education of Russian Federation

Russian Academy of Sciences
Murmansk Marine Biological Institute



COMPLEX INVESTIGATIONS OF SPITSBERGEN AND OFFSHORE NATURE

Proceedings of the XV scientific conference
(Murmansk, 28–30 October 2020)

Publishing House of the Kola Science Center
2020

DOI: 10.37614/978.5.91137.435.8
UDC 574.5

Complex investigations of Spitsbergen and offshore nature: Proceedings of the XV scientific conference (Murmansk, 28–30 October 2020). Apatity: Publ. FRC Kola Science Centre RAS, 2020. 113 p.

ISBN 978-5-91137-435-8

This publication contains proceedings of the XV scientific conference “Complex investigations of Spitsbergen and offshore nature” held at the Murmansk Marine Biological Institute in 28–30 October 2020.

Editorial board:

P.R. Makarevich (Editor-in-Chief), Dr. Sci. (Biology),
D.V. Moiseev, PhD (Geography), A.S. Bulavina, N.N. Panteleeva

ISBN 978-5-91137-435-8

© Composite authors, 2020
© Murmansk Marine Biological Institute RAS, 2020

ЭКСПЕРИМЕНТ ПО РЕГИСТРАЦИИ ДЕСТРУКЦИИ ЛЕДНИКОВ НЕСКОЛЬКИМИ ИНФРАЗВУКОВЫМИ МИКРОГРУППАМИ

В.Э. Асминг, С.В. Баранов, А.И. Воронин, А.В. Федоров, И.С. Федоров

Кольский филиал ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН”,
г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: bars.vl@gmail.com

С 12 по 17 августа 2018 г. Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН проводил эксперимент по регистрации процессов деструкции ледников инфразвуковым методом в условиях арктического побережья на арх. Шпицберген. Эти условия характеризуются частыми резкими изменениями скорости и направления ветра, усиливаемыми изрезанной береговой линией с многочисленными фьордами. Такие колебания ветра приводят к усилению ветровой помехи и значительно затрудняют регистрацию инфразвуковых событий (Использование ..., 2016). В качестве полигона был выбран ледник Норденшельда, расположенный на плато Ломоносова.

В рамках эксперимента вблизи пос. Пирамида были размещены две временные инфразвуковые микрогруппы PYRA и PYRB, которые вместе с ранее установленной стационарной микрогруппой PYRI (Joint ..., 2016) использовались для регистрации инфразвуковых сигналов. Каждая микрогруппа состояла из трех акустических датчиков, расположенных в вершинах треугольника с длинами сторон 100 и 150 м, что сравнимо с длиной волны регистрируемых инфразвуковых колебаний. Такая схема размещения и количество датчиков являются минимально необходимыми для регистрации инфразвуковых событий (Использование ..., 2016).

Условием для выбора места размещения регистрирующей аппаратуры было ее нахождение напротив ледника Норденшельда, который является самым крупным на о. Западный Шпицберген. На пути прохождения звуковой волны от ледника до инфразвуковых микрогрупп отсутствуют препятствия, обусловленные рельефом местности. Расстояние от края ледника Норденшельда до аппаратуры составляет примерно 13 км.

Обнаружение инфразвуковых событий, зарегистрированных постоянной сейсмоинфразвуковой группой PYRI и временными станциями PYRIA и PYRIB выполнялось по методике работы (Использование ..., 2016). Регистрирующая аппаратура проработала в непрерывном режиме 3 сут. В результате было обнаружено 15 событий, зарегистрированных тремя микрогруппами, и 30 событий, зарегистрированных двумя микрогруппами. Определение координат эпицентров этих событий осуществлялось методом пересечения азимутов, рассчитанных по каждой микрогруппе. Оценки точности определения эпицентров показали, что при данной конфигурации станций ошибка не превышает 1 км. Эпицентры всех зарегистрированных двумя и тремя станциями событий приурочены к леднику Норденшельда, что подтверждает их ледниковую природу.

Таким образом, проведенный эксперимент показал возможность регистрации процессов деструкции криосферы и определения координат эпицентров льдотрясений инфразвуковым методом с помощью нескольких микрогрупп.

Л и т е р а т у р а

Использование инфразвукового метода для мониторинга деструкции ледников в арктических условиях / В.Э. Асминг, С.В. Баранов, А.И. Виноградов и др. // Акустический журн. 2016. Т. 62, № 5. С. 582–591. DOI: 10.7868/S0320791916040031

Joint seismo-infaround monitoring of outlet glaciers in the Arctic: case study of the Nordenskiöld outlet glacier terminus near Pyramiden (Spitsbergen) / A. Vinogradov, V. Asming, S. Baranov et al. // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2016. Book 1. Science and Technologies in Geology, Exploration and Mining. Conference Proceedings. Vol. III. Hydrology, Engineering Geology & Geotechnics, Applied and Environmental Geophysics, Oil and Gas Exploration. Albena, Bulgaria, 30 June–6 July, 2016. Sophia: STEF92 Technology, 2016. P. 521–528. DOI: 10.5593/SGEM2016B13

ОЦЕНКА ВКЛАДА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ В СЦИНТИЛЛЯЦИИ GPS-СИГНАЛОВ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

В.Б. Белаховский¹, Я. Джин², В. Милош²

¹Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: belakhov@mail.ru

²Университет Осло, г. Осло, Норвегия

В работе проведено сравнение воздействия высыпаний авроральных частиц и “патчей” полярной шапки (polar cap patch) на сцинтилляции GPS-сигналов в полярной ионосфере. Был использован сцинтилляционный GPS-приемник на станции “Ню-Олесунн” (арх. Шпицберген), принадлежащий Университету Осло (Норвегия). Наличие высыпаний заряженных частиц и “патчей” полярной шапки определялось по данным радара EISCAT 42m на арх. Шпицберген, луч которого направлен вдоль геомагнитного поля. Были проанализированы события за 2010–2018 гг., когда выполнены одновременные наблюдения на радаре EISCAT 42m и GPS-приемнике. Для отдельных случаев были использованы оптические наблюдения полярных сияний по данным Полярного геофизического института и Университета Осло на арх. Шпицберген. Показано, что высыпания, связанные с суббури, могут привести к сильным фазовым сцинтилляциям GPS-сигналов (до ~ 3 радиан), что заметно больше, чем вызываемые патчами полярной шапки (менее 1 радиана). С другой стороны, РСР могут приводить к гораздо более значительным значениям вариаций полного электронного содержания (ПЭС) ионосферы (ROT, rate of TEC). Наблюдения показывают, что суббури и патчи полярной шапки, являющиеся различными типами высокоширотных возмущений, приводят к развитию ионосферных неоднородностей различных масштабов.

КОВАРИАЦИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ АГЕНТОВ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОЖНЫХ ПОКРОВОВ У ЖИТЕЛЕЙ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

Н.К. Белишева, Н.Л. Соловьевская

Научно-исследовательский центр медико-биологических проблем адаптации
человека в Арктике КНЦ РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: natalybelisheva@mail.ru

Геофизической особенностью арх. Шпицберген является его местоположение в области полярного каспа (Tsyganenko, Russell, 1999), где открытые линии магнитного поля Земли связаны с линиями межпланетного магнитного поля (ММП), что позволяет ускоренной плазме солнечного ветра (СВ) врываться в магнитосферу и проникать

в ионосферу (The Magnetospheric ..., 2005). Вторжение солнечных частиц в области каспа приводит к множественным геофизическим явлениям, отражающимся в волновых характеристиках вариаций геомагнитного поля (ГМП) (Козырева, 2013), а также в поведении атмосферного электрического поля (АЭП) (Влияние ..., 2012; Вариации ..., 2012). На высоких широтах в магнитовозмущенное и в спокойное время вне зависимости от времени суток пульсации АЭП и ГМП имеют совпадающий падающий спектр (Козырева, 2013). Несмотря на то, что частота колебаний геомагнитных пульсаций лежит в диапазоне низкочастотных биологических ритмов (Связь ..., 2018), а вариации градиента потенциала вертикального электрического поля (Ez) должны обладать высокой биоэффективностью, до сих пор механизмы воздействия геофизических агентов (ГА) на биологические системы остаются не выясненными. Определенный вклад в понимание возможных механизмов воздействия ГА на организм человека может внести оценка сопряженности между вариациями ГА и колебаниями физико-химических свойств биологических объектов (БО) на арх. Шпицберген, где такое воздействие имеет экстремальный характер (Связь ..., 2018; Belisheva, 2019). В данном исследовании в качестве БО рассматриваются кожные покровы, наиболее объективно отражающие воздействие физических агентов на организм (Critchley, 2002; Гусев и др., 2008; Улащик, 2018; Венцак, 2019).

Цель исследования – оценить степень сопряженности между вариациями ГА и колебаниями физико-химических свойств кожных покровов, регистрируемых методами биоэлектрографии и детекции электрической активности кожи (ЭАК) у жителей арх. Шпицберген.

Исследование на арх. Шпицберген проводилось с 30 июля по 18 августа 2018 г. с привлечением 43 добровольцев (Связь ..., 2018; Оценка ..., 2019). Физико-химические свойства кожных покровов ежедневно оценивались на основе регистрации ЭАК с применением комплекса РЕАКОР (Связь ..., 2018) и показателей биоэлектрографии (газоразрядной визуализации – ГРВ) (Коротков, 2001; Оценка ..., 2019) с применением импульсного анализатора “ГРВ-компакт”. Эти методы детекции опосредовано отражают физико-химические свойства кожных покровов, которые, как предполагается, играют важную роль в реакциях кожи на воздействие физических агентов (Улащик, 2018). “ГРВ-компакт” регистрирует на фотоматериале свечение газового разряда, возникающего вблизи поверхности исследуемого объекта (пальцев рук) при импульсном воздействии электрического поля высокой напряженности. Основную роль в процессе формирования ГРВ-грамм играют физико-химические и эмиссионные процессы, которые зависят от изменений полного импеданса ИО, структурных и эмиссионных свойств кожи и др. (Коротков, 2001). Снимки свечения обрабатывались с применением программы GDV Energy Field, которая преобразует ГРВ-граммы в показатели площади (S), коэффициента формы (Kf), энтропии (E) свечения, представленных в трех проекциях: правой (r), фронтальной (f), левой (l) в режимах регистрации ГРВ-грамм пальцев рук “без фильтра” (Sr1, Sf1, Sl1, Er1, Ef, El1, Kr1, Kf1, Kl1) и “с фильтром” (Sr2, Sf2, Sl2, Er2, Ef2, El2, Kr2, Kf2, Kl2). Характеристики геофизических агентов за исследуемый промежуток времени были выбраны на сайте <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/>. Данные по станции нейтронного монитора в Баренцбурге были получены в лаборатории космических лучей в Полярном геофизическом институте РАН (г. Апатиты, Мурманская обл.). Все данные статистически обрабатывались с применением пакета программ STATISTICA 10. Коэффициенты корреляции считали значимыми при $p < 0.05$.

Оценка степени сопряженности между ежедневными значениями усредненных показателей ЭАК, ГРВ-грамм и среднесуточными значениями геокосмических агентов выявила между ними значимые коэффициенты корреляции ($p < 0.05$). Так, показатели ЭАК коррелируют с таковыми ГРВ-грамм: Sr1, Sf1, Sl1, Kr1, Kf1, Kl1, Sf2 (коэффициенты корреляции $r = -0.64$, $r = -0.56$, $r = -0.60$, $r = 0.53$, $r = 0.58$, $r = 0.55$, $r = -0.56$ соответственно).

Выявлены значимые корреляции между ЭАК и ГА: напряженностью межпланетного магнитного поля (ММП) и векторами ММП (Field Magnitude Avg, $r = 0.75$; Magnitude of Average, nT, Field vector, $|\langle B \rangle|$, $r = 0.57$; sigma-B, $r = 0.53$; sigma-Bz, $r = 0.61$); температурой протонов в СВ (Proton temperature, $r = 0.53$), вариабельностью СВ (sigma-V, $r = 0.49$; sigma-phi-V, $r = 0.49$); свойствами плазмы СВ (Plasma beta, $r = -0.66$; Alfvén mach number, $r = -0.71$); числами Вольфа (R, $r = 0.73$); индексом геомагнитной активности (ap-index, nT, $r = 0.53$). С этими же ГА выявлены значимые корреляции показателей ГРВ-грамм: между Sr1 и Field Magnitude Avg, $r = -0.48$; Sr1, Sf1, Sr2, Sf2, Sl2, Kl2 и Magnitude of Average, nT, Field vector, $|\langle B \rangle|$, $r = -0.46$, $r = -0.52$; $r = -0.68$, $r = -0.52$, $r = -0.63$, $r = 0.52$; между Er2 и sigma-B, sigma-Bz, $r = -0.51$, $r = -0.53$; между Ef1, E11, Kr1, Kf1 и Proton temperature, $r = 0.48$, $r = 0.52$, $r = 0.71$, $r = 0.71$; между Ef1 и sigma-phi-V, $r = 0.51$; между Er2 Plasma beta и Alfvén mach number, $r = 0.48$, $r = 0.50$; между Kr1, Kf1 и R, $r = 0.45$, $r = 0.50$; между Ef1, Kf1, Kl1 и ap-index, nT, $r = 0.46$, $r = 0.52$, $r = 0.54$. Кроме того, найдены значимые корреляции между Sr2, Sf2, Sl2, Kr2, Kf2, Kl2 и протонами в СВ: PROT Flux > 10 MeV, $r = -0.53$, $r = -0.49$, $r = -0.50$; $r = 0.59$, $r = 0.46$, $r = 0.51$; между E1, Sr2, Sl2 и скоростью счета наземного нейтронного монитора в пос. Баренцбург, $r = 0.47$, $r = 0.62$, $r = 0.56$.

Сопряженность динамики показателей ЭАК и ГРВ с одними и теми же показателями ГА свидетельствует о ковариациях ГА с физико-химическими свойствами кожи, возможно, обусловленных изменениями ее электрических свойств под влиянием вариаций градиента потенциала E_z . Можно предположить, что физические явления в области полярного каспа, порождают колебания АЭП, являющегося связующим звеном между эффектами ММП, СВ и изменениями свойств кожных покровов жителей арх. Шпицберген.

Л и т е р а т у р а

Вариации приземного электрического поля в высоких широтах и потенциал ионосферы во время магнитных возмущений / А.В. Франк-Каменецкий, А.Л. Котиков, А.А. Круглов и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т. 52(5). С. 666–675.

Венцак Е.В. Физиотерапия и физиопрофилактика: Учебное пособие. Иркутск: ИГМУ, 2019. 144 с.

Влияние суббурь в ночном секторе Земли на вариации приземного атмосферного электрического поля в полярных и экваториальных широтах / Н.Г. Клейменова, О.В. Козырева, М. Кубицки и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т. 52(4). С. 494–500.

Гусев В.Г., Демин А.Ю., Мирина Т.В. Электрические свойства кожного покрова человека // Вестн. УГАТУ. 2008. Т. 10, № 1(26). С. 180–190.

Козырева О.В. Волновая структура магнитных бурь: Дис. ... докт. физ.-мат. наук. М., 2013. 312 с.

Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 360 с.

Оценка психофизиологических эффектов воздействия геокосмических агентов с применением метода газоразрядной визуализации (ГРВ) / Н.Л. Соловьевская, Е.Е. Яновская, Р.Р. Юсубов, Н.К. Белишева // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2019. Т. 8(10). Сер. Гелиогеофизика. Вып. 5. С. 125–137. DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.10.8.125-137

Связь параметров межпланетного магнитного поля и солнечного ветра в области полярного каспа с психофизиологическим состоянием жителей арх. Шпицберген / Н.К. Белишева, А.А. Мартынова, Н.Л. Соловьевская и др. // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2018. Т. 10, № 4. С. 5–24.

Улащик В.С. Физико-химические свойства кожи и действие лечебных физических факторов // Вопр. курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2018. Т. 95, № 1. С. 4–13. URL: <https://doi.org/10.17116/kurort21089514-13>

Belisheva N.K. The effect of space weather on human body at the Spitsbergen archipelago // Arctic Studies. A proxy for climate change. 2019. DOI: 10.5772/intechopen.85021

Critchley H.D. Review: Electrodermal responses: What Happens in the Brain // *Neuroscientist*. 2002. Vol. 8, № 2. P. 132–142. DOI: 10.1177/107385840200800209. – PMID 11954558.

The Magnetospheric cusps: structure and dynamics / Fritz, S.F. Fung (Eds). Dordrecht: Springer, 2005. 408 p. URL: https://doi.org/10.1007/1-4020-3605-1_4

Tsyganenko N.A., Russell C.T. Magnetic signatures of the distant polar cusps: Observations by Polar and quantitative modelling // *JGR*. 1999. Vol. 104, № 24. 939 p.

РАЗМЕРНАЯ СТРУКТУРА ПОПУЛЯЦИЙ *CALANUS* SP. В ФЬОРДАХ ШПИЦБЕРГЕНА

И.В. Берченко

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: berchenko.igor@gmail.com

Виды *Calanus finmarchicus* и *Calanus glacialis* являются одной из важнейших составляющих зоопланктонных сообществ высоких широт, играющих ключевую роль в пищевой сети пелагиали. Данные виды принято рассматривать в качестве видов-индикаторов атлантических и арктических водных масс. Несмотря на их достаточно хорошую изученность, в последнее время был опубликован ряд научных работ, свидетельствующих о значительной неточности оценок обилия *Calanus finmarchicus* и *Calanus glacialis* в местах совместного существования, полученных с помощью традиционного (разделение по размерам) метода идентификации видов (Parent et al., 2011; Potential ..., 2012; Genetics ..., 2017).

Действительно, несоответствия в значениях размерной границы видов отмечаются не только при применении генетического и морфометрического методов, но и при сравнении популяций различных акваторий одним (морфометрическим) методом (Distribution ..., 2003; Advection ..., 2004; *Arnkvaern* et al., 2005; Daase, Eiane, 2007; Weidmann, Kwasniewski, 2008; Potential ..., 2012). Однако это принято списывать на “пластичность” морфологических параметров указанных видов.

Задачами нашего исследования являлись детальное изучение размерных характеристик особей обеих популяций и выявление факторов, влияющих на точность традиционного морфометрического метода разделения двух видов, а также оценка масштаба возможных искажений.

Материал для исследований был отобран на акватории Грэн-фьорда (Шпицберген) в ходе двух экспедиций на НИС “Дальние Зеленцы” 27 июня и 15 ноября 2019 г. Пробы зоопланктона отбирались на одной станции (44) сетью WP-2 (ячея 200 мкм и диаметр входного отверстия 50 см) в слоях 0–25, 25–50, 50–75, 75–100, 100–125, 125–145 м – в июне и 0–25, 25–50, 50–75, 75–100, 100–130 м – в ноябре. Учитывали численность IV, V и VI копепоидитных стадий обоих видов, измеряли длину просомы примерно у 600 особей указанных стадий в каждом слое. Обработка полученного массива данных осуществлялась с использованием статистического пакета R. Размерная граница разделения видов определялась по гистограммам размеров, построенных для каждого слоя в отдельности. В итоге было получено в июне и ноябре 8 наборов данных, включающих размеры *Calanus finmarchicus* IV стадии, *Calanus glacialis* IV стадии, *Calanus finmarchicus* V стадии, *Calanus glacialis* V стадии. Стадия VI была исключена из анализа ввиду ее малочисленности.

Статистическая обработка включала определение основных характеристик полученных выборок (минимальные и максимальные значения, среднее, стандартное отклонение), а также проверку выборок на нормальность распределения тестом Шапиро-Уилка.

В качестве метода сравнения был использован непараметрический тест Манна-Уитни (аналог критерия Стьюдента) ввиду того, что в большинстве выборок распределение отличалось от нормального (тест Шапиро-Уилка < 0.05). Сравнение проводили между одинаковыми июньскими и ноябрьскими наборами данных.

Проведенный анализ показал наличие достоверных статистических различий ($p < 0.05$) во всех сравниваемых группах данных, т. е. у каждой исследованной копепоидитной стадии обоих видов. Различие средних размеров в июньских и ноябрьских выборках достигало у *Calanus finmarchicus* стадии IV, *Calanus glacialis* стадии IV, *Calanus glacialis* стадии V примерно 11 %, у *Calanus finmarchicus* стадии V – примерно 18 %.

Вероятно, выявленные нами различия и есть та самая “пластичность” морфологии видов, отмеченная выше. При этом она носит четко выраженный сезонный характер. Сравнивая наши данные и полученные ранее (Distribution ..., 2003; Advection ..., 2004; Arnkværn et al., 2005; Daase, Eiane, 2007; Weidmann, Kwasniewski, 2008; Potential ..., 2012) можно предположить, что различия в размерной структуре популяций *Calanus finmarchicus* и *Calanus glacialis* на разных акваториях Шпицбергена не имеют географической привязки, а обусловлены сезонным состоянием популяции.

Наличие размерной изменчивости в популяциях рассматриваемых видов, а также ее сезонный характер, очевидно, может вносить существенную неточность в оценки численности видов при разделении их по ранее определенным табличным литературным данным, полученным в другой сезон, либо объединением данных из нескольких сборов. Устранение данной ошибки требует определения значения размерной границы видов в каждом конкретном исследовании.

В качестве демонстрации масштаба влияния выявленного нами фактора можно привести следующее. Если бы мы в наших исследованиях определили границу разделения видов только в июне и использовали ее и в ноябрьских сборах, то численность IV (51 %) и V (50 %) стадий *Calanus* sp. была бы идентифицирована неправильно. Использование значения границы видов, определенной в ноябре, для июньского материала привело бы к неточной идентификации численности *Calanus* sp. IV и V стадий – 72 и 67 % соответственно.

Л и т е р а т у р а

Advection of zooplankton in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard) / S.L. Basedow, K. Erane, V. Twerberg, M. Spindler // Estuarine, Coastal and Shelf Sci. 2004. Vol. 60, № 1. P. 113–124.

Arnkvaern G., Daase M., Eiane K. Dynamics of coexisting Calanus finmarchicus, Calanus glacialis and Calanus hyperboreus populations in a high-Arctic fjord // Polar Biol. 2005. Vol. 28, № 7. P. 528–538.

Daase M., Eiane K. Mesozooplankton distribution in northern Svalbard waters in relation to hydrography // Polar Biology. 2007. Vol. 30, № 8. P. 969–981.

Distribution of Calanus species in Kongsfjorden, a glacial fjord in Svalbard / S. Kwasniewski, H. Hop, S. Falk-Petersen, G. Pedersen // J. Plankton Res. 2003. Vol. 25, № 1. P. 1–20.

Genetics redraws pelagic biogeography of Calanus / M. Choquet, M. Hatlebakk, A.K. Dhanasi et al. // Biol. Lett. 2017. Vol. 13, № 12. P. 20170588.

Parent G.J., Plourde S., Turgeon J. Overlapping size ranges of Calanus spp. off the Canadian Arctic and Atlantic Coasts: impact on species abundances // J. Plankton Res. 2011. Vol. 33, № 11. P. 1654–1665.

Potential misidentifications of two climate indicator species of the marine arctic ecosystem: Calanus glacialis and C. finmarchicus / T.M. Gabrielsen, B. Merkel, J.E. Søreide et al. // Polar Biol. 2012. Vol. 35, № 11. P. 1621–1628.

Weydmann A., Kwasniewski S. Distribution of Calanus populations in a glaciated fjord in the Arctic (Hornsund, Spitsbergen) – the interplay between biological and physical factors // Polar Biol. 2008. Vol. 31, № 9. P. 1023–1035.

ПРОДОЛЖАЕТСЯ ЛИ ПОТЕПЛЕНИЕ ВОД В ФЬОРДАХ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА В ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ?

Е.В. Блошкина¹, А.К. Павлов^{2,3}, К.В. Фильчук¹

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: bloshkinaev@mail.ru

²Институт океанологии Польской академии наук, г. Сопот, Польша

³Акваплан-нива, г. Тромсё, Норвегия

В рамках исследования были рассмотрены вопросы, связанные с “атлантификацией” вод Ис-фьорда и Грён-фьорда, межгодовой изменчивостью температуры и солености атлантических вод заливов и вод в целом. В данной работе в понятие “атлантические воды” были включены две водные массы: атлантические (АВ) и трансформированные атлантические (ТАВ), характеризующиеся значениями температуры > 1 °С и солености > 34.7 psu (Water ..., 2005; Fjord-shelf ..., 2008).

В исследовании использовались базы данных World Ocean Data (<https://www.ncei.noaa.gov/products/world-ocean-database2018>) и термохалинных характеристик отдела океанологии Арктического и антарктического научно-исследовательского института. Использованные данные включали в себя ежегодные летние (август–октябрь) съемки с 2003 по 2019 гг. в Ис-фьорде, с 2003 по 2015 гг. в Билле-фьорде и с 2011 по 2019 гг. в Грён-фьорде.

В результате исследования было показано, что затоки АВ/ТАВ вглубь фьордов в летние месяцы с 2011 г. стали более регулярными по сравнению с предыдущим десятилетием. В 2014 году впервые за исследуемый период (2003–2016 гг.) воды атлантического происхождения были зафиксированы в Билле-фьорде.

Средние значения температуры (4.9 °С) и солености (выше 35.05 psu) АВ/ТАВ достигли максимума в западной части Ис-фьорда в 2014 г. При этом средние значения температуры АВ/ТАВ выше 3 °С наблюдались в этом же районе в 2006–2008 гг. и ежегодно в 2013–2016 гг. Максимальные средние значения температуры АВ/ТАВ в Грён-фьорде были зафиксированы в 2013 г. – 5.6 °С, 2014 г. – 5.8 °С, 2016 г. – 5.4 °С.

Оценка трендов за 2003–2016 гг. показала, что скорость изменения температуры и солености АВ/ТАВ в западной части Ис-фьорда составила 0.073 °С/год и 0.012 psu/год, в восточной – 0.054 °С/год и 0.008 psu/год. В целом для вод фьордов были получены следующие оценки трендов: 0.116 °С/год и 0.028 psu/год в западной части Ис-фьорда, 0.112 °С/год и 0.025 psu/год в восточной части Ис-фьорда, 0.140 °С/год и 0.022 psu/год в Билле-фьорде.

В исследовании ряды наблюдений с 1912 по 2009 гг. за температурой воды АВ/ТАВ в Ис-фьорде и Грён-фьорде (Warming ..., 2013) были дополнены измерениями с 2010 по 2019 гг. При анализе использовались максимальные значения температуры в слое АВ/ТАВ, отмеченные в тот или иной год. Зафиксированные в 2016 г. максимумы температуры в 6.43 °С в Ис-фьорде и 5.75 °С в Грён-фьорде очень близки к максимальным температурам АВ/ТАВ в 2006 г. (6.46 и 5.73 °С соответственно) (Warming ..., 2013). С учетом новых данных рост температуры АВ/ТАВ составил 0.25 °С/декада за 1912–2019 гг. против 0.19 °С/декада

за 1912–2009 гг. За последние 20 лет рост максимумов температуры в слое АВ/ТАВ более выражен: 0.78 °С/декада в Ис-фьорде и 0.56 °С/декада в Грён-фьорде. Потепление в Ис-фьорде в слое 75–200 м составляет 0.78 °С/декада, а в слое 200 м–дно – 0.59 °С/декада.

Л и т е р а т у р а

Fjord-shelf exchange controlled by ice and brine production: the interannual variation of Atlantic Water in Isfjorden, Svalbard / F. Nilsen, F. Cottier, R. Skogseth, S. Mattsson // *Continental Shelf Res.* 2008. Vol. 28. P. 1838–1853. DOI: 10.1016/j.csr.2008.04.015

Warming of Atlantic Water in two Spitsbergen fjords over the last century (1912–2009) / A.K. Pavlov, V. Tverberg, B.V. Ivanov et al. // *Polar Res.* 2013. Vol. 32. DOI: 10.3402/polar.v32i0.11206

Water mass modification in an Arctic fjord through cross-shelf exchange / F.R. Cottier, V. Tverberg, M.E. Inall et al. // *J. Geophysical Res.* 2005. Vol. 110. e12005. DOI: 10.1029/2004JC002757

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТРУКТУРЫ СНЕЖНОГО ПОКРОВА ВОДОСБОРА ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД

И.И. Василевич, М.В. Третьяков

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ii.vasilevich@gmail.com

Снежный покров играет важную роль в водном балансе местных водных объектов и ледников, а также во взаимодействии подстилающей поверхности с атмосферным воздухом (Сосновский, Осокин, 2019). В последние годы на арх. Шпицберген, наряду с общим ростом температуры в Арктике, отмечается увеличение количества оттепелей и жидких осадков в зимний период (Spatiotemporal ..., 2019). Стратификация снежного покрова формируется под влиянием метеорологических условий за предшествующий период снегонакопления. Оттепели и жидкие осадки насыщают влагой снежный покров, повышают его плотность и приводят к образованию ледяных корок в его толще и на границе с подстилающей поверхностью. В случае, если снег лежит на кормовых растениях местных оленей, талая вода просачивается в растительный покров и переходит в лед, делая недоступным для питания этот слой, что приводит к уменьшению численности местных популяций (Kohler, Aanes, 2018). Таким образом, межгодовая изменчивость структуры снежного покрова в период максимального снегонакопления (апрель–май) отражает влияние изменений климата на снежный покров, ее изучение позволяет оценить гидрологические и экологические последствия этих изменений.

С 2002 года Арктический и антарктический научно-исследовательский институт проводит гидрологические наблюдения на водосборе залива Грён-фьорд (о. Западный Шпицберген), частью которых являются снегомерные работы. Они заключаются в проведении площадных и маршрутных снегомерных съемок на водосборах рек в период максимального снегонакопления и включают измерение высоты, плотности и описание стратификации. Согласно результатам наблюдений, на водосборах рек Грэндален, Конгресс и на леднике Альдегонда с 2016 по 2019 гг., средняя вертикальная структура была следующей: 23.2 % приходилось на снег с мелкими кристаллами (мелкозернистый), 22.3 % на средние кристаллы (среднезернистый), 37.7 % на крупные кристаллы (крупнозернистый), 2.3 % на фирновый снег и 14.6 % приходится на ледяные корки. Наибольший вклад в долю ледяных

корок вносит водосбор долиной р. Грэндален, со средней долей ледяных корок в 30.2 %, в то время как остальные виды снежного покрова примерно одинаковы между водосборами и не различаются более чем на 15 %. По всем водосборам наблюдается существенная изменчивость количества снежного покрова с мелкими кристаллами. Если в 2016 г. на этот вид снега приходилось около половины от всего объема снега – 47.8 %, то в 2019 г. – 11.0 %. Величина доли среднезернистого снега примерно одинакова во все годы, лишь в 2017 г. наблюдается пик – 39.4 %. Доля крупнозернистого снега изменяется с 23 % в 2016 до 49 % в 2019 гг. Наибольший вклад в долю крупнозернистого вида снега вносит водосбор р. Конгресс, где в 2018 и 2019 гг. его доля доходила до 70 %. Среднее значение доли фирна в вертикальной стратификации снежного покрова по всем водосборам незначительна и присутствует в основном на леднике Альдегонда в 2016 г. (6.6 %) и 2019 г. (19.7 %).

Рассматриваемые водосборы отличаются друг от друга по высотному расположению, экспозиции и рельефу, однако для всех характерно уменьшение доли мелкозернистого снега при увеличении долей крупнозернистого снега и ледяных корок. В настоящее время научный интерес представляет оценка и прогнозирование влияния вышеописанных изменений на местные водные и экологические системы, что возможно только при комплексном изучении характера и качества связей между гидрометеорологическими процессами и явлениями.

Л и т е р а т у р а

Сосновский А.В., Осокин Н.И. Влияние оттепелей на снежный покров и промерзание грунта при современных изменениях климата // Лед и снег. 2019. Т. 59, № 4. С. 475–482. URL: <https://doi.org/10.15356/2076-6734-2019-4-433>

Kohler J., Aanes R. Effect of winter snow and ground-icing on a Svalbard reindeer population: Results of a simple snowpack model // Arctic, Antarctic and Alpine Res. 2004. Vol. 36, № 3. P. 333–341. DOI: 10.1657/1523-0430(2004)036[0333:EOWSAG]2.0.CO;2

Spatiotemporal patterns of rain-on-snow and basal ice in high Arctic Svalbard: detection of a climate-cryosphere regime shift / B. Peeters, R. Aanes, B.B. Hansen et al. // Environ. Res. Letters. 2019. Vol. 14(1). P. 015002.

БАКТЕРИАЛЬНЫЕ СООБЩЕСТВА ПЕЛАГИАЛИ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РАЙОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ В АПРЕЛЕ 2018 ГОДА

А.В. Ващенко, Т.М. Максимовская, М.П. Венгер

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: an_nastasiay@mail.ru

Одной из особенностей северо-западной части Баренцева моря является наличие теплых (атлантических) и холодных (арктических) водных масс (Воды ..., 2016). Условия обитания в водах разного генезиса определяют характеристики их планктонных сообществ (Makarevich et al., 2012).

Исследования бактериопланктона на северо-западе Баренцева моря крайне ограничены. В первую очередь это обусловлено тем, что регион к северу от 75° с. ш. труднодоступен и покрыт льдом большую часть года. С последней четверти прошлого века (1983 г.), в Баренцевом море наблюдаются большие отрицательные аномалии ледяного покрова (Zhichkin, 2015), которые продолжаются по настоящее время (<http://www.aari.ru/>). Ледовая обстановка (однолетние и молодые льды) в северо-западной части акватории моря в апреле 2018 г. позволила провести данное исследование.

Принимая во внимание гидрологический и ледовый режимы Баренцева моря и слабую изученность данного района, оценка уровня развития бактериопланктона и исследование особенностей его распределения в водах разного генезиса представляют интерес.

В работе представлены материалы, полученные 20–27 апреля 2018 г. в ходе рейса НИС “Дальние Зеленцы”. Исследования проводили в северо-западной части Баренцева моря на периферии Шпицбергенской банки (74–76° с. ш., 22–33° в. д.). Пробы отбирали на стандартных гидрологических горизонтах (0, 10, 25, 50 м и дно) на 10 станциях с глубинами 186–388 м (атлантические воды) и 73–162 м (арктические воды). Численность бактериопланктона определяли методом прямого счета с использованием ядерных фильтров (диаметр пор 0.2 мкм) и красителя DAPI (Porter, Freig, 1980). Препараты рассматривались при ув. 1000 на эпифлуоресцентном микроскопе Olympus BX53. Анализ линейных размеров клеток и их численности выполнялся с использованием программного обеспечения CellSensStandart. Биомассу представляли в углеродных единицах (Norland, 1993).

По данным CTD-зондирования в апреле 2018 г. на мелководных станциях (5, 13, 23, 37, 39), выполненных в арктических водах, диапазон температуры и солености составил – 1.86...0.45 °С и 34.49–34.89 ‰. Это холодные распресненные воды Медвежинского течения, которые движутся в юго-западном направлении к о. Медвежий. На станции 39 (глубина более 150 м) арктические воды подстилали более теплые и соленые трансформированные атлантические воды. Пять глубоководных станций (1, 2, 3, 21, 22) были выполнены в атлантических водах Северной ветви Нордкапского течения, температура которых изменялась от 1.29 до 3.33 °С, соленость – от 34.97 до 35.04 ‰.

Увеличение солнечной активности, происходящее в апреле, способствует активизации планктонных сообществ. С середины апреля по начало мая развитие микрофитопланктона в Баренцевом море достигает максимума (Кузнецов, Шошина, 2003). В апреле 2018 г. высокие значения хлорофилла в слое 0–50 м отмечены в арктических водах – 3.13 ± 0.43 мг/м³, более низкие значения зарегистрированы в атлантических – 0.50 ± 0.26 мг/м³, биомасса фитопланктона при этом достигала 3.96 ± 2.46 мг/л и 0.15 ± 0.13 мг/л соответственно (Phytoplankton ..., 2019).

Диапазон общей численности и биомассы бактериопланктона в толще арктических вод составил, соответственно, $(0.21–0.36) \cdot 10^6$ кл/мл [среднее $(0.28 \pm 0.01) \cdot 10^6$ кл/мл] и $2.32–7.00$ мгС/м³ (среднее 4.28 ± 0.29 мгС/м³), атлантических – $(0.13–0.37) \cdot 10^6$ кл/мл [среднее $(0.26 \pm 0.02) \cdot 10^6$ кл/мл] и $1.70–5.59$ мгС/м³ (среднее 3.49 ± 0.23 мгС/м³). Значения параметров в исследуемых горизонтах двух типов вод были сопоставимы (разброс значений численности достигал около 10 %, биомассы – 30 %), при этом характер распределения хлорофилла в атлантических и арктических водах был разным (Phytoplankton ..., 2019). Вероятно, как отмечалось ранее (Байтаз, 1998), это связано с тем, что в открытых районах Баренцева моря пики развития бактериопланктона в весенний сезон не совпадают с пиками развития фитопланктона и следуют за ними со смещением во времени.

Наши результаты хорошо согласуются с данными исследований в апреле 2016 г., когда работы осуществлялись на участке широтной ориентации гораздо большей площади (76–79° с. ш., 34–64° в. д.). В период предцветения биомасса фитопланктона в слое 0–10 м была менее 100 мкг/л (Макаревич, Олейник, 2017), концентрация хлорофилла – менее 1 мг/м³. Диапазон общей численности и биомассы бактерий в полярных водах составил, соответственно, $(0.12–0.20) \cdot 10^6$ кл/мл и $1.26–3.00$ мгС/м³, в атлантических – $(0.17–0.32) \cdot 10^6$ кл/мл и $1.70–3.47$ мгС/м³. Величины параметров в двух водных массах были сопоставимы.

В то же время (по данным 2003–2005 гг.) в период активной вегетации фитопланктона в зоне дрейфующих льдов на северо-западе Баренцева моря численность бактериопланктона в слое 0–50 м изменялась от $0.08 \cdot 10^6$ до $0.91 \cdot 10^6$ кл/мл, биомасса – от 1.5 до 18.1 мгС/м³ (Sturluson et al., 2008).

Сравнение результатов показало, что уровень развития бактериальных сообществ в водах разного генезиса в апреле 2018 г. был низким (как и в апреле 2016 г.) и сохранялся во всей водной толще. При этом в арктических водах, где наблюдалась активная вегетация фитопланктона, численность бактериопланктона все еще оставалась низкой и была сопоставима с численностью в атлантических водах, в которых сообщество микроводорослей находилось в начальной стадии развития.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН (№ 0228-2019-0003) по теме 9-17-01(133) “Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)” (№ госрегистрации АААА-А17-117052310083-5).

Л и т е р а т у р а

Байтаз О.Н. Пространственно-временная изменчивость бактериопланктона Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук (03.00.18). М., 1998. 27 с.

Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов и др. Мурманск: Изд. ПИПРО, 2016. 260 с.

Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря (физиологические и структурные характеристики). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. 308 с.

Макаревич П.П., Олейник А.А. Фитопланктон Баренцева моря в весенний период: состав и структура в районе ледовой кромки // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2017. Т. 2(8). Сер. Океанология. Вып. 4. С. 50–58.

Makarevich P., Druzhkova E., Larionov V. Primary Producers of the Barents Sea // Diversity of Ecosystems. 2012. P. 367–392.

Norland S. The relationship between biomass and volume of bacteria // Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Ration, FL: Lewis Publ., 1993. P. 303–307.

Phytoplankton communities of the Barents Sea frontal zone during the early spring period / V. Vodopyanova, V. Larionov, P. Makarevich et al. // IOP Conference Series: Earth And Environmental Science. Qingdao, China, 2020. Vol. 432. P. 1–7.

Porter K.G., Feig Y.S. The use of DAPI for identifying and counting of aquatic microflora // Limnol. Oceanogr. 1980. Vol. 25. P. 943–948.

Sturluson M., Nielsen T.G., Wassmann P. Bacterial abundance, biomass and production during spring blooms in the northern Barents Sea // Deep-Sea Res. 2008. Vol. 2, № 55. P. 2186–2198.

Zhichkin A.P. Peculiarities of interannual and seasonal variations of the Barents Sea ice coverage anomalies // Russian Meteorology and Hydrology. 2015. Vol. 40, № 5. P. 319–326.

ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ВОДЕ И ВОДОРОСЛЯХ ГУБЫ ТЕРИБЕРСКАЯ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Г.М. Воскобойников¹, Л.О. Метелькова², З.А. Жаковская²

¹Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: grvosk@mail.ru

²Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности РАН,
г. Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время российская Арктика становится регионом развивающегося туризма. Если раньше основным местом притяжения для туристов в Арктике был Шпицберген, то в последние годы идет активное освоение Мурманского побережья. Богатый животный и

растительный мир Баренцева моря, высокая степень прозрачности воды в сочетании с экономической доступностью привлекают не только любителей северной природы, но и подводного плавания, что стало основой для возникновения на Мурманском побережье дайвинг-центров. В задачи нашего исследования входило проведение анализа органических соединений в воде и водорослях в прибрежье пос. Териберка, ставшем излюбленным местом отдыха отечественных и зарубежных туристов.

Пробы воды и водорослей отбирались на литорали (*Fucus vesiculosus*, *Fucus distichus*, *Fucus serratus*, *Palmaria palmata*) и сублиторали (*Saccharina latissima*) губы Териберская в марте 2019 г.

С использованием метода газовой хроматографии/масс-спектрометрии (ГХ/МС) выполнена качественная и полуколичественная оценка (нецелевой анализ в режиме “полного сканирования”) содержания органических соединений, в том числе экотоксикантов, характерных для изучаемого региона. Анализировался также их предполагаемый источник. Всего в образцах воды и водорослей было идентифицировано 65 соединений, из них более половины имело техногенный характер. Среди экотоксикантов наиболее распространенными оказались эфиры фталевой кислоты (пластификаторы), бензофенон (УФ-фильтр) и р-ДЕТА (инсектицид-репеллент). В морской воде зафиксировано значительное количество пищевого пластификатора – трибутил, ацетил-цитрата. В водорослях наибольшее суммарное количество органических соединений зарегистрировано в тканях *Palmaria palmata*.

Качественный и количественный состав углеводов в воде и водорослях определялся методом ГХ/МС в режиме селективного ионного мониторинга (целевой анализ). Валовое содержание нефтяных углеводов в воде находилось на уровне 50 мкг/л (1 ПДК). Наблюдаемые невысокие значения валового содержания нефтяных углеводов, вероятнее всего, связаны с низкой температурой воды в период пробоотбора, однако сравнительный анализ содержания нефтяных углеводов в других районах Мурманского побережья, позволяет выделить губу Териберская как достаточно чистую. Качественный состав углеводов в воде был представлен в основном n-алканами C₁₁–C₂₅. В водорослях наибольшее количество углеводов обнаружено в тканях *Palmaria palmata* – 218 мкг/г, что в 6 раз больше чем у *Fucus distichus* и почти в 60 раз больше чем у *Saccharina latissima*. В тканях исследованных образцов водорослей преобладали нечетные фито-алканы. Для всех видов фукусов и сахарины доминирующим являлся пентадекан (C₁₅). У пальмариин основной вклад в общее содержание алканов вносит эндогенный гептадекан (C₁₇) – 80 %.

ДОННЫЕ БЕСПОЗВОНОЧНЫЕ – ЭФФЕКТИВНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ УСЛОВИЙ СРЕДЫ В ПРИБРЕЖЬЕ МОРЕЙ ВЫСОКОЙ АРКТИКИ

А.В. Гудимов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: alexgud@mail.ru

В связи с проблемой глобального потепления актуальными стали исследования влияния климата на наземные и водные экосистемы. Однако, до настоящего времени не определены пороговые значения, начиная с которых происходят климатические изменения

экосистем и сообществ. Неизвестно с каких значений температур и других природных факторов возникают и продолжаются однонаправленные изменения параметров популяций и сообществ как планктонных, так и донных организмов, приводящие к их смещению за пределы варьирования среднемноголетних значений в предшествующие годы. Лишь незначительный процент наиболее продвинутых исследований затрагивает данные вопросы, с удивлением (и опозданием) констатируя в результатах случаи массовой гибели беспозвоночных (mass mortality events – MMEs) вследствие изменений климата (например, Mortalité ..., 2000; Footprints ..., 2011; Mass ..., 2019).

Массовая гибель *Semibalanus balanoides* отмечена нами в эстуарных популяциях балянусов Кольского залива (Баренцево море) с 2007 по 2020 гг. Установлено, что обычно крайне толерантные литоральные виды, такие как *Semibalanus balanoides*, находятся в экотонах краевых биотопов в очень уязвимом положении из-за экстремально сильного давления факторов среды. Поэтому в условиях критической солености эстуарных зон малейшие изменения лимитирующих факторов немедленно отзываются на параметрах обилия и распределении организмов. Даже незначительное, но устойчивое уменьшение средней солености на 1–2 ‰ уже имеет значение и немедленно отражается на изменении численности балянусов вплоть до их полной гибели на отдельных участках.

Таким образом, способ биоиндикации ранних климатических изменений экосистем основан на том, что у локальной популяции вида в экстремальных условиях краевого биотопа, под сильным давлением нескольких лимитирующих факторов, реакции на изменения внешней среды многократно сильнее и быстрее, чем у популяций в оптимальных условиях. В результате биоиндикация на основе мониторинга локальных краевых популяций позволяет обнаруживать как многолетние, так и краткосрочные (от 6 мес.) последствия изменений среды, в том числе обусловленные климатом.

В качестве видов-биоиндикаторов климата наиболее эффективно использовать местные sessильные организмы – эпибионты, живущие на поверхности грунта/камней, которые в первую очередь подвергаются воздействию факторов среды.

Есть основания полагать, что в пределах краевого биотопа и на краях ареала, рассматриваемого как макробиотоп, чувствительность организма экспоненциально возрастает по мере удаления от зоны биотопов с оптимальными условиями существования вида.

Высокоширотные биотопы, в том числе прибрежной зоны Шпицбергена, вполне соответствуют краевым участкам ареала многих видов зообентоса. В условиях фьордов Шпицбергена биоиндикаторами изменений климата могут служить литоральные усонogie раки-балянусы *Semibalanus balanoides* и сублиторальные двустворчатые моллюски-фильтраторы, в частности, морские гребешки *Chlamys islandica*. Для определения полного списка эффективных видов-биоиндикаторов необходимы соответствующие исследования в местах экотон, наиболее исследованных Грэн-фьорда и Ис-фьорда в первую очередь.

Л и т е р а т у р а

Footprints of climate change in the Arctic marine ecosystem / P. Wassmann, C.M. Duarte, S. Agusti, M.K. Sejr // *Global Change Biol.* 2011. Vol. 17. P. 1235–1249. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02311.x>

Mass mortality event of White Sea sponges as the result of high temperature in summer 2018 / A. Ereskovsky, D.A. Ozerov, A.N. Pantyulin, A.B. Tzetlin // *Polar Biol.* 2019. Vol. 42. P. 2313–2318.

Mortalité massive d'invertébrés marins: un évènement sans pré-cédent en Méditerranée nord-occidentale / T. Pérez, J. Garrabou, S. Sartoretto et al. // *CR Acad. Sci. Paris.* 2000. Vol. 323. P. 853–865. URL: [https://doi.org/10.1016/S0764-469\(00\)01237-3](https://doi.org/10.1016/S0764-469(00)01237-3)

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ЦИАНОПРОКАРИОТ ЛОКАЛЬНЫХ ФЛОР ШПИЦБЕРГЕНА

Д.А. Давыдов

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
e-mail: d_disa@mail.ru

Цианопрокариоты (цианобактерии) в условиях арх. Шпицберген являются чрезвычайно важным продукционным звеном. Высокая адаптационная способность обуславливает их широкое распространение на территории архипелага. В некоторых экотопах они остаются единственными представителями растительного покрова. С 2004 года на Шпицбергене изучено 12 локальных флор, из них 4 территории относятся к зоне полярных пустынь, 8 – к тундровой зоне. В исследование также включены литературные данные по флорам, для которых известны полные списки видов.

Высокое разнообразие цианопрокариот выявлено во флоре залива Хорнсунн (100) (Суанопрокариота ..., 2007; Richter et al., 2009). Наименьшим числом видов (12) характеризуется слабоизученная флора верховий долины Рейндален. Усредненное число для локальной флоры Шпицбергена – около 30 видов, соответственно флоры, содержащие более 40 видов, следует считать богатыми.

Из изученных нами локальных флор самые богатые по числу видов цианопрокариот формируются в районах имеющих значительную дифференциацию литологических и орографических условий, а также в районах с концентрацией карбонатных пород. Самые бедные флоры выявлены на однотипных силикатных породах. В целом флоры характеризуются значительной степенью дифференциации видового состава.

Наибольшее сходство по набору видов имеют флоры полярных пустынь Северо-Восточной Земли (Давыдов, 2019). Высокие коэффициенты сходства Сёренсена получены для пар флор залива Иннвика и бухты Сетер (67 %), Иннвика и Мерчисон-фьорда (56 %), бухты Сетер и Мерчисон-фьорда (56 %). Особняком в ряду флор Северо-Восточной Земли стоит флора восточного берега Рейп-фьорда. Вся изученная территория Рейп-фьорда относится к свите гранитоидов. В пределах Северо-Восточной Земли она встречается также в районе залива Иннвика. Таким образом, сходство геологических условий объясняет и флористические связи этих двух флор.

Видовой состав цианопрокариот сильно зависит от характеристик горных пород, которые слагают экотопы. Влияние происходит как непосредственно через характеристики субстрата, так и опосредованно – через создание необходимых условий рН, доступность микроэлементов, которые попадают в водные растворы, характеристик водного режима в зависимости от дренируемости породы. Высокий коэффициент сходства выявлен и для пары флор залива Иннвика и западной части Земли Оскара II – 61 %, помимо геологических причин, вероятно, сказывается и значительная обследованная площадь на горных вершинах Земли Оскара II (выше 500 м над уровнем моря), что соответствует поясу полярных пустынь (Davydov, 2017).

Флора западной части Земли Оскара II занимает центральное положение и “связывает собой” ряд флор. Объяснение этому факту также следует искать в геологическом строении района. На данной территории сочетаются как карбонатные породы, так и силикатные формации. Таким образом, флоры территорий с широким распространением карбонатных

пород – Мерчисон-фьорда, Пирамиды имеют высокое сходство с флорой западной части Земли Оскара II (62 и 57 % соответственно). В то же время и флоры “силикатных” районов (Западный Грён-фьорд, мыс Старостина, Бокк-фьорд и о. Баренца) в значительной степени сходны с вышеназванной. Флора окрестностей Пирамиды наиболее близка к флоре западного берега Земли Оскара II (57 %), бухты Сетер (54 %) и залива Иннвика (51 %), т. е. другим хорошо изученным флорам с богатым видовым составом. Недостаточно изученные флоры Бокк-фьорда и о. Баренца кластеризуются отдельно от остальных.

Л и т е р а т у р а

Давыдов Д.А. Сравнительная характеристика флор цианопрокариот полярных пустынь и тундр Европы // Тр. Карел. науч. центра РАН. 2019. Сер. Биogeография. № 1. С. 3–21.

Cyanoprokaryota and algae of Arctic terrestrial ecosystems in the Hornsund area, Spitsbergen / J. Matuła, M. Pietryka, D. Richter, B. Wojtun // Polish Polar Res. 2007. Vol. 28. P. 283–315.

Davydov D. Cyanoprokaryotes of the west part of Oscar II Land, West Spitsbergen Island, Spitsbergen archipelago // Czech Polar Reports. 2017. Vol. 7(1). P. 94–108. DOI: 10.5817/CPR2017-1-10

Richter D., Matuła J., Pietryka M. Cyanobacteria and algae of selected tundra habitats in the Hornsund fiord area (West Spitsbergen) // Oceanological and Hydrobiological Studies. 2009. Vol. 38. P. 65–70.

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА ФАРА, ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

**В.А. Даувальтер¹, Н.И. Мещеряков², И.С. Усягина²,
Г.Н. Духно², В.В. Шарин^{3,4}, З.И. Слукровский^{1,5}, Д.Б. Денисов¹**

¹Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,
г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: v.dauvalter@ksc.ru

²Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

³Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–Ломоносов, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

⁵Институт геологии Карельского НЦ РАН, г. Петрозаводск, Россия

Пробы поверхностного слоя (0–2 см) донных отложений из оз. Фара (78°06' с. ш. и 15°02' в. д. – Западный Шпицберген) были отобраны дночерпателем Петерсена на 7 станциях летом 2018 г. Глубина отбора проб была примерно одинаковой – 1.5–1.6 м. Для озера характерны округлая форма с радиусом около 250 м и резкий свал глубин недалеко от берега. Площадь озера 0.15 км², площадь водосбора 2.1 км², максимальная глубина 2.5 м. В геологическом строении водосбора озера принимают участие современные морские отложения, а также песчаники и глинистые сланцы палеоцен-эоценового возраста (Recent ..., 2004). В 10 км от озера на северо-восток расположен российский шахтерский пос. Грумант. Свое название поселок получил из-за старого поморского названия Шпицбергена – Грумант. В поселке с 1931 г. Государственным трестом “Арктикуголь” проводилась добыча угля, но из-за отсутствия глубоководного порта его погрузка на суда осуществлялась в порту Колсбей, куда вела железная дорога. За время своего существования трест “Арктикуголь” добыл на руднике Грумант 2 млн т угля. В 1961 году было принято решение о консервации рудника. Поэтому в течение 30 лет оз. Фара испытывало довольно интенсивную антропогенную нагрузку.

В пробах донных отложений оз. Фара ММБИ РАН проведен гранулометрический

анализ, определены потери при прокаливании (ППП) как косвенный показатель содержания органического материала. Содержание элементов (Ni, Cu, Co, Zn, Cd, Pb, As, Hg, Mn, Fe, Ca, Mg, Na, K, Al, Cr, Sr) выполнено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН.

По результатам гранулометрического анализа установлено, что в донных отложениях оз. Фара в целом преобладает пелитовая и алевритовая фракции с примесью разнозернистого песка. В донных отложениях ст. 5 (южный мелкий берег) присутствуют включения гравийно-галечных зерен. В озере отмечены частички угля, особенно на ст. 1 (северный берег). Несмотря на небольшую глубину озера и короткий безледный период, в нем происходит сортировка частиц донных отложений по гранулометрическим фракциям в результате, главным образом, волновой деятельности, выражающейся в том, что в центральной части озера (станции 2–4, а также ст. 6) преобладает тонкодисперсная пелитовая и алевритовая фракция (размером < 0.01 мм), доля которой составляет на этих станциях от 55 до 84 %, практически отсутствуют фракции грубого и крупного песка и появляется незначительная доля среднего и мелкого песка (первые единицы), увеличивается доля алевритовой фракции (от 10 до 40 %). В донных отложениях станций, расположенных ближе к берегу, уменьшается доля пелитовой фракции, но увеличивается алевритовой и псаммитовой. Таким образом, распределение гранулометрических типов осадков в оз. Фара соответствует идеальной схеме течения процессов сортировки и осаждения материала, при котором от периферии бассейна к его центру идет постепенное уменьшение размера частиц, слагающих осадки (Страхов, 1945).

Значения ППП в донных отложениях оз. Фара невелики для северных и арктических озер (Даувальтер, 2012). Они находятся в небольшом диапазоне от 5.4 до 8.8 %, причем максимальная величина зафиксирована на прибрежных станциях 1 и 7, что нехарактерно для озерных отложений, где, как правило, в более тонкодисперсных отложениях отмечаются более высокие величины ППП (Даувальтер, 2012). Наименьшее значение ППП зафиксировано на ст. 5, в донных отложениях которой присутствует довольно большая доля гравийно-галечных зерен (17 %). Незначительные величины ППП свидетельствуют о не очень активной биологической деятельности в самом озере (за счет чего образуется автохтонный органический материал) и на территории его водосбора (аллохтонный материал), что характеризует суровые арктические условия.

Содержание большинства тяжелых металлов (Cu, Ni, Co, Zn, Cd, Hg) в донных отложениях оз. Фара (средние значения 31, 39, 16, 75, 0.14, 0.037 мкг/г соответственно) сопоставимо со средними фоновыми концентрациями озер Мурманской области (Selected ..., 2017). Превышение фоновых концентраций зафиксировано для Pb и As в 4 и 3 раза соответственно, их среднее содержание составляет 18 и 9.1 мкг/г. Ранее проведенными исследованиями в оз. Фара установлено, что среднее содержание Cu, Pb и Zn в колонке донных отложений составляет 24, 21 и 78 мкг/г соответственно (Recent ..., 2004), что не намного отличается от полученных нами результатов. Проведенный корреляционный анализ показал достоверную высокую связь органического материала с мелкопесчаной фракцией ($r = 0.92$), что также нехарактерно для озерных отложений. Менее значимые величины коэффициента корреляции были выявлены для среднепесчаной и алевритовой фракций ($r = 0.59$ и 0.57 соответственно). Установлена достоверная высокая связь содержания тяжелых металлов Cu, Ni, Cr ($r = 0.95$ – 0.98) и K, Ca и Sr ($r = 0.78$ – 0.95) с органическим материалом, что говорит о нахождении этих металлов в составе органических соединений. Вышеперечисленные металлы имеют также высокие коэффициенты корреляции с песчаными фракциями 0.1–1 мм ($r = 0.74$ – 0.98).

В толще донных отложений оз. Болтерскардет, расположенного в 10 км на восток

от пос. Грумант, среди исследованных тяжелых металлов (Pb, As, Cd, Cu, Cr, Co, Ni и Sn) только Pb показывает значительное увеличение концентраций от нижних к верхним частям колонки (A 150-year ..., 2006). Обнаружено также увеличение антропогенного потока Pb в вертикальном распределении. Это свидетельствует о том, что местная деятельность (например, сжигание угля) сыграла важную роль в увеличении антропогенного потока Pb в последние два десятилетия. Увеличение содержания тяжелых металлов в донных отложениях водоемов, вероятно, является результатом загрязнения за счет трансграничного переноса и местной деятельности. Поэтому необходимы дальнейшие исследования арктических озер Шпицбергена, очень чувствительных к изменениям состояния окружающей среды и климата.

Работа выполнена в рамках темы № 0226-2019-0045 госзадания “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген” (полевые работы, отбор проб, гранулометрический анализ и определение потерь при прокаливании) и частично поддержана из средств грантов Российского фонда фундаментальных исследований (№ 18-05-60125; пробоподготовка к химическому анализу) и Российского научного фонда (№ 19-77-10007; определение содержания элементов).

Л и т е р а т у р а

Даувальтер В.А. Геоэкология донных отложений озер. Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2012. 242 с.

Страхов Н.М. О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах // Бюл. Моск. общ-ва испытателей природы. Отд. геологии. 1945. № 3–4.

A 150-year Record of heavy metals in the varved sediments of lake Bolterskardet, Svalbard / Q. Sun, G. Chu, J. Liu, D. Gao // Arctic, Antarctic, and Alpine Res. 2006. Vol. 38, № 3. P. 436–445.

Recent environmental change and human impact in Svalbard: the lake-sediment geochemical record / J.F. Boyle, N.L. Rose, P.G. Appleby, H.J.B. Birks // J. Paleolimnology. 2004. Vol. 31. P. 515–530.

Selected aspects of the current state of freshwater resources in the Murmansk Region, Russia / N.A. Kashulin, V.A. Dauvalter, D.B. Denisov et al. // J. Environ. Sci. Health. Part A. 2017. Vol. 52, № 9. P. 921–929.

ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН ПО ДАННЫМ ГМО “БАРЕНЦБУРГ” В 1911–2020 ГОДАХ

В.И. Демин¹, Б.В. Иванов^{2,3,4}

¹Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: demin@pgia.ru;

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴Институт физики атмосферы РАН, г. Москва, Россия

e-mail: b_ivanov@aari.ru

В последние десятилетия на арх. Шпицберген наблюдается выраженное потепление климата. Так, например, уже за несколько месяцев до окончания 2020 г. можно уверенно предполагать, что среднемесячные значения приземной температуры воздуха (ПТВ) в Баренцбурге, рассчитанные по периоду 1991–2020 гг. (или будущие новые климатические нормы), примерно на 1 °С окажутся выше климатических норм 1980–2010 гг. и на 2 °С – 1961–1990 гг. (причем, зимой более чем на 3 °С).

Во временном ряду среднегодовых аномалий ПТВ, осредненных по территории России, как и в глобальных временных рядах, период после 1976 г. характеризуется наиболее интенсивным потеплением, что позволяет принимать его за условное начало современного потепления. В частности, в ежегодных “Докладах об особенностях климата на территории РФ” в соответствии с методикой, разработанной в ИГКЭ и представленной на сайте Центральной методической комиссии Росгидромета, изменения термического режима (начало потепления) рассматриваются именно с 1976 г.

В Баренцбурге с 1976 г. повышение среднемесячных значений ПТВ идет со средними скоростями 1–1.9 °C/10 лет в зимние месяцы и 0.3–0.5 °C/10 лет летом; повышение среднегодовой ПТВ происходит примерно со средней скоростью 1 °C/10 лет. Для сравнения отметим, что средняя скорость роста среднегодовой ПТВ на территории России в 1976–2019 гг. составила 0.47 °C/10 лет, а скорость роста глобальной ПТВ за тот же период – 0.18 °C/10 лет (Доклад ..., 2020). Климатические модели предполагают дальнейшее потепление климата Шпицбергена, допуская, что к концу текущего века среднегодовая температура повысится на 7–10 °C (Climate ..., 2019).

В более долгопериодном масштабе изменения ПТВ в регионе происходили неоднозначно. В начале XX века уже наблюдалось быстрое потепление климата, получившее название “первого или раннего” потепления Арктики в XX веке. Оно достигло своего максимума в конце 1930-х гг. и сменилось на несколько десятилетий похолоданием. Новое (или “современное”) потепление на арх. Шпицберген началось с середины 1970-х гг. По своим масштабам первое потепление практически не отличается от современного, но случилось в годы с гораздо меньшим уровнем антропогенного воздействия на атмосферу, с которым некоторые специалисты связывают “современное” повышение ПТВ. По этой причине “современное” потепление имеет большое значение для понимания текущих процессов, происходящих в арктической климатической системе в целом.

Предполагается, что “первое” потепление связано с так называемым явлением “блокировки” (стабилизация гребня высокого давления над европейской частью Российской Федерации). Вследствие этого происходит изменение траекторий атлантических циклонов, которые начинают перемещаться в северном и северо-западном направлениях (как раз в сторону Шпицбергена). Это приводит к значительному увеличению адвекции теплого воздуха в европейский сектор Арктики и усилению поступления океанического тепла с Северо-Атлантическим течением. Однако физические причины этих изменений в циркуляции атмосферы и океана до сих пор окончательно не установлены. В значительной степени это вызвано недостатком инструментальных измерений в тот период времени. В частности, большинство (за редким исключением) метеорологических станций на островах Арктики и арктическом побережье были открыты в более поздние годы и начало этого явления просто не захватили.

На арх. Шпицберген самые продолжительные инструментальные метеорологические наблюдения выполняются в Баренцбурге с 1932 г. (II Международный Полярный год). Однако с декабря 1911 г. по август 1930 г. на мысе Финнесет в заливе Грэн-фьорд на базе норвежской радиостанции “Шпицберген-Радио” проводились регулярные метеорологические наблюдения. Метеорологическая станция получила название “Грин-Харбор”. Расстояние между современным положением метеорологической площадки гидрометеорологической обсерватории (ГМО) “Баренцбург” и местом, где ранее находилась метеорологическая станция на мысе Финнесет всего около 1.5 км (в пределах прямой видимости). По этой причине данные станции “Грин-Харбор” могут хорошо дополнить ряд измерений на ГМО с 1932 г. Такое удлинение рядов для Баренцбурга представляет интерес в связи с имеющимися попытками сравнения масштабов “первого” и “современного” потеплений по данным пункта Лонгйир (Ivanov, 2019). Метеорологическая станция “Грин-Харбор” является фактически единственной на Шпицбергене, зарегистрировавшей начало “первого”. Метеостанция

в Лонгйире, даже с учетом первых инструментальных наблюдений, выполненных немецко-австрийской научной экспедицией в 1911 г., содержит много пробелов и неопределенностей в рядах данных, обусловленных частыми переносами метеорологической площадки на территории поселка до и после Второй Мировой войны.

В 2013–2014 годах на мысе Финнесет в месте, где ранее располагалась метеорологическая площадка станции “Грин-Харбор”, и на ГМО “Баренцбург” были установлены однотипные автоматические метеостанции. Параллельные измерения позволили установить связь среднемесячных значений ПТВ в этих двух пунктах и рассчитать среднемесячные значения ПТВ в Баренцбурге в 1911–1930 гг. на основе их значений на мысе Финнесет. Для создания непрерывного ряда, начинающегося с декабря 1911 г., отсутствующие в отдельные годы среднемесячные значения ПТВ в Баренцбурге (главным образом эти пропуски относятся к периоду Второй Мировой войны, когда метеорологические наблюдения были свернуты) можно рассчитать по данным ближайших метеостанций, а в случае их отсутствия – по данным реанализа. Такая процедура была выполнена в работе (Демин и др., 2020) и позволила получить композитный ряд среднемесячных значений ПТВ для ГМО “Баренцбург”. Полученный ряд является одним из наиболее длительных (более 100 лет) температурных рядов в западном секторе Арктики и может быть использован для оценок долговременных изменений климата не только в Баренцбурге, но и в регионе в целом.

В настоящее время базовой для изучения климата Шпицбергена является метеостанция “Svalbard Airport”. Однако непрерывные измерения на этой метеостанции проводятся только с августа 1975 г. Все остальные данные, включая расчетные и интерполированные, получены для периода, когда наблюдения выполнялись на территории пос. Лонгйир. В случае Баренцбурга доля оригинальных (измеренных) значений температуры воздуха с 1911 по 2020 гг. превышает 75 %, что является максимально возможным числом для любой другой подобной реконструкции рядов ПТВ на Шпицбергене. Так как всякое восстановление выполняется с ошибкой, ряды, полученные для ГМО “Баренцбург”, должны иметь очевидное преимущество при изучении долговременных изменений климата на арх. Шпицберген.

Композитный ряд, начинающийся с 1911 г., подтверждает долговременную тенденцию к потеплению климата в регионе. Повышение сезонных ПТВ в Баренцбурге происходит со средними скоростями 0.53, 0.53, 0.12 и 0.28 °C/10 лет (зима, весна, лето и осень соответственно), а среднегодовой – 0.36 °C/10 лет.

Работа выполнена в рамках Программы научного сотрудничества между Росгидрометом и Норвежским метеорологическим институтом в 2019–2021 гг., плана НИТР/ОПР Росгидромета (проект 24, раздел 5.1.4) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-05-60291) и Министерства науки и высшего образования (грант № 05.616.21.0109 (075-15-2019-1487) (RFMEFI61619X0109).

Л и т е р а т у р а

Демин В.И., Иванов Б.В., Ревина А.Д. Восстановление ряда приземной температуры воздуха на российской станции в поселке “Баренцбург” (Шпицберген) // Российская Арктика. 2020. № 9. С. 30–40.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М.: Росгидромет, 2020. 97 с.

Climate in Svalbard 2100 – a knowledge base for climate adaptation / I. Hanssen-Bauer, E.J. Førland, H. Hisdal et al. (Eds.) // NCCS report 1. 2019. URL: <https://bora.uib.no/handle/1956/19136>

Ivanov B.V. Comparing the “earlier” and the “modern” warming in West Arctic on example of Svalbard // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics. 2019. Vol. 231. 012023. DOI: 10.1088/1755-1315/231/1/012023

О ПЕРЕКРЫТИЯХ ПОМОРСКИХ ДОМОВ ШПИЦБЕРГЕНА

В.Л. Державин, А.Б. Колесников

Институт археологии РАН, г. Москва, Россия
e-mail: derzh@yandex.ru

В 80-х годах прошлого столетия в российском пос. Баренцбург был воздвигнут макет жилого поморского дома XVI века. Авторы проекта археологи В.Ф. Старков, П.Ю. Черносвитов и архитектор Г.В. Борисевич (Старков и др., 2007). Основанием для подобной реконструкции послужили раскопки на становище Гравшен остатков нескольких промысловых построек. Однако на вопрос, как соотносится эта конструкция с археологическими, письменными и изобразительными данными, В.Ф. Старков отвечает, что наиболее хорошо сохранились нижние части дома, а о верхних (кровля, потолок) можно судить лишь по рисункам и описаниям путешественников и мореплавателей XVIII–XIX веков, посещавших Шпицберген.

Одно из первых описаний промыслового дома в Магдалена-фьорде (80° с. ш.) оставил англичанин Джон Бакстрем после плавания 1780 г., из которого видно, что крыша постройки была плоской или с небольшим наклоном (Bacström, 1818). В 1809 году британский китобой Уиллиам Скорсби старший побывал на о. Эдж, где обратил внимание на русский дом с плоской крышей и поверх лежащими камнями (Scorsby, 1820). В 1828 и 1829 годах это место дважды посетил норвежский натуралист Б. Кейльхау (Keilhaу, 1831), который зафиксировал “крышу, покрытую толстым слоем земли и камнями, она была почти без наклона” (С. 153–154).

Английский альпинист сэра Мартин Конвей также упоминает русский дом в Вейде-фьорде с плоской крышей, описанный участниками экспедиции О. Торреля 1861 г. (Conway, 1906). Сведения о промысловых избах Новой Земли можно найти у академика И.И. Лепехина (1805): “На крышу дома настиляется земля с утрамбованной глиной, которая должна сохранять тепло и не пропускать влагу” (С. 144). По принципу промысловых становищ Новой Земли была сооружена избушка русского полярного путешественника и метеоролога Розмыслова (1771 г.), возведенная при входе в Белушью губу. Крыша была плоской из бревен с наваленными поверх камнями (Житков, 1903).

Таким образом, способ перекрытий промысловых построек на Шпицбергене и Новой Земле во многом близок и отличается лишь спецификой местных условий. Это плоские (порой с наклоном, но незначительным) придавленные камнями или утрамбованные глиной крыши. Многие поморы владели становищами на Шпицбергене и на Новой Земле.

Самыми ранними изобразительными источниками считаются зарисовки Б. Кейльхау (1827 г.) при осмотре крупного поморского становища XVIII века, устроенного на месте английской китобойной станции XVII века на о. Эдж. Жилищно-промысловые комплексы на о. Эдж находят прямые аналогии с промысловым домом, который видел Н.А.Э. Норденшельд у мыса Крестовый недалеко от устья Енисея во время плавания на “Вега”.

Британский яхтсмен Джеймс Ламонт (Lamont, 1876) во время одного из своих путешествий на яхте “Диана” в 1859 г. оставил рисунок заброшенного русского становища на о. Эдж, где крыша дома была плоской с наваленными камнями.

Один из самых интересных рисунков русского становища, к тому же акварельный, сделан художником фон Юленом в 1861 г., когда он работал в составе шведской научной экспедиции под руководством О. Торелля. Поморское жилище (без сеней) располагалось в Диркс-бухте Вейде-фьорда. На относительно высокой террасе стоял рубленый дом, сложенный из десяти венцов, с плоской крышей и наваленными на нее камнями и землей.

Таким образом, все вышеперечисленные письменные и изобразительные источники определенно свидетельствуют о том, что на арх. Шпицберген (и на Новой Земле) широкое распространение получили промысловые постройки с плоскими крышами.

На основании исследованного польской экспедицией промыслового жилища в становище Бьйорнбайенфлюене (залив Хорнсунн) археолог Ян Хохоровский реконструировал найденную постройку, которая представляла собой собственно теплое срубное помещение с кирпичной печкой и сени каркасно-столбовой конструкции. Крыша сеней имела небольшой наклон и была перекрыта досками. Верх сруба (теплое помещение), состоявшего из десяти венцов, был плоским и перекрыт досками, поверх которых лежали камни (Chochorowski, 1999, fig. 26). Польский исследователь воссоздал, на наш взгляд, вполне близкую к реальности реконструкцию промысловой постройки. Поморам не было необходимости прибегать к возведению двускатных крыш, так как они сложнее по своей конструкции, а к тому же увеличивается кубатура обогрева помещения, что требует дополнительного расхода дров.

Что касается макета жилого дома поморов XVI века в Баренцбурге, то, вероятно, он был скопирован с более поздних жилых построек Поморья, в частности домов, выставленных в музее деревянного зодчества Малые Корелы под Архангельском, ничего не имеющих общего с промысловыми постройками арх. Шпицберген.

Л и т е р а т у р а

Житков Б.М. Новая Земля. М., 1903. 89 с.

Лепехин И.И. Дневные записи путешествия доктора и Академии Наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства. Ч. IV. В 1772 году. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук, 1805. 463 с.

Старков В.Ф., Красильщиков А.А., Бузни Е.Н. Музей “Помор”. М.: Научный мир, 2007. 110 с.

Vacström J. Account voyage to Spitsbergen 1780. London, 1818. 618 p.

Chochorowski J. Problems of the dendrochronology of Russian hunting stations of Spitsbergen. Krakow, 1999. 104 p.

Conway M. No man’s land. Cambridge, 1906. 420 p.

Keilhau B.M. Reise i ost og Vest Finnmarken samt til Beeren-Einland og Spitsbergen i arene 1827 og 1829. Christiania, 1831.

Lamont J. Yaghting in the Arctic seas. London, 1876. 387 p.

Scorsby W. Jtm. F.R.S.E. Illustrade by twenty-four engravings: In two vol. Vol. I. Edinburgh printed for Archibald Constable and CO. Edinburgh, London, 1820. 618 p.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СООБЩЕСТВ ПОЛИХЕТ В РАЙОНЕ ШПИЦБЕРГЕНСКОЙ БАНКИ

Д.Р. Дикаева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: dinara.dikaeva@yandex.ru

Острова Медвежий и Надежды связывает с арх. Шпицберген шельфовый район – Шпицбергенская банка (Оценка ..., 2018). Вдоль западных берегов о. Западный Шпицберген по западной, южной и восточной кромке Шпицбергенской банки и далее вдоль южного склона возвышенности Персея в восточном направлении между 76° и 77° с. ш. проходит

фронтальная зона. Контакт теплых и холодных вод, перемещающихся в западном направлении вдоль склонов Шпицбергенской банки, сопровождается их перемешиванием и появлением антициклонических круговоротов, приводящих к дивергенции – подъему нижележащих, обогащенных микроэлементами вод на поверхность (Новиков, Драгонов, 2018), что обеспечивает обильное развитие фауны. Большая часть видов макробентоса, определенных для района Шпицбергена, приурочена к мелководным продуктивным районам и ледовой кромке. Участок с очень высокой продуктивностью и большим видовым разнообразием бентоса располагается в юго-восточной части Шпицбергенской банки (Оценка ..., 2018). Сложная структура гидрологического режима, а также недостаточная изученность района исследований вызывает интерес к видовому составу и распределению донных сообществ.

Материалом послужили количественные пробы (21) собранные с 7 бентосных станций, расположенных в районе Шпицбергенской банки и склонов Западного желоба на глубине от 106 до 387 м в ходе комплексной экспедиции Мурманского морского биологического института в апреле 2018 г. Отбор проб осуществлялся дночерпателем ван-Вина (площадь захвата 0.1 м²) в 3-кратной повторности. Собранный грунт промывали через капроновое сито с размером ячеек 0.75 мм, фиксировали 4 %-м формалином с последующим переводом беспозвоночных в 70 %-й спирт.

Выделение сообществ по сходству видового состава выполняли при помощи кластерного анализа методом средневзвешенного на основе коэффициента сходства Брея-Куртиса (Braу, Curtis, 1957). При выявлении доминантного вида использовали показатель интенсивности метаболизма (Денисенко и др., 2006). Оценку биогеографического состава полихет выполняли по классификации ареалов, предложенной И.А. Жирковым (2001).

В районе исследования идентифицировано 102 таксона многощетинковых червей, из которых 84 имеют видовой статус. Видовое богатство (количество видов на станции) варьирует от 26 до 58. Наибольшее количество видов отмечено на мелководных станциях, где наличие твердых фракций в грунте способствует развитию прикрепленных форм.

В фауне полихет преобладают арктическо-бореальные виды (от 70 до 90 %). Наибольшая их доля приходится на мелководную и самую холодноводную станцию (90 %). Наиболее богата бореальными видами самая глубоководная и тепловодная ст. 2 – 14 %, наименьшая доля этих видов отмечена на холодноводной ст. 5. Заметна положительная корреляция между температурой придонной воды на станции и количеством бореальных видов полихет. Доля арктических видов распределена по станциям довольно равномерно, несколько увеличиваясь в среднем диапазоне глубин.

Методом кластерного анализа в исследованном районе выделено два фаунистических комплекса полихет. Холодноводный фаунистический комплекс включает мелководные станции (глубина 106–113 м) с отрицательными температурами воды. Тепловодный фаунистический комплекс полихет развивается на станциях с глубиной от 198 до 387 м при положительных температурах воды.

В тепловодном фаунистическом комплексе на илито-песчаных, глинистых грунтах доминирует по биомассе и интенсивности метаболизма *Spiochaetopterus typicus*. В понижениях дна, в области сравнительно слабых придонных течений на крупных и мелких алевритах с большим количеством детрита, отмечены высокие значения биомассы полихет (от 79 до 256 г/м²) и плотности поселения (от 1987 до 3340 экз/м²). В холодноводном фаунистическом комплексе с уменьшением глубины в районе с достаточно активной гидродинамикой и размывом донных осадков отмечено снижение биомассы (от 28 до 58 г/м²), в то время как плотность поселения остается на среднем уровне (от 2400 до 2800 экз/м²). Здесь доминируют *Thelepus cincinnatus*, *Nephtys ciliate*, *Lumbrineridae* g. sp., *Lumbrineris fragilis*, *Amphitrite cirrata*.

Очень сильно различаются комплексы по своей трофической структуре. В то время как в тепловодном фаунистическом комплексе по биомассе преобладают собирающие детритофаги (от 88 до 95 %), в холодноводном фаунистическом комплексе растет доля плотоядных. На мелководных станциях (5, 24) на крупно-песчаных, илисто-глинистых грунтах с ракушей и камнями доля собирающих детритофагов уменьшается от 48 до 36 %, а доля плотоядных возрастает от 45 до 57 %. Причиной этого, по всей видимости, является фронтальная зона, образующаяся при встрече теплого и холодного течений. В зоне схождения вод с различной температурой и соленостью происходит массовая гибель зоопланктона (Новиков, Драганов, 2018), отмершие организмы оседают на морское дно, что создает благоприятные условия для питания плотоядных (хищников и трупоедов).

Таким образом, в глубоководных районах, в зоне влияния теплых вод северной ветви Нордкапского течения отмечены высокие значения биомассы полихет за счет собирающего детритофага *Spiochaetopterus typicus*. Вдоль склонов Шпицбергенской банки на небольших глубинах, в районе фронтальной зоны, в зоне контакта теплых и холодных вод, отмечено снижение биомассы полихет и увеличение доли плотоядных видов.

Л и т е р а т у р а

Денисенко Н.В., Денисенко С.Г., Фролов А.А. Зообентос горла воронки Белого моря: структура и особенности распределения в прибрежье Кольского полуострова // Морские беспозвоночные Арктики, Антарктики и Субантарктики. СПб., 2006. С. 15–34 (Исследования фауны морей. Вып. 56(64).

Жирков И.А. Полихеты Северного Ледовитого океана. М.: Янус-К, 2001. 632 с.

Новиков М.А., Драганов Д.М. Загрязнение воды и донных отложений тяжелыми металлами в области полярного фронта Баренцева моря // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2018. Т. 21, № 1. С. 150–159.

Оценка и сохранение морского биологического разнообразия Баренцева моря // Бюл. WWF (март 2018 г.). URL: http://wwf.ru/about/where_we_work/barents_barents_sea/8/doc429/page0

Bray J.R., Curtis J.T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin // Ecol. Monogr. 1957. Vol. 27. P. 325–349.

КОРРЕЛЯЦИЯ ПРИРОДНЫХ СОБЫТИЙ ПОЗДНЕГО КАЙНОЗОЯ МОРЕЙ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

В.А. Друщиц

Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

e-mail: vdruschits@yandex.ru

Российская арктическая континентальная окраина ограничивает значительную площадь Северного Ледовитого океана, с запада на восток происходят значительные изменения геодинамики, тектоники, и климата, что оказывает влияние на формирование природных условий этого региона в прошлом, настоящем и будущем.

В позднем кайнозое (олигоцен-квартер) формируются основные черты строения пассивной континентальной окраины российской Арктики. Для всего региона определяющее значение в развитии имеет система срединно-океанических хребтов, окаймляющая окраину с запада и севера. Крайний восток находится в зоне влияния Берингоморского рифта.

В западной части (моря Баренцево и Карское) выделяется унаследованный пояс поднятий на окраине шельфа и окраинные наложенные грабен-желоба, которые подвергаются неотектоническим деформациям, а также сложный рельеф внутреннего и центрального шельфа. Отмечается, что в позднем кайнозое денудационный срез составлял 1000–1500 м (Мусатов, 1996; Верба, 2007). В восточной части особое значение приобретают сквозные структуры, пересекающие моря Лаптевых (продолжающаяся на континенте рифтовая зона хребта Гаккеля) и Чукотское (реактивированный триасовый Колочинско-Мечигменский рифт). На побережье морей Восточной Арктики в раннем и позднем кайнозое формируются наложенные впадины (Друщиц, 2017, 2019).

Составление схемы корреляции природных событий на территории огромного региона – непростая задача, которая осложняется вследствие значительной разницы в степени изученности от бассейна к бассейну. Однако даже весьма ограниченная масштабность таких построений позволяет выделить ключевые моменты в развитии природы региона в целом и отдельных бассейнов. Для начала позднего кайнозоя формирование природной среды определяется тектоникой, а в четвертичном периоде значительное влияние принадлежит цикличности климатических процессов. Каждый бассейн отличается собственным ходом геологической истории, что проявляется в соотношении процессов денудации и аккумуляции и выражается в формировании рельефа и в разрезах слагающих его осадков. Распространение и мощность криолитозоны меняется в каждом море. Эндемичным образованием востока становится ледовый комплекс (едома), который образовывался в середине и конце позднего неоплейстоцена. Формируются газосодержащие (возможно, и клатратосодержащие) толщи.

В олигоцене начинает открываться пролив Фрама, и 18 млн лет назад создаются общие черты современной циркуляции водных масс (The early ..., 2007). Первое открытие Берингова пролива происходит 5.5–5.4 млн лет назад. Позднее его существование определялось трансгрессивно-регрессивными циклами. В открытые периоды водные массы Берингова моря влияют на систему течений и осадконакопление в Чукотском море (Гладенков, Гладенков, 2004).

В плейстоцене шельфовые области морей российской Арктики вступают в фазу погружения. При этом в морях востока наблюдается затухание тектонических деформаций. На всей окраине начинает формироваться криолитозона. По расчетным данным наибольшие мощности многолетнемерзлых пород характерны для морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (устойчивые перигляциальные области). На западе преобладает развитие покровного оледенения. В межледниковья деградацию ледников сопровождают процессы гляциоизостазии. На востоке господствуют перигляциальные условия. Наиболее интенсивным было оледенение конца среднего неоплейстоцена, которое охватило не только акваторию Западной Арктики, но также, видимо, имело место на о. Новая Сибирь (Никольский и др., 2017).

Формирование природных обстановок арктических морей в голоценовое время (современный неотектонический подэтап) возможно охарактеризовать с большей детальностью. В последнее время опубликованы материалы, на основании которых можно дать количественные характеристики современным тектоническим процессам. К ним относятся данные, касающиеся проявления вулканизма, разгрузки термальных вод, землетрясений, наличия активных разломов, амплитуд вертикальных тектонических движений и их скоростей, а также скоростей горизонтальных движений. Средняя мощность верхнекайнозойских осадков, скорости седиментации в голоцене являются показателями интенсивности осадконакопления в морских бассейнах. О динамических условиях в береговой зоне свидетельствует скорость размыва берегов (Друщиц, 2017).

Различия в геологическом строении и интенсивности проявления геодинамических процессов в арктических морях России нивелируются чехлом верхнекайнозойских осадков.

В позднем кайнозое создаются условия, которые определили в общих чертах развитие этого региона как единой материковой структуры. Для всего региона на этом этапе общей тенденцией является доминирование процессов аккумуляции, на западе – начиная с позднего неоплейстоцена, а на крайнем востоке – с олигоцена.

Исследования проведены в соответствии с планами научно-исследовательской работы ГИН РАН “Тектоника, магматизм и осадконакопление в геологической истории арктической и тихоокеанской континентальных окраин Северо-Востока Азии” (№ 0135-2019-0078).

Л и т е р а т у р а

Верба М.Л. Современное билатеральное растяжение земной коры в Баренцево-Карском регионе и его роль при оценке перспектив нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. Т. 2. URL: <http://www.ngtp.ru/rub/4/026/pdf>

Гладенков А.Ю., Гладенков Ю.Б. Начало формирования межконтинентальных связей Пацифики и Арктики через Берингов пролив в неогене // Стратиграфия и геологическая корреляция. 2004. Т. 12, № 2. С. 72–89.

Друщиц В.А. Интенсивность тектонических движений в морях российской Арктики в позднем кайнозое // Геология морей и океанов: Матер. XXII междунар. конф. (Школы) по морской геологии, 20–24 ноября 2017 г., Москва. М.: Изд. Ин-та океанологии РАН, 2017. Т. II. С. 29–33.

Друщиц В.А. Геологическое развитие рифтовых и шовных морфоструктур Северо-Востока России в квартере // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. М.: ГЕОС, 2019. № 77. С. 110–120. DOI: 10.34756/GEOS.2019.4.77-7

Мусатов Е.Е. Неотектоника арктических континентальных окраин // Физика Земли. 1996. № 12. С. 72–78.

Никольский П.А., Базилян А.Э., Зажигин В.С. Новые данные о возрасте оледенения Новосибирских островов (Восточная Арктика) // Докл. РАН. 2017. Т. 475, № 2. С. 176–179.

The early Miocene onset of a ventilated circulation regime in the Arctic Ocean / J. Backman, B. Rudels, J. Nycander et al. // Nature. 2007. Vol. 447. P. 986–990. DOI: 10.1038/nature05924

“ПОЛЯРНЫЕ” СУББУРИ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ СИЯНИЙ В БАРЕНЦБУРГЕ В 2020 ГОДУ

И.В. Дэспирак, А.А. Любич, А.В. Ролдугин, Б.В. Козелов

Полярный геофизический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: despirak@gmail.com

Известно, что иногда суббуревые возмущения могут наблюдаться на высоких геомагнитных широтах, в том числе и на широтах арх. Шпицберген (75.17° с. ш., 113.15° в. д.). Суббуревые возмущения могут появиться на этих высоких широтах в двух случаях. Первый случай: суббуря начинается на широтах авроральной зоны, далее происходит распространение возмущений к полюсу, и в максимуме фазы экспансии магнитные возмущения (как и полярные сияния) достигают очень высоких геомагнитных широт (> 75°), такого типа возмущения обычно называются “высокоширотными” суббуриями (Сергеев и др., 1979). Второй случай: суббуря начинается на геомагнитных широтах выше 71°, далее происходит экспансия к полюсу до очень высоких широт, причем на широтах ниже 70° какие-либо суббуревые возмущения отсутствуют. Такие случаи были названы “полярными” суббуриями (Волновая ..., 2012; Дэспирак и др., 2014, 2019).

В нашей работе анализируются случаи наблюдения “полярных” суббурь в январе–феврале 2020 г. по данным наблюдения полярных сияний стереоскопической системой камер, расположенной на арх. Шпицберген (пос. Баренцбург). В частности, подтвержден тот факт, что для наблюдения “полярных” суббурь необходимы определенные условия космической погоды: случаи регистрации полярных суббурь над Шпицбергеном происходили во время медленных потоков солнечного ветра и в конце высокоскоростного рекуррентного потока, когда скорость солнечного ветра изменяется от высоких значений к низким.

Л и т е р а т у р а

Волновая структура магнитных суббурь в полярных широтах / Н.Г. Клейменова, Е.Е. Антонова, О.В. Козырева и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 2012. Т. 52. С. 785–793.

Дэспирак И.В., Любчик А.А., Клейменова Н.Г. “Полярные” и “высокоширотные” суббури и условия в солнечном ветре // Геомагнетизм и аэрономия. 2014. Т. 54, № 5. С. 619–626.

Дэспирак И.В., Любчик А.А., Клейменова Н.Г. Разные типы потоков солнечного ветра и суббури в высоких широтах // Геомагнетизм и аэрономия. 2019. Т. 59, № 1. С. 3–9.

Сергеев В.А., Яхнин А.Г., Дмитриева Н.П. Суббури в полярной шапке – эффект высокоскоростных потоков солнечного ветра // Геомагнетизм и аэрономия. 1979. Т. 19. С. 1121–1122.

ФАУНА МШАНОК (BRYOZOA) ЗАЛИВА ИС-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

О.Ю. Евсеева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: evseeva@mmbi.info

Проанализирован видовой, биогеографический и количественный состав мшанок (Bryozoa) залива Ис-фьорд, а также особенности их распределения в зависимости от условий среды.

Материалом для данного исследования послужили количественные пробы зообентоса (85 проб с 34 станций), собранные в ходе изучения биоразнообразия прибрежных вод арх. Шпицберген (залив Ис-фьорд) в морских экспедициях на НИС “Дальние Зеленцы” в 2001, 2002, 2015, 2017 и 2018 гг.

В акватории Западного Шпицбергена к настоящему времени зарегистрировано 239 видов Bryozoa (Kuklinski, 2002; The marine ..., 2004; Barnes, Kuklinski, 2005; Ахметчина, 2018а). В результате обработки собранного материала в фауне залива Ис-фьорд отмечено 59 видов мшанок, что составляет 24.7 % от общего количества видов Bryozoa Западного Шпицбергена.

Анализ биогеографической структуры фауны мшанок выявил 19 % арктических (11) и 7 % бореальных (4) видов. В направлении от входа вглубь залива Ис-фьорд понижается температура воды (Моисеев, Ионов, 2006), достигая в Сассен-, Булле- и Нур-фьорде отрицательных значений. В данном направлении закономерно наблюдается уменьшение числа бореальных и увеличение числа арктических видов мшанок (в абсолютном и процентном соотношении).

Анализ распределения видов с разной структурой и формой колоний показал, что большинство мшанок (97 %) представлено обызвествленными видами (11 – отр. Cyclostomata и 46 – отр. Cheilostomata), а 3 % (2) – мягкотелыми (отр. Stenostomata). Из них 53 % видов (32) имеют корковую (обрастающую) форму колоний, а 47 % (28) – кустистую (приподнятую над субстратом).

Внутренние (кутовые) участки залива Ис-фьорд (зоны местных вод) испытывают сильное влияние материкового и ледникового стоков. Пресные талые воды не распространяются во фьорд из примыкающих заливов, поэтому западная часть Ис-фьорда не испытывает их воздействие. Напротив, северо-восточная часть залива подвергается сильному влиянию ледниковых стоков. С началом таяния ледников, расположенных в кутовых частях залива, в воду поступает большое количество взвеси, которая засоряет ловчий аппарат мшанок, что может в значительной степени подавлять их развитие. По этой причине существенно обеднен видовой состав мшанок, обитающих в кутовых частях залива. Такая же закономерность прослеживается и в других фьордах арх. Шпицберген (Composition ..., 2005). Преобладающая форма зоария в кутовых участках залива (кроме Нур-фьорда) – возвышающаяся над субстратом (ветвисто-кустистая), поскольку такие виды (в отличие от корковых представителей) оказываются в меньшей степени засыпанными взвесью. Отмечено, что чем дальше от входа в залив расположен участок, тем больше встречается видов с разветвленной (кустистой) формой колонии.

В средней части залива процентное соотношение мшанок с корковым и разветвленным типом зоария одинаковое – 50 %. Поэтому, можно предположить, что в средней части Ис-фьорда процессы осадконакопления уравновешены процессом переноса взвеси.

По мере удаления от устья в водной толще Ис-фьорда повышается количество кремния и фосфора, поскольку данные элементы являются индикаторами влияния берегового стока (Ишкулова, 2005). Сток пресных вод в сочетании с высоким содержанием кремния и фосфора негативно влияет на развитие мшанок, особенно с сильно обызвествленным скелетом, однако мягкотелые виды толерантны к повышенному содержанию этих элементов и пониженной солености (Ахметчина, 2018б). Вероятно, поэтому во внутренних участках залива встречаются мягкотелые мшанки, а виды с сильно обызвествленным древовидным типом колонии не отмечены вовсе.

Максимальное обилие видов (27–29) с высокими значениями биомассы (3.1–3.3 г/м²) зарегистрировано в районе влияния теплых трансформированных атлантических водных масс – в средней части залива (глубина 200 м), а также в Нур-фьорде (глубина 160 м), где обычно доминируют холодные зимние воды (Моисеев, Ионов, 2006). Однако повышенные значения видового разнообразия и биомассы в средней части Нур-фьорда могут являться следствием более мощного проникновения в этот район теплых вод атлантического происхождения в 2002 г. (Моисеев, Ионов, 2006).

Максимальная биомасса (4.1–4.2 г/м²) при среднем количестве видов (18–20) на станцию отмечена в середине залива на глубине 230 м и на входе в Сассен-фьорд (глубина 67 м). Относительно высокое видовое богатство мшанок связано с низким уровнем осадконакопления и умеренной гидродинамикой. Ввиду дефицита в донных осадках твердых субстратов (распространены преимущественно мягкие илисто-глинистые и песчано-илистые грунты) на всех этих станциях по биомассе доминируют мшанки с ветвисто-кустистым типом колонии.

Л и т е р а т у р а

Ахметчина О.Ю. Современные исследования таксономической структуры и распределения мшанок (Bryozoa) в водах юго-западной части архипелага Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Тез. докл. XIV Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 30 октября–2 ноября 2018 г.). Апатиты: Изд-во ФИЦ КНЦ РАН, 2018а. С. 8–10.

Ахметчина О.Ю. Исследование факторов среды, влияющих на наличие и распределение мшанок // Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвящ. 40-летию НИС “Дальние Зеленцы”. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018б. С. 12–18.

Ишчулова Т.Г. Гидрохимические исследования залива Ис-фьорд летом 2002 года // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 302–307.

Мусеев 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-во КНЦ РАН, 2006. С. 261–270.

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.

Composition of bryozoan assemblages related to depth in Svalbard fjords and sounds / P. Kuklinski, B. Gulliksen, O.J. Lønne, J.M. Weslawski // Polar Biol. 2005. Vol. 28. P. 619–630.

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: Publ. Norwegian Polar Institute, 2004. P. 5–56.

АНАЛИЗ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ, ПРЕДСТАВЛЯЮЩИХ РИСКИ ПРИ ОСВОЕНИИ АРКТИКИ

В.С. Захаренко

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Россия
e-mail: vozn.es.valent@mail.ru

Особые национальные интересы России в Арктике сосредоточены в области обороны, экономики, геополитики, науки и экологии. Высокий углеводородный потенциал шельфа является общепризнанным. Поэтому, возникла необходимость детального изучения и глубокого анализа возможных экологических рисков при освоении углеводородных ресурсов Арктики. В связи с этим все более актуальными становятся исследования морского дна, палеогеографических обстановок прошлого, а также изучение современных проблем, связанных с дегазацией шельфа, газогидратами, сейсмичностью и изменением климата.

На современном уровне изучения шельфа появилась возможность увязывать, сопоставлять и сравнивать результаты комплексных методов исследования [“приповерхностных” методов, таких как газогидрохимия, пробоотбор (0.7–0.8 м), сейсмоакустика (до 600–800 м), высокочастотная сейсмика] с данными сейсморазведки МОВ ОГТ, глубинность изучения которой достигает 14 км, а также с другими геофизическими методами. Поэтому можно проследить не только геологическое строение всей толщи от фундамента до дна, но и пути миграции углеводородов, что ранее было невозможно. Использованы материалы ОАО МАГЭ с личным участием автора в интерпретации полевых материалов и составлении моделей, привлечены литературные источники.

Шпицбергенский и Западно-Баренцевский шельфы. В настоящее время многими авторами подтверждается, что жизнь на Земле находится под полным контролем процессов глубинной дегазации, масштабы которой огромны и на несколько порядков выше, чем “дыхание” залежей нефти и газа, открытых в осадочном чехле. Корни глобальных геодинамических процессов сместились с уровня верхней мантии до ядра Земли. В мантии важнейшими структурами разгрузки глубинной энергии являются плюмы и суперплюмы. Нами показано, что пассивное просачивание термогенного газа является особенно сильным на крупных тектонических линейментах к западу от Шпицбергена. Результаты статистической обработки данных геохимических исследований на шельфе показали, что эндогенная

составляющая в вертикальном перемещении углеводородов является преобладающей с большим доминированием по сравнению с органическим углеродом. Данные газогидрохимии подтверждают присутствие углеводородов, пространственно группирующихся в локальные аномалии, которые тяготеют к разломным зонам. Обобщающим результатом этих исследований стало выявление приуроченности выделенных потенциальных ловушек углеводородов к области внедрения мантийного диапира (в переходной зоне континент–океан) и как следствие – затронут вопрос о дегазации Земли. Мантийный плюм, по-видимому, служил как источником, так и обогревателем и способствовал трансформации углеводородных систем.

Экологические риски представляют газогидраты вдоль континентальной окраины, взрывоопасность которых резко возрастет при смене термобарических условий, а также усилении сейсмической активности (эффект газогидратного ружья). Все это может повлиять на ход теплого Северо-Атлантического течения вплоть до его возможной остановки.

Восточно-Баренцевский шельф. Выходы газа на поверхности морского дна широко распространены на шельфе Баренцева моря. Морфологическими проявлениями данного процесса являются воронки просачивания, а также газовые факелы и фонтаны. Миграция газов к поверхности дна наблюдается как от газовых линз в меловой толще, проявляющихся в сейсмической записи в виде аномалии типа “яркое пятно”, так и, по-видимому, от Штокмановского газоконденсатного месторождения. Многие слабые землетрясения на шельфе Арктики могут быть обусловлены подводными выхлопами газа, разрушающими целостность донных отложений, следствием чего является образование покмарок – округлых углублений в рельефе дна. По-видимому, наиболее крупные покмарки приурочены к зонам разломов, что подтверждается исследованиями в районе Штокмановского газоконденсатного месторождения. Так нами выявлен не выраженный в рельефе дна крупный диапир. В случае усиления тектонической активности или в результате неосторожного бурения, а также возможного столкновения с движущимся объектом (подводной лодкой) он может превратиться в грязевой вулкан с развитием подводящего канала и с выбросом газа (Захаренко и др., 2014).

Шельф моря Лаптевых. В связи с освоением Арктики возрастает интерес и к ее восточным регионам, в частности к шельфу моря Лаптевых, характерной особенностью которого является наличие мощного слоя многолетнемерзлых пород. Исследования, проведенные сейсморазведкой МОВ ОГТ (материалы ОАО МАГЭ), позволяют рассмотреть предпосылки образования газогидратов не только в придонном слое, что уже ранее изучалось другими исследователями, но и на более глубоком уровне их возможного существования в зоне стабильности (800–1100 м). Установлено, что в их образовании значительную роль играет вертикальная миграция термогенного газа, прежде всего, по глубинным разломам, а геологические условия, в результате трансгрессивно-регрессивных циклов, благоприятны для скопления в породах-коллекторах. В придонном слое в разрезе мерзлых пород, по данным предыдущих исследователей, по-видимому, преобладает биохимический (микробный) газ, связанный с интенсивным размывом берегов и поступлением органического вещества. Он рассеян по площади. Локальные скопления газогидратов на более глубоком уровне могут быть индикаторами перетоков газа, связанных с нижележащими нефтегазовыми месторождениями, и являться как дополнительным фактором, подтверждающим углеводородную перспективность данного района, так и источником повышенного риска, связанного с полосой эпицентров землетрясений и близостью срединно-океанического хребта Гаккеля.

Экологические риски в вопросе изменения климата. Роль газогидратов в качестве фактора изменения климата в четвертичном периоде в значительной степени ранее игнорировалась. Однако в настоящее время наблюдается растущее признание того, что

газогидраты играли определенную роль в изменении климата в плейстоцене. Происхождение нескольких коротких эпизодов глобального потепления было связано с массивной диссоциацией гидратов с выбросом CH_4 в океан/атмосферу. Сходство атмосферного метана и вариаций температуры, записанные в ледяных ядрах показывает, что CH_4 играет важную роль в конце четвертичных изменений климата. Тем не менее, вопрос о роли газогидратов в отношении глобального изменения климата современности остается дискуссионным, потому что для того, чтобы метан стал эффективным парниковым газом, он должен достичь атмосферы. Здесь есть ограничивающие факторы: во-первых, большая часть гидратов растворяется в толще воды, во-вторых, происходит анаэробное окисление метана, где значительное количество метана превращается в CO_2 в морских отложениях. Тем не менее, большинство ученых сходятся во мнении, что газогидратные системы в полярных широтах имеют особое значение в связи с тем, что экологические изменения будут ощущаться здесь в первую очередь. Они являются здесь более экстремальными, чем в других местах. Рассмотрев важную роль вертикальной дегазации, следует заметить, что в верхней части литосферы важную роль начинают играть палеогеографические обстановки гляциальных и перигляциальных шельфов.

Л и т е р а т у р а

Захаренко В.С., Казанин В.С., Павлов С.П. Предпосылки и условия формирования газогидратов на Штокмановской площади Баренцева моря // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та, 2014. Т. 17, № 2. С. 394–402.

СВЯЗЬ ДРЕЙФА ЛЬДОВ В АРКТИКЕ В XX–НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ

В.Г. Захаров¹, Н.К. Кононова^{2,3}

¹Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

e-mail: zakharov_vg@mail.ru

²Институт географии РАН, г. Москва, Россия

³Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, г. Севастополь, Россия

e-mail: NinaKononova@yandex.ru

Особенности дрейфа арктических льдов и циркуляционные механизмы Северного полушария. Морской лед является одним из самых мощных средств подготовки, транспортировки и отложения осадочных материалов. Диапазон действия этого транспортного агента в условиях океана велик. Крупные айсберги проходят расстояние от мест их образования до 4–6 тыс. км и в ходе оттаивания откладывают осадочный материал. Айсберги и морской лед могут нести осадочный материал от валунов диаметром более 10 м до тонкого пелитового. Подъемная сила льда велика: 1 м³ плотного льда может нести от 100 до 300 кг осадков (Лисицын, 1994).

Крупномасштабная циркуляция поверхностных вод и льда в Северном Ледовитом океане представлена Трансарктическим дрейфом в Восточном полушарии и антициклонической циркуляцией в Западном. Трансарктический дрейф начинается на севере Чукотского моря. Затем через область полюса направляется в пролив Фрама. Далее он продолжает Восточное Гренландское течение до южной оконечности Гренландии. От начала Трансарктического

дрейфа до юга Гренландии (расстояние около 6000 км) это занимает около 4–5 лет (Лисицын, 1994). Такое время потребуется для транспортировки аэрозольного материала и других видов осадков, транспортируемых айсбергами и ледяными полями.

По гидролого-климатическим показателям 2004, 2007 и 2011 гг. были получены новые данные о взаимосвязи динамики циркуляции атмосферы Северного полушария с полями дрейфа льдов в Арктическом бассейне (Захаров, Кононова, 2013). Установлена роль элементарного циркуляционного механизма (ЭЦМ) 13л в формировании ледовых полей у западных побережий Шпицбергена и их резких подвижках к фьордам архипелага (лето 2004 и 2011 гг.). Показана согласованность периодов ЭЦМ 13л и циклонической циркуляции льдов в Арктическом бассейне в разные годы. Было также установлено, что при действии ЭЦМ 12а в Арктическом бассейне наблюдалась антициклоническая циркуляция дрейфа льдов (лето 2007 г.). Получены совмещенные карты динамических схем ЭЦМ Северного полушария и полей дрейфа арктических льдов: для зимы – при ЭЦМ 13з с циклонической циркуляцией дрейфа льдов в Арктическом бассейне; для весны – при ЭЦМ 8гз (07.03.2011 г.); для лета – при ЭЦМ 4в (14.08.2011 г.) с антициклонической циркуляцией дрейфа льдов в Арктическом бассейне (Захаров, Кононова, 2013).

Показано, что смена атмосферного давления в Арктике, а соответственно и характера циркуляции атмосферы и льдов (циклонические на антициклонические и наоборот) может существенно влиять на миграцию и режим Трансарктического дрейфа (смещение, замедление, ускорение), а также на интенсивность, направление транспорта и области отложения ледовых осадков в Арктическом бассейне.

Найденные взаимосвязи позволили нам подойти к выявлению преобладающего характера дрейфа морского льда в Арктическом бассейне в разные циркуляционные эпохи Северного полушария XX–XXI веков (с 1899 по 2019 гг.). В основу исследования были положены “Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому” (Кононова, 2009), материалы по глобальной циркуляции атмосферы за последние годы (Кононова, 2018; www.atmospheric-circulation.ru) и “Поля дрейфа льда в Арктическом бассейне при типовых барических ситуациях. Справочное пособие” (Горбунов и др., 2008).

Характер дрейфа арктических льдов в циркуляционные эпохи Северного полушария (XX–начало XXI веков). В первую – меридиональную северную циркуляционную эпоху XX столетия (1899–1915 гг.) наиболее продолжительными являлись зимние ЭЦМ 11а и 12бз, характеризующиеся высоким давлением в Арктике и антициклоническим характером дрейфа льда в районе полюса.

Во вторую – зональную циркуляционную эпоху XX столетия (1916–1956 гг.) наиболее продолжительными также оказались зимние меридиональные северные ЭЦМ 11а и 12бз. При этом отмечалось высокое давление в Арктике. Циркуляция дрейфа льда в эту эпоху носила антициклонический характер. Высокую продолжительность показали летние ЭЦМ 4б и ЭЦМ 3 с нарушением зональности (блокировкой) в одном из секторов Северного полушария. Дрейф льда в районе полюса при этих и других ЭЦМ зональной группы носил антициклонический характер.

В третью – меридиональную южную циркуляционную эпоху XX–XXI столетий (1957–2019 гг.) на отрезке времени 1984–2019 гг. заметно преобладало действие ЭЦМ 13л и ЭЦМ 13з, характеризующихся циклоническим вихрем в районе полюса и низким давлением в Арктике. В этот период в Арктическом бассейне чаще всего преобладал циклонический характер дрейфа льда.

Быстрый рост меридиональной южной циркуляции наблюдался в 1981–1989 гг. Снижение продолжительности меридиональной южной циркуляции и рост северной меридиональной циркуляции за счет ЭЦМ 12а проявились в 2004–2014 гг. Дрейф льда в районе полюса в этот период носил антициклонический характер.

Внутри меридиональной южной эпохи XX–XXI столетий выделены следующие периоды: 1957–1969 гг. (повышение продолжительности меридиональной северной циркуляции) и 1970–1980 гг. (рост продолжительности зональной циркуляции с высоким давлением в районе полюса). Дрейф льда в районе полюса в эти периоды был антициклоническим.

Охарактеризуем короткопериодные колебания продолжительности меридиональной южной циркуляции. В 1981–1989 годах произошел скачкообразный рост продолжительности этого типа циркуляции до ее максимума за весь период наблюдений (201 сут. в 1989 г.), затем произошел ее спад до 66 сут. в 2014 г., новый рост до 172 сут. в 2017 г. и спад до 118 сут. в 2019 г.

Указанные колебания меридиональной южной циркуляции позволяют судить и о колебаниях характера дрейфа морских льдов в районе полюса (смена циклонического на антициклонический).

Л и т е р а т у р а

Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Поля дрейфа льда в Арктическом бассейне при типовых барических ситуациях. Справочное пособие. СПб.: Изд. ААНИИ, 2008. 35 с.

Захаров В.Г., Кононова Н.К. Взаимосвязь динамики полей дрейфа льда в Арктическом бассейне и циркуляции атмосферы Северного полушария (летние сезоны) // Сложные системы. 2013. № 4(9). С. 55–67.

Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.

Кононова Н.К. Типы глобальной циркуляции атмосферы: результаты мониторинга и ретроспективной оценки за 1899–2018 гг. // Фундаментальная и прикладная климатология. 2018. № 3. С. 108–123.

Лисицын А.П. Ледовая седиментация в Мировом океане М.: Наука, 1994. 448 с.

СВЯЗЬ СРОКОВ ПРИЛЕТА ПУНОЧКИ НА АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН С ЦИРКУЛЯЦИЕЙ АТМОСФЕРЫ СЕВЕРНОГО ПОЛУШАРИЯ

В.Г. Захаров¹, Н.В. Лебедева²

Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

e-mail: zakharov_vg@mail.ru

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия

e-mail: lebedeva@ssc-ras.ru

С начала инструментальных наблюдений за погодой на арх. Шпицберген установлено, что последние годы стали самыми теплыми, повысились средние зимние и весенние температуры по сравнению с предыдущим столетием (Temperature ..., 2011; Air ..., 2016). Одним из индикаторов климатических изменений служат сроки прилета птиц с мест зимовки. Для многих видов, гнездящихся в материковой Европе, зарегистрированы более ранние сроки прилета на места гнездования (Sokolov, 2006). Мы отмечали, что прилет пуночки *Plectrophenax nivalis* на Шпицберген может задерживаться, несмотря на благоприятные погодные условия, что связано с формированием ветровых барьеров между архипелагом и материком (Лебедева, 2016, 2018).

В 2019 году появились новые данные о циркуляции атмосферы Северного полушария – был продолжен 117-летний ряд календаря последовательной (ежедневной) смены элементарных циркуляционных механизмов (ЭЦМ) Северного полушария (www.atmospheric-circulation.ru). Это позволило проанализировать данные о сроках прилета пуночки на архипелаг с учетом атмосферной циркуляции. Цель настоящего исследования – выявление возможностей совместного анализа полевых наблюдений, климатических и циркуляционных характеристик для оценки взаимосвязей природных процессов, влияющих на сроки весенней миграции птиц.

В основу анализа положена классификация атмосферных циркуляционных макропроцессов (Кононова, 2009) и календарь последовательной смены ЭЦМ Северного полушария за 1899–2019 гг. (www.atmospheric-circulation.ru). Этот подход был применен ранее для исследования гидролого-климатических и ледовых условий в Арктическом бассейне (Захаров, 2012; Захаров, Кононова, 2013).

Сведения о сроках прилета пуночек с мест зимовки были получены на основании полевых наблюдений в районе пос. Баренцбург (о. Западный Шпицберген) в марте–апреле 2014, 2016 и 2018 гг. Для анализа погоды были использованы данные сайта (<http://www.yr.no>), а также сведения о направлении воздушных потоков в районе Скандинавии и Шпицбергена (<https://github.com/cambecc/earth>).

Наши предыдущие исследования показали, что первыми на архипелаг прибывают самцы, а позже через 10–14 сут. появляются самки (Лебедева, 2016). Их прилет сдерживался сформированными ветровыми барьерами.

Анализ атмосферной циркуляции показал, что прилет первых самцов и самок в район пос. Баренцбург был связан с действием определенных ЭЦМ, формирующих благоприятные условия для миграции пуночки через Баренцево море. Так, в 2014 г. в день прилета самцов (11 апреля) действовал ЭЦМ 13з. К этому типу относятся зарождающиеся на арктическом фронте, регенерирующие на нем или окклюдированные циклоны, проникающие в Арктику через Гренландию и Баренцево море (Кононова, 2009). Они либо пересекают Полярный бассейн с его периферии, либо проникают в приполюсный район, образуя здесь обширную депрессию. Траектории движения таких циклонов обусловлены мощными ведущими потоками, связанными с континентальными антициклоническими системами. Направления потоков в высоких широтах близки к меридиональным (Кононова, 2009). В дни появления первых самок (20–21 апреля) действовал ЭЦМ 11в. В это время атлантическая область пониженного давления сдвинута к северу и занимает почти весь Канадский архипелаг, Гренландию и северные моря.

В 2016 году в день прилета небольшой группы самцов (6 апреля) действовал ЭЦМ 12а в период ослабления. Этот тип формируется при хорошо развитом арктическом антициклоне. Одновременно в разных частях полушария развивается несколько циклонических серий, и движение циклонов происходит по траекториям, имеющим большую северную составляющую. Арктические вторжения происходят в тылу циклонических серий и, следовательно, одновременно по нескольким направлениям (Кононова, 2009). В дни прилета большой группы самцов (21 апреля) сформировался ЭЦМ 9а. Прорыв полярных фронтальных циклонов осуществляется через Европу со средней продолжительностью 11 сут. В день прилета самок (28 апреля) действовал ЭЦМ 12бл. Этот тип формируется при хорошо развитом арктическом антициклоне (Кононова, 2009).

В 2018 году в день прилета самцов (6 апреля) действовал ЭЦМ 13л. Основным признаком, характеризующим этот тип ЭЦМ, является развитие циклонической деятельности на арктическом фронте и, в особенности, регенерацией на нем окклюдированных циклонов, приходящих с юга в высокие широты (Кононова, 2009).

В результате проведенного анализа установлено соответствие сроков прилета пуночки на Шпицберген и ЭЦМ Северного полушария, определяющих генеральные траектории движения циклонов в апреле над Баренцевым морем. Двумя независимыми путями подтверждено сходство характера переноса воздушных масс (направление ветров) в периоды “ветровых барьеров”, неблагоприятных для перелетов пуночек, а также благоприятных периодов для миграции этого вида птиц при меридиональных прорывах циклонов из Европы к Шпицбергену.

Полевые исследования на Шпицбергене финансировались по госзаданию ММБИ РАН “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген” (№ государственной регистрации АААА-А18-118031590076-5).

Л и т е р а т у р а

Захаров В.Г. Влияние изменений уровня моря и циркуляции атмосферы на организацию поморских становищ на Шпицбергене (XVI–XVIII вв.) // Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. XI Междунар. конф. Вып. 11. М.: ГЕОС, 2012. С. 78–87.

Захаров В.Г., Кононова Н.К. Взаимосвязь динамики полей дрейфа льда в Арктическом бассейне и циркуляции атмосферы Северного полушария (летние сезоны) // Сложные системы. 2013. № 4(9). С. 55–67.

Кононова Н.К. Классификация циркуляционных механизмов Северного полушария по Б.Л. Дзердзеевскому. М.: Воентехиниздат, 2009. 372 с.

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-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 212–217.

Лебедева Н.В. Птицы ранней весной в окрестностях пос. Баренцбург (Шпицберген) // 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. С. 66–67.

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

Air temperature variations and gradients along the coast and fjords of western Spitsbergen / H.M. Gjelten, Ø. Nordli, K. Isaksen et al. // Polar Res. 2016. Vol. 35(1). 29878. DOI: 10.3402/polar.v35.29878

Sokolov L.V. Effect of global warming on the timing of migration and breeding of passerine birds in the 20th century // Entomological Review. 2006. Vol. 86(1). P. 59–81.

САМЫЙ ДЛИННЫЙ РЯД ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ НА АРХИПЕЛАГЕ ШПИЦБЕРГЕН

Б.В. Иванов^{1,2,3}, В.И. Демин⁴, А.Д. Ревина¹

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: b_ivanov@aari.ru

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

³Институт физики атмосферы РАН, г. Москва, Россия

⁴Полярный геофизический институт РАН, Апатиты, Мурманская область, Россия

Самые продолжительные инструментальные метеорологические наблюдения на арх. Шпицберген получены в российском пос. Баренцбург, где первая метеорологическая станция появилась еще в 1932 г. Однако использование этих данных в исходном виде осложнено перерывом в наблюдениях из-за Второй Мировой войны.

Было осуществлено восстановление отсутствующих данных о приземной температуре воздуха (ПТВ) для 1941–1947 гг. на основании анализа регрессионных зависимостей с норвежскими метеостанциями (“Isfjord Radio” и “Longyearbyen”). Для периодов, когда наблюдения на архипелаге не проводились вовсе (Вторая Мировая война), данные восстановлены с использованием реанализа NOAA-CIRES-DOE 20CRv3. Восстановление данных с декабря 1911 г. по август 1932 г. проведено на основе измерений, выполненных на норвежской метеостанции “Грин-Харбор”, которая находилась в 1.5 км от современной метеорологической площадки в пос. Баренцбург. В 2013–2014 годах, в рамках совместной научной программы ААНИИ и Норвежского метеорологического института (г. Осло), проводились параллельные измерения двумя автоматическими метеостанциями на историческом месте метеоплощадки “Грин-Харбор” и на современной метеоплощадке гидрометеорологической обсерватории (ГМО) “Баренцбург”. Это позволило установить характер статистической связи между значениями ПТВ в этих двух пунктах. В результате получены композитные ряды среднемесячных значений ПТВ, начиная с 1911 г., для ГМО “Баренцбург”, которые могут быть использованы для корректных оценок долговременных изменений климата в регионе в различные сезоны года. При этом с 1911 по 2018 гг. доля оригинальных (измеренных) значений ПТВ превышает 75 %, что является максимально возможным числом для любой другой реконструкции подобных рядов на Шпицбергене.

Первые сведения об инструментальных метеорологических наблюдениях на Шпицбергене относятся к последней четверти XIX века. Эти эпизодические наблюдения осуществлялись во время научных и промысловых экспедиций и зимовок. Некоторые метеостанции, открытые здесь в первой половине XX века, до настоящего времени не сохранились, а время непрерывной работы существующих станций часто ограничено последними десятилетиями. В результате, несмотря на довольно продолжительную историю наблюдений, отсутствуют надежные ряды, которые можно было бы использовать для изучения долговременных климатических изменений. Например, в глобальной системе наблюдений за климатом (Global Climate Observing System) Шпицберген представлен метеостанцией “Svalbard Airport”, которая приступила к работе на площадке в районе аэропорта пос. Лонгйир только в августе 1975 г. Перечень метеостанций, работавших на Шпицбергене в разные годы, описание их местоположения и периодов работы, приведено в работах ряда норвежских исследователей (Nordli et al., 1996; Evaluation ..., 2018).

Отсутствие длительных непрерывных серий инструментальных наблюдений вынуждает прибегать к созданию композитных рядов, опираясь на данные нескольких метеостанций. Такая процедура сопровождается появлением дополнительных ошибок и неопределенностей. Поэтому метеостанции с наиболее длительными рядами инструментальных наблюдений имеют очевидное преимущество.

Цель данной работы – восстановить отсутствующие данные о ПТВ в пос. Баренцбург и создать непрерывный ряд среднемесячных значений искомой величины, начиная с 1911 г., который можно использовать для объективных оценок климатических изменений на архипелаге в XX веке.

В работе использованы данные Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (ВНИИГМИ-МЦД, г. Обнинск, www.meteo.ru) и Норвежского метеорологического института (www.met.no).

Регулярные метеорологические наблюдения в Баренцбурге начались в августе 1932 г. после их переноса из рудника Грумант (залив Ис-фьорд) и проводились там по сентябрь 1933 г. по программе II Международного Полярного года. После его окончания станция начала функционировать как ГМО “Баренцбург” в системе Гидрометслужбы СССР. Метеорологическая площадка располагалась тогда на северо-восточной окраине поселка у подножья горы на высоте около 70 м над уровнем моря в 400–450 м от восточного берега залива Грэн-фьорд. Во время Второй Мировой войны, в августе 1941 г., метеостанция была законсервирована,

персонал эвакуирован. Наблюдения возобновились только в декабре 1947 г. С 1 июня 1978 г. площадка перенесена на узкую прибрежную террасу с отметкой 22 м над уровнем моря в 70–80 м от залива. Третий (последний) перенос площадки произошел в феврале 1984 г. С этого момента и по настоящее время метеорологические наблюдения проводятся на южной окраине поселка на расстоянии примерно 330 м от залива и на высоте 74 м над уровнем моря. Переносы метеорологической площадки в 1978 и 1984 гг. могли привести к появлению в рядах метеорологических данных неоднородностей методического характера. Для выявления указанных неоднородностей к имеющимся рядам среднемесячных значений ПТВ были применены известные тесты: SNHT, Буишанда, Петтитта и Фон-Ноймана (Рубинштейн, 1979). Результаты проверки по указанным тестам подробно рассмотрены в работе (Демин, Иванов, 2019), где делается заключение об однородности рядов за весь период наблюдений с 1911 г. Отсутствие признаков методической неоднородности является основанием для использования рядов ПТВ, полученных ГМО “Баренцбург”, для объективных исследований климатических изменений на арх. Шпицберген.

Ряды среднемесячных значений ПТВ, полученные для ГМО “Баренцбург”, являются и самими продолжительными среди всех метеостанций на арх. Шпицберген. С помощью данных ближайших метеостанций и реанализа восстановлены отсутствующие значения среднемесячной ПТВ для 1911–1932 и 1941–1947 гг. Созданные композитные ряды среднемесячных значений ПТВ для ГМО “Баренцбург” могут быть использованы для корректных оценок долговременных изменений климата в регионе в различные сезоны года.

Работа выполнена в рамках Программы научного сотрудничества между Росгидрометом и Норвежским метеорологическим институтом в 2019–2021 гг., плана НИТР/ОПР Росгидромета (проект 24, раздел 5.1.4) и при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-05-60291) и Министерства науки и высшего образования (грант № 05.616.21.0109 (075-15-2019-1487) (RFMEFI61619X0109).

Л и т е р а т у р а

Демин В.И., Иванов Б.В. Проверка климатической однородности рядов температуры воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) // Труды XVI Всероссийской научной школы “Математические методы в естественных науках”. Апатиты: Изд. Геол. ин-та КНЦ РАН, 2019. С. 134–150.

Рубинштейн Е.С. Однородность метеорологических рядов во времени и пространстве в связи с исследованием изменения климата. Л.: Гидрометеиздат, 1979., 80 с.

Evaluation of downscaled reanalysis and observations for Svalbard – Background-report for Climate in Svalbard 2100 / D. Vikhamar-Schuler, E.J. Førland, J. Lutz, H.M. Gjølten. NCCS-report 4. 2019. URL: www.klimaservicesenter.no

Nordli Ø., Hanssen-Bauer I., Førland E.J. Homogeneity analyses of temperature and precipitation series from Svalbard and Jan Mayen // Klima 16/96. Oslo, 1996. Met.no.

ИЗУЧЕНИЕ РОЛИ ЛЕДНИКОВ В ФОРМИРОВАНИИ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФОНА В ФЬОРДАХ ШПИЦБЕРГЕНА

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

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: ilyin@mmbi.info

Выполнен анализ радиоэкологического фона на внутреннем шельфе Шпицбергена в условиях современных климатических изменений и деградации ледников. На примере

залива Ис-фьорд показано, что ледниковый сток определяет уровень обогащения морской среды архипелага техногенными радиоизотопами, ранее погребенными в ледовом покрове. Показателем роли ледников при текущих климатических условиях служит образование зон импактного загрязнения и вынос в фьорды изотопа ^{134}Cs – маркера современных атмосферных выпадений.

Самые северные районы Арктики еще мало освоены, но уже находятся под воздействием множественных глобальных, региональных и локальных источников радиационного загрязнения. К таковым, в частности, относятся островные ледники. Основной фактор 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 долговременной аккумуляции радионуклидов прошедших ядерных испытаний и современных инцидентов. Соответственно, зона арктических архипелагов вызывает повышенный интерес в связи с растущим хозяйственным освоением высокоширотной Арктики и климатическими метаморфозами ледового покрова.

Архипелаг Шпицберген является удобным полигоном для изучения радиозоологических последствий ускоренного таяния ледников в Арктике. Сам архипелаг и прибрежные воды – демилитаризованная зона, свободная от воздействия первичных источников техногенных радиоизотопов. Но ледники, покрывающие архипелаг, содержат атмосферные выпадения всего периода ядерной эпохи.

В связи с повышением среднегодовых температур и деградацией ледников, увеличивается вторичное поступление в морскую среду Шпицбергена техногенных изотопов, накопившихся в ледниках архипелага в период испытаний атомного оружия.

В 2011 году на архипелаге в аэрозольной пыли были обнаружены радионуклиды, типичные для выбросов АЭС “Фукусима-1” – ^{131}I , ^{134}Cs , ^{137}Cs , ^{132}Te .

Содержание техногенных радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr в донных отложениях и слоях воды Ис-фьорда – самого крупного, хозяйственно и социально освоенного залива – было исследовано в 2015–2019 гг. Его водосборный бассейн изобилует горно-долинными ледниками, наиболее крупный из которых ледник Норденшельда. Отмечено в целом низкое загрязнение верхнего слоя воды, свободно обменивающегося в водной системе Ис-фьорд–Грэн-фьорд–Билле-фьорд. По данным наблюдений, в системе фьордов в верхнем слое распресненной воды от 0 до 50 м объемная активность ^{137}Cs варьировала в диапазоне 1–1.6 Бк/м³, а ^{90}Sr – 1.5–3.6 Бк/м³. Слой сформирован при значительном участии стока ледников и отделен от нижних слоев пикноклином.

В распределении радиоизотопов хорошо выражены максимум ^{137}Cs , ^{90}Sr в вершине Билле-фьорда и непрерывный горизонтальный градиент со снижением удельной активности от вершины к устью Ис-фьорда. Вертикальный градиент удельной активности ^{137}Cs , ^{90}Sr выражен в Билле-фьорде, где гидрологическая структура вод не искажается внедрением атлантических масс. Он был сформирован водами зимнего происхождения, которые заполняют глубинный и придонный слои. В этих слоях концентрация изотопов понижена – $^{137}\text{Cs} < 1$, $^{90}\text{Sr} < 2$ Бк/м³.

В Грэн-фьорде объемная активность радионуклидов ^{137}Cs (1–1.5 Бк/м³), ^{90}Sr (2–3.5 Бк/м³) равномерно распределена в водной толще. Это соответствует однородной гидрологической структуре вод залива, который имеет свободный водообмен с Ис-фьордом по всему профилю глубин. Локальные участки роста концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в воде определяются расположением устьев рек, ручьев.

В Билле-фьорде в соответствии с его морфологией и гидрологией созданы наиболее благоприятные условия для аккумуляции осадочного материала. В осадках котловины фьорда отмечен максимум концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr .

В донных отложениях Ис-фьорда происходит снижение удельной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr . В осадках Грён-фьорда удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr понижена до наиболее низких в системе фьордов значений. Большая часть загрязненных осадков вымывается в Ис-фьорд и оседает в понижениях донного рельефа.

Для подтверждения выводов материал морских наблюдений был дополнен исследованиями наземной среды архипелага. В 2017–2019 годах выполнялась оценка радиоактивного загрязнения проб воды, почвы и мхов в зоне абляции ледника Западный Грёнфьорд. Изучалась вероятность поступления радионуклидов в морскую среду.

По предварительным результатам объемная активность ^{137}Cs в поверхностных водах приледникового оз. Бретъёрна и вытекающей из него реки в сентябре 2017 г. была ниже минимально детектируемой. Достоверно идентифицированы пики ^{137}Cs только в пробах воды с глубины 5 и 15 м.

В почвах в зоне таяния ледника в последнее 15 лет концентрация ^{137}Cs увеличилось практически в 2 раза. Его содержание составило в среднем 29.7 Бк/кг, по сравнению с 14 Бк/кг в 2001–2002 гг. Во мхах современная концентрация радиоцезия значительно снижена по сравнению с 2001–2002 гг. Однако мхи, в отличие от почвы, могли быть промыты обильными атмосферными осадками в период исследований.

Таким образом, наземными наблюдениями подтверждено, что при современной дегляциации архипелагов ледниковый сток играет важную роль в формировании радиоэкологического состояния морского побережья Шпицбергена и других архипелагов. Он определяет уровень обогащения морской среды техногенными радиоизотопами, ранее погребенными в ледовом покрове, и образование зон импактного загрязнения.

Работа выполнена в рамках госзаданий ММБИ РАН “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген” (№ госрегистрации АААА-А18-118031590076-5) и “Воздействие климатических факторов, химического и радиационного загрязнения на морские экосистемы Арктики в условиях комплексного природопользования” (№ госрегистрации АААА-А18-118030690062-0), а также при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-05-60249).

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ВОДНЫХ МАСС ЗАПАДНОГО ПРИБРЕЖЬЯ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН В КОНЦЕ НОЯБРЯ 2019 ГОДА

Т.Г. Ишкулова, И.А. Пастухов

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: ishkulova@mmbi.info

Фосфор, азот и кремний относятся к главным биогенным веществам, необходимым морским организмам для жизни. Содержание растворенных минеральных форм данных элементов в водной среде формируется в ходе многоступенчатого процесса химической и биологической трансформации. В предлагаемой работе анализируется гидрохимическая структура вод в переходный период от осеннего к зимнему гидробиологическим сезонам в условиях полярной ночи.

20–21 ноября 2019 г. в ходе экспедиции ММБИ РАН (НИС “Дальние Зеленцы”) было проведено изучение водных масс на разрезе 77–80° с. ш. вдоль западного побережья арх. Шпицберген. На пяти комплексных станциях осуществлен отбор проб со стандартных горизонтов для изучения следующих параметров гидрохимического комплекса: растворенного кислорода и минеральных форм главных биогенных элементов (фосфора, азота и кремния). Используются методы аналитических исследований морских вод (Руководство ..., 2003).

Концентрация растворенного кислорода в среднем составляла 10.3 ± 0.5 мг/л, а его насыщенность – 96 ± 2 %. Подобные низкие величины насыщенности характерны при отсутствии активности биоты. Содержание кислорода уменьшается от поверхности ко дну. Его резкое понижение выявлено в слое 25–100 м. Минимальная зафиксированная концентрация кислорода (9.7 мг/л) отмечена на глубине 100 м на юге исследованной акватории.

В районе исследований самыми насыщенными фосфором (до 0.35 мкг-ат/л) были воды, находящиеся наиболее близко к береговой зоне. Средняя концентрация фосфора фосфатного составила 0.29 ± 0.05 мкг-ат/л. По вертикали количество фосфатов увеличивалось с глубиной. При этом на всей исследованной акватории на горизонте 25 м наблюдалось повышение концентрации $P-PO_4^{3-}$ – до 0.38 мкг-ат/л, вероятно, вследствие аккумуляции из-за наличия стратификации водных масс.

В атлантических водах содержание нитратов зимой составляет 11.50 мкг-ат/л (Ecosystem ..., 2009). На исследованной акватории подобные концентрации $N-NO_3^-$ выявлены на глубине 100 м и ниже в водах с соленостью около 35 psu и температурой примерно 4 °С. В водном слое 0–100 м содержание азота нитратов варьирует в диапазоне 6.40–11.00 мкг-ат/л. На количество данного биогенного элемента также влияет близость берега. Содержание $N-NO_3^-$ в водном столбе восточной части района исследований наиболее высокое – в среднем 10.60 мкг-ат/л. Распределение нитритов в водном столбе противоположно распределению нитратов. Минимальные значения азота нитритов (0–0.01 мкг-ат/л) выявлены в придонном горизонте. На глубине 25–50 м встречаются области сгущения данного биогенного вещества. Скачок плотности между водными слоями препятствует опусканию нитритного азота, образовавшегося при окислении органического вещества (Гидрометеорология ..., 1992). В среднем на исследованной акватории концентрация $N-NO_2^-$ – 0.06 ± 0.04 мкг-ат/л, $N-NO_3^-$ – 9.30 ± 2.30 мкг-ат/л.

Содержание кремния в морской воде подвержено значительным изменениям в зависимости от удаленности от зоны влияния терригенных вод. Поэтому на исследованной нами акватории концентрация кремния силикатов колебалась в довольно широком диапазоне – от 2.8 до 4.2 мкг-ат/л при общей средней концентрации 3.3 ± 0.9 мкг-ат/л. Отмечено, что в результате процессов минерализации и разложения кремниевых скелетов организмов содержание Si у дна высокое (Гершанович и др., 1990; Гидрометеорология ..., 1992). На изученном нами участке содержание Si у дна примерно в 2 раза выше, чем на поверхности. Максимально зарегистрированная концентрация кремния кремнекислоты в придонном горизонте – 5.9 мкг-ат/л.

Для определения и классификации водных масс используются величины отношения биогенных элементов между собой. Высокоширотным водным массам свойственны более низкие величины N:P, а соотношение Si:P зависит от гидрохимических особенностей конкретных водных масс (Хмельницкая, 2011). В водном столбе в районе исследований соотношение концентрации азота к фосфору варьирует в диапазоне 3.7–12.4, кремния к азоту – 0.9–4.2, а кремния к фосфору – 8.4–17.6. Для вод Атлантического океана известно соотношение кремния к минеральному азоту равное 1.4 (Гершанович и др., 1990), для Северной Атлантики – 1.1 (Stefansson, 1968). Полученная нами средняя величина соотношения этих биогенных элементов выше – $Si:N = 1.7$, т. е. развитие фитопланктона в исследованных нами водах могло лимитироваться недостатком азота. Также это подтверждает отношение азота к фосфору на изученном участке, которое значительно ниже соотношения Редфилда (Redfield, 1934).

Л и т е р а т у р а

Гершанович Д.Е., Елизаров А.А., Сапожников В.В. Биопродуктивность океана. М.: Агропромиздат, 1990. 238 с.

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

Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.

Хмельницкая О.К. Основные гидрохимические характеристики промежуточных и глубинных водных масс Северной Атлантики // Вестн. Моск. ун-та. 2011. Сер. 5. География. № 6. С. 60–66.

Redfield A.C. On the proportions of organic derivatives in sea water and their relation to the composition of plankton // James Johnstone Memorial Volume. Liverpool: University Press, 1934. P. 176–192.

Ecosystem Barents Sea / E. Sakshaug, K. Kovacs, G. Johnsen (Eds.). Trondheim: Tapir Academic Publ., 2009. 587 p.

Stefansson U. Dissolved nutrients, oxygen and water masses in the Northern Irminger Sea // Deep-Sea Res. 1968. Vol. 15, № 5. P. 541–575.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СПУТНИКОВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ХЛОРОФИЛЛА А В ТРУДНОДОСТУПНЫХ ОБЛАСТЯХ АРКТИЧЕСКИХ АКВАТОРИЙ

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

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: kalinka@mmbi.info

Определение концентрации хлорофилла *a* (*Chl_a*), основного пигмента фитопланктона, играющего важнейшую роль в процессе фотосинтеза, является общепризнанным методом оценки биомассы и развития фитопланктона, а также продукционного потенциала водоемов. Таким образом, данные о концентрации *Chl_a* очень актуальны для обеспечения рационального природопользования с учетом устойчивости морских экосистем. Исследование концентрации *Chl_a* успешно решается путем прямого отбора проб с судна и последующей их обработкой лабораторными методами (Вода ..., 2001). Однако данный подход не позволяет охватывать обширные области и вести регулярные наблюдения в связи с труднодоступностью арктических акваторий и высокой стоимостью судовых работ. Современные спутниковые данные дают прекрасную возможность оценивать концентрацию *Chl_a* в широком диапазоне пространственных и временных масштабов с регулярной периодичностью (Doerffer, Fischer, 1994; Оценка ..., 2013; Биооптические ..., 2018). При этом оценки, выполненные с использованием дистанционного зондирования земли (ДЗЗ), не всегда сопоставимы по точности с результатами на основе судовых наблюдений. Например, существующий в настоящее время стандартный алгоритм обработки для Карского моря по данным сканера MODIS существенно завышает концентрацию *Chl_a* по сравнению с данными прямых определений, а алгоритм для Баренцева моря, разработанный ранее в Институте океанологии РАН (<http://optics.ocean.ru>), занижает (Оценка ..., 2013). Исследования концентраций *Chl_a* в широтах выше 75° с. ш., таких как Шпицберген, очень ограничены, особенно в фьордах (Young-Sun, Hyun-cheol, 2018). Поэтому в настоящей работе предпринята попытка сравнения спутниковых и подспутниковых концентраций *Chl_a* в фьордах арх. Шпицберген.

Ранее отмечено (Буканова, 2014), что ДЗЗ в оптическом диапазоне является эффективным методом оценки концентрации *Chl_a*. Однако, актуальна задача адаптации стандартных методик расчета концентрации *Chl_a* по спутниковым данным на основе натурных измерений с учетом региональной специфики оптических свойств вод. Для повышения точности методов, основанных на ДЗЗ, используют калибровочные коэффициенты (Сапрыгин, 2011). Одним из общепринятых методов калибровки является корреляционный анализ результатов ДЗЗ с натурными измерениями (Кутузов, 2016). Первичным этапом калибровки можно считать сопоставление и верификацию результатов спутниковых данных и подспутниковых судовых измерений, выполненных в одних и тех же точках за одни даты.

Данные натурных исследований, на которых основывалась верификация, получены в двух рейсах НИС “Дальние Зеленцы”, проведенных в фьордах арх. Шпицберген в июле 2017 г. и июне 2019 г. В качестве спутниковой информации использовались данные NASA, полученные с помощью сканера цвета MODIS-Aqua, работающего на полярных орбитах и удовлетворяющего необходимым требованиям для определения значений концентрации *Chl_a* (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov>).

Использование спутниковых данных в арктических морях связано со многими ограничениями, главное из которых – облачность, существенно лимитирующая количество доступной спутниковой информации (Оценка ..., 2013). Из-за неблагоприятных погодных условий не всегда было возможно использовать для верификации совпадающие во времени данные прямых определений концентрации *Chl_a* и спутниковые. “Совпадающими” (“much up”) принято считать данные спутниковых и натурных измерений, различающиеся во времени в пределах ± 3 ч (Bailey, Werdell, 2006; Оценка ..., 2013). В связи с ограниченным объемом исходных данных в настоящем исследовании использовались спутниковые материалы с гораздо большей разницей по времени (± 3 сут.). Для каждой станции отбирались спутниковые данные, соответствующие ее координатам. Рассматривался квадрат 4x4 км, в который попадала точка отбора пробы для определения концентрации *Chl_a*.

Проведенный первичный корреляционный анализ концентраций *Chl_a* на основе спутниковых данных и натурных измерений с борта судна показал, что в фьордах арх. Шпицберген в июне 2019 г. крайне мало совпадений наличия значений со спутника и в точках отбора проб. Главным образом это связано с неблагоприятными метеоусловиями – сплошной облачностью в требуемые даты. В июле 2017 г. для большинства станций спутниковые радиометры фиксировали немного заниженные значения концентрации *Chl_a* в поверхностном слое морской воды. Более точные совпадения данных спутниковых и судовых исследований обнаруживались на станциях за те же даты, даже если значения концентраций по спутнику не попадали в точные координаты станций. Охват по времени ± 3 сут. выдавал значительную ошибку в результатах верификации. В пределах разницы в 1–2 сут. процент отклонений уменьшался, но тенденция с занижением спутниковых концентраций по отношению к судовым значениям, сохранялась. Таким образом, можно констатировать факт общего (для большинства станций) занижения концентраций *Chl_a* спутником в фьордах арх. Шпицберген, как это наблюдается в Баренцевом море (Оценка ..., 2013).

Настоящее исследование подтвердило факт того, что количество доступной спутниковой информации в высоких широтах Арктики лимитировано даже в летний период, главным образом, из-за сплошной облачности. Однако дальнейший сбор данных спутниковых и подспутниковых измерений, выполненных в одних и тех же точках в соответствующие даты, позволит рассчитать калибровочные коэффициенты для оценки концентрации хлорофилла *a* в поверхностном слое акватории арх. Шпицберген на основе данных ДЗЗ. Это даст возможность оперативно и своевременно определять концентрацию хлорофилла морских вод в широких пространственных масштабах и конкретных локальных участках, так как первичный

корреляционный анализ концентраций хлорофилла выявил общее занижение спутниковых концентраций для большинства станций. Подобные исследования важны при проведении мониторинга продуктивности, биомассы фитопланктона, уровня трофности, состояния и качества вод, а также оценки тенденций изменения этих показателей.

Л и т е р а т у р а

Биооптические характеристики морей, омывающих берега западной половины России, по данным спутниковых сканеров цвета 1998–2017 гг. / О.В. Копелевич, И.В. Салинг, С.В. Вазюля и др. М.: ООО “Ваш формат”, 2018. 140 с.

Буканова Т.В. Тенденции эвтрофирования юго-восточной части Балтийского моря по спутниковым данным: Дис. ... канд. геогр. наук (25.00.28). Калининград, 2014. 142 с.

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

Кутузов А.В. Оперативный спутниковый мониторинг скоплений планктонных водорослей и количественная оценка их плотности // Географ. вестн. 2016. № 3(38). С. 160–168.

Оценка концентрации хлорофилла в Карском море по данным спутникового сканера MODIS_AQUA / О.А. Кузнецова, О.В. Копелевич, С.В. Шеберстов и др. // Исследование Земли из космоса. 2013. № 5. С. 21–31.

Сапрыгин Т.В. Изучение распределения хлорофилла *a* в Азовском море по данным дистанционного зондирования Земли из космоса и результатам судовых измерений: Дис. ... канд. геогр. наук (25.00.28). Ростов н/Д., 2011. 128 с.

Bailey S.W., Werdell P.J. A multi-sensor approach for the on-orbit validation of ocean color satellite data products // Rem. Sens. Environ. 2006. Vol. 102. P. 12–23.

Doerffer R., Fiseher J. Concentration of chlorophyll, suspended matter, and gelbstoff case II water derived from satellite coastal zone color scanner data with inverse modeling methods // J. Geophysical Res. 1994. Vol. 99, № C4. P. 7457–7466.

Young-Sun S., Hyun-cheol K. Empirical ocean color algorithms and bio-optical properties of the western coastal waters of Svalbard, Arctic // ISPRS. J. Photogrammetry and Remote Sensing. 2018. Vol. 139. P. 272–283. URL: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.03.024>

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ ВЕРХНЕГО ОРГАНОГЕННОГО ГОРИЗОНТА ПОЧВ КАТЕНА НА СКЛОНЕ ГОРНОГО ХРЕБТА ГРЁНФЬОРД, 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
e-mail: galina.kashulina@gmail.com

Благодаря влиянию теплого Атлантического течения, а также теплых и влажных воздушных потоков из Атлантики, юго-западное побережье о. Западный Шпицберген характеризуется более мягкой зимой, более теплым и продолжительным летом, более высоким количеством атмосферных осадков и более мощным снежным покровом по сравнению с расположенными на той же широте более восточными арктическими регионами (Добровольский, 1990).

Благодаря благоприятным климатическим условиям и глубокому (1–2 м) залеганию вечной мерзлоты (Осокин, Сосновский, 2008), на побережьях юго-западной части о. Западный

Шпицберген под сомкнутым мохово-кустарничковым покровом формируются хорошо развитые почвы, которые были диагностированы В.Н. Переверзевым (2012) как серогумусовые. Их характерной особенностью является высокая и глубокая гумусированность профиля.

Высокое содержание органического вещества характерно для большинства арктических почв (Горячкин, 2010). Обычно высокое содержание органического вещества в хорошо дренируемых арктических почвах связывают с заторможенностью процессов трансформации растительных остатков вследствие низких температур и короткого периода с положительными температурами (Васильевская, 1980). В данном докладе будут представлены результаты наблюдений за температурным режимом верхнего органогенного горизонта почв на 4 стационарных площадках, расположенных по геопрофилю, пересекающем горный хребет Грэнфьорд около пос. Баренцбург. Эти наблюдения входили в состав комплексных исследований биологической активности почв, проводимых на этих площадках (Кашулина и др., 2018).

Номер площадки соответствовал ее абсолютной отметке над уровнем моря. Площадка 92 расположена на склоне (15°) западной экспозиции, площадка 141 – на второй морской террасе с небольшим уклоном (3–5°) западной экспозиции, площадка 252 – на вершине хребта, площадка 244 – на крутом (45°) склоне восточной экспозиции. На площадках 92, 141 растительность представлена сплошным покровом из мха и кустарничков, на пл. 252 – этот покров фрагментарный, а на пл. 244 растительность представлена отдельным небольшим пятном из мхов и лишайников среди россыпей камней. Почвы на площадках 92, 141 и 252 серогумусовые грубогумусовые, а на пл. 244 – литозем.

Температурные регистраторы марки iButton были установлены на глубине 2 см (нижняя часть горизонта О). Температура фиксировалась 8 раз в сутки с интервалом 3 ч, начиная с 2 ч 20 июля 2016 г. по 2 августа 2017 г. Температура воздуха за этот период взята из архивных данных гидрометеорологической обсерватории “Баренцбург” ([http:// www.rp5.ru](http://www.rp5.ru)).

Результаты показали, что для каждой площадки свойственно свое сочетание усредненных за год температурных показателей. Продолжительность периода с положительными среднесуточными температурами горизонта О почв составила 150–160 сут. и мало зависела от ландшафтного положения площадки. Различия между площадками по суммам положительных температур были более очевидны, при этом их распределение не всегда соответствовало таковому по абсолютной отметке. Так, самая большая сумма положительных среднесуточных температур была обнаружена на пл. 252 (543 °С), расположенной на вершине хребта, самые низкие – на пл. 244 на склоне восточной экспозиции (511 °С) и пл. 92 в нижней точке геопрофиля (517 °С). Наибольшее количество дней с температурой более 5 °С и суммой среднесуточных температур выше 5 °С были приурочены к площадкам, занимающим самые верхние позиции ландшафта – 252 (53 сут., 345 °С) и 244 (50 сут., 349 °С). Наименьшие значения этих показателей были свойственны пл. 141 (38 сут., 235 °С), расположенной на второй морской террасе, т. е. в средней части геопрофиля.

Распределение среднемесячных температур по площадкам было различно в разные месяцы. Так в июле 2017 г. самыми теплыми были почвы на площадках, занимающих самое высокое положение в ландшафте: 244 (крутой восточный склон хребта) – 6.4 °С и 252 (вершина хребта) – 5.8 °С. Самой холодной была пл. 141 (вторая морская терраса, наименьший уклон поверхности) – 4.7 °С. В августе 2016 г. при небольшом снижении температуры различия между площадками по температуре почв сглаживались. В сентябре и октябре среднемесячные температуры почвы оставались в положительной области. При этом почва на пл. 141 была самой теплой.

С ноября 2016 г. по май 2017 г. среднемесячные температуры воздуха и почв находились в отрицательной области. Именно в зимние месяцы наблюдались самые большие различия между площадками по температуре почв. В этот период значительно более холодной была почва на пл. 252 – вершина хребта. Средняя температура почвы в январе здесь, как и в воздухе, составила около -10 °С. Скорее всего, это обусловлено тем, что снег на данной площадке сдувался из-за выпуклой формы поверхности. Наименее холодными в зимний период были почвы на площадках с постоянным снежным покровом: 141 (средняя температура января в 2017 г. составила -5.1 °С) и 244 (средняя температура января составила -5.5 °С). В то же время из-за отсутствия снега почва на пл. 252 и на пл. 92 весной начала прогреваться быстрее. Средняя температура июня здесь составила 4.2 °С. В то время как на пл. 141 она была всего 2.8 °С.

Таким образом, результаты наблюдений показали, что продолжительность периода со среднесуточными температурами более 5 °С в верхнем горизонте О обследованных почв за год исследований (с 31 июля 2016 г. по 31 июля 2017 г.) составила 40–50 сут. Сумма среднесуточных температур > 5 °С варьировала от 235 °С (пл. 141, вторая морская терраса, западная экспозиция) до 349 °С (пл. 244, крутой склон восточной экспозиции). Распределение температурных показателей почв между площадками, как правило, не соответствовало их распределению по абсолютной отметке. Вместе с тем, такие характеристики ландшафта как экспозиция и крутизна склона, а также форма поверхности оказывали существенное влияние на их температурный режим. Каждая площадка в зависимости от сочетания ее ландшафтных характеристик имела свои характерные особенности годового цикла температуры почв.

Л и т е р а т у р а

- Васильевская В.Д.* Почвообразование в тундрах Средней Сибири. М.: Наука, 1980. 235 с.
- Горячкин С.В.* Почвенный покров Севера (структура, генезис, экология, эволюция). М.: ГЕОС, 2010. 414 с.
- Добровольский В.В.* Геохимия почв Шпицбергена // Почвоведение. 1990. № 2. С. 5–20.
- Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Сидорова О.Р.* Влияние ландшафтного положения на эмиссию CO_2 почвами в окрестностях пос. Баренцбург, Шпицберген // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2018. № 6. С. 199–204.
- Осокин Н.И., Сосновский А.В.* Влияние климатических изменений на термический режим многолетнемерзлых пород на архипелаге Шпицберген // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. 2008. № 8. С. 280–284.
- Переверзев В.Н.* Почвы побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2012. 122 с.

ТРИАНГУЛЯЦИОННЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ СИЯНИЙ В БАРЕНЦБУРГЕ В 2019–2020 ГОДАХ

Б.В. Козелов, А.В. Ролдугин, С.В. Пильгаев, И.В. Дэспирак

Полярный геофизический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: boris.kozelov@gmail.com

В зимнем сезоне 2019–2020 г. Полярным геофизическим институтом продолжались патрульные наблюдения полярных сияний на арх. Шпицберген стереоскопической системой

камер. Основная камера всего неба расположена в основном оптическом павильоне в 4 км севернее пос. Баренцбург. Вспомогательная камера установлена в пос. Баренцбург в основном оптическом павильоне и имеет поле зрения около 45°. В патрульном режиме камера направлена в зенит, что позволяет совместно с данными камеры всего неба получать информацию о высоте наблюдаемых структур полярных сияний в окрестности зенита.

Наблюдаемые на широте Шпицбергена высыпания энергичных электронов, проявляющиеся в оптическом диапазоне в виде полярных сияний, имеют ряд отличий по своему происхождению и морфологии от высыпаний в других областях авроральной зоны. Энергия электронов определяет высоту аврорального свечения, которые в эксперименте можно определить по данным триангуляционных наблюдений.

В докладе приводится обзор зарегистрированных событий в сезоне 2019/20 г. и примеры обработки авроральных структур.

ЛИШАЙНИКИ РАЙОНА БУХТЫ ХИННВИКА (СЕВЕРО-ВОСТОЧНАЯ ЗЕМЛЯ)

Л.А. Конорева^{1,2}, С.В. Чесноков²

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
e-mail: ajdarzпов@yandex.ru

²Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Остров Северо-Восточная Земля второй по величине в составе арх. Шпицберген, его площадь 14443 км². Большая часть территории покрыта ледниками. Береговая линия острова местами сильно изрезана и формирует глубоко вдающиеся в сушу заливы, одним из которых является Мерчисон-фьорд (Murchisonfjorden), он вдаётся в северо-восточный берег пролива Хинлопен, имеет длину около 15 км и ширину 10 км, назван в честь английского географа Родерика Мерчисона (Roderick Murchison).

Территория сложена в основном доломитами и кварцитами (Sandelin et al., 2001) и представляет собой открытый, в основном свободный от льда ландшафт полярной пустыни с изредка появляющимися скалистыми холмами. Среднегодовая температура в этом районе составляет –8 °С, а средняя температура воздуха в июле 2 °С (The international ..., 2011). Растительность скудная, в основном представлена мохообразными и лишайниками. Хорошо выражены участки растительности в районах многочисленных птичьих базаров (Соорег, 2011).

Бухта Хиннвика широко известна прежде всего исследовательской станцией, построенной во время Международного геофизического года 1957–59 гг. как шведско-финский проект. Этот район хорошо защищен от ветров благодаря своему расположению во внутренней части фьорда и представляет собой большой интерес для флористических исследований.

Несмотря на наличие исследовательской станции, изучение лишайников в районе бухты Хиннвика практически не проводилось, непосредственно для этой территории был известен лишь *Dactylina ramulosa* (Hook.) Tuck. Для района залива Мерчисон всего было известно 92 вида лишайников (Elvebakk, Hertel, 1996; Øvstedal et al., 2009; <http://www.nhm.uio.no/botanisk/lav>).

В июле–августе 2010 г. исследовательской группой ПАБСИ КНЦ РАН были проведены работы по изучению криптогамных организмов в районе бухты Хиннвика, в том числе собраны образцы лишайников. В результате определения этих коллекций выявлено 123 вида, из которых 97 видов ранее не были известны для окрестностей залива Мерчисон. Всего для района к настоящему времени зарегистрировано 189 видов.

В ходе работ выявлены 4 новых для Шпицбергена вида [*Buellia epigaea* (Pers.) Tuck., *Parmelia fraudans* (Nyl.) Nyl., *Peltigera extenuata* (Nyl. ex Vain.) Lojka, *Sturothele clopima* (Wahlenb.) Th. Fr.], а также 47 видов, новых для Северо-Восточной Земли. Обнаружены редкие виды для Шпицбергена – *Diplotomma lutosum* A. Massal. (известен только для о. Земля Принца Карла), *Bilimbia microcarpa* (Th. Fr.) Th. Fr. (известен только для о. Амстердам), *Lecanora bicincta* Ramond (известен только для долины Колс, о. Западный Шпицберген), *Lecidea symphyocarpea* Lyngé (известен только для Litledalsfjellet, о. Западный Шпицберген), *Massalongia carnosa* (Dicks.) Körb. (известен только для бухты Йипсвика, Земля Бюнсов, о. Западный Шпицберген), *Peltigera frippii* Holt.-Hartw. (известен только для заливов Леди-Франклин-фьорд и Бренневис-фьорд, о. Северо-Восточная Земля), *Pertusaria sommerfeltii* (Flörke) Fr. (известен только для долины Колс, о. Западный Шпицберген), *Placidiopsis pseudocinerea* Breuss (известен только для долины Йипсвика, о. Западный Шпицберген), *Polysporina simplex* (Davies) Vězda (известен только для о-вов Земля Короля Карла, гора Хорфагре), *Scytinium bricatum* (P.M. Jørg.) Otálora et al. (известен только для долины Муксудален, о. Западный Шпицберген), *S. intermedium* (Arnold) Otálora et al. (известен только для побережья Калипсо, о. Западный Шпицберген), *Solorina monospora* Gyelnik (известен только для о-вов Земля Короля Карла), *Verrucaria hydrela* Ach. (известен только для залива Вейде-фьорд, о. Западный Шпицберген).

Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории флоры и растительных ресурсов, совместно с которыми осуществлялись полевые исследования на архипелаге.

Работа выполнена в рамках госзадания ПАБСИ КНЦ РАН (№ госрегистрации АААА-А17-117121120045-5).

Л и т е р а т у р а

Cooper E.J. Polar desert vegetation and plant recruitment in Murchisonfjord, Nordaustlandet, Svalbard // Geogr. Ann. 2011. Ser. A. Phys. Geogr. Vol. 93(4). P. 243–252.

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

Øvstedal D., Tønsberg T., Elvebakk A. The lichen flora of Svalbard // Sommerfeltia. 2009. Vol. 33. P. 1–393.

Sandelin S., Tebenkov A.M., Gee D.G. The stratigraphy of the lower part of the Neoproterozoic Murchisonfjorden Supergroup in Nordaustlandet, Svalbard // GFF. 2001. Vol. 123. P. 113–127.

The international polar year project “KINNVIKA” – Arctic warming and impact research at 80 N / V.A. Pohjola, P. Kankaanpää, J.C. Moore, T. Pastusiak // Geogr. Ann. 2011. Ser. A. Phys. Geogr. Vol. 93. P. 201–208.

О РАСПРОСТРАНЕНИИ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ ПЕЧЕНОЧНИКОВ, ВКЛЮЧЕННЫХ В КРАСНУЮ КНИГУ ЕВРОПЫ

Н.А. Константинова, А.Н. Савченко

¹Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
e-mail: nadya50@list.ru

В северных тундрах и полярных пустынях печеночники играют заметную роль в растительном покрове. Мелкие размеры позволяют им занимать специфические местообитания, в которых сохраняются значительно более благоприятные условия, в частности,

существенно более высокие температура и относительная влажность воздуха. Это всевозможные оголенные субстраты, появляющиеся вследствие абляции и осцилляции, денудационных и криогенных процессов в результате которых освобождаются все новые и новые территории: углубления и трещины в растрескивающихся грунтах и почвах, бугорки и другие неровности грунта в различных типах полигональных, пятнистых тундр и бугристых тундр, солифлюкционные наплывы на склонах, основания скал, углубления между глыбами и камнями среди каменистых россыпей, различные углубления и неровности грунта по берегам ручейков, речек, озер и пр. Являясь преимущественно пионерами в зарастании, печеночники одними из первых поселяются в таких местах. С продвижением от северных тундр к полярным пустыням перечисленные местообитания занимают все большие площади, и печеночники все чаще могут локально доминировать в них. Общее их разнообразие как и всех высших растений с продвижением на север уменьшается, однако доля печеночников во флоре высших растений увеличивается, причем значительно. Из 461 вида, известных в настоящее время в Европе, на Шпицбергене выявлено 125, из которых 15 – это виды, включенные в последнее издание Красной книги мохообразных Европы (A miniature ..., 2019) с одной из трех категорий угрожаемости, а также один вид близкий к угрожаемому и 6 видов – с категорией “недостаток знаний”.

Из 16 печеночников имеющих в Европе (l.c.) категорию критически угрожаемый (CR) на Шпицбергене выявлен один – *Cryptocolea imbricata* R.M.Schust. Он известен в Европе только со Шпицбергена и одного местонахождения в Швеции, где, однако, в настоящее время считается исчезнувшим (The IUCN ..., 2019). На Шпицбергене этот арктический вид найден только в долине бухты Вест-фьорд и заливе Вейде-фьорд (Frisvoll, Elvebakk, 1996). Крайне редки на архипелаге и три найденных там вида, отнесенных к числу угрожаемых в Европе: *Schizophyllopsis sphenoloboides* (R.M. Schust.) Váňa & L. Söderstr., *Cephaloziella integerrima* (Lindb.) Warnst., *C. polystratosa* (R.M. Schust. & Damsh.) Konstant. Первый из них был найден нами в Грёндален, второй приводился для окрестностей Нью-Олесунна и найден также вблизи Баренцбурга (Konstantinova, Savchenko, 2008), а *Cephaloziella polystratosa* известна из двух мест на Северо-Восточной Земле (Konstantinova, Savchenko, 2012). Все это очень мелкие и мало изученные виды, которые, возможно, распространены на архипелаге шире и будут выявлены в ходе дальнейших работ. Значительно больше на Шпицбергене печеночников с категорией “угрожаемые” (vulnerable) – 12 видов. Некоторые из них нередки на архипелаге. В частности, *Marsupella arctica* (Berggr.) Bryhn & Kaal., известна в Европе почти исключительно на Шпицбергене, нередко на архипелаге и местами может быть обильна, образуя куртины без примеси других видов и занимая порой площади в несколько квадратных метров. Наибольшее число известных местонахождений вида находится на Северо-Восточной Земле. Еще один вид из числа угрожаемых в Европе – *Scapania spitsbergensis* (Lindb.) Müll. Frib. Наибольшее число известных его местонахождений на архипелаге также приурочено к Северо-Восточной Земле, где вид был собран практически во всех обследованных районах с подходящими условиями. Он встречается в основном в понижениях между крупными валунами, где долго залеживается снег и высокая влажность воздуха. Однако, в отличие от предыдущего, он не занимает значительные площади и образует, чаще всего, небольшие, обычно не более нескольких дециметров площадью куртины без примеси других видов или в смеси с такими видами, как, например, *Tetralophozia setiformis* (Ehrh.) Schljakov, *Trilophozia quinqueidentata* (Huds.) Bakalin и др. В Европе вид известен только из скандинавских стран и севера России (The IUCN ..., 2019). Еще один печеночник, нередкий в подходящих местообитаниях на Шпицбергене, но оцененный как угрожаемый в Европе – это *Mesoptychia gillmanii* (Austin) L. Söderstr. & Váňa. Этот вид может быть нередок в местах

с преобладанием известняков, доломитов, которые широко представлены на архипелаге, например в отдельных районах на побережьях Билли-фьорда, Мэрчисон-фьорда и др. Один вид из числа уязвимых в Европе – *Scapania kaurinii* Ryan приводился для Шпицбергена как с юга, так и севера (Frisvoll, Elvebakk, 1996), и собран нами также на Северо-Восточной Земле. Возможно, этот арктический вид не редок на архипелаге и будет найден неоднократно в ходе дальнейшего изучения флоры архипелага. Вероятно, значительно более широко распространена на Шпицбергене и *Marsupella condensata* (Ångstr. ex C. Hartm.) Lindb. ex Kaal., известна из двух точек на островах Медвежий и Датский и одной в районе Колсбея, выявленной нами. Однако, около половины печеночников, из числа угрожаемых в Европе и представленных на Шпицбергене, это виды, указанные для одной-двух точек, причем в основном это неоднозначно трактуемые виды, отнесение к которым часто вызывает вопросы. Это арктические, сравнительно недавно описанные виды: *Cephaloziella arctogena* (R.M. Schust.) Konstant., *Lophozia savicziae* Schljakov, *Lophoziopsis pellucida* (R.M. Schust.) Konstant. & Vilnet., *Neorthocaulis hyperboreus* (R.M. Schust.) L. Söderstr., De Roo & Hedd. Как распространение, так и таксономия этих видов нуждается в уточнении. Особого внимания заслуживает недавняя находка на архипелаге очень редкой в Европе *Mannia triandra* (Scop.) Grolle (Borovichev, 2010). Местонахождение *Scapania simmonsii* Bryhn & Kaal. на Шпицбергене неизвестно, хотя указание вида заслуживает доверия (Frisvoll, Elvebakk, 1996).

Кроме видов, находящихся в Европе в той или иной степени в угрожаемом состоянии, на Шпицбергене обнаружены виды, по которым нет достаточно данных для того, чтобы с уверенностью отнести их к категориям угрожаемости и входящие в группу “дефицит данных” (Data deficient): *Lophozia murmanica* Kaal., *Lophozia silvicoloides* N. Kitag., *Lophozia subapiculata* R.M. Schust. & Damsh., *Lophoziopsis rubrigemma* (R.M. Schust.) Konstant. & Vilnet *Mesoptychia sahlbergii* (Lindb. & Arnell) A. Evans, *Orthocaulis cavifolius* H. Buch & S.W. Arnell., *Scapania ligulifolia* R.M. Schust. За исключением *Lophozia murmanica* – это виды, известные из единичных точек нахождения.

Подавляющее большинство европейских краснокнижных видов зарегистрировано на Шпицбергене на заповедных территориях. Кроме того, таяние ледников, в результате чего освобождаются новые территории, подходящие для заселения печеночников, может привести к увеличению ареалов некоторых видов. Необходимы дальнейшие исследования для уточнения распространения и таксономического статуса печеночников, внесенных в Красную книгу Европы.

Л и т е р а т у р а

A miniature world in decline: European Red List of mosses, liverworts and hornworts / N. Hodgetts, M. Cálix, E. Englefield et al. Brussels: Intern. Union for the Conservation of Nature, 2019. URL: <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2019.ERL.2.en>

Borovichev E.A. New liverwort records from Svalbard. 1. // *Arctoa*. 2010. Vol. 19. P. 280–281.

Frisvoll A.A., Elvebakk A. Bryophytes. Part 2. // *A catalogue Svalbard plants, fungi, algae and cyanobacteria* / A. Elvebakk, P. Prestrund (Eds.). Oslo: Norsk Polarinst. Ski., 1996. Vol. 198. P. 57–172.

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 Bot. J.* 2012. Vol. 57(1). P. 181–195.

The IUCN Red List of threatened species / T. Hallingbäck, L. Hedenäs, S. Huttunen et al. 2019. e.T87530307A87841145; e.T87525789A87840719.

СОЮЗ *LUZULION ARCUATAE* В ГОЛЬЦОВЫХ ПУСТЫНЯХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ И ШПИЦБЕРГЕНА

Н.Е. Королева, А.Д. Данилова

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН,
г. Кировск, Мурманская область, Россия
e-mail: flora012011@yandex.ru

Синтаксономия арктических тундр Шпицбергена хорошо разработана (Hadač, 1946, 1989; Möller, 2000 и др.), но наиболее проблематичной остается состав и синтаксономическая структура растительности наиболее бесснежных местообитаний в наиболее экстремальных экологических условиях в горах и на гребнях возвышенностей. А. Эльвебакк (Elvebakk, 1985, 1994) объединил такие сообщества в союзе *Luzulion arcuatae* all. prov. с тремя ассоциациями – *Gymnomitrio corallioidis–Luzuletum arcuatae* ass. prov., *Cetrario nivalis–Luzuletum arcuatae* ass. prov. и *Racomitrio lanuginosi–Luzuletum arcuatae* ass. prov., все синтаксоны были предложены предварительно. Он предположил распространение этого союза и в скандинавских горах, на кислых породах и в бесснежных и сухих местообитаниях.

А. Эльвебакк в дальнейшем не валидизировал свой союз и ассоциации. Возможно, это было основной причиной, почему союз *Luzulion arcuatae* в последней сводке о растительности Европы был сведен в синонимы союза *Saxifrago stellaris–Oxyrion digynae* Gjaerevoll 1950, который объединяет травяные приснеговые арктические сообщества и сообщества гор Фенноскандии на олиготрофных кислых почвах при отсутствии заболачивания (Vegetation ..., 2016).

Недавно была предпринята попытка валидизации союза *Luzulion arcuatae* (Węgrzyn, Wietrzyk, 2015), когда в его рамки были включены ассоциации *Anthelietum juratzkanae* Kobayashi 1990 ex Węgrzyn et Wietrzyk 2015, *Gymnomitrietum corallioidis* Hadač ex Węgrzyn et Wietrzyk 2015, *Sphaerophoro-Racomietum lanuginosi* Hadač 1946 и *Oxyrio-Trisetum spicati* Hadač (1946) 1989. Но авторы не предложили типовую ассоциацию, поэтому до сих пор союз остается невалидно описанным.

Тем не менее, растительность в наиболее экстремальных местообитаниях европейских горных тундр остаются малоизученной, это касается и ее типологии. В результате геоботанического обследования гольцовых пустынь Хибин и Ловозерских гор было выявлено преобладание несомкнутых растительных группировок со следующими константными и диагностическими видами: *Luzula arcuata*, *Saxifraga oppositifolia*, *Andreaea rupestris*, *Racomitrium lanuginosum*, *Racomitrium microcarpon*, *Polytrichum piliferum*, *Flavocetraria nivalis*, *Ochrolechia frigida*, *Cetraria islandica*, *Cetrariella delisei*, *Alectoria ochroleuca*, *Rhizocarpon geographicum*. Состав группировок дает возможность предположить их принадлежность к союзу *Luzulion arcuatae*, что подтверждает необходимость его валидизации, отнесения к единицам ранга класса и порядка, а также определения фитогеографических особенностей союза. Видимо, он объединяет сообщества гольцовых пустынь гор востока Фенноскандии и отдельных экстремально бесснежных местообитаний Шпицбергена. Поэтому не может считаться синонимом союза *Saxifrago stellaris–Oxyrion digynae*, который объединяет приснеговые сообщества.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-34-90025 и темы НИР “Растительно-почвенные ресурсы, совершенствование методов управления охраняемыми природными

территориями в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия и оптимизация среды обитания человека на архипелаге Шпицберген” (№ госрегистрации 0229-2017-0005).

Л и т е р а т у р а

Elvebakk A. Higher phytosociological syntaxa on Svalbard and their use in the subdivision of the Arctic // *Nordic. J. Bot.* 1985. Vol. 5. P. 273–284. URL: <https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1985.tb01656.x>

Elvebakk A. A survey of plant associations and alliances from Svalbard // *J. Vegetation Sci.* 1994. Vol. 5. P. 791–802. URL: <https://doi.org/10.2307/3236194>

Hadač E. The plant-communities of Sassen Quarter, Vestspitzbergen // *Studia Bot. Cechia.* 1946. № 7. P. 127–164.

Hadač E. Notes on plant-communities of Spitsbergen // *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica.* 1989. № 24(2). P. 131–169.

Möller I. Pflanzensociologische und vegetationsökologische Studien in Nordwestspitsbergen // *Mitt. der Geogr. Ges. in Hamburg.* 2000. Bd. 90. 202 s.

Vegetation of Europe: hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities / L. Mucina, H. Bültmann, K. Dierssen et al. // *Applied Vegetation Sci.* 2016. Vol. 19 (Suppl. 1). P. 3–264. URL: <https://doi.org/10.1111/avsc.12257>

Węgrzyn M., Wietrzyk P. Phytosociology of snowbed and exposed ridge vegetation of Svalbard // *Polar Biol.* 2015. Vol. 38. P. 1905–1917. URL: <https://doi.org/10.1007/s00300-015-1751-7>

УРОВНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ И ИСТОЧНИКИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

К.А. Кукса¹, В.В. Шарин^{1,2}, А.С. Окунев², Н.Н. Костева², А.Н. Сироткин²

¹Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: katerina.kuksa@spbu.ru

²Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–Ломоносов, Россия

Экосистемы арктических территорий чрезвычайно уязвимы в отношении загрязнения тяжелыми металлами. Шпицберген, являющийся одним из крупнейших архипелагов в Арктике, подвергается загрязнению поллютантами, поступающими с континента в виде отходов металлургического производства, топливной промышленности и сжигания отходов. Оценить уровни загрязнения можно, в частности, по степени накопления тяжелых металлов в почвах архипелага относительно подстилающих их коренных пород. Подобная работа была выполнена нами для шести отдельных участков в пределах Земли Норденшельда (о. Западный Шпицберген): долины Грэндален, Колс, Берселиус, бухта Ван-Мейден, а также в районе г. Зеленая и расположенного у ее подножия пос. Грумант.

Рентгенофлуоресцентным методом в почвах и подстилающих коренных породах шести изученных участков были оценены концентрации петрогенных (Si, Ti, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, K, P) и ряда микроэлементов, включая некоторые тяжелые металлы (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Rb, Ba, Pb, S²⁻, S⁶⁺). Было установлено, что химический состав почв в пределах статистической погрешности точно соответствует составу (для каждого участка) подстилающих коренных пород, за исключением S, Zn, Pb и Mn. Избирательная обогащенность почв названными элементами может быть обусловлена несколькими разными причинами: накоплением

минералов-концентраторов соответствующих элементов в тяжелой фракции почв, неоднородностью в химическом составе подстилающих пород, либо антропогенным загрязнением территории. Обработка всей совокупности данных по химическому составу почв методом факторного анализа главных компонент показала, что чуть более половины наблюдаемых вариаций их состава (51 %) обусловлены влиянием литогенных компонентов – кварца, полевых шпатов и слюд. Присутствие V в ассоциации с Si, Al, Ti, K и Rb указывает, что основным его источником, по всей вероятности, являлись прослойки углистых аргиллитов и каменных углей, отмечаемых в верхнепалеозойских и палеогеновых отложениях. Это хорошо согласуется с данными других исследований по распределению ванадия в почвах западного побережья о. Западный Шпицберген вблизи поселков Лонгйир, Баренцбург и Нью-Олесунн (Тяжелые ..., 2014). Отдельную группу со значимой положительной нагрузкой на второй фактор образуют Mn, Mg, Fe, Ca, P, Co, Cr, S²⁻ и S⁶⁺. Совместное нахождение этих элементов, скорее всего, вызвано присутствием в составе почв хлорита (Mg, Fe), гипса (Ca, S⁶⁺), фосфоритов (P) и пирита (Fe, S²⁻), которые также, по всей вероятности, поступали из окружающих коренных пород (серицит-хлоритовых сланцев с стяжениями пирита и линзами гипса).

Третий фактор образует ассоциацию элементов, в которую входят Cu, Ni, Zn, As, Pb и Ba; для них можно предположить иной источник поступления в почвы. Аномально высокие концентрации As, Pb и Zn наблюдаются в почвах участков в районе пос. Грумант, а также долины Колс и г. Зеленая, что может быть обусловлено антропогенной деятельностью на данной территории. В то же время присутствие медной и свинцово-цинковой минерализации в рифейских отложениях в районе отдельных участков геоэкологического опробования указывает на возможное присутствие повышенных концентраций данных элементов в почвах в результате аккумуляции в них соответствующих минералов-носителей тяжелых металлов. Однако окончательный ответ на этот вопрос требует проведения специальных дополнительных исследований.

Для оценки степени загрязнения почв исследованных участков тяжелыми металлами были рассчитаны коэффициенты концентрации (Kc), опасности (Ko) и суммарный показатель загрязненности (Zc) для Mn, V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Pb и Sr. В качестве фоновых использовались средние содержания элементов для средней мировой почвы по данным, приведенным в работе (Kabata-Pendias, 2011). Данные по ПДК для данной группы элементов были взяты из ГН 2.1.7.2041-06. “Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве”. Результаты расчетов показали, что величина суммарного показателя загрязнения Zc практически на всех исследованных участках, за исключением пос. Грумант, значительно меньше минимальной оценочной величины в 16 ед., что позволяет оценивать степень загрязнения почв как допустимую (Санитарные правила СП 2.1.7.1386-03). Для участка в районе пос. Грумант величина Zc составляет в среднем 49 (максимум 256), что указывает на опасную экологическую обстановку в пределах данного участка. При этом наибольшие величины коэффициента опасности установлены для Zn, Cr, As и Cu.

Л и т е р а т у р а

Тяжелые металлы в арктических почвах западного побережья архипелага Шпицберген / В.В. Крячюнас, С.А. Игловский, Е.В. Шахова, А.В. Малков // Окружающая среда. Экология человека. 2014. Т. 9. С. 8–13.

Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants. Fourth Edition. Boca Ration, FL, USA: CRC Press, 2010. 548 p.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СНЧ/ОНЧ-ВОЛН ВДОЛЬ ТРАССЫ EISCAT/HEATING–АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ПО МОДУЛИРОВАННОМУ НАГРЕВУ ИОНОСФЕРЫ

**А.В. Ларченко, С.В. Пильгаев, О.М. Лебедь,
А.С. Никитенко, М.В. Филатов, Ю.В. Федоренко**

Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: alexey.larchenko@gmail.com

Эксперименты по модулированному 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, сигналы которого способны распространяться в волноводе Земля–ионосфера на сотни и тысячи километров.

В работе рассматриваются результаты регистрации сигналов ионосферного источника на арх. Шпицберген (Баренцбург) и сети материковых станций Кольского полуострова, полученные в ходе нагревного эксперимента 2016 г. на стенде EISCAT/Heating (Тромсё, Норвегия). Особое внимание уделено обнаруженному в эксперименте эффекту: наблюдаемая в самой удаленной от нагревного стенда точке регистрации (Баренцбург) амплитуда горизонтального магнитного поля на частотах модуляции близких к частоте первого поперечного резонанса Земля–ионосфера зачастую была выше, чем на самой ближней к нагревному стенду материковой станции (Лотта). На других частотах такого эффекта не наблюдалось. Для объяснения наблюдаемого была разработана численная модель генерации и распространения СНЧ/ОНЧ-волн. В модели использован новый подход к моделированию пространственно распределенного ионосферного источника СНЧ/ОНЧ-волн. В результате сопоставления экспериментальных данных об амплитуде и поляризации поля ионосферного источника с результатами моделирования показано, что модель с использованием одинаковых параметров нижней стенки волновода вдоль трасс распространения сигнала от источника до станций не может объяснить наблюдаемый в эксперименте эффект. Экспериментальные данные объясняются только в модели с учетом высокой проводимости нижней стенки волновода вдоль трассы EISCAT/Heating–Баренцбург, т. е. морской поверхности и низкой проводимости вдоль трассы EISCAT/Heating–Лотта. При этом важную роль играет и состояние ионосферы. Исследование массива сгенерированных случайным образом профилей электронной концентрации (N_e) показало, что наиболее важным для наблюдения эффекта обнаруженного в эксперименте является уровень N_e в диапазоне высот от 75 до 90 км. В частности значения N_e на высоте 82 км должны находиться в пределах $6.4 \cdot 10^8 \dots 4.4 \cdot 10^9 \text{ м}^{-3}$.

ИСКУССТВЕННЫЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ РАДИОНУКЛИДЫ В ПОЧВАХ ПТИЧЬЕГО БАЗАРА НА ШПИЦБЕРГЕНЕ

Н.В. Лебедева, И.С. Усягина, Д.А. Валуйская

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: lebedeva@ssc-ras.ru

Морские колониальные птицы, потребители морских организмов, тесно связаны не только с морскими, но и наземными экосистемами. Они играют большую роль в обмене

вещества и энергии в экосистемах Арктики, используя кормовые станции в море и формируя крупные поселения на суше (Белопольский, 1957; Морские ..., 1995; Flexibility ..., 2020 и др.). Птицы, гнездящиеся на побережьях, потребляя морские организмы и выкармливая потомство на берегу, выносят органические вещества из морских экосистем, приводя к аккумуляции поллютантов, в том числе радионуклидов, в почвах птичьих базаров (Assessment ..., 2005; Organic ..., 2005; Seabird-transported ..., 2019).

С целью оценки уровня загрязнения наземной экосистемы на Шпицбергене было исследовано содержание искусственных и естественных радионуклидов ^{40}K , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th в почвах под вертикальным скальным птичьим базаром, населенным морскими птицами (окрестности пос. Баренцбург) и на склоне со слабым уклоном с типичной арктической тундрой (бухта Колс).

В небольшой колонии морских птиц, расположенной на скале близ пос. Баренцбург, размножались 140–150 пар люриков *Alle alle*, 30–40 пар обыкновенных чистиков *Cepphus grylle*, 20 пар бургомистров *Larus hyperboreus*. Здесь же гнездились 20–22 пары белошекой казарки *Branta leucopsis*. Доминируют в колонии люрики – специализированные планктонофаги, основу пищевого рациона которых составляет *Calanus glacialis* (73–88 % от общей численности, 68–90 % от общей энергетической ценности жертв, приносимых птенцам (Flexibility ..., 2020).

Для отбора образцов были выбраны две трансекты: 1) под птичьим базаром в градиенте высот 72–180 м над уровнем моря; 2) в тундровом местообитании с небольшим уклоном. В шести пунктах вдоль каждой трансекты отобрали по 2 почвенные пробы на расстоянии 10 м друг от друга на одной и той же высоте над уровнем моря ($n = 24$). В образцах были определены искусственные и естественные радионуклиды – ^{40}K , ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{226}Ra и ^{232}Th .

Факторный анализ показал, что 77.1 % общей дисперсии содержания радионуклидов в исследуемых почвах под колонией морских птиц объясняется двумя компонентами. Первый фактор (53.5 % общей дисперсии) отрицательно коррелирует с ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th , а второй, объясняющий 23.6 % общей изменчивости, положительно коррелирует с ^{137}Cs . Содержание искусственных радионуклидов в почвах под птичьим базаром было относительно низким. Под крупной колонией птиц Криккефеллет в районе залива Конгс-фьорд (Шпицберген) удельная радиоактивность ^{137}Cs , ^{232}Th и ^{226}Ra в почве была выше, а удельная радиоактивность ^{40}K ниже (Organic ..., 2005), чем в почвах под колонией птиц в окрестностях пос. Баренцбург.

Отмечена умеренная положительная взаимосвязь содержания ^{137}Cs в почве под птичьим базаром с высотой над уровнем моря. Птицы гнездились на скале, гуано и другие продукты жизнедеятельности депонировались ниже по склону. Больше всего ^{137}Cs содержалось непосредственно под скалой. А ниже по склону, куда смывались органические вещества, вынесенные морскими птицами из моря и аккумуляировавшиеся в месте гнездования и отдыха птиц, его удельная радиоактивность уменьшалась. Об этом свидетельствует также пространственное распределение удельной радиоактивности ^{137}Cs в почвах вдоль трансекты под птичьим базаром.

Для других радионуклидов аналогичная взаимосвязь не обнаружена. Удельная радиоактивность естественных радионуклидов положительно коррелировала в почвах этого местообитания: ^{40}K и ^{226}Ra ($r = 0.77$, $P < 0.05$), ^{40}K и ^{232}Th ($r = 0.69$, $P < 0.05$), ^{226}Ra и ^{232}Th ($r = 0.70$, $P < 0.05$).

Результаты исследований других авторов (The radiological ..., 2004) показывают, что почвы вблизи крупной колонии морских птиц на Шпицбергене имеют коэффициенты обогащения 8 для ^{137}Cs и 2 для ^{226}Ra по сравнению с содержанием радионуклидов в типичных почвах арктических тундр вблизи колонии. Согласно нашим результатам,

коэффициенты обогащения для искусственных радионуклидов ^{90}Sr и ^{137}Cs равны 8 и 2 соответственно в орнитогенных почвах в окрестностях пос. Баренцбург по сравнению с типичными тундровыми почвами в районе бухты Колс. Достоверная взаимосвязь между удельной радиоактивностью исследованных радионуклидов в тундровом биотопе не обнаружена. Однако содержание ^{90}Sr и ^{137}Cs было существенно выше в тундровых почвах: $^{90}\text{Sr} - P = 0.0011$, $^{137}\text{Cs} - P = 0.0262$, тогда как удельная радиоактивность ^{226}Ra была выше под птичьим базаром – $P = 0.0226$.

Обнаружена взаимосвязь между логарифмом удельной радиоактивности ^{90}Sr и удельной радиоактивностью ^{137}Cs в тундровой почве, тогда как эта взаимосвязь в орнитогенных почвах не достоверна. Аккумуляция искусственных радионуклидов может быть объяснена тем, что при незначительном уклоне рельефа радионуклиды меньше вымываются из почвы и депонируются на месте.

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” (№ госрегистрации АААА-А19_119040490038-5).

Л и т е р а т у р а

Белопольский Л.О. Экология морских колониальных птиц Баренцева моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 460 с.

Морские колониальные птицы Мурмана / Ю.В. Краснов, Г.Г. Матишов, К.В. Галактионов, Т.Н. Савинова. СПб: Наука, 1995. 224 с.

Assessment of elevated radionuclide levels in soils associated with an avian colony in a High Arctic environment / M. Dowdall, J.P. Gwynn, G.W. Gabrielsen, B. Lind // Soil & sediment contamination. 2005. Vol. 14(1). P. 1–11.

Flexibility of little auks foraging in various oceanographic features in a changing Arctic / D. Jakubas, K. Wojczulanis-Jakubas, L.M. Iliszko et al. // Sci. Rep. 2020. Vol. 10, № 8283. DOI: 10.1038/s41598-020-65210-x

Organic soil as a radionuclide sink in a High Arctic environment / M. Dowdall, J.P. Gwynn, C. Moran et al. // J. Radioanal. Nucl. Chemistry. 2005. Vol. 266(2). P. 217–223.

Seabird-transported contaminants are reflected in the Arctic tundra, but not in its soil-dwelling springtails (Collembola) / S.M. Kristiansen, H.P. Leinaas, D. Herzke et al. // Environ. Sci. Technol. 2019. Vol. 53(21). P. 12835–12845.

The radiological environment of Svalbard / J.P. Gwynn, M. Dowdall, C. Davids et al. // Polar Res. 2004. Vol. 23(2). P. 167–180.

ПТИЦЫ В АНТРОПОГЕННОМ ЛАНДШАФТЕ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ

Н.В. Лебедева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: lebedeva@ssc-ras.ru

Не только изменение климата, но и развитие поселений в высоких широтах Арктики в связи с освоением шельфа и увеличением потока туристов оказывают влияние на фоновые виды и динамику проникновения чужеродных организмов. Шпицберген – модельная

площадка для изучения многих аспектов экологии видов разных таксономических групп. Наши орнитологические исследования проведены в 2004, 2010–2014, 2016–2019 гг. на арх. Шпицберген в поселках Баренцбург, Пирамида, Лонгйир и Нью-Олесунн. В поселках имеются портовые сооружения, грузовые терминалы, аэропорт, вертолетные площадки, шахты, подсобные хозяйства, жилые дома. Российские поселки отличаются от норвежских характером застройки и инфраструктурой, обеспечивающей жизнедеятельность населения. В 1970-е годы Баренцбург и Пирамида были застроены кирпичными зданиями с плоскими крышами, которые сформировали их характерный облик. В 2012 году началась реконструкция пос. Баренцбург: часть деревянных построек была снесена, а кирпичные отделаны пластиком. Все поселки в разной степени заселены аборигенными видами птиц, которые нашли в них станции для гнездования и пребывания.

Гуси, как правило, минуют российский пос. Баренцбург транзитом, хотя на птичьей базе вблизи поселка белошекая казарка *Branta leucopsis* гнездится. Случаи ее гнездования в пос. Баренцбург не зарегистрированы. Белошекая казарка и короткоклювый гуменник *Anser brachyrhynchus* прилетают на кормежку на мыс Финнесет, приморские тундры у птичьего базара за пределами поселка. На окраине пос. Лонгйир белошекие казарки гнездятся, водят выводки, линяют, здесь же держатся группы холостых особей. Часто пары, пары с выводками и группы холостых гусей можно встретить непосредственно в поселке. Это характерно также для Нью-Олесунна. Дистанция вспугивания у гусей в окрестностях пос. Баренцбург меньше, чем в норвежских поселениях. На окраине пос. Лонгйир (рядом с хаски-фермой) непосредственно у дороги располагается крупная гнездовая колония обыкновенной гаги *Somateria mollissima*. Гага разрежено гнездится в пос. Нью-Олесунн, где также регулярно держится пара морянок *Clangula hyemalis*. Спорадически гнезда обыкновенной гаги мы находили на мысе Финнесет и на приморских террасах между пос. Баренцбург и вертолетной площадкой. Однако в последние годы в окрестностях поселка выросла численность песцов и бургомистров, которые разоряет ее кладки. Кряква *Anas platyrhynchos* – залетный вид, в последние годы отмечается в пос. Баренцбург регулярно. Небольшие группы держатся в районе канализационных стоков поселка с мая по сентябрь.

С началом реконструкции Баренцбурга использование птицами зданий существенно изменилось. Так, для российских поселков характерны многолетние колонии моевок *Rissa tridactyla*, расположенные на подоконниках и карнизах зданий (Головкин, 1991; Иваненко, 2006; Гаврило, 2007). Несмотря на рост колоний в 2000-х гг. (Гаврило, 2007), часть их к настоящему времени прекратила свое существование. После реконструкции и сноса части зданий моевки переместились на карнизы ТЭЦ. Путем цветного мечения установлен приток особей из колонии моевок в районе заброшенного пос. Колс. Теперь в Баренцбурге это практически единственная колония, за исключением попыток нескольких пар строить гнезда на старом здании столовой. В отличие от норвежских поселков, в которых практически отсутствуют здания с плоскими крышами, таковые здания в российских поселках поделены бургомистрами *Larus hyperboreus*. Они не только используют их в качестве наблюдательного пункта, но также гнездятся и выкармливают на них птенцов. На кормежку птицы летают в акваторию Грэн-фьорда непосредственно в районе поселка. Их кормовой участок отличается от места кормежки бургомистров, гнездящихся в районе птичьего базара на склоне горы Бюкколен. Полярная крачка *Sterna paradisaea* диффузно гнездится на окраинах Баренцбурга и Лонгйира, тогда как в Нью-Олесунне крачки гнездятся непосредственно в поселке. Доступ к гнездам людей в последнем ограничен, их перемещение разрешено только по дорогам. В Баренцбурге большая колония существовала на плоской крыше вертолетного ангара. Персонал вертолетного отряда проводит регулярные меры по ликвидации этой колонии, представляющей опасность во время взлета и посадки вертолета. Крачки гнездятся

также спорадически в окрестностях вертолетной площадки. Однако здесь 2–3 пары песцов, подкармливаемых персоналом вертолетного отряда, уничтожают их гнезда. Колония существенно уменьшилась по сравнению с 2004 г. На вертолетной площадке непосредственно между бетонными плитами гнезился галстучник *Charadrius hiaticula*. Мы здесь обнаружили кладку из 4 яиц. В окрестностях пос. Пирамида рядом с вертолетной площадкой также отмечено гнездо галстучника (Иваненко, 2006).

Множество различного типа ниш в деревянных и бетонно-металлических конструкциях занято пуночкой *Plectrophenax nivalis*. В Баренцбурге она предпочитает также вентиляционные отверстия в кирпичных домах, расположенных под крышами зданий, так и невысоко над землей. Пуночка гнездится также в опорах старых электрических столбов, сложенных из крупных камней, коробах старых коммуникаций, которые также в будущем будут убраны. Облицовка зданий пластиком снизила доступность мест гнездования в поселке. Изменили распределение гнездовых пар пуночки в Баренцбурге закрытие свинофермы в 2016 г. и снос деревянных зданий, где мы также встречали ее гнезда. До закрытия фермы плотность гнездования пуночки была высокой в этой части поселка. Это было связано с тем, что пуночки использовали не только естественные корма, но и комбикорм, особенно ранней весной, в непогоду и период выкармливания птенцов (Лебедева, 2016). В целом, гнездовые станции пуночки в поселке более защищены от песцов, чем в естественных каменистых осыпях.

Обыкновенный чистик *Cerpphus grylle* – фоновый арктический вид морских птиц гнездится, как правило, на скалах, в том числе в колонии близ Баренцбурга на склоне горы Бюкколен. В Баренцбурге чистики освоили два типа гнездовых станций: портовый кран непосредственно на берегу и вентиляционные отверстия под крышами кирпичных зданий (150–200 м от моря). Таким образом, часть популяции чистика в районе Баренцбурга с 2017 г. начала осваивать селитебные местообитания, используя для гнездования не только ниши в металлических конструкциях портового крана, но и на кирпичных зданиях, вытесняя гнездившуюся там пуночку.

Таким образом, анализ показывает, что имеются существенные различия в распределении птиц в российских и норвежских поселках, связанные с характером постройки зданий, инфраструктурой и мерами охраны животных. Реконструкция строений и изменение хозяйственных объектов поселков также объясняет динамику видовой структуры птиц.

Полевые исследования на Шпицбергене финансировались по государственному заданию ММБИ РАН “Комплексные исследования экосистем фьордов и морей, омывающих архипелаг Шпицберген” (№ госрегистрации АААА-А18-118031590076-5).

Л и т е р а т у р а

Гаврило М.В. Наблюдения за птицами и млекопитающими в районе архипелага Шпицберген летом 2003 года // Рус. орнитол. журн. 2007. № 385. С. 1459–1476

Головкин А.Н. Шпицберген // Изучение морских колониальных птиц в СССР. Информационные материалы. Магадан, 1991. 71 с.

Иваненко Н.Ю. Наблюдения за птицами в окрестностях баренцбурга, пирамиды и Лонгийра на Западном Шпицбергене летом 2005 г. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. С. 305–321.

Лебедева Н.В. Пуночка *Plectrophenax nivalis* ранней весной в окрестностях пос. Баренцбург (арх. Шпицберген) // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 212–217.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ И СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА СЕРОГУМУСОВЫХ ГРУБОГУМУСОВЫХ ПОЧВ ПО ВЫСОТНОМУ ГРАДИЕНТУ В ОКРЕСТНОСТЯХ ПОС. БАРЕНЦБУРГ, ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН

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

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина
КНЦ РАН, г. Кировск, Мурманская область, Россия
e-mail: lita_0409@mail.ru

Уникальное сочетание факторов почвообразования на о. Западный Шпицберген способствует формированию почв, которые отличаются от таковых ближайшей к нему континентальной Субарктики и от расположенных на восток от него других арктических островов (Добровольский, 1990). Низкогорный, сильно рассеченный рельеф территории обуславливает выраженную гетерогенность типов почвообразующих пород и ландшафтных условий почвообразования. Наиболее распространенными элементами ландшафта на побережьях фьордов о. Западный Шпицберген являются серии морских террас, расположенные выше коренные террасы, а также склоны разной крутизны (Лаврушин, 1969).

Цель работы – изучение особенностей профильного распределения содержания и состава органического вещества в серогумусовых грубогумусовых почвах, сформированных на разных высотных отметках по геоморфологическому профилю горного хребта Грэн-фьорда в окрестностях пос. Баренцбург. Площадки, организованные в катену, были заложены на разных высотах над уровнем моря: 92 м – разрез 92 (пологий солифлюкционный склон западной экспозиции), 141 м – разрез 141, 148 м – разрез 148 (вторая морская терраса, разные по увлажнению условия, разрез 141 – сухое место, разрез 148 – более влажное), 252 м – разрез 252 (вершина горного хребта) и 244 м – разрез 244 (крутой склон восточной экспозиции). Растительный покров на всех площадках – представлен ивково-моховыми сообществами с примесью лишайников и травянистых растений. На самых высоких отметках (разрезы 252 и 244) растительный покров фрагментарен. Профили почв на разных высотных отметках имели сходную структуру генетических горизонтов – O-A_Уao-A_УaoC-C. Почва диагностирована как арктогундровая грубогумусовая серогумусовая (Классификация ..., 2004).

Химический анализ фракции < 1 мм воздушно-сухих образцов почвы включал определение общего содержания органического углерода (C_{орг.}) по Тюрину, органического азота (N_{орг.}) по Кьельдалю, группового и фракционного состава органического вещества по методу Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (Аринушкина, 1970). Спецификой обследованных почв является относительно низкое содержание органического вещества в органогенном горизонте почв (Переверзев, 2012; Литвинова, Кашулина, 2015). Одной из причин низкого содержания органического вещества в подстильно-торфяном горизонте (O) обследованных почв является высокая доля минеральных частиц, что обусловлено непосредственным поступлением в почву минеральных частиц эолового происхождения (Кашулина, 2006; Комплексные ..., 2017).

Содержание C_{орг.} в горизонте O варьировало от 15.3 до 26.9 %. Наиболее низкие концентрации C_{орг.} в горизонте O были свойственны разрезам, расположенных на самых высоких отметках катены (разрезы 252 и 244), где распределение растений было фрагментарным. В минеральной части профиля наиболее высокое содержание органического углерода характерно для верхнего грубогумусового серогумусового горизонта (A_Уao). Концентрация C_{орг.} в этом горизонте варьировала от 1.9 % на гребне хребта (разрез 252) до 2.9 % на второй морской террасе (разрез 141, сухое место).

Исследованные почвы слабо обеспечены общим азотом: диапазон его содержания варьировал от 0.04 % в горизонте АУаоС2 в верхней точке катены (разрез 252) до 1.12 % в горизонте О на морской террасе в средней части катены (разрез 141). Преобладающая часть почвенного азота находится в составе органического вещества, главным образом, в форме гумусовых веществ (Кононова, 1963), поэтому распределение азота по профилю обследованных почв имеет аккумулятивный характер, как и распределение $C_{орг.}$. Наиболее высокие содержания $N_{орг.}$ по профилю почв свойственны подстильно-торфяному горизонту О – от 0.54 (разрез 244) до 1.12 % (разрез 141, морская терраса, сухое место). В минеральной части профиля наиболее высокое содержание $N_{орг.}$ приурочено к его верхней части – серогумусовому горизонту (АУао), при этом оно значительно ниже, чем в подстильно-торфяном горизонте и варьирует от 0.08 % в почве на восточном склоне хребта на высоте 244 м над уровнем моря до 0.24 % на вершине катены (252 м над уровнем моря).

Соотношение С:N в почвах характеризует обогащенность органического вещества почв азотом, варьирует в зависимости от типа почв и является важным показателем плодородия (Никонов, Переверзев, 1989). Распределение соотношения С:N в большинстве разрезов не является регулярным в пределах профиля. Во многом, как нам кажется, это связано со сменой гранулометрического состава в профиле исследованных почв. Ранее отмечалось, что характерной особенностью мелкозема почв в окрестностях пос. Баренцбург является значительное варьирование содержания большинства фракций в пределах почвенного профиля (Литвинова, Кашулина, 2015).

Состав гумуса зависит от типа почв и является важным диагностическим показателем. Подстильно-торфяной горизонт О характеризовался гуматно-фульватным составом гумуса при варьировании соотношения $C_{гк}:C_{фк}$ от 0.5 в почве на вершине хребта (разрез 252) до 1.1 в почве, сформировавшейся во влажных условиях на второй морской террасе (разрез 148). Соотношение $C_{гк}:C_{фк}$ в большинстве обследованных разрезов возрастало с глубиной. Так, в минеральном горизонте АУао отмечалось преобладание гуминовых кислот: тип гумуса варьировал от гуматно-фульватного до гуматного. В нижней части профиля выявлено высокое варьирование соотношения $C_{гк}:C_{фк}$, как в пределах разреза, так и между разрезами. Вероятно, это также связано со сменой гранулометрического состава.

Таким образом, исследования не выявили зависимости содержания и состава органического вещества в почвах от высоты над уровнем моря. На распределение содержания и состава органического вещества большое влияние оказывают эоловый привнос пыли, гранулометрический состав почвы, состав и распределение растительности в напочвенном покрове.

Л и т е р а т у р а

Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. гос. ун-та, 1970. 487 с.

Добровольский В.В. Геохимия почв Шпицбергена // Почвоведение. 1990. № 2. С. 5–20

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

Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 346 с.

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.

Кононова М.М. Органическое вещество почв, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 316 с.

Лаврушин Ю.А. Четвертичные отложения Шпицбергена. М.: Наука, 1969. 181 с.

Литвинова Т.И., Кашулина Г.М. Органическое вещество почв побережий фьордов острова Западный Шпицберген. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2015. 122 с.

Никонов В.В., Переверзев В.Н. Почвообразование в Кольской Субарктике. Л.: Наука, 1989. 168 с.

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

ЛЕДНИК ВОСТОЧНЫЙ ГРЁНФЬОРД

Б.Р. Мавлюдов

Институт географии РАН, г. Москва, Россия

e-mail: mavlyudov@igras.ru

Ледник Восточный Грёнфьорд расположен к югу от кута залива Грён-фьорд и контактирует через срединную морену с ледником Западный Грёнфьорд. Ледник вытянут меридионально и в верховьях контактирует с ледником Фритьов. Ледник испытал подвижку в конце XIX века, которая происходила синхронно с подвижкой ледника Западный Грёнфьорд. Собственно срединная морена и разделяла эти два ледника во время подвижки, показывая, что ледник Западный Грёнфьорд был более сильным и потому во время подвижки оттеснил язык ледника Восточный Грёнфьорд к востоку. Перекрытая моренным материалом, замедляющим таяние, в настоящее время срединная морена представляет собой выделяющуюся в рельефе гряду, сложенную ледниковым льдом, которая сейчас примыкает к леднику Восточный Грёнфьорд и почти отделилась от ледника Западный Грёнфьорд продольным водным потоком, который во многих местах уже врезался до коренных пород. Однако в отличие от ледника Западный Грёнфьорд, язык которого отступил с момента подвижки на большое расстояние (до 2 км), частично благодаря возникновению оз. Ледового, ледник Восточный Грёнфьорд со времени подвижки не изменил своих размеров. Это не означает, что ледник за период более 120 лет не изменился. Поверхность ледника, сложенная чистым льдом, которая вероятно во время подвижки была надвинута на замороженный лед, интенсивно тает, поверхность его понижается, и граница чистого льда отступает. При этом оставшийся под моренным чехлом лед тает с значительно меньшей скоростью. Особенно медленно он тает на участках, где он перекрыт толстым слоем морены. А под слоем морены толщиной 2 м и более этот мертвый лед практически не тает. Таким образом получилось, что имеется ледяное тело чистого льда, которое большинство исследователей называют ледником Восточный Грёнфьорд (Изменение ..., 2014; Оценка ..., 2019), которое лежит на теле мертвого льда, перекрытого слоем моренного материала. В принципе, это один и тот же ледник. Однако у самого языка чистого льда в последние годы появился нунатак, сложенный коренными породами ложа. Выглядит это так, что здесь ледник заканчивается. При этом по краям от нунатака к северу и к югу от него сохранился мертвый лед, который соединяет чистый лед ледника с его замороженным языком. Если это так, то протяженность ледника должна измеряться не по чистому льду, а по всей протяженности ледяного тела. По приблизительным оценкам длина ледника в настоящее время равна 8 км (замороженная часть около 2 км и зона чистого льда около 6.5 км).

Поскольку наблюдения на леднике проводились с 2003 г., то удалось выяснить, что на леднике Восточный Грёнфьорд, как и на всех соседних ледниках в 2006 г. произошло

резкое понижение высоты границы питания. Вероятно, это было связано с изменением системы циркуляции воздуха в регионе. Именно после 2006 г. перестали работать климатические модели, которые до этого хорошо справлялись с предсказаниями погоды. Если в 2003–2005 гг. высота границы питания располагалась выше всех окружающих горных массивов примерно на высоте около 1100 м над уровнем моря, то после 2006 г. она опустилась до 300–400 м над уровнем моря. Это было равносильно понижению температуры в верховьях ледников на 4–5 °С при вертикальном градиенте 0.6 °С на 100 м изменения высоты или на 6–7 °С при вертикальном градиенте около 1 °С на 100 м изменения высоты (Оценка ..., 2019). Чтобы не пугать коллег такими цифрами, мы в статье опубликовали более скромные данные – опускание высоты границы питания на 300 м и понижение температуры примерно на 2 °С (Мавлюдов и др., 2012). Несмотря на такое резкое похолодание в верховьях ледников, на ГМО “Баренцбург” это никак не отразилось, и там по-прежнему отмечалось общее повышение температур воздуха. Хотя было отмечено некоторое небольшое повышение средней летней температуры воздуха на ГМО “Баренцбург”, от которой зависит таяние ледникового льда, высота границы питания на леднике Восточный Грэнфьорд, как и на соседних ледниках, с 2006 г почти не изменилась и колеблется между 400 и 500 м над уровнем моря, что подтверждается нашими исследованиями и работами других ученых (Оценка ..., 2019). Это означает, что в нижних частях ледников продолжается интенсивное таяние, которое сильно зависит от изменений температуры воздуха, хотя в верхних частях ледников таяние не очень интенсивное, оно стабилизировалось и почти не зависит от колебаний температуры воздуха в районе метеостанции.

Если климат на архипелаге не изменится, в недалеком будущем может произойти полное отделение края чистого льда от замороженного языка ледника Восточный Грэнфьорд. В этом случае ледник будет ассоциироваться в основном с районом распространения чистого льда, хотя в действительности к его территории должны будут быть отнесены участки льда на боковых склонах, которые перекрыты толстым слоем морены, в настоящее время уже возвышаются над поверхностью ледника и носят название боковых морен. Ведь они непосредственно контактируют с чистым льдом. А замороженная часть современного ледника Восточный Грэнфьорд останется отделившимся от него мертвым льдом.

Можно предположить, что нечто похожее на современную ситуацию могло быть и в прошлом. Тогда также чистый лед ледника Восточный Грэнфьорд отступил от своей мертвой замороженной части при потеплении климата и уменьшении количества твердых осадков. Когда же климат изменился и ледники начали быстро расти, то чистый лед, наступая во время подвижки, был надвинут на замороженный мертвый лед. Это означает, что возраст мертвого льда может быть больше, чем возраст чистого льда.

Работа выполнена в рамках госзадания № 0148-2019-0004 “Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата” (№ государственной регистрации АААА-А19-119022190172-5).

Л и т е р а т у р а

Изменение гидротермической структуры ледников Восточный Грэнфьорд и Фритьоф на Шпицбергене / Е.В. Василенко, А.Ф. Глазовский, И.И. Лаврентьев, Ю.Я. Мачерет // Лед и снег. 2014. № 1(125). С. 5–19.

Мавлюдов Б.Р., Саватюгин Л.М., Соловьянова И.Ю. Реакция ледников Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) на изменение климата // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. Вып. 1(91). С. 67–77.

Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) / Р.А. Чернов, А.В. Кудиков, Т.В. Вшивцева, Н.И. Осокин // Лед и снег. 2019. Т. 59, № 1. С. 59–66.

МЕХАНИЗМЫ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ОЗЕРЕ БРЕТЬЁРНА (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Н.И. Мещеряков¹, И.С. Усягина¹, Н.Е. Касаткина¹, О.В. Кокин²

¹Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: meshcheriakov104@mail.ru

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

Исследование современного осадконакопления в перигляциальной зоне западноевропейской Арктики является одной из фундаментальных задач седиментологии. Механизмы и особенности осадконакопления в морях и заливах высоких широт к настоящему времени хорошо изучены (Кленова, 1960; Лисицын, 1966; Gilbert, 1982; Elverhoi et al., 1983; Процессы ..., 2000; Митяев и др., 2005; Winkelmann, Knies, 2005; Forwick, Vorren, 2011; Мещеряков и др., 2018; Мещеряков, Тарасов, 2019). С середины прошлого века в связи с изменением климата (Forland, Hanssen-Bauer, 2003; Анциферова и др., 2014) и деградацией ледникового покрова (Оледенение ..., 1975; Мавлюдов и др., 2012; Оценка ..., 2019) на освободившейся от льда территории формируются новые бассейны седиментации. Одним из новообразованных форм экзарационно-ледникового рельефа является оз. Бретъёрна (Западный Шпицберген). Представленный в ходе работы материал позволяет выявить особенности осадконакопления в новообразованных ледниковых озерах Шпицбергена.

Работы проводились на оз. Бретъёрна. Водоем расположен в пределах краевой зоны ледника Грэнфьорд на юго-западе Земли Норденшельда (Западный Шпицбергена). Котловина озера сформировалась всего 700–100 лет назад в результате экзарационной деятельности ледника. Свой современный вид озеро начало приобретать после значительного отступления ледника Грэнфьорд, которое началось приблизительно в середине прошлого века. В настоящий момент водосборная площадь водоема продолжает изменяться в связи с таянием мертвого льда под мореной. Площадь водного зеркала озера составляет 1.52 км², объем – 17.5 млн м³, максимальная глубина – 24 м. Современное формирование донных отложений предположительно приурочено к турбидитовому процессу высокоплотных потоков на фоне сезонной изменчивости поступления осадочного материала в бассейн седиментации (Кокин, Кирилова, 2017).

Исследования в оз. Бретъёрна проводились в августе–сентябре 2017 г., марте–апреле и июле 2018 г. В ходе работ отобраны пробы взвеси и колонки донных отложений. Для отбора проб взвеси использовали контейнерные седиментологические ловушки, установленные в центре озера. Место постановки ловушки выбирали с учетом батиметрии и подводного рельефа. Глубина озера в точке постановки – 20 м. Глубина постановки ловушки – 15 м. Отбор колонок донных отложений проводили с помощью инерционной стандартной трубки ГОИН с ледовой поверхности через специально пробуренную лунку. Станции опробования расположены вдоль оси водоема: 1 – на севере озера, в непосредственной близости от истока р. Бретъёрна; 2 – в центральной части озера, в районе постановки седиментологических ловушек; 3 – на юге, в непосредственной близости от впадения в водоем флювиогляциальных потоков. Подобный подход дает возможность оценить особенности осадконакопления в районах озера с различными условиями седиментации. Мощность вскрытых отложений на ст. 1 составила 40 см, на ст. 2 – 70 см, на ст. 3 – 64 см.

Для определения возраста донных осадков и средней скорости осадконакопления использовали метод датирования современных донных отложений по неравновесному ²¹⁰Pb,

основанный на нарушении радиоактивного равновесия в ряду продуктов распада ^{238}U (Алиев, Калмыков, 2013). Равновесие нарушается за счет эманирования ^{222}Rn , который через ряд короткоживущих нуклидов превращается в атмосфере в ^{210}Pb , поступающий с глобальными выпадениями в водоемы и накапливающийся в донных осадках.

Гранулометрический анализ образцов выполнен послойно. Для гранулометрического анализа использован общепринятый интегральный метод Батурина-Осборна. Наименование и градация гранулометрических фракций соответствуют классификации Л.Б. Рухина (1961).

Температура воздуха в районе работ изменялась от 3.7 до 7.2 °С в августе–сентябре и 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 29 августа (14.4 мм) и 3 сентября (13.3 мм). В период наблюдения с 4 по 22 июля 2018 г. выпало 60.2 мм атмосферных осадков, максимальное количество выпавших атмосферных осадков (12.4 мм) приходится на 20 июля.

Температура воды в озере в августе–сентябре 2017 г. изменялась в пределах от 3.4 до 4.2 °С. В марте–апреле 2018 г. от 0.03 (у поверхности) до 0.6 °С (у дна), в июле – от 3 (у поверхности) до 2 °С (у дна).

В период исследований, когда озеро свободно от льда, вертикальный поток взвешенного вещества в оз. Бретьерна составлял в среднем в сутки в августе–сентябре – 140 г/м², в июле 2018 г. – 190 г/м². Таким образом, осадконакопление достигало в сутки 0.29 мм и 0.2 мм соответственно. В марте–апреле, когда озеро покрыто льдом, это значение составило 0.21 г/м² в сутки, что соответствует скорости осадконакопления $1.5 \cdot 10^{-4}$ мм/сут. Наибольшие значения вертикального потока осадочных частиц были зафиксированы в период обильного выпадения атмосферных осадков (более 12 мм/сут.): 2–6 сентября 2017 г. (400 г/м² в сутки) и 9–13 июля 2018 г. (280 г/м² в сутки). В этот период времени скорость осадконакопления достигала 0.29 и 0.2 мм/сут. соответственно (Мещеряков и др., 2018).

Гранулометрический анализ показал, что для донных отложений оз. Бретьерна характерно преобладание мелкодисперсного осадочного материала. Доминируют фракции пелита и алевролита (в основном мелкого). Суммарно доля мелкоалевровитовых и пелитовых частиц составляет на разных станциях от 70 до 95 % от общей массы проб. Максимальная доля мелкодисперсных фракций свойственна осадкам из центральной части озера по всей длине колонки. В других частях озера это долевое соотношение варьирует по глубине керна в указанном интервале.

Следующий по долевым значимости размерный ряд осадочных частиц это фракции крупного алевролита и разнотельного песка. Доля частиц этих фракций в среднем не превышает 25 % от общей массы образцов донных отложений на станциях. Осадки краевых частей озера на станциях 1 и 3 имеют некоторые отличительные особенности в гранулометрическом составе, которые проявляются лишь эпизодически на разных горизонтах колонки и связаны, по-видимому, с межгодовыми флуктуациями гидродинамической активности ледникового стока и выходного течения из озера. В частности, в устьевой части озера, в зоне разгрузочного течения (ст. 1) в слое 11–25 и 30–40 см суммарное содержание зерен размерностью 2.0–0.25 мм повышено от 3 до 6 %. В зоне разгрузки ледникового стока (ст. 3) в слоях ниже 24 см отмечен рост доли частиц фракции 0.1–0.05 мм в зависимости от глубины залегания. Так, в слое 16–20 см доля этой фракции составляет 3 %, а на глубине 65 см – 31.5 % от общей массы осадка, что, вероятно, связано с изменением интенсивности ледникового стока и удаленным переносом мелкодисперсного осадочного материала (Мещеряков, Тарасов, 2019).

Одной из особенностей донных отложений озера является то, что верхние горизонты представлены однородным материалом, а нижние слои керна сложены менее сортированными осадками. Помимо алевролита и пелита в нижних горизонтах осадков в значительном объеме

присутствует разноразмерный песок и мелкий гравий. Это указывает на значительные изменения условий седиментации, которые связаны с отступлением фронта ледника.

Датирование донных отложений озера по ^{210}Pb позволило определить, что формирование донных отложений в озере происходило неравномерно. С 1947 года началось осадконакопление в северной части озера (район ст. 1), в 1963 г. – заполнение бассейна седиментации на юге (район ст. 3), и только спустя 13 лет (к 1976 г.) – аккумуляция седиментов в центральной части депрессии озера (район ст. 2).

Средняя скорость осадконакопления на севере составила 0.47 мм/год, в центральной части озера – 1.54 мм/год и на юге – 1.47 мм/год. Смена условий седиментации на севере озера приходится на 1963 г., в центре – на 1981 г., на юге – 1983 г.

На ранних стадиях седиментогенез в оз. Бретьёрна определялся в значительной мере абляцией ледника Грёнфьорд. Фронт ледника отступал с акватории будущего озера с середины 1940-х гг. по конец прошлого века. Осадки, сформированные на этом этапе, сложены более грубым и менее сортированным материалом. Неравномерность заполнения бассейна седиментации связана с особенностью деградации ледникового покрова. После отступления ледника с акватории водоема роль ледникового стока снизилась, темпы осадконакопления в оз. Бретьёрна определяются количеством атмосферных осадков, выпавших на водосборную площадь водоема.

Л и т е р а т у р а

- Алиев Р. А., Калмыков С. Н.* Радиоактивность: Учебное пособие. СПб.: Лань, 2013. 304 с.
- Анциферова А.Р., Мокротоварова О.И., Сиеккинен Е.Д.* Изменения климата на архипелаге Шпицберген. Климатические особенности зимы 2013/14 г. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып.12. М.: ГЕОС, 2014. С. 16–21.
- Кленова М.В.* Геология Баренцева моря. М.: Изд-во АН СССР, 1960. 342 с.
- Кокин О.В., Кириллова А.В.* Реконструкция динамики ледника Грёнфьорд (Западный Шпицберген) в голоцене // Лед и снег. 2017. Т. 57(2). С. 241–252.
- Лисицын А.П.* Процессы современного осадкообразования в Беринговом море. М.: Наука, 1966. 564 с.
- 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.
- Мецерьков Н.И., Тарасов Г.В.* Гранулометрический состав донных отложений озера Бретьёрна (Западный Шпицберген) // Исследование арктических экосистем: Матер. XXXVII конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2019. С. 55–59.
- Мецерьков Н.И., Тарасов Г.В., Новиков А.Н.* Сезонные особенности вертикального потока осадков в озере Бретьёрна (Западный Шпицберген) // 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. С. 75–76.
- Митяев М.В., Погодина И.А., Герасимова М.В.* Фациальная изменчивость современных отложений залива Грён-фьорд, Западный Шпицберген // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2005. С. 190–202.
- Оледенение Шпицбергена (Свальбарда).* М.: Наука, 1975. 276 с.
- Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грёнфьорд (Западный Шпицберген) / Р.А. Чернов, А.В. Кудиков, Т.В. Вшивцева, Н.И. Осокин // Лед и снег. 2019. Т. 59(1). С. 59–66.*
- Процессы седиментации на гляциальных шельфах / Г.А. Тарасов, И.А. Погодина, В.Б. Хасанкаев, Н.А. Кукина, М.В. Митяев.* Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2000. 473 с.
- Рухин Л.Б.* Основы литологии. Л.: Гостоптехиздат, 1961. 780 с.
- Elverhoi A., Lanne O., Seland R.* Glaciomarine sedimentation in a modern fjord environment, Spitsbergen // Polar Res. 1983. P. 127–149.

Forland E.J., Hanssen-Bauer I. Past and future climate variations in the Norwegian Arctic: overview and novel analyses // *Polar Res.* 2003. Vol. 22. P. 113–124.

Forwick M., Vorren T.O. Stratigraphy and deglaciation of the Isfjorden area, Spitsbergen // *Norwegian J. Geology.* 2011. Vol. 90. P. 163–179.

Gilbert R. Contemporary sedimentary environments of Baffin Island, N.W.T., Canada: Glaciomarine processes in fjords of eastern Cumberland Peninsula // *Arctic and Alpine Res.* 1982. Vol. 14. P. 1–12.

Winkelmann D., Knies J. Recent distribution and accumulation of organic carbon on the continental margin west off Spitsbergen // *Geochemistry. Geophysics. Geosystems.* 2005. Vol. 6. P. Q09012. DOI: 10.1029/2005GC000916.

КОМПЛЕКТ КАРТ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СОДЕРЖАНИЯ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ЗЕМЛИ НОРДЕНШЕЛЬДА МАСШТАБА 1:100 000

**М.Ю. Милославский, А.Н. Сироткин, В.В. Шарин,
А.С. Окунев, Н.Н. Костева, Н.Г. Краснова**

Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–Ломоносов, Россия
e-mail: m.miloslavskiy@mail.ru

Коллективом геологов Шпицбергенской партии ПМГРЭ в 2018–2020 гг. подготовлен комплект карт геологического содержания масштаба 1:100 000 центральной части Земли Норденшельда, включая территории российских рудников и поселков Баренцбург, Грумант, Колсбей. Комплект содержит геологическую карту с пунктами проявлений полезных ископаемых, геоморфологическую карту и карту четвертичных отложений указанного района. В качестве топографической основы использовалась цифровая основа, созданная в НПИ. Карты сопровождаются серией схем, колонок, разрезов, расположенных как в зарамочном оформлении, так и на отдельных листах. Новый комплект карт представляет наиболее полную на сегодняшний день картографическую фактуру по геологии и геоморфологии района в рамках координат Баренцбург–Грумант–Ван-Майен-фьорд и может служить источником информации для дальнейших геологических, геоморфологических, инженерно-геологических, гляциологических, гидрогеологических, палеогеографических и геоэкологических исследований на архипелаге.

Геологическая карта с пунктами проявлений полезных ископаемых составлена по материалам полевых исследований, проведенных Шпицбергенской партией в сезоны 2018–2019 гг. на отчетной площади, а также литературных и фондовых источников. Основой легенды для карты стала схема стратиграфического расчленения отложений палеогена о. Западный Шпицберген (Лившиц, 1973), адаптированная авторами под требования к созданию геологической карты масштаба 1:100 000. Та часть легенды, в которой представлен разрез докембрийских и верхнепалеозойских–мезозойских отложений, составлена на основе материалов Шпицбергенской партии (Российские ..., 1998 и др.). В зарамочное оформление геологической карты входят стратиграфическая колонка, а также два геологических разреза, составленные с целью детализации геологического строения площади, наглядного представления о геологической структуре, условиях залегания геологических тел и специфике строения отдельных блоков и зон. Количество разрезов и их направление позволяют получить представление о геолого-структурных характеристиках каждого из имеющихся в ее пределах структурных этажей. При доработке разрезов использовались данные разведочного бурения (на угольных месторождениях), что позволило дать

характеристику глубинного строения площади. Глубины разрезов определяются глубиной параметрических скважин, пробуренных на данной площади (Российские ..., 1998 и др.). При сборе, анализе и систематизации материалов по тектонике района, истории геологического развития площади и ее полезных ископаемых были созданы структурно-тектоническая схема и схема шлихоминералогических ассоциаций центральной части Земли Норденшельда (обе схемы представлены на отдельных листах).

Карта четвертичных отложений составлена на основе обширного материала, собранного нами при проведении полевых работ, и информации, полученной нашими предшественниками (Шарин и др., 2012; Шарин, Окунев, 2014). В ходе маршрутных работ была закартирована большая часть изученной территории. При составлении карты для решения спорных вопросов была привлечена серия спутниковых снимков Landsat видимого диапазона 2008, 2010, 2011 гг. в ортогональной проекции с разрешением до 20 см. В результате на карте в долинах показаны образования морского, водно-ледникового и пролювиального генезиса, а также отложения склонового ряда. На обширных плато формируются покровы отложений элювиального, элювиально-солифлюкционного и элювиально-делювиального генезиса. Отложения морских террас объединены в один временной интервал (ранний–средний голоцен). Из-за интенсивности и разнообразия экзогенных процессов многие отложения нерасчлененного типа образуют породные парагенезисы. На дневной поверхности в пределах изученной площади почти все отложения имеют голоценовый возраст, и лишь в нескольких местах встречаются ледниково-морские образования позднего неоплейстоцена (четвертая ступень). В легенде карты также представлены аллювий первой надпойменной террасы и биогенные образования (торф) средне-, позднеголоценового возраста. Карта сопровождается схемами соотношения четвертичных пород в центральной части Земли Норденшельда, привязанными к географическим точкам на изученной площади и дающими представление о латеральном и вертикальном характере распространения четвертичных отложений в ее пределах.

Геоморфологическая карта составлена по методу выделения генетически однородных поверхностей (Тарноградский, 2005), неоднократно используемый нами при картировании других территорий Шпицбергена. Представленная карта была разработана на основании изучения ранее опубликованных (Семевский, Шкатов, 1965; Talgensbakk et al., 2000; Шарин и др., 2012; Шарин, Окунев, 2014) и фондовых материалов (Российские ..., 1998 и др.), дешифрирования аэрофотоснимков, анализа собственных полевых материалов. В пределах района выделены структурно-денудационные, денудационные, абразионно-аккумулятивные и аккумулятивные группы генетически однородных поверхностей рельефа, а также ряд сопутствующих им форм. На карте отображены с достаточной степенью детальности российские поселки Баренцбург, Колсбей и Грумант. В пояснительной записке для законсервированных объектов (Колсбей и Грумант) описаны геологические процессы, оказывающие деструктивное воздействие на их инфраструктуру. Изображения различных геоморфологических объектов на карте выполнено значками, линейными знаками, качественным фоном, изолиниями.

Геоморфологическая карта и карта четвертичных отложений послужили основой для построения на отдельных листах палеогеографических схем. Анализ ориентировки и конфигурация таких форм и элементов рельефа как моренные комплексы, морские террасы и ледники позволили, наряду с другими данными, реконструировать положение уровня моря в отдельные этапы позднего неоплейстоцена–голоцена и установить характер дегляциации ледников за последние 115 лет.

Л и т е р а т у р а

Лившиц Ю.Я. Палеогеновые отложения и платформенная структура Шпицбергена. Л.: Изд. НИИГА, 1973. Т. 174. 159 с.

Российские геологические исследования на Шпицбергене 1962–1996 гг. / А.А. Красильщиков (ред.). СПб.: Недра, 1998. 230 с.

Семевский Д.В., Шкатов Е.П. Геоморфология Земли Норденшельда (Западный Шпицберген) // Материалы по геологии Шпицбергена. Л.: Изд. НИИГА, 1965. С. 232–240.

Тарноградский В.Д. Требования по созданию карт и схем к комплекту госгеолкарты 1000/3/. СПб.: Изд. ВСЕГЕИ, 2005. 47 с.

Шарин В.В., Окунев А.С. Карта четвертичных отложений центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген). Масштаб 1:50 000 / Ред. А.А. Лайба. СПб.: Ренова, 2014.

Шарин В.В., Окунев А.С., Лазарева Е.И. Геоморфологическая карта центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген). Масштаб 1:50 000 / Ред. Е.А. Гусев. СПб.: Ренова, 2012.

Tolgensbakk J., Sørbel L., Høgvard K. Adventdalen, Geomorphological and Quaternary Geological map Svalbard 1:100 000 scale, Spitsbergen sheet C9Q, Temakart nr 32. Tromsø: Norsk Polarinst., 2000.

ВОЗМОЖНОСТЬ ПРЕДСКАЗАНИЯ ЗАРОЖДЕНИЯ ПОЛЯРНЫХ ЦИКЛОНОВ В АТМОСФЕРЕ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

И.В. Мингалёв^{1,2}, К.Г. Орлов¹, В.С. Мингалёв¹

¹Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия

²Филиал Мурманского арктического государственного университета,

г. Апатиты, Мурманская область, Россия

e-mail: mingalev@pgia.ru

Арктической зоной принято называть находящуюся в Северном полушарии территорию, включающую в себя Северный Ледовитый океан, омываемые им берега континентов и лежащие в этом океане острова, одним из которых является Шпицберген. Одной из специфических особенностей поведения атмосферы в Арктической зоне является то, что в ней регулярно наблюдаются так называемые полярные циклоны, которые являются крупномасштабными атмосферными вихрями, внутри которых атмосферное давление существенно понижено, а скорость ветра значительно повышена. Интенсивность полярных циклонов может иногда значительно нарастать, и они могут превращаться в арктические ураганы. Полярные циклоны и арктические ураганы чаще всего возникают в осенне-зимний период над незамерзающими поверхностями Норвежского и Баренцева морей. За время своего существования они могут смещаться на значительные расстояния и наносить вдоль своего пути следования ущерб промышленным, транспортным и иным находящимся на суше и на море системам, поскольку они обладают большой разрушительной силой. Своевременное предсказание зарождения полярных циклонов, прогнозирование траекторий их движения, оценка изменений их характеристик за времена их существования представляют важные и до сих пор не решенные задачи современной науки. Для решения этих задач наряду с теоретическими и экспериментальными методами может быть применен метод математического моделирования.

В Полярном геофизическом институте для исследования атмосферных процессов была разработана региональная математическая модель горизонтального и вертикального ветра в нижней атмосфере Земли, подробное описание которой можно найти в работе (Образование ..., 2009). В этой модели областью расчетов является часть шарового слоя над ограниченным участком земной поверхности, которая по высоте имеет размеры от поверхности Земли до высоты 15 км, по долготе – 36° , а по широте – 25° . Модель основана на численном решении методом конечных разностей системы уравнений переноса, которая включает в себя уравнения неразрывности и движения для горизонтальных и вертикальной компонент скорости воздуха, а также уравнение теплового баланса. Эта модель является негидростатической, поскольку в ней вертикальная скорость газа находится не из условия гидростатического равновесия, как в большинстве подобных моделей, а путем численного решения полного уравнения движения для вертикальной компоненты скорости без пренебрежения какими-либо членами. Описываемая математическая модель позволяет рассчитывать зависящие от времени пространственно трехмерные распределения газодинамических параметров атмосферного газа, включая зональную, меридиональную и вертикальную компоненту скорости воздуха.

Кратко описанная выше модель использовалась для численного исследования механизмов формирования полярных циклонов (Мингалев и др., 2012, 2014; Mingalev et al., 2014). Эти исследования показали, что полярные циклоны могут зарождаться в окрестностях арктического фронта, который, как известно, является границей между двумя циркуляционными ячейками земной атмосферы (приполюсной ячейкой и ячейкой Ферреля), и эта граница оказывается лежащей как раз в Арктической зоне. Поскольку севернее и южнее этой границы зональная составляющая скорости воздуха имеет противоположные направления, то арктический фронт представляет собой вытянутую вдоль широты область, где зональная компонента ветра при изменении широты быстро меняется (имеется сдвиговое горизонтальное течение). Как правило, протяженность арктического фронта в меридиональном направлении не превышает 200 км, а протяженность его вдоль широты может составлять более 2000 км. Из данных спутниковых наблюдений известно, что у арктических фронтов регулярно возникают искривленные участки длиной 500–1000 км, отклоняющиеся от остальной части фронта на север или на юг на 100–200 км. В упомянутых выше численных исследованиях в начальный момент на арктическом фронте задавались возмущения в виде выпуклых участков длиной 500–600 км с отклонениями к северу или к югу не менее чем на 100 км, и проводилось численное моделирование на временах порядка 2 сут.

Результаты численных исследований, представленные в упомянутых выше статьях, показали, что при начальных отклонениях арктического фронта к северу или к югу в течение примерно 20 ч формируется циклонический вихрь, который в дальнейшем движется либо на запад, либо на восток. Поперечные размеры возникающих циклонических вихрей составляют порядка 600 км и более, а скорость ветра в них может достигать 15–20 м/с. Физической причиной возникновения этих циклонических вихрей является развитие неустойчивости сдвигового воздушного течения, присутствующего в арктическом фронте, которая инициируется искривлением арктического фронта. При этом кинетическая энергия крупномасштабного сдвигового течения, существующего в арктическом фронте, переходит в кинетическую энергию циклонического вихря.

Регулярные спутниковые наблюдения за формой арктического фронта могут стать основой методики прогнозирования зарождения полярных циклонов. В силу специфики горизонтальных и вертикальных движений воздуха в области арктического фронта возникают облачные структуры, воспроизводящие своей формой очертания самого арктического фронта. Эти облачные структуры хорошо видны с космических аппаратов,

осуществляющих мониторинг земной поверхности в микроволновом и инфракрасном диапазонах. В частности, они регулярно фиксировались при помощи СВЧ-радиометрических приборов SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager), установленных на космических аппаратах серии DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) в течение всего периода их существования. Также эти облачные структуры наблюдались с метеорологических спутников серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) приборами AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), измеряющими тепловое излучение в спектральном диапазоне 0.58–12.5 мкм. Поэтому представляется вполне осуществимым создание группировки спутников, которые будут в реальном времени отслеживать изменения формы облачных структур в области арктического фронта. Возникновение выпуклых участков этих облачных структур, а, следовательно, и арктического фронта будет являться сигналом того, что высока вероятность зарождения полярного циклона.

Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-29-03022).

Л и т е р а т у р а

Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С. Механизм формирования полярных циклонов и возможность их предсказания по данным спутниковых наблюдений // Космические исследования. 2012. Т. 50, № 2. С. 166–175.

Мингалев И.В., Орлов К.Г., Мингалев В.С. Моделирование зарождения вихревых течений в арктической атмосфере // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. XII Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 6–8 ноября 2014 г.). Вып. 12. М.: ГЕОС, 2014. С. 215–219.

Образование крупномасштабных вихрей в сдвиговых течениях в нижней атмосфере Земли в области тропических широт / О.М. Белоцерковский, И.В. Мингалев, В.С. Мингалев и др. // Космические исследования. 2009. Т. 47, № 6. С. 501–514.

Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S. A modeling study of the initial formation of polar lows in the vicinity of the arctic front // *Advances in Meteorology*. 2014. Article ID 970547. 10 p. URL: <http://dx.doi.org/10.11552014/970547>

ПЕРСПЕКТИВНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ДЕТЕКТОР КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

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

Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: mikhalko@pgia.ru

Приборы для регистрации космических лучей в большинстве случаев являются достаточно массивными устройствами, не предназначенными для перемещения. Таковыми являются различные типы мюонных телескопов, нейтронные мониторы. В лаборатории космических лучей ПГИ разработан и создан мобильный комплекс для измерения вариаций вторичных космических лучей (ВКЛ). Комплекс имеет встроенный детектор нейтронной компоненты (чувствителен к нейтронам с энергиями < 1 МэВ). В комплексе имеется также возможность подключения детектора заряженной компоненты и широко используемого в ПГИ сцинтилляционного гамма-детектора. Для этого предусмотрены соответствующие

разъемы и программное обеспечение, производящее обработку и запись поступающих данных. Небольшие габариты, малое энергопотребление и запись данных на флэш-накопители позволяют использовать этот комплекс для мониторинга ВКЛ в труднодоступных и уединенных местах, на метеостанциях, а также на судах в дальних плаваниях и экспедициях. Комплекс был включен на сбор данных параллельно с основной аппаратурой на станции в Апатитах и показал как свою надежность, так и соответствие получаемых с его помощью данных о вариациях ВКЛ с данными, регистрируемыми на основной станции в Апатитах.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЗАТОКА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ИС-ФЬОРД С 1993 ГОДА

Д.В. Моисеев, И.Ф. Запорожцев, Т.М. Максимовская

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: Denis_Moiseev@mmbi.info

Океанографические условия заливов и фьордов о. Западный Шпицберген со стороны Гренландского моря определяются взаимодействием атлантических вод, приходящих с Западно-Шпицбергенским течением, поверхностных арктических, поступающих из Баренцева моря, и материковым стоком. Ис-фьорд является крупнейшим заливом о. Западный Шпицберген. Он ориентирован с запада на восток, площадь составляет порядка 2380 км², длина – более 100 км, максимальная глубина – 415 м (Демешкин, 2015). Для него характерно преобладание следующих водных масс: поверхностной, атлантической, трансформированной, промежуточной, арктической, зимней и местного происхождения в поверхностном слое залива поздней весной и летом преобладает поверхностная водная масса, которая формируется под воздействием солнечной радиации, речного стока и талых вод, поступающих с ледников. Она имеет температуру больше 1 °С и соленость от 34 до менее 28 ‰ вблизи ледников. Атлантической водной массе соответствуют температура и соленость, превышающие 3 °С и 34.9 ‰ соответственно. Вследствие смешения с арктическими водами и непосредственно водами залива характеристики атлантической водной массы претерпевают изменения, образуя трансформированную атлантическую водную массу. Для нее характерны температура выше 1 °С и соленость больше 34.7 ‰. Промежуточной водной массе соответствует температура больше 1 °С и соленость в диапазоне от 34 до 34.7 ‰. Охлаждение вод в зимне-весенний период приводит к образованию двух водных масс, образующихся непосредственно в заливе: зимней (с температурой меньше –0.5°С и соленостью больше 34.4 ‰) и местного происхождения с температурой меньше 1 °С и соленостью около 34 ‰ (Fjord-shelf ..., 2008).

Целью работы являлся анализ межгодовой динамики распространения атлантических вод в заливе Ис-фьорд по архивным данным и материалам экспедиционных исследований 2001–2019 гг. (Мещеряков и др., 2014; Моисеев, Ионов, 2006; Моисеев, Громов, 2009; Моисеев, Бобров, 2015).

Целевая характеристика численного исследования – площадь сечения в плоскости океанографического разреза в Ис-фьорде (разрез ориентирован преимущественно в направлении с запада на восток, продольный разрез). Рассматриваются фигуры, ограниченные изолинией (изохалиной 34.8 ‰), дном и поверхностью воды. Соленость выбрана как более инерционная

характеристика, чем температура, так как значение последней может определяться колебаниями разных периодов – от суточного хода и до многолетнего, поэтому конкретные значения температурных порогов оказываются дискуссионными. Предложена версия стека технологий с участием Matlab, Java и Surfer Scriptor (Zaporozhtsev, Moiseev, 2019), затем она была обновлена так, чтобы не включать проприетарное программное обеспечение (Zaporozhtsev et al, 2019). Актуальный вариант включает несколько этапов обработки данных, реализованных в виде скрипта на языке программирования Python. Скрипт использует входные данные, подготовленные для рейсового отчета. Стек необходимых для работы скрипта программных модулей языка Python: numpy, re, netCDF4, pandas (получение данных, обработка таблиц), Matplotlib (визуализация), PyKrige (аппроксимация, в частности, кригинг), shapely (вычисление площади полигонов).

Кроме данных экспедиций ММБИ РАН, использованы следующие ресурсы свободного доступа: батиметрия GEBCO и данные солености, полученные в ходе экспедиций, зарегистрированных в World Ocean Database с 1993 г. Исходя из экспертного анализа обеспеченности данными вертикального разреза по глубине и по станциям за 1993–2019 гг., принято решение использовать границы 10 и 62 км, считая референсной станцией точку (13.31955° в. д., 78.12907° с. ш.). Расчет оказался возможным для экспедиций 1993, 2004, 2007, 2008, 2010, 2013–2019 гг. Сезоны исследований – весна (2018 г.), лето (1993, 2004, 2007, 2008, 2010, 2014, 2016, 2017, 2019 гг.), осень (2013, 2015, 2019 гг.). По итогам вычислительных экспериментов показано, что минимальный заток атлантических вод в Ис-фьорд наблюдался летом 2018 г. (сопоставимый по величине, но несколько больший: 1993 и 2007 гг.), а максимальный – летом 2019 г. (сопоставимый по величине, но несколько меньший: 2008 и 2014 гг.).

Л и т е р а т у р а

Демешкин А.С. Геоэкологическая оценка состояния природной среды в районе расположения российского угледобывающего рудника Баренцбург на архипелаге Шпицберген: Дис. ... канд. географ. наук (25.00.36). СПб., 2015. 181 с.

Мещеряков Н.И., Бобров К.А., Тарасов Г.А. Седиментологические и океанологические исследования в апреле 2014 года в заливе Грён-фьорд // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа. Вып. 12. М.: ГЕОС. 2014. С. 210–215.

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-во КНЦ РАН, 2006. С. 261–270.

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., Бобров К.А. Океанографические исследования в заливе Грен-фьорд // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций // Тезисы докладов Международной научной конференции (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН). Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2015. С. 168.

Fjord-shelf exchanges controlled by ice and brine production: The interannual variation of atlantic water in Isfjorden, Svalbard / F. Nilsen, F. Cottier, R. Skogseth, S. Mattsson // Continental Shelf Res. 2008. Vol. 28. P. 1838–1853.

Zaporozhtsev I.F., Moiseev D.V. Calculation of atlantic waters inflow and polar front position in the Barents Sea with long-term data on Kola Transect [Электронный ресурс] // Proceedings of 4th International Symposium on Geoinformatics, ISyG 2018, Indonesia, Malang, 10–12 November 2018. IEEE Xplore, 2019. P. 45–49.

АКТИВНОСТЬ ВИДОВ СОСУДИСТЫХ РАСТЕНИЙ В ЭКОТОПАХ ПОБЕРЕЖИЙ АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ

Д.С. Мосеев¹, Л.А. Сергиенко^{2,3}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва, Россия
e-mail: viking029@yandex.ru

²Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

³Институт биологии, экологии и агротехнологий, г. Петрозаводск, Россия

Поведение видов сосудистых растений в местообитаниях островных территорий западного сектора Арктики в настоящее время является слабо изученной проблемой геоботаники. Хорошие результаты исследований эколого-ценотического оптимума видов в разных местообитаниях дает показатель активности, который обозначен как мера преуспевания вида во флоре (Юрцев, Камелин, 1991).

Нами проведены исследования активности видов в разных местообитаниях побережий северной оконечности (район залива Русская Гавань, Баренцево море) и крайнего юга (Петуховский архипелаг в проливе Карские Ворота) архипелага Новая Земля. Первый район расположен в подзоне высокоарктических тундр, второй – в арктической тундре.

Для побережий выделены местообитания, различающиеся по мезорельефу, механическому составу грунтов, степени увлажнения: 1) щебнисто-суглинистые берега ручьев; 2) щебнистые берега озер; 3) морские террасы; 4) прибрежья озер; 5) береговые валы галечных пляжей на берегу моря; 6) сырые луговины островов; 7) микродепрессии в щебнистых тундрах; 8) вершины клифов; 9) заболоченные микродепрессии.

Активность видов (A) вычисляли по формуле на основе показателей встречаемости (F) и обилия (D): $A = \sqrt{F \times D}$ (Малышев, 1973) и оценивали по 5-балльной шкале (исходя из максимально полученного значения радикала): 5 – очень активные виды, 4 – высокоактивные, 3 – среднеактивные, 2 – низкоактивные, 1 – неактивные.

Флористический состав сосудистых растений в районе Русской Гавани включает 33 вида, включенных в анализ (Мосеев, Сергиенко, 2017), на островах Петуховского архипелага – 64 вида (Мискевич и др., 2012), из них проанализировано – 50 видов.

Существенно отличается видовое богатство разных экотопов: на морских террасах отмечено 20 видов, на берегах ручья вытекающего из оз. Мелкое в Русской Гавани – 29, на сырых лугах – 14. Очень беден флористический состав сосудистых растений в щебнистых тундрах Петуховского архипелага, где в микродепрессиях островов отмечено 9 видов, а на вершинах клифов – 4.

На морских террасах северной оконечности Новой Земли среднюю активность проявляют арктические виды, приуроченные к бедным щебнисто-супесчаным почвогрунтам – *Saxifraga oppositifolia*, *Cerastium regelii*, *Papaver polare*, на островах Петуховского архипелага высокоактивен *Saxifraga cespitosa*.

На увлажненных щебнисто-суглинистых почвах Русской Гавани, по берегам ледникового ручья, активны гигрофильные злаки – *Alopecurus magellanicus* (3 балла), *Deschampsia brevifolia* (5 баллов). Среднюю активность в экотопах проявляет гигрофил *Juncus biglumis* и мезофиты *Salix polaris* и *Cochlearia groenlandica*. В ложбинах по берегам ручьев о. Пуховый юга Новой Земли обильны *Saxifraga aizoides*, *Caltha arctica*.

На сырых лугах о. Бритвин Петуховского архипелага активны *Poa alpina* (4 балла) и *Petasites frigidus* (3 балла), обычны *Salix glauca*, *Saxifraga hirculus*, *Poa arctica*, *Polygonum viviparum*, *Myosotis asiatica*.

В щебнистых тундрах островов Петуховского архипелага с активностью 4 балла доминируют *Salix arctica*, *Rhodiola rosea*, не отмеченные в Русской Гавани, а на вершинах клифов – *Silene acaulis*.

Водная и околоводная растительность высоких широт Арктики, отличается бедностью видового состава. Но в ледниковом оз. Мелкое (Русская Гавань) нами отмечен *Pleuropogon sabinii*, а в заболоченных переувлажненных микродепрессиях и прибрежьях озер Петуховского архипелага активны *Arctophila fulva* (5 баллов) и *Petasites frigidus* (3 балла), их северная граница ареалов проходит по о. Южный (Новая Земля).

На щебнистых берегах оз. Мелкое и на галечных валах морского берега все отмеченные виды неактивны, образуют разреженные группировки, которые трудно назвать настоящими сообществами, что указывает на их отсутствие к способности доминирования в этих открытых для действия ветров местообитаниях. Из них в Русской Гавани некоторые виды находятся на северной границе ареала – *Poa alpina*, *Silene acaulis*, *Saxifraga hirculus*, *Caltha arctica*.

Из всего флористического разнообразия исследованных районов высокой Арктики на основании показателя ландшафтной активности можно выделить ряд видов, приуроченных к конкретным местообитаниям островов: щебнистые тундры – *Salix arctica*, *Rhodiola rosea*, *Silene acaulis*; увлажненные берега ручьев – *Alopecurus magellanicus*, *Deschampsia brevifolia* (северная оконечность Новой Земли, Русская Гавань), *Saxifraga aizoides*, *Caltha arctica* (южная оконечность Новой Земли, Петуховский архипелаг); прибрежья озер – *Pleuropogon sabinii*; заболоченные микродепрессии – *Arctophila fulva* (Петуховский архипелаг). Согласно предыдущим исследованиям островных территорий западного сектора Арктики (Растительный ..., 2019), можно утверждать, что для сухих участков морских террас свойствен *Saxifraga oppositifolia*.

Все виды, отмеченные на северной границе ареала (о. Северный, Новая Земля), не обильны и не активны в разных местообитаниях.

Л и т е р а т у р а

Мискевич И.В., Мосеев Д.С., Самохина Л.А. Комплексная экспедиция “По следам поморов”. Архангельск: Солтек, 2012. 100 с.

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.

Мальшев Л.И. Флористическое районирование на основе количественных признаков // Бот. журн. 1973. Т. 58, № 11. С. 1581–1588.

Растительный покров морских террас архипелага Земля Франца-Иосифа / Д.С. Мосеев, Л.А. Сергиенко, Е.Ю. Кузьмина и др. // Бот. журн. 2019. Т. 104, № 9. С. 1355–1385.

Юрцев Б.А., Камелин Р.В. Основные понятия и термины флористики. Пермь, 1991. 80 с.

РЕЗОНАНСНЫЕ ЭФФЕКТЫ В СНЧ/ОНЧ-ИЗЛУЧЕНИЯХ ТИПА АВРОРАЛЬНЫЙ ХИСС ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ШПИЦБЕРГЕНЕ (БАРЕНЦБУРГ)

**А.С. Никитенко, С.В. Пильгаев, А.В. Ларченко,
М.В. Филатов, О.М. Лебедь, Ю.В. Федоренко**

Полярный геофизический институт РАН, г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: alex.nikitenko91@gmail.com

Представлены результаты наземных наблюдений СНЧ/ОНЧ-излучений типа авроральный хисс в обсерватории в Баренцбурге (арх. Шпицберген). Показано, что в некоторых случаях в спектре регистрируемых излучений наблюдаются пики на частотах, кратных частоте поперечного резонанса волновода Земля–ионосфера. Проведено сравнение полученных результатов с данными наблюдений всплесков аврорального хисса на станциях в Ловозеро (Мурманская обл.) и Каннуслахто (Финляндия), расположенных на более низких широтах. Показано, что подобный эффект на этих станциях не наблюдается. Для объяснения полученных результатов проведено моделирование распространения аврорального хисса от области генерации до наземного наблюдателя и выявлено возможное состояние ионосферы, которое может приводить к наблюдаемым спектрам.

ВСТРЕЧАЕМОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ МОРСКОГО МУСОРА НА АКВАТОРИИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

М.А. Новиков¹, Е.А. Горбачева¹, М.Н. Харламова², Т.А. Прохорова¹

¹Полярный филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии, г. Мурманск, Россия
e-mail: mnovik@pinro.ru

²Мурманский арктический государственный университет, г. Мурманск, Россия

В современный период проблема морского техногенного мусора представляет собой реальную угрозу жизнедеятельности гидробионтов и стабильному функционированию водных экосистем. Морским мусором следует считать любой изготовленный или обработанный, плохо растворимый в воде твердый материал антропогенного происхождения, унесенный, выброшенный или утерянный в море, способный к пребыванию в нем длительное время. Наблюдаемый в море мусор в основном представляет собой пластиковую посуду, пакеты, другие емкости, прочие изделия из пластмассы, бумаги, резины, железа и стекла, а также синтетические и стальные волокна, тканые и нетканые материалы, стройматериалы, бревна, обломки деревянных и металлических конструкций, бытовую технику, механизмы, включая затонувшие суда, их детали и многое другое. Предметы, изготовленные из пластика (синтетического материала), неизменно входят в число наиболее распространенных видов морского мусора.

Состав и распределение техногенного мусора в Баренцевом море исследовали в ходе ежегодной осенней (август–октябрь) российско-норвежской экосистемной съемки.

В настоящей работе представлены отдельные результаты более 2 тыс. тралений, выполненных в 2012–2018 гг. На каждой станции, как правило, выполняли донное траление – в слое воды от дна до 5 м и пелагическое – в слое от поверхности до глубины 60 м. Все суда, в том числе суда ПИПРО “Вильнюс” и “Фритъоф Хансен”, использовали стандартные тралы и их оснащение, а также идентичную процедуру траления.

В целях регистрации морского мусора при наблюдениях за морской поверхностью и отобранного в качестве прилова при тралениях, его классифицировали на следующие категории: пластик, древесина, металл, текстиль, резина, стекло и бумага. В группу “пластик”, точнее – “макропластик”, вошли все разновидности пластмассы и синтетического волокна, представленного в основном рыболовными снастями, обрывками тралов, такелажа и др., в группу “текстиль” – куски ткани (тканый и нетканый материал) или изделия из нее.

С целью анализа возможных географических различий в распространении мусора на исследованной акватории нами были выделены станции юго-западной области Баренцева моря (795 тралений), расположенные в зоне влияния теплых атлантических вод. Среди оставшихся станций северной и восточной областей моря (682 траления), расположенных преимущественно в области влияния холодных арктических вод, мы отдельно выделили станции района Печорского моря, находящиеся в зоне влияния печорских прибрежных вод (73 траления).

В результате выполненных исследований показано широкое распространение морского мусора в Баренцевом море, как плавающего на поверхности и в верхнем 60-метровом слое воды, так и на морском дне. На морской поверхности встречался, главным образом, пластик, реже наблюдались древесина и бумага. Отмечено, что плавающий пластик наблюдается в Баренцевом море практически повсеместно. Основную роль в его распространении, вероятно, играют основные поверхностные течения Баренцева моря: Нордкапское, Мурманское и Новоземельское. В пелагиали Баренцева моря регистрировали преимущественно пластик и древесину. В донных тралах по встречаемости преобладали пластик и древесина, а по массе – металл и древесина, как обработанная, так и бревна.

Выявлены отличия в уровне загрязнения и составе мусора, собранного на дне юго-западной и северной областей Баренцева моря. Наибольшие скопления пластика наблюдались в юго-западной части ареала исследования (атлантические воды). В зоне влияния арктических вод в донных тралах встречалось более значительное количество древесины и минимальное бумаги и резины. Данные исследований указывают на различные пути поступления древесины и пластика в Баренцево море.

Результаты пелагических тралений показали, что в областях распространения атлантических вод в мусоре заметно преобладал пластик, единично встречались текстиль и бумага. В арктических водах также отмечали преимущественно пластик и редко – дерево, текстиль и бумагу. Поскольку пелагиаль восточной и северной частей Баренцева моря (арктические воды) загрязнена пластиком относительно невысоко, это свидетельствует об умеренной современной антропогенной нагрузке на эту акваторию. Отмечено, что в недавнем прошлом сплав древесины и обширная деятельность человека на арктическом побережье оказывали более значительное влияние на этот регион, результат которого обуславливает значительную встречаемость древесины на морском дне. По всей видимости, вынос древесины в восточную и северную части Баренцева моря осуществляется морским льдом, дрейфующим в Карском море в западном направлении.

Юго-восточная часть Баренцева моря заметно отличалась по уровню загрязнения мусором и его составу не только от его юго-западной части, но и от основной области влияния арктических вод. Так, в районе Печорского моря в пелагических тралах мусор не обнаружен. Вместе с тем наибольшее удельное содержание макропластика на дне

отмечали именно в юго-восточной части моря. Печорское море также выделялось среди районов, подверженных влиянию арктических водных масс, наиболее высоким накоплением древесины на дне. Таким образом, дно юго-восточной части Баренцева моря (Печорское море) сильно загрязнено пластиком и древесиной.

Результаты проведенных исследований показали, что мусор встречается на акватории Баренцева моря повсеместно. Промысел водных биологических ресурсов, судоходство и лесосплав (в недавнем прошлом), вероятно, являются основными источниками поступления морского техногенного мусора на акваторию исследований.

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МОРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ЗЕМЛИ НОРДЕНШЕЛЬДА (БАССЕЙН ВАН-МЕЙЕН-ФЬОРДА) В РАННЕМ ГОЛОЦЕНЕ

А.С. Окунев¹, Д.А. Соловьева², Н.В. Куприянова³, К.В. Полещук², А.Ю. Петров⁴

¹Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–Ломоносов, Россия
e-mail: geoalex26@gmail.com

²Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов
Мирового океана им. акад. И.С. Грамберга, г. Санкт-Петербург, Россия

⁴Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Морские отложения на арх. Шпицберген являются основным источником информации о развитии природной среды региона в раннем голоцене. Они широко распространены на нижних гипсометрических уровнях (до 50–60 м) (Landvik et al., 1987) и имеют наибольшую мощность в тектонических депрессиях, по которым проходят речные долины.

В ходе полевых работ, проведенных в 2019 г. на южном побережье Земли Норденшельда (центральной части о. Западный Шпицберген), были изучены отложения, слагающие разноуровневые террасовые комплексы. В береговых обрывах подробно описан литологический состав отложений, отобраны пробы на дальнейшие аналитические исследования. Для получения информации об условиях седиментации были выполнены микропалеонтологические (фораминиферовый, остракодный и диатомовый) и радиоуглеродный анализы.

Аккумулятивные образования нижних террасовых уровней (8–10 м) представлены в основном толщей хорошо сортированных песков и алевритов, насыщенных малакофаунистическими остатками, и перекрытой галечно-гравийным материалом. Отличительной особенностью морских отложений в средних частях долин является большее количество глинистой составляющей в литологическом составе по сравнению с отложениями в приустьевых районах. Это объясняется более спокойными условиями осадконакопления в бассейнах внутренних заливов, которыми ранее являлись описываемые участки. Перекрывающая их пачка гравийников и галечников с песками сформировалась, вероятно, в условиях резкого снижения уровня моря в раннем–среднем голоцене.

По результатам радиоуглеродного датирования включений раковин морских моллюсков было выявлено, что изученные отложения сформировались в начале голоцена – 9–11 тыс. лет назад.

Анализ содержания четвертичных фораминифер и остракод позволил выделить их в микрофаунистические комплексы и сделать следующие выводы.

В начале голоцена при уровне моря выше современного доминировали арктические с подчиненными арктобореальными и бореальными видами, испытывавшими значительные изменения в видовом и количественном соотношении за небольшие промежутки времени. Причиной таких колебаний являются изменения температурного режима вследствие значительного влияния Северо-Атлантического течения (Palaeoceanographic ..., 2018), отображаемые также в изотопно-кислородной кривой, полученной по бентосным фораминиферам (Holocene ..., 2004) для района исследований.

В раннем голоцене микрофаунистические комплексы развивались в гляциоморских условиях и соответствуют мелководным опресненным фациям внутришельфового бассейна.

Большие объемы поступающих пресных вод, вероятно, стали причиной, уменьшения количества раковин фораминифер в отложениях внутренних заливов на фоне появления теплолюбивых видов.

Вероятно, усиление влияния атлантических водных масс стало причиной увеличения количества и разнообразия видов. Обнаруженные микрофаунистические комплексы в пробах выше по изученным разрезам соответствуют верхней сублиторали внутришельфового бассейна, развивались в условиях температурных контрастов при обилии питательных веществ. При этом, для отложений того же возраста в зоне внутренних заливов (средняя часть долины Вассдален) характерно кратковременное снижение количества микрофоссилий, вероятно, связанное с большими объемами поступающих пресных талых вод.

В результате диатомового анализа створок и обломков диатомовых водорослей в описываемых отложениях не обнаружено. Это связывается нами с неблагоприятными условиями фоссилизации и растворением микрофоссилий.

В средних частях долин Вассдален и Семельдален расположены останцы морских террас уровней 30–50 м, основание которых сложено алевритами с линзами песков. Однородность литологического состава позволяет предположить, что осадконакопление происходило в относительно спокойных условиях и связано, скорее всего, с дегляцией ледникового покрова в позднем неоплейстоцене в период стагнации. Предположительно, описанные отложения древнее образований, слагающих нижние террасовые уровни, и имеют ледниково-морской генезис (подледниковый гляциомариний). Отложения также перекрыты несортированным галечно-гравийным материалом, который, вероятно, имеет водно-ледниковый и аллювиально-морской генезис.

Таким образом, результаты полевых и аналитических исследований показали, что формирование морских отложений происходило в начале раннего голоцена, в относительно нестабильных гляциоморских условиях. При общем снижении уровня моря происходило поступление талых вод в бассейн осадконакопления и проникновение теплых водных масс, что стало причиной частой смены микрофаунистических ассоциаций. Литофациальный анализ показывает, что описанные морские отложения формировались, главным образом, в пределах сравнительно неглубокого водоема, часто с высокой динамикой потока (дельта, эстуарий). Отложения, слагающие высокие аккумулятивные уровни в долинах рек, вероятнее всего, формировались в условиях подледникового залива. Дискретность распространения данного типа отложений выражена в останцовом характере форм рельефа, сложенного ими.

Для подтверждения полученных выводов планируется проведение дополнительных исследований.

Л и т е р а т у р а

Holocene paleoceanography and glacial history of the West Spitsbergen area, Euro-Arctic margin / M. Hald, H. Ebbesen, M. Forwick et al. // *Quarter. Sci. Res.* 2004. Vol. 23. P. 2075–2088.

Landvik J.Y., Mangerud J., Salvigsen O. The Late Weichselian and Holocene shoreline displacement of the west-central coast of Svalbard // *Polar Res.* 1987. Vol. 5. P. 29–44.

Palaeoceanographic evolution of the SW Svalbard shelf over the last 14 000 years / M.M. Telesiński, J.E. Przytarska, B. Sternal et al. // *Boreas.* 2018. Vol. 47, iss. 2. P. 410–422.

ГИДРОИДЫ И ГИДРОМЕДУЗЫ (HYDROZOA) ФЬОРДОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

Н.Н. Пантелеева

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: panteleeva@mmbi.ru, ninel_panteleeva@mail.ru

Архипелаг Шпицберген, расположенный на стыке холодных вод Северного Ледовитого океана и умеренных – Атлантического, является уникальным полигоном для изучения адаптивной реакции фауны к изменчивым условиям среды, включая глобальные изменения климата. Гидроидные (Cnidaria: Hydrozoa) – низшие беспозвоночные, представленные преимущественно полипоидными колониальными прикрепленными организмами, в жизненном цикле которых может присутствовать свободноплавающая медуза (репродуктивная стадия развития), которая у большинства видов в разной степени редуцирована. Благодаря этому гидроидные широко представлены в бентосных (гидрополипы) и планктонных (гидромедузы) сообществах различных морских экосистем.

В данной работе проанализирован материал, собранный сотрудниками ММБИ РАН в фьордах и заливах Западного Шпицбергена в морских экспедициях на НИС “Дальние Зеленцы” (2001, 2002, 2008, 2015 гг.), “Фритъоф Нансен” (2005 г.), а также в 7 береговых экспедициях на геобиостанции ММБИ в пос. Баренцбург (с 1995 по 2015 гг.). Пробы в морских экспедициях отбирались с судна дночерпателем ван-Вина (гидрополипы), а в береговых – с лодки дночерпателем Петерсена, ручной драгой и сетью Джеди (гидромедузы), а также вручную на литорали, соскобом с валунов и камней (гидрополипы) и планктонным сачком (гидромедузы).

Район проведенных исследований включает заливы Хорнсунн, Белльсунн и Ис-фьорд (с впадающими в него Грён-фьордом, Адвент-фьордом, Билле-фьордом и Сассен-фьордом), которые находятся на западном побережье о. Западный Шпицберген. Первые три вытянуты с запада на восток и поочередно расположены в направлении с юга на север. А заливы, впадающие в Ис-фьорд, ориентированы с севера на юг и чередуются в ряду с запада на восток. В собранном в этих заливах материале отмечено не менее 42 видов гидроидных (гидрополипов и гидромедуз), что составляет около 30 % известной к настоящему времени фауны Hydrozoa прибрежных вод архипелага по данным норвежского каталога (*The macroorganisms ...*, 2004), дополненного более современными исследованиями (*О разнообразии ...*, 2007; Ronowicz, 2007; Пантелеева, 2008, 2018; Voronkov et al., 2010). Из них идентифицировано 33 вида гидроидных, относящихся к 2 отрядам и 13 семействам (преимущественно – Campanulariidae и Sertulariidae), состояние остальных видов (sp.) не

позволяет точно определить видовую принадлежность. Биогеографический состав собранных гидроидных закономерно демонстрирует доминирование бореально-арктических видов – 61 % (20 видов), половина которых относится к высокобореально-арктическим. Виды с более широким ареалом (субтропическо-бореально-арктические и тропическо-субтропическо-бореально-арктические) составляют 18 % (6 видов), и особенно широко распространенные – 6 % (2 вида), а с наиболее узким (ограниченным в арктической зоне) ареалом – теплолюбивые бореальные и субтропическо-бореальные – 15 % (5 видов). Арктические виды в собранном материале не зарегистрированы, что, вероятно, объясняется влиянием на регион теплого Западно-Шпицбергенского течения (Танцюра, 1959).

В фауне самого южного залива Хорнсунн, собранной в морских экспедициях на НИС “Дальние Зеленцы” (2001, 2002, 2008, 2015 гг.) и “Фритъоф Нансен” (2005 г.), отмечено 20 представителей, из них 16 идентифицированы до вида. Подавляющее большинство представлено бореально-арктическими – 69 % (11 видов), с более широким ареалом (субтропическо-бореально-арктические) – 25 % (4 вида), но единственный тепловодный (субтропическо-бореальный вид – 6 %) – *Opercularella lacerata* (Johnston, 1847) встречен на мелководье (глубина 15 м) в кутовой части залива.

Расположенный севернее залив Белльсунн наименее изучен. В собранных здесь в экспедиции на НИС “Дальние Зеленцы” (2001 г.) пробах обнаружены 9 представителей гидроидных, 7 из которых идентифицированы до вида. Из них 4 (57 %) – бореально-арктические, 2 (29 %) – субтропическо-бореально-арктические и 1 (14 %) – широко распространенный вид. На глубине 15 м зарегистрировано 7 из 9 отмеченных в пробах видов. Половина из них – виды с широкими ареалами. Но только 2 вида обнаружены на глубине от 15 до 130 м. Это наиболее массовые в исследуемом регионе бореально-арктические представители *Lafoea fruticosa* (Sars, 1850) и *Lafoeina maxima* Levinsen, 1893.

Наибольшее число видов (38) зарегистрировано в Ис-фьорде (с впадающими фьордами), самом крупном и наиболее изученном из всех исследованных заливов. В собранных здесь пробах идентифицировано 32 вида: 19 (59 %) – бореально-арктические (половина из них – высокобореально-арктические), 6 (19 %) – субтропическо-бореально-арктические и тропическо-субтропическо-бореально-арктические, 2 (6 %) – широко распространенные, 5 (16 %) – бореальные и субтропическо-бореальные.

Фауна Грэн-фьорда, где отмечено 37 гидроидов (из них идентифицирован 31 вид), демонстрирует аналогичную биогеографическую структуру: 18 (58 %) – бореально-арктические (включая высокобореально-арктические); 6 (19 %) – субтропическо-бореально-арктические, 2 (7 %) – широко распространенные, 5 (16 %) – бореальные и субтропическо-бореальные виды. Залив расположен на южном побережье в наиболее мористой устьевой части Ис-фьорда.

В Адвент-фьорде, находящемся в средней части Ис-фьорда, в пробах с глубины 75 м (НИС “Дальние Зеленцы”, 2015 г.) обнаружены 3 вида гидрополипов, из которых 2 (67 %) – бореально-арктические и 1 (33 %) – субтропическо-бореально-арктический.

В Сассен-фьорде (глубина 68 м, НИС “Дальние Зеленцы”, 2002 г.) и Билле-фьорде (глубина 77 м, НИС “Дальние Зеленцы”, 2015 г.), расположенных в кутовой (восточной) части Ис-фьорда, отмечены гидрополипы только бореально-арктического *Lafoea fruticosa* (Sars, 1850) – 100 %.

Анализ биогеографической структуры фауны гидроидных заливов демонстрирует увеличение процентной доли бореально-арктических видов в более холодноводных районах (залив Хорнсунн – 69 %, Белльсунн – 57 % и Ис-фьорд – 59 %), что согласуется с отмеченным повышением температуры воды и солености в этих заливах в направлении с юга на север (Моисеев, Громов, 2009). Более явно эта закономерность прослеживается

на примере заливов южного берега Ис-фьорда, где по мере снижения температуры воды с запада на восток в ряду заливов Грён-фьорд–Адвент-фьорд–Сассен-фьорд–Билле-фьорд увеличивается доля борельно-арктических видов в фауне гидроидов – 59–67–100–100 % соответственно.

Анализ вертикального распределения гидроидных также показывает, что виды с разными биогеографическими характеристиками приурочены к мелководью, где выше изменчивость факторов среды (и, вероятно, достигаются показатели, необходимые для существования таких видов). А на больших глубинах в более стабильных (низкотемпературных) условиях доля борельно-арктических видов увеличивается, достигая 100 %.

Наибольшее видовое разнообразие (10–11 видов на станцию) отмечено в разных заливах, как правило, также на мелководье – от 15 до 60 м. Это объясняется как наличием подходящего грунта с достаточным количеством твердого субстрата, необходимого для прикрепления колоний, так и большей амплитудой колебаний значений различных факторов среды (включая температуру и соленость воды), что позволяет успешно выживать видам с разными биогеографическими характеристиками.

По частоте встречаемости гидроидных в исследуемом районе доминируют *Lafoeina maxima* Levinsen, 1893, *Lafoea fruticosa* (Sars, 1850), *Ptychogena crocea* Kramp & Damas, 1925, *Sertularia albimaris* Mereschowsky, 1877, *Symplectoscyphus tricuspидatus* (Alder, 1856) и *Obelia longissima* (Pallas, 1766). Первые пять видов – борельно-арктические, а шестой – субтропическо-борельно-арктический, способный к размножению бесполом путем с помощью фрустул (Пантелеева, 1999), что позволяет ему успешно существовать вне оптимальных для реализации полноценного жизненного цикла условий среды (при пониженной температуре воды).

Максимальные значения биомассы также отмечены у наиболее распространенных (борельно-арктических) видов: *Lafoeina maxima* (4.40 г/м², глубина 130 м, залив Белльсунн, 2001 г.), *Lafoeina fruticosa* (3.62 г/м², глубина 11 м, залив Грён-фьорд, 1995 г.) и *Ptychogena crocea* (1.70 г/м², глубина 15 м, залив Белльсунн, 2001 г.).

Гидроидные (Hydrozoa) в морских сообществах распределены неравномерно и почти никогда не бывают массовой биоценозообразующей группой. Главным фактором, влияющим на наличие и распределение гидроидов в бентосных сообществах, является структура грунта (в частности, наличие твердого субстрата для прикрепления колоний). Биогеографическая структура фауны Hydrozoa исследуемого района определяется преимущественно температурным фактором. А на структуру колоний и распределение гидромедуз влияют гидродинамические условия. Таким образом, гидроидные, благодаря наличию разных жизненных циклов, своим уникальным регенеративным способностям и адаптивным возможностям, могут служить индикаторами условий среды, что особенно показательно в разнообразных условиях прибрежных вод арх. Шпицберген.

Л и т е р а т у р а

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.

О разнообразии фауны беспозвоночных Грён-фьорда (Западный Шпицберген) и влиянии методов сбора материала на результат / Н.Н. Пантелеева, О.С. Любина, И.О. Нехаев и др. // Биоразнообразие сообществ морских и пресноводных экосистем России: Матер. Шестой Всерос. школы по морской биологии (г. Мурманск, 1–2 ноября 2007 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2007. С. 140–141.

Пантелеева Н.Н. Гидроиды рода *Obelia* (Hydroidea, Thesaphora, Campanulariidae) в Баренцевом море: Препр. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 1999. 41 с.

Пантелеева Н.Н. Гидроидные (Cnidaria, Hydrozoa) залива Грён-фьорд (Западный Шпицберген) // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики: Матер. междунар. науч. конф. (Мурманск, 9–11 ноября 2008 г.). Вып. 8. М.: ГЕОС, 2008. С. 290–293.

Пантелеева Н.Н. Гидроиды и гидромедузы прибрежных вод архипелага Шпицберген // 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 КНЦ РАН, 2018. С. 93–95.

Танцюра А.И. О течениях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1959. Вып. 11. С. 35–54.

The 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. Skr. 201. P. 5–56.

Ronowicz M. Benthic hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from Svalbard waters biodiversity and distribution // J. Mar. Biol. Ass. UK. 2007. Vol. 87, № 5. P. 1089–1094.

Voronkov A., Stepanjants S.D., Hop H. Hydrozoan diversity on hard bottom in Kongsfjorden, Svalbard // J. Mar. Biol. Ass. UK. 2010. Vol. 90, № 7. P. 1337–1352.

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД В ЗИМНИЙ ПЕРИОД

И.А. Пастухов, Т.Г. Ишкулова

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: pastuhovi@mmbi.info

Комплексные исследования заливов арх. Западный Шпицберген являются значительной частью научных интересов ММБИ РАН. Практически каждый год с борта НИС “Дальние Зеленцы” выполняются исследования водных масс залива Грён-фьорд. В течение трех лет (2015, 2017 и 2019) такие исследования осуществлялись в ноябре на одних и тех же станциях в кутовой, центральной и горловой части залива на горизонтах 0, 10, 25, 50 м и дно стандартными гидрохимическими методами (Справочник ..., 1991). Сравнивались изменения нитритного и нитратного азота, фосфатного фосфора и кремния, а так же насыщенность вод кислородом.

В результате анализа полученных данных (Пастухов, Ишкулова, 2016, 2017) мы пришли к следующим выводам.

В ноябре вегетационный период подходит к концу вне зависимости от климатических или гидрологических условий, однако степень его завершения может значительно отличаться от длительности инсоляции в конкретном году и влияния теплых течений. В 2015 году вегетационный период продлился несколько дольше, чем в последующие, поэтому даже практически в конце ноября заметны некоторые следы вегетационной активности. 2019 год был более холодным, чем 2017 г., поэтому стратификация вод менее выражена как в абсолютном, так и в относительном отношении.

Колебания концентрации различных биогенов наблюдаются в основном в кутовой и горловой части, в то время как в центральной части они в основном сглажены. Это объясняется действием материкового стока на кутовую часть залива, которая испытывает на себе сильное влияние ледника с одной стороны и влияние атлантических течений на горловую часть залива с другой. Это же объясняет увеличение насыщения кислородом вод от кутовой к горловой части залива.

Абсолютные концентрации фосфатного фосфора и нитратного азота изменяются год от года незначительно: от 0.35–0.5 $\mu\text{моль/л}$ на поверхности до 0.6–0.7 $\mu\text{моль/л}$ в придонном горизонте для фосфатов и от 2.8–3.2 $\mu\text{моль/л}$ на поверхности до 4.8–6.7 $\mu\text{моль/л}$ на дне. А вот содержание кремния и нитритного азота в зависимости от года отличаются в 2–3 раза. Мы предполагаем, что количество кремния зависит от гидрологических параметров (сила материкового стока и влияние течений), а содержание нитритного азота – от летней фитопланктонной активности и ее продолжительности.

Л и т е р а т у р а

Пастухов И.А., Ишкулова Т.Г. Гидрохимические исследования некоторых фьордов архипелага Шпицберген в декабре 2015 г. // Комплексные исследования природы Шпицбергена и прилегающего шельфа: Матер. XIII Всерос. науч. конф. с междунар. участием (Мурманск, 2–4 ноября 2016 г.). Вып. 13. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 315–320. URL: <http://elibrary.ru/item.asp?id=27222087>

Пастухов И.А., Ишкулова Т.Г. Исследование комплекса гидрохимических параметров в Ис-фьорде, Билле-фьорде и Грён-фьорде с целью мониторинга их гидрохимического режима, годовой изменчивости и оценки влияния биотических и абиотических факторов // Труды VI Международной научно-практической конференции “Морские исследования, образование (MARESEDU-2017)”. Тверь: ПолиПРЕСС, 2017. С. 174–178.

Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство / Ред. В.В. Сапожников. М.: Агропромиздат, 1991. 224 с.

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА С 2006 ПО 2019 ГОДЫ

Б.В. Петров

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия
e-mail: borya.petrov.2016@list.ru

В настоящее время в научной среде широко освещается проблема деградации многолетнемерзлых пород в условиях потепления климата (Анисимов и др., 2003; Permafrost ..., 2019; Деградация ..., 2020 и др.). Деградация многолетнемерзлых пород приводит к таким последствиям как трансформация арктических ландшафтов, рост выбросов парниковых газов в атмосферу, изменение условий природопользования в зоне их распространения. Важную роль играют регионы с развитой нефтегазодобывающей инфраструктурой. Изменение температурных условий грунтовых оснований зданий и сооружений приводит к развитию деформаций и создает риск для возникновения аварий, в том числе с утечкой углеводородов в природную среду. Длительное хозяйственное использование территорий в пределах криолитозоны требует постоянного мониторинга многолетнемерзлых пород как в пределах антропогенно измененных территорий, так и в естественных природных условиях.

В данной работе приведены результаты наблюдений за температурным режимом многолетнемерзлых пород Тазовского полуострова с 2006 по 2019 гг. по 13 термометрическим скважинам. Сеть скважин охватывает типично-тундровые и южно-тундровые ландшафты в центральной, западной и южной частях полуострова. Наблюдения ведутся сотрудниками Ямбургской лаборатории мерзлоты в рамках геотехнического мониторинга оснований и фундаментов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения. Анализ проводился по температурам на глубине нулевых годовых амплитуд.

Согласно рассмотренным данным, температуры многолетнемерзлых пород изменяются в широких пределах. Так, в 2019 г. температуры на глубине нулевых годовых амплитуд варьировали от -0.6 до -3.6 °С. Среднее значение по скважинам составило -2.4 °С.

Изменчивость температур достаточно четко следует за ландшафтными особенностями местоположения скважин. Высокие температуры наблюдаются в пределах обводненных заозеренных участков в пределах полос стока. Низкие температуры приурочены к заторфованным дренированным мохово-лишайниковым участкам.

С начала наблюдений фиксируется рост температур многолетнемерзлых пород. В 2006 году температуры варьировали от -1.3 до 4.3 °С и в среднем составляли -3.0 °С. С 2006 по 2019 годы температуры выросли в среднем на 0.6 °С.

Динамика изменения температур также различается в широких пределах в зависимости от ландшафтов. Темпы и направленность изменения варьируют от -0.08 до 1.09 °С. Наибольшие темпы роста температур наблюдаются в пределах участков с приповерхностным залеганием подземных льдов и льдистых грунтов в границах водоразделов на участках развития термокарстовых процессов, а также в пределах пойменных и надпойменных прибрежных участках с активным развитием эрозионных процессов. Низкие темпы роста температур наблюдаются на водораздельных территориях с развитым мохово-торфяным слоем. В пределах скважины, расположенной на месте спущенного озера, наблюдается снижение температур многолетнемерзлых пород в связи с промерзанием подоцерного талика.

Л и т е р а т у р а

Анисимов О.А., Белолуцкая М.А., Лобанов В.А. Современные изменения климата и природной среды в области высоких широт Северного полушария // Метеорология и гидрология. 2003. № 1. С. 18–30.

Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики / А.А. Васильев, А.Г. Гравис, А.А. Губарьков и др. // Криосфера Земли. 2020. Т. 24, № 2. С. 15–30.

Permafrost is warming at a global scale / В.К. Biskaborn, S.L. Smith, J. Noetzi et al. // Nature communications. 2019. Т. 10, № 1. Р. 1–11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ И СТРУКТУРЫ АТМОСФЕРНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НАД СЛОЖНЫМ РЕЛЬЕФОМ В ПОЛЯРНЫХ РАЙОНАХ

И.А. Репина, А.А. Шестакова, А.Ю. Артамонов, Д.Г. Чечин

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, г. Москва, Россия
e-mail: repina@ifaran.ru

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

В докладе представляются результаты исследований, проводимых на арх. Шпицберген по следующим направлениям:

1. Измерения характеристик приземного слоя атмосферы над открытой поверхностью и над ледником. Исследование трансформации воздушного потока на границе берег–море;
2. Исследование динамики атмосферы под действием склонового ветра с поверхности ледника;

3. Определение турбулентных потоков тепла над различными поверхностями и при различных фоновых условиях.

Показана существенная пространственная и временная изменчивость характеристик энергообмена в прибрежной зоне Шпицбергена, связанная с синоптическими условиями и влиянием берегов.

При измерениях структуры склонового ветра прослежен суточный ход ветра. Установлено наличие вихревых структур масштаба от десятков секунд до нескольких минут в ветровом потоке. Интенсивность образования структур возрастает с увеличением скорости ветра. Прослежена суточная динамика локального ветрового потока, возникающего на крутом ледниковом склоне.

Проведено исследование случая фёна, наблюдавшегося на западном побережье Шпицбергена при восточном ветре, и его влияния на структуру атмосферного пограничного слоя и компоненты теплового баланса поверхности. При этом использованы комплексные метеорологические наблюдения, проводившиеся одновременно в рамках измерительных кампаний ACLOUD (самолетные наблюдения) и PASCAL (судовые наблюдения), а также программ длительного мониторинга в Нью-Олесунне (станционные наблюдения). Кроме того, для получения более полной пространственной структуры фёна было выполнено численное моделирование этого случая с помощью модели WRF с высоким разрешением до 1.3 км.

По данным пульсационных измерений проведено исследование параметра шероховатости заснеженной и свободной от снега поверхности. Проанализированы большие массивы наблюдений для нескольких лет и сезонов. Показано, что сезонная смена типа подстилающей поверхности (летом – тундровая растительность, зимой – снег) влияет на значения параметра шероховатости. Также показано, что окружающие неоднородности рельефа влияют на параметр шероховатости, что приводит к его зависимости от направления ветра. Уточнены коэффициенты в параметризации для термического параметра шероховатости, которая связывает его с динамическим параметром шероховатости. Показано, что использование полученных средних значений параметра шероховатости в аэродинамических (“балк”) формулах приводит к хорошему согласию рассчитываемых с их помощью потоков импульса и тепла с измерениями.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-05-80065) и госзадания по теме “Исследование энерго- и газообмена, а также структуры атмосферного пограничного слоя в прибрежных районах Шпицбергена”.

МОНИТОРИНГ ИОНОСФЕРЫ НАД АКВАТОРИЕЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Д.Д. Рогов, А.С. Калишин, А.В. Николаев, С.В. Новиков, Ю.В. Угрюмов

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: rogovdenis@mail.ru

Исследование ионосферы и распространения радиоволн КВ-диапазона в Арктическом регионе России осуществляется с помощью ионозондов наклонного зондирования ионосферы с линейно-частотной модуляцией (ЛЧМ-ионозонд ..., 2003), установленных на геофизических полярных станциях Росгидромета (Горьковская, Ловозеро, Амдерма, Салехард, Диксон и Певек) (Рогов, Выставной, 2014).

Для расширения площади покрытия сети и мониторинга параметров ионосферы над акваторией Баренцева моря в декабре 2019 г. на арх. Шпицберген в пос. Баренцбург в тестовом режиме был развернут приемный комплекс наклонного зондирования ионосферы.

В данной работе описаны особенности установки и настройки аппаратуры, а также представлены первые полученные научные результаты. Новые данные помогут проводить более тщательные исследования особенностей высокоширотной ионосферы (Ионосферно-магнитные ..., 1986) в спокойных и возмущенных геофизических условиях. Также с помощью разработанной методики (Rogov, 2019) данные этого пункта ионосферных наблюдений позволяют определять параметры спорадических Es-слоев ионосферы над центральной областью Баренцева моря.

Полученные результаты имеют большое научное и практическое значение для исследования ионосферы высоких широт и оперативного обеспечения работы различных КВ радиотехнических систем в Арктическом регионе Российской Федерации.

Л и т е р а т у р а

Ионосферно-магнитные возмущения в высоких широтах / Под ред. О.А. Трошичева. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 255 с.

ЛЧМ-ионозонд и его применение в ионосферных исследованиях / В.А. Иванов, В.И. Куркин, В.Е. Носов и др. // Изв. вузов. Радиофизика. 2003. Т. 46, № 11. С. 919–952.

Рогов Д.Д., Выставной В.М. Исследование параметров распространения дециметровых радиоволн на сети трасс наклонного зондирования ионосферы в Арктическом регионе РФ // Мир измерений. 2014. Т. 7. С. 20–26.

Rogov D.D. Study of the sporadic Es layers occurrence probability based on the ionospheric oblique sounding network data in the Russian Arctic region // Conference Radiation and Scattering of Electromagnetic Waves (RSEMW). 2019. DOI: 10.1109/RSEMW.2019.8792696.

СОВРЕМЕННЫЙ ГИДРОХИМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕР ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

К.В. Ромашова, В.А. Брызгалю, М.В. Третьяков

Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: romashova.kv@hotmail.com

Гидрохимический режим озера зависит в первую очередь от его размера, площади, глубины и конфигурации.

На архипелаге Шпицберген общие запасы озерных вод достигают порядка 1 км³, что составляет 1.5–2 % суммарного годового поверхностного стока вод (Демешкин, 2015). Озера в основном ледникового происхождения. Много мелких карстовых и термокарстовых озер. Они распространены на западной периферии о. Западный Шпицберген и в его северной части.

Большинство озер проточные. Их питание главным образом ледниковое и снеговое, что определяет невысокую минерализацию воды и ее пригодность для питья. Минерализация снижается в весенне-летний период при поступлении талых вод и возрастает осенью и зимой в результате притока грунтовых вод. Химический состав озерных вод зависит от вклада питающих источников.

Если на берегах или дне озер находятся источники, то химический состав воды может сильно изменяться. Так, например, в оз. Конгресс на западном берегу Грэн-фьорда впадают сероводородные источники с дебитом около 30 л/с. В результате повышается минерализация воды, возрастает ее жесткость, в зимний период отмечается заражение всей толщи озера сероводородом.

Анализируя результаты проведенных экспедиционных наблюдений в 2017–2019 гг. за изменчивостью компонентного состава водной среды озер с учетом особенностей их формирования, представилась возможность оценить вероятные пути формирования современного состояния таких озер Западного Шпицбергена как Конгресс, Биенда-Стемме и Бретъёрна.

Озеро Конгресс расположено в изолированной котловине с абсолютной отметкой уреза воды 995 м на западном берегу залива Грэн-фьорд, имеет округлую форму и составляет в диаметре около 1 км, максимальная глубина не превышает 55 м. Это единственный водосборный бассейн из рассматриваемых, который не имеет прямого ледникового питания.

Озеро Биенда-Стемме имеет диаметр 50 м и расположено в межгорной котловине на удалении 3.1 км от побережья залива Грэн-фьорд. Абсолютная отметка над уровнем моря составляет 85.3 м. Максимальная глубина порядка 12 м (в период наполнения), сезонные колебания уровня – около 1 м.

Питание озера в основном осуществляется за счет таяния ледника и характеризуется ростом поступления взвешенного вещества в летний период при таянии снежного покрова. При этом происходит дополнительное поступление взвешенных веществ, накопленных в снеге за зимний период. В зимний период сток с ледников практически отсутствует и озеро не имеет естественных источников питания.

Озеро Бретъёрна расположено в кутовой части залива Грэн-фьорд и отделено от него мощными мореными валами. Образовано за счет отступления ледников Восточный и Западный Грэнфьорд. Площадь водного зеркала озера в настоящее время составляет около 2.5–3 км². Наибольшая глубина озера достигает 30 м.

Основными источниками питания озера являются водотоки, берущие начало на ледниках Западный и Восточный Грэнфьорд.

Согласно классификации О.А. Алекина (1970), водную среду оз. Конгресс можно отнести к классу сульфатных, группы кальция, второго типа; оз. Биенда-Стемме – к классу гидрокарбонатных, группы кальция; оз. Бретъёрна – к классу сульфатно-гидрокарбонатно-кальциево-магниевых.

Преобладающая роль в компонентном составе водной среды оз. Конгресс при УЭП 509–743 $\mu\text{S}/\text{см}$ принадлежит сульфатам > кальцию > гидрокарбонатам > магнию > хлоридам; оз. Биенда-Стемме при УЭП 103–136 $\mu\text{S}/\text{см}$ – гидрокарбонатам > сульфатам > кальцию > хлоридам; – оз. Бретъёрна при УЭП 350–492 $\mu\text{S}/\text{см}$ – сульфатам > гидрокарбонатам > кальцию > магнию.

Основную долю углеродсодержащих соединений (4.44–15.8 мг/л) составляют неорганические вещества (3.95–15.8 мг/л). Максимальная концентрация фторидов в оз. Конгресс периодически достигала 0.256 мг/л.

Биогенные соединения в водной среде озер в основном представлены нитратами и соединениями кремния, максимальная концентрация которых за исследуемый период достигала по нитратам 1.50–2.07 мг/л (оз. Бретъёрна) и 0.995 мг/л (оз. Биенда-Стемме), по соединениям кремния – 0.91–1.15 мг/л (озера Биенда-Стемме и Конгресс).

Аммонийные, нитритные и фосфатные ионы и бромиды содержатся в концентрациях ниже предела обнаружения.

Как известно, в настоящее время единственным нормативно-правовым критерием оценки качества воды являются предельно-допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих

веществ, которые используются в Государственной системе мониторинга Росгидромета и других систем контроля. Они были широко использованы в оценке уровня загрязненности водных экосистем.

Однако в последние годы, с ростом знаний об особенностях функционирования экосистем и усилением антропогенного воздействия на водоемы и водотоки, система ПДК стала часто не удовлетворять при решении многих практических вопросов (Шитиков и др., 2003; Дмитриев, 2007). Она не позволяет оценить, в какой мере кратность превышения ПДК и длительность воздействия высоких концентраций загрязняющих веществ влияет на экологическое состояние экосистемы. Одни те же значения ПДК загрязняющих веществ используются для водных объектов различных физико-географических зон, что не может быть признанным корректным в связи с резким различием их природных условий.

Следует обратить внимание на то, что для таких уникальных географических объектов как арх. Шпицберген необходима разработка региональной методики оценки состояния водных экосистем, степени и характера загрязненности.

Л и т е р а т у р а

Алекин О.А. Основы гидрохимии / Учебное пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.

Демешкин А.С. Геоэкологическая оценка состояния природной среды в районе расположения российского угледобывающего рудника Баренцбург на архипелаге Шпицберген: Дис. ... канд. географ. наук (25.00.36). СПб., 2015. 181 с.

Дмитриев В.В. Интегральная оценка экологического состояния и качества природной и антропогенно-трансформируемой среды // Успехи современного естествознания. 2007. № 8. С. 75–76.

Шитиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: Изд. ИЭ ВБ РАН, 2003. 463 с.

ИММУННЫЙ ФОН В ПЕРИОД ПОЛЯРНОГО ДНЯ У ТРУДОСПОСОБНОГО НАСЕЛЕНИЯ, ПРОЖИВАЮЩЕГО В КЛИМАТОГЕОГРАФИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

А.В. Самодова, Л.К. Добродеева, С.Н. Балашова, В.А. Штаборов, К.О. Пашинская

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики
им. акад. Н.П. Лаверова УрО РАН, г. Архангельск, Россия
e-mail: annapoletaeva2008@yandex.ru

Влияние комплекса неблагоприятных климатогеографических, гелиогеофизических и биогеохимических факторов Крайнего Севера на организм человека ассоциировано с выраженными колебаниями функциональной активности различных систем с расширением пределов колебания практически всех физиологических параметров, сокращением резервных возможностей регуляции гомеостаза. Это касается в первую очередь нейро-, иммуноэндокринной регуляции функций сердечно-сосудистой системы.

В Арктическом регионе выше уровень солнечной радиации, более высокий фон колебаний геомагнитного поля с частыми магнитными бурями, полярными сияниями. Условия полярного дня и полярной ночи оказывают на человека существенное влияние, вызывая удлинение периода дневного торможения или удлинение фазы ночного

возбуждения, снижение основного обмена в полярный день и его возрастание в полярную ночь. Нарушение привычной для человека смены светового режима и резкие колебания геофизических и климатических факторов приводят к развитию десинхронозов, смещению фаз суточной активности гормонов, ферментов, психической и физической активности, хроническому напряжению всех систем организма (синдрому полярного напряжения) (Кочемасова, Седова, 2017; Андреева, Андреев, 2019; Андреева и др., 2019).

Обследовано 74 трудоспособных жителей пос. Баренцбург (арх. Шпицберген), из них 45 женщин и 29 мужчин в возрасте от 20 до 60 лет в период полярного дня. Изучена гемограмма, нейтрограмма, моноцитограмма и лимфоцитограмма в мазках крови, окрашенных по Романовскому-Гимза, фагоцитарная активность нейтрофилов, фенотипы лимфоцитов (CD3+, CD4+, CD8+, CD10+, CD19+, CD23+, CD71+, CD95+) методом непрямой иммунопероксидазной реакции. Содержание цитокинов IL-1 β , TNF- α , IL-6, ирисина, эндотелина-1 и Nt-pro-BNP, sCD54, sCD71 определяли ИФА.

Нами установлено, что у трудоспособного населения, проживающего в климатических условиях арх. Шпицберген даже в летний период регистрируется нейтропения (32.43 %), моноцитопения (28.38 %) и лимфопения (18.92 %). Снижение содержания циркулирующих нейтрофилов и моноцитов ассоциировано с резким увеличением активности и интенсивности фагоцитоза (71.33 \pm 4.66 % и 9.67 \pm 1.74 шт. соответственно). На фоне нейтропении и моноцитопении наблюдается дефицит содержания зрелых Т-лимфоцитов (91.89 %), активированных Т-клеток с рецептором к трансферрину и Т-хелперов (44.59 %), т. е. риск формирования Т-хелперного иммунодефицита очень высок. На фоне недостаточности Т-клеточного звена повышены уровни содержания ирисина (45 %), индуцирующего активацию термогенина в клетках бурой жировой ткани (Teufel, 2002), а также Nt-pro-BNP (20 %) и эндотелина-1 (10 %), обеспечивающих напряжение регуляции гемодинамики. Признаков компенсаторной пролиферации миелоидных клеток и лимфоцитов не установлено, несмотря на фотопериод полярного дня. Снижение содержания нейтрофилов происходит за счет функционально активных клеток, низкие концентрации моноцитов, преимущественно промоноцитов, лимфоцитов – в основном малых форм, которые составляют большинство рециркулирующих клеток. У лиц, проживающих в условиях арх. Шпицберген выше концентрация провоспалительного TNF- α (14.05 \pm 0.70 и 2.85 \pm 0.37 пг/мл, $p < 0.001$) без изменений со стороны содержания IL-1 β (11.24 \pm 3.22 и 9.63 \pm 0.54 пг/мл) и IL-6 (5.59 \pm 0.32 и 5.80 \pm 0.52 пг/мл). Ориентация в сторону воспалительных цитокинов предполагает более высокий уровень реактивных метаболитов кислорода, резкое увеличение фагоцитоза. TNF- α играет чрезвычайно важную роль в первый момент возникновения воспалительной реакции, поскольку активирует эндотелий и способствует экспрессии адгезивных молекул, что приводит к прилипанию гранулоцитов к внутренней поверхности сосуда (The Cytokine ..., 1991). У практически здоровых людей, работающих на арх. Шпицберген, повышенные концентрации свободных молекул L-селектина (sCD62L) и трансферрина (sCD71) регистрировали значительно чаще (в 53.33 против 9.17 % и 99.2 против 15.43 %). В крови жителей Арктики довольно часто наблюдали агрегацию тромбоцитов (56.76 %), формирование розеток эритроцитов (90.83 %) и агрегацию нейтрофильных гранулоцитов (44.16 %). Увеличение активности фагоцитов полностью не компенсирует дефицит их содержания в крови, поскольку повышенные концентрации ЦИК регистрируются очень часто 55.41–100 %.

Л и т е р а т у р а

Андреева Е.С., Андреев С.С. Эколого-географическая комфортность климата острова Западный Шпицберген // Успехи современного естествознания. 2019. № 11. С. 48–53.

Андреева Е.С., Липовицкая И.Н., Андреев С.С. Шпицберген за период 2006–2015 гг. // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Матер. междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 3–5 октября 2019 г. В 2-х т. Воронеж: Изд-во “Цифровая полиграфия”, 2019. Т. 1. С. 138–142.

Кочемасова Е.Ю., Седова Н.Б. Причинно-следственный анализ экологических проблем на архипелаге Шпицберген // Современный ученый. 2017. № 5. С. 12–15.

Teufel A. Frcp1 and Frcp2, two novel fibronectin type III repeat containing genes // Gene. 2002. Vol. 297, № 1/2. P. 79–83.

The Cytokine handbook / A. Thomson (Ed.). London, San-Diego: Acad. Press, 1991. 425 p.

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ОБ АБСОЛЮТНОМ ВОЗРАСТЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ПОРОД ДОЛИНЫ ЧЕМБЕРЛЕНА (ЗЕМЛЯ ВЕДЕЛЯ ЯРСБЕРГА)

А.Н. Сироткин

Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–Ломоносов, Россия
e-mail: pechenga-67@yandex.ru

На севере долины Чемберлена проведено изучение метабазит-ультрабазитового комплекса, который представлен пластовыми интрузиями, согласно залегающими в осадочно-вулканогенной толще серии Чемберлендален. Ранее породы комплекса были описаны и вместе с вмещающими их вулканитами отнесены к единой базальт-трахиандезитовой серии (Геологическое ..., 1983 и др.). Породы комплекса испытали региональный метаморфизм зеленосланцевой фации. В составе комплекса описаны метаперидотиты, метапироксениты, метагабброиды; среди вмещающих вулканогенных пород – метабазалты, метапикриты, метаандезиты, метатуфы. Комплекс базит-ультрабазитов Чемберлендален вместе с вмещающими вулканитами относится к умеренно щелочной калий-натриевой серии трахибазальт-трахиандезитовой формации, а обстановки их образования – к внутриплитным.

По этим породам нами было отобрано и изучено 7 проб (взяты в северной и центральной частях долины), из них 5 из слоев метавулканогенных пород, переслаивающихся с метаосадочными породами, 2 – из согласных тел габброидов, залегающих в осадочно-вулканогенной толще серии Чемберлендален. Метабазалты взяты из горизонта мощностью до 30 м. Из пробы проанализировано (U-Pb метод, ионный микрозонд SHRIMP II, ЦИИ ВСЕГЕИ) 10 зерен циркона; все расчетные точки лежат на конкордии. Полученные цифры относятся к одному возрастному диапазону – от 509.5 до 582 млн лет. Конкордантный возраст рассчитан по 9 точкам и составил 561.7 ± 4.6 млн лет. Метапикриты взяты из слоя мощностью до 7 м. Полученные значения (13 анализов) укладываются в два возрастных диапазона – 1674–1897 и 506–627 млн лет. Конкордантный возраст для циркона второй группы рассчитан по 6 зернам и составил 569.8 ± 6 млн лет. Метаандезибазалты взяты из слоя мощностью 4 м. По циркону из породы сделано 15 анализов. Полученные цифры дают две группы возрастов – 678–836 и 483–622 млн лет. Конкордантный возраст рассчитан по 10 замерам и составил 559 ± 4 млн лет. Основной метатуф представляет мощную пачку плитчатых пород с порфировой структурой. Полученные значения (11 анализов) дают 4 группы возрастов – 2862 ± 21 , 1403 ± 9 , 845–975 и 543–596 млн лет. Для циркона последней группы (6 возрастов) получен конкордантный возраст 593 ± 6 млн лет. Проба долеритов взята из согласного тела мощностью более 60 м.

Полученные значения (11 анализов) находятся в возрастном интервале 546–607 млн лет. Конкордантный возраст составил 590 ± 3 млн лет. Габбро-долериты отобраны из согласного тела мощностью до 10 м. По 5 зернам циркона получены две группы возрастов – 1744–1868 и 950–1006 млн лет, что позволяет рассматривать эти цирконы как реликтовые. Метаандезиты взяты из слоя мощностью более 20 м. Полученные значения (11 зерен циркона) обособлены в две группы – 2332–3309 и 1130–1436 млн лет, т. е. их надо рассматривать как захваченные магмой ксеногенные кристаллы. В итоге нужно указать на четко проявленную возрастную привязку большинства исследованных пород – возрастной интервал от 559 ± 4 до 593 ± 6 млн лет. Это вендский возраст становления осадочно-вулканогенного разреза серии Чемберлендален и комагматичных интрузий комплекса Чемберлендален.

Полученные впервые на Шпицбергене вендские датировки по коренным магматическим породам являются наиболее важным результатом наших исследований в этом районе архипелага. Они датируют метавулканы серии Чемберлендален и прорывающие их тела комагматичных габброидов. Мы должны отметить, что вендское время на Шпицбергене, большое внимание которому уделили некоторые авторы (Бархатов, 1970; Кузнецов, 2009; Балув и др., 2010), отмечен редкими датировками (Rb-Sr, Ar-Ar, K-Ar, U-Pb) по метаморфогенным породам, в основном на юго-западе архипелага. В целом байкальский этап остается во многом дискуссионным для Шпицбергена, хотя к нему и приурочена смена тектонического режима, формационных рядов и частичная структурная перестройка района. Особенно много внимания в связи с этим уделено тиллитоподобной формации венда (Красильщиков, 1973; Harland, 1997 и др.). Наличие этой формации дало основание Б.П. Бархатову (1970) рассматривать Шпицберген как эпибайкальскую орогеническую область. Но отсутствие на архипелаге магматических комплексов вендского возраста не позволяло выстраивать законченных тектонических схем. Расходятся мнения и по вопросу тектонических режимов для позднепротерозойских и раннепалеозойских этапов. Они рассматривались как миогеосинклинальные (Красильщиков, 1973), так и платформеноидные (Бархатов, 1970). Также отметим, что на Шпицбергене верхнедокембрийские и нижнепалеозойские слоистые комплексы везде разделены перерывом и несогласием, которые сопоставимы по характеру и продолжительности с протоуральско-тиманским несогласием (Кузнецов, 2009).

Таким образом, появление вендских датировок по конкретным магматическим объектам на Шпицбергене было ожидаемо и случайностью не является. Определенный нами интервал датировок 559–593 млн лет отвечает вендскому периоду, что позволяет утверждать о существовании в это время на Шпицбергене геодинамических обстановок, генерирующих внутриплитный вулканизм. Характер ультраосновных и основных магматитов, а также пелитовый по преимуществу состав метаосадочных пород серии Чемберлендален указывает, что осадочно-вулканогенная толща формировалась в течение единого тектоно-магматического цикла, в ходе которого умеренно щелочной ультраосновной-основной вулканизм сочетался с высокой степенью химического выветривания пород в источниках сноса материала вендского времени. Можно предположить, что обстановки формирования осадочно-вулканогенного разреза были близки по природе континентальному рифтогенезу. Возрастная корреляция двух вендских толщ этого района архипелага – конгломератовой серии Кап-Лайель и осадочно-вулканогенной серии Чемберлендален – позволяет рассматривать первую как более раннюю на том основании, что в горизонтах конгломератов и диамиктитов, широко представленных во всех свитах этой серии (мощность > 4 км), совершенно не встречаются гальки вулканических пород. Поэтому предлагается рассматривать серию Кап-Лайель как нижневендскую, а серию Чемберлендален как верхневендскую.

Л и т е р а т у р а

Балуев А.С., Кузнецов Н.Б., Зыков Д.С. Новые данные по строению литосферы и истории формирования Западно-Арктического шельфа России (моря Белое и Баренцево) // Строение и история развития литосферы / Под ред. Ю.Г. Леонова. М.: Paulsen, 2010. С. 252–292.

Бархатов Б.П. Основные этапы тектонического развития архипелага Шпицберген // Вестн. Ленингр. гос. ун-та. 1970. Т. 6(1). С. 157–159.

Геологическое строение и магматизм района долины Чемберлена, Западный Шпицберген / С.И. Турченко, А.М. Тебеньков, Д.Б. Бархатов, И.И. Барматенков // Геология Шпицбергена. Л.: Севморгеология, 1983. С. 38–48.

Красильщиков А.А. Стратиграфия и палеотектоника докембрия–раннего палеозоя Шпицбергена. Л.: Недра, 1973. 120 с.

Кузнецов Н.Б. Основание Свальбарда: северо-восточное продолжение скандинавских каледонид или северо-западное продолжение протоуралид-тиманид? // Бюл. МОИП. 2009. Отд. геол. Т. 84(3). С. 23–51.

Harland W.B. The geology of Svalbard. Geological Society. Memoir 7. London, 1997. 521 p.

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗЕМЛИ НОРДЕНШЕЛЬДА В ГОЛОЦЕНЕ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ СПОРОВО-ПЫЛЬЦЕВОГО АНАЛИЗА

Д.А. Соловьева^{1,2}, Л.А. Савельева², С.Р. Веркулич¹

¹Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ultimuscaurus@gmail.com

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

Район Земли Норденшельда, центральная часть о. Западный Шпицберген, является одним из наиболее показательных при изучении динамики природной среды в высокоширотной Арктике.

Выявление особенностей развития растительности и климата в голоцене на региональном уровне (для Земли Норденшельда) корректно при анализе значительного массива палеоботанических данных. При этом количество объектов, пригодных для получения сведений об изменениях растительности и климата на основе палинологических данных ограничено. Четвертичные отложения в районе исследования отличаются относительно низкой концентрацией микрофоссилий. Мозаичная структура растительного покрова, характерная для тундр Шпицбергена, также осложняет интерпретацию полученных данных.

Несмотря на то, что первые реконструкции изменения растительности в голоцене для архипелага Шпицберген были созданы еще в начале прошлого столетия, полученные сведения не являются исчерпывающими и освещают исключительно локальные особенности развития растительности на короткие промежутки времени.

Значительно дополнить имеющиеся сведения об эволюции растительного покрова на Земле Норденшельда позволили полевые и аналитические исследования, проводимые в рамках Российской арктической экспедиции на арх. Шпицберген ААНИИ. В исследовании освещены результаты подробного изучения четырех разрезов речных и болотных образований в долинах Колсдален и Грэндален, включающие в себя описание литологического состава, радиоуглеродное датирование и спорово-пыльцевой анализ. В результате были выявлены следующие особенности развития растительного покрова в голоцене.

Около 10500 лет назад в среднем течении Рейндален преобладали осоково-моховые сообщества с участками кустарничково-разнотравных тундр на дренированных участках (Сулова и др., 1982). В это время здесь началось заболачивание и формирование торфяных толщ. Микрофоссилии осоковых, злаковых и кустарничковых (в том числе, карликовой березки) встречаются также в отложениях в долине Грёндален (Палеоэкология ..., 1993). Вероятно, по берегам этой долины произрастали схожие сообщества.

Карликовая березка, как показатель наиболее благоприятных условий, получила широкое распространение еще в начале голоцена (Сулова и др., 1982). В период примерно от 8000 до 5500 лет назад большая часть Земли Норденшельда (за исключением вершин сопок и хребтов) находилась в так называемой зоне субарктической тундры.

Около 7800 лет назад формирование торфяной толщи в среднем течении Рейндален прекратилось, вероятно, вследствие понижения базиса эрозии (уровня моря) и врезания водотока. В этот период начинается заболачивание в среднем течении долины Адвентдален и в верхнем течении Колсдален (в данный момент вывод не подтвержден). В окрестностях оз. Скардьерна (Birks, 1991) на западном побережье Земли Норденшельда развиваются кустарничково-разнотравные сообщества. В растительном покрове среди кустарничковых преобладают ивки, что свидетельствует о стабильном снегонакоплении в холодный сезон, встречаются ныне не произрастающие термофильные виды. В центральной части Земли Норденшельда, в долинах Рейндален и Адвентдален, доминируют влаголюбивые осоково-моховые сообщества (Сулова и др., 1982).

Растительный покров оставался неоднородным. Разнотравно-кустарничковые (березовые) сообщества развивались по бортам долин Адвентдален и Колсдален (Об изменении ..., 1988) (верховья) наравне с травяно-моховыми болотами; в долине р. Семмель (в среднем течении) развивались осоково-моховые болота. Кустарничково-разнотравные тундры произрастали на дренируемых участках долин Грёндален и Линнедален (запад Земли Норденшельда) наравне с разнотравно-злаково-моховыми сообществами заболоченной поймы. Вероятно, преобладание злаковых в западной части региона может быть связано с большим количеством осадков, выпадающих на приокеанических территориях.

Около 5000 лет назад зафиксирован максимум развития кустарничковой растительности на всей территории района исследований (Сулова и др., 1982). При этом продолжалось заболачивание пойм многих рек. Торфяные толщи продолжали формироваться в долинах Адвентдален и Колсдален, началось заболачивание термокарстовых воронок в Линнедален и низких берегов р. Семмель (Зеликсон, 1971). Пойма Грёндалена также подвергалась заболачиванию в этот период, но развитию мощных торфяных горизонтов, вероятно, помешал более интенсивный речной сток и затопление высокой поймы в относительно теплые сезоны. Подобные условия осадконакопления существовали и в среднем течение р. Колс.

В период примерно от 4500 до 2500 лет назад происходило сокращение кустарничковых и преобладание злаков в растительном покрове всего района, что связано с увеличением количества осадков и общим похолоданием. В это время наблюдалась небольшая трансгрессия и резкий спад уровня моря, что стало, помимо прочего, причиной прекращения процесса торфонакопления в ряде долин.

До наступления малого ледникового периода растительный покров был близок к современному. Во многих частях произрастали разнотравно-ивковые сообщества. Ареал карликовой березки значительно сократился. Термофильные виды до малого ледникового периода встречались на западе Земли Норденшельда. Наступание ледников времени малого ледникового периода стало основной причиной сокращения их ареала до долин Адвентдален и Колсдален.

Л и т е р а т у р а

Зеликсон Е.М. Палинологическое исследование голоценового торфяника на Шпицбергене // Палинология голоцена. 1971. С. 199–212.

Об изменении гляциоклиматических условий в суббореальном периоде на архипелаге Шпицберген / Т.Г. Сулова, Л.С. Троицкий, Е.И. Скоробеева, Я.-М.К. Пуннинг // Материалы гляциологических исследований. Хроника обсуждения. 1988. С. 108–112.

Палеоэкология Арктико-Атлантического региона в голоцене / Л.Р. Серебрянный, А.А. Тишков, О.Н. Соломина и др. // Изв. АН СССР. 1993. Сер. Географ. № 2. С. 39–52.

Сулова 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.

Birks H.H. Holocene vegetational history and climatic change in west Spitsbergen – plant macrofossils from Skardtjorna // The Holocene. 1991. Vol. 1. P. 209–218.

АНОМАЛЬНАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СЛАБЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ НА СЕВЕРО-ЗАПАДЕ АРХИПЕЛАГА ШПИЦБЕРГЕН

А.В. Федоров, В.Э. Асминг, И.С. Федоров

Кольский филиал ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН”,
г. Апатиты, Мурманская область, Россия
e-mail: Afedorov@krsc.ru

Кольский филиал ФИЦ “Единая геофизическая служба РАН” на протяжении почти 40 лет выполняет работы по мониторингу сейсмичности территории арх. Шпицберген. С 2014 года активно развиваются работы, направленные на применение сейсмических методов для наблюдения за активностью ледников Шпицбергена – регистрацию фактов разрушения их кромок в результате откола ледяных блоков (ледниковый калвинг) (Сейсмологические ..., 2016; Федоров и др., 2016).

С 2015 года обработка данных сети сейсмических станций архипелага ведется в автоматическом режиме с применением интеллектуального программного комплекса обнаружения и локации сейсмических событий NSDL (Система ..., 2018). В декабре 2019 г. в информационной подсистеме комплекса NSDL сотрудниками КФ ФИЦ ЕГС РАН была обнаружена активизация слабой сейсмичности в районе ледника Бломстранда, расположенного в 14 км к северо-востоку от пос. Нью-Олесунн, где находится сейсмическая станция Кингсбей (KBS).

Детальный анализ записей сейсмической станции KBS выявил некоторые особенности развития данной последовательности, которые привлекают к ней особое внимание и порождают вопросы о природе ее генерации.

Так при анализе записей была отмечена высокая степень сходства волновых форм отдельных сейсмических событий. Расчет коэффициентов корреляции для десятка записей сейсмических событий из случайной выборки показал, что значения данного параметра достигает 0.9. С учетом высокой корреляции записей сейсмических событий, составляющих сейсмическую последовательность для потоковой обработки данных с целью получения полного каталога сейсмических событий, было принято решение использовать кросскорреляционный детектор (Верхоланцев и др., 2017). Принцип действия такого

детектора заключается в поиске в непрерывной записи сейсмической станции фрагментов с высоким значением корреляции с имеющимися образцами записей. Таким образом, были обработаны записи сейсмической станции KBS за 2019 г. и первые 6 мес. 2020 г. Результирующий каталог включил в себя более 6000 событий.

Анализ полученного каталога показал, что данная последовательность началась 2 декабря 2019 г. с резкого “включения” и продлилась до 31 декабря, когда также резко “выключилась”. В другие месяцы 2019 и 2020 гг. в данном районе отмечались лишь одиночные сейсмические события. Анализ временного распределения сейсмических событий в последовательности показал наличие доминирующего интервала между событиями, близкого к 300 с. Каких-либо закономерностей в распределении количества событий по дням недели и по часам суток выявлено не было. Амплитуда событий постепенно возрастала со временем, достигнув своего максимума и плато примерно на 20-е сут.

Высокая корреляция записей сейсмических событий в последовательности свидетельствует об идентичности механизма порождающего данные события и о пространственной близости их гипоцентров. При этом вопрос природы данной последовательности остается открытым. Тот факт, что локация событий данной последовательности, полученная по данным одиночной станции KBS с применением специального детектора-локатора (Асминг, Федоров, 2014) ложится на область, относящуюся к терминальной части ледника Бломстранда, может свидетельствовать в пользу гипотезы о проявлениях некоторой активности данного ледника в зимний период. Однако сравнение космоснимков в видимом диапазоне этого ледника осенью 2019 г. и весной 2020 г. не выявило значительных изменений его фронтальной части, что можно расценить как свидетельство отсутствия возможного сёрджинга ледника или других крупномасштабных процессов.

Таким образом, в результате рутинного мониторинга на арх. Шпицберген обнаружена последовательность слабых сейсмических событий, характеризующаяся следующим набором черт: резкое включение и выключение процесса длительностью 30 сут.; высокое подобие записей отдельных сейсмических событий; наличие доминирующего интервала между событиями (псевдопериодичность); компактная локализация эпицентров; возрастание амплитуды событий со временем; отсутствие закономерностей в распределении по часам суток и дням недели. При этом природа данного процесса остается невыясненной.

Л и т е р а т у р а

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.

Верхоланцев Ф.Г., Голубева И.В., Федоров А.В. Применение кросскорреляционного детектора для мониторинга слабой наведенной сейсмичности по данным сейсмической станции “УФА” // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Матер. XII Междунар. сейсмологической школы / Отв. ред. А.А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 87–91.

Сейсмологические наблюдения за активностью ледников архипелага Шпицберген / А.В. Федоров, В.Э. Асминг, С.В. Баранов и др. // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2016. Т. 19, № 1. С. 151–159. DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/1-151-159

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

Федоров А.В., Асминг В.Э., Ганнибал А.Е. Вариации активности деструкции ледников архипелага Шпицберген по данным местной сети сейсмических станций // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2016. Т. 4(38). Сер. Гелиогеофизика. Вып. 2. С. 167–173.

ИЗМЕНЕНИЯ БАЛАНСА МАССЫ ЛЕДНИКА ВОСТОЧНЫЙ ГРЁНФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) ЗА ПОСЛЕДНЕЕ ДЕСЯТИЛЕТИЕ

Р.А. Чернов

Институт географии РАН, г. Москва, Россия
e-mail: rob31@mail.ru

В связи с климатическими изменениями в Арктике горное оледенение Западного Шпицбергена деградирует ускоренными темпами (Glaciers ..., 2003; Malecki, 2016; Чернов, Муравьев, 2018). Сокращение площади ледников в этом регионе обусловлено значительным летним таянием и соответствующим ему отрицательным балансом массы ледников (Оценка ..., 2019). На основе 10-летнего ряда наблюдений за таянием ледника Восточный Грёнфьорд (Земля Норденшельда, Западный Шпицберген) получены значения его баланса массы с 2011 г. За годы наблюдений величина баланса массы ледника имела отрицательные значения, наблюдается также тренд к его понижению. С 2011 по 2020 годы средний баланс массы ледника составил -1.4 м в. э., а поверхность ледника понизилась в среднем на 20 м. При этом отмечается значительная межгодовая изменчивость величины баланса массы ледника, связанная с условиями летнего таяния. В целом выявлена тесная связь летнего таяния (поверхностной абляции), которое в значительной степени определяет баланс массы ледника, со средними летними температурами на Шпицбергене. Величина квадрата смешанной корреляции средних летних температур, регистрируемых в Баренцбурге, и значений ежегодного баланса массы ледника составила 0.84.

Инструментальные измерения летнего таяния (поверхностной абляции) на леднике Восточный Грёнфьорд проводились с помощью реек, забуренных в лед. Всего на леднике установлено 20 реек на различных высотах. Рейки перебуривались и измерялись во второй декаде августа ежегодно. В связи с потерей части реек, вытаявших раньше срока, достоверных отчетов было, как правило, на 20–30 % меньше. Высотная зависимость абляции, которая определяется по данным измерений, имеет линейный характер, что позволяет восстановить величины таяния с приемлемой точностью. Для расчета баланса массы ледника зимнее снегонакопление учитывалось по данным снегомерных съемок на леднике до 2015 г. После 2015 г. снежный покров на леднике стаивал полностью, поэтому расчет баланса массы ледника проводился по величине поверхностной абляции по высотным зонам. При значительной межгодовой изменчивости отрицательное значение баланса массы ледника за 10-летний период увеличилось приблизительно в 1.8 раза. При этом тренд летней температуры воздуха в Баренцбурге показывает ее увеличение на 1.5 °С. В 2019–2020 годах значение баланса массы ледника было около -2.0 м в. э. – максимальная величина за весь период наблюдений, средняя летняя температура воздуха в 2020 г. была также наибольшей.

Расчетные оценки абляции на ледниках Шпицбергена дополняют трудоемкие полевые измерения (Оценка ..., 2010), но не учитывают пространственную изменчивость абляции, связанную с экспозицией и масштабом ледника (Изменчивость ..., 2019). Выявленная тесная

связь баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд со средней летней температурой воздуха позволила применить расчетный метод с использованием преобразованной формулы таяния Ходакова-Кренке (Кренке, Ходаков, 1966; Оценка ..., 2019). Расчетные значения баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд показали наилучшие совпадения с натурными данными (в пределах 10 %-й погрешности) в годы, когда снежный покров на леднике полностью стаивал. Накопленный материал позволяет в дальнейшем перейти к расчетным методам оценки баланса массы ледника при сокращении объема полевых исследований.

Автор благодарит сотрудника Российской арктической экспедиции ААНИИ на Шпицбергене В.Э. Демидова за помощь в полевых работах 2020 г.

Оценка баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд проводилось в рамках госзадания № 0148-2019-0004 “Оледенение и сопутствующие природные процессы при изменениях климата”.

Л и т е р а т у р а

Изменчивость поверхностной абляции горных ледников Западного Шпицбергена / О.Р. Сидорова, Г.В. Тарасов, С.Р. Веркулич, Р.А. Чернов // Проблемы Арктики и Антарктики. 2019. Вып. 65(4). С. 438–448.

Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха // Материалы гляциологических исследований. 1966. Вып. 12. С. 153–164.

Оценка абляции на ледниках архипелага Шпицберген в начале XXI века / Н.И. Осокин, А.В. Сосновский, П.Р. Накалов, Р.А. Чернов // Лед и снег. 2010. № 3(111). С. 13–18.

Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) / Р.А. Чернов, А.В. Кудиков, Т.В. Вшивцева, Н.И. Осокин // Лед и снег. 2019. № 59(1). С. 59–66.

Чернов Р.А., Муравьев А.Я. Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // Лед и снег. 2018. № 58(4). С. 462–472.

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.

Malecki J. Accelerating retreat and high-elevation thinning of glaciers in central Spitsbergen // The Cryosphere. 2016. № 10. P. 1317–1329.

МИКРОПЛАНКТОННАЯ БИОТА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ПРОЛИВА ФРАМА

О.В. Човган

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: chovgan@mmbi.info

В условиях температурных аномалий вод Западной Арктики сохраняют значимость исследования трансформации морских сообществ, особенно микропланктонной биоты, чувствительной к преобразованиям термического и ледового режимов (Zooplankton ..., 2017; Lavrentyev et al., 2019; Particls ..., 2020). Кроме того, вследствие процесса “атлантификации” (Аксенов, Иванов, 2018) Западно-Шпицбергенское течение в восточной части Гренландского моря может выступать источником миграций тепловодных видов планктона в высокоширотные морские экосистемы (Zooplankton ..., 2017), и поэтому нельзя исключать возможность естественных инвазий. Однако по причине сложных гидрометеорологических условий

северных морей пелагическая биота остается малоизученной в осенне-зимний сезон. Настоящая работа позволяет уточнить современный состав микропланктона в предзимний период на акватории восточной части пролива Фрама.

Материалом исследования послужили пробы микропланктона, отобранные во второй половине ноября 2019 г. в рейсе ММБИ РАН (НИС “Дальние Зеленцы”) посредством сетного лова (размер ячеек фильтрующего полотна 29 мкм); обработка и анализ проб выполнены стандартными методами (Суханова, 1983).

В исследуемом районе достоверно идентифицировано 66 видов микропланктона (Dinophyta – 43 %, Ciliophora – 27 %, Radiozoa – 20 %, Foraminifera – 5 %, Prasinophyta – 3 %, Chrysophyta – 2 %). Таксономический состав представлен комплексом видов, типичным для северных морей в осенне-зимний период, доминирующее положение занимают представители родов *Protoperidinium*, *Ceratium* и *Dinophysis* (Макаревич, Дружкова, 2010; Макаревич, Олейник, 2017). При этом большое количество деструктурированных и пустых клеток в пробе указывает на переход планктонного сообщества к зимней депрессии (фаза затухания) (Макаревич, Дружкова, 2010). Примечательно наличие редкого вида радиолярий *Challengeron neptuni*, обитающего в северных морях (Nimmergut, Abelmann, 2002; Bjørklund, Kruglikova, 2020).

В составе микропланктона вод арх. Шпицберген 7 видов обнаружены впервые. Ближайшие находки отмечены на акватории Баренцева моря в последнее десятилетие – динофлагелляты *Oxytoxum belgicae*, *Podolampas palmipes* (Олейник, 2014) и тинтиниды *Amphorellopsis tetragona*, *Ormosella haeckeli*, *Parundella caudata* (Chovgan, 2019). В источниках указано тепловодное происхождение видов, что позволяет рассматривать их как инвазии. В том числе зарегистрирован *Corythodinium diploconus*, ранее также найденный в баренцевоморских водах, арх. Земля Франца-Иосифа (Олейник, 2015), согласно данным Ф. Гомеса (Gómez, 2018), вид является тепловодным.

Впервые в Арктическом регионе зарегистрирован единичный экземпляр *Pronoctiluca rostrata*, оригинальное местонахождение – Тихий (Gómez, 2013) и Индийский океаны (Taylor, 1976).

Таким образом, можно констатировать расширение ареала тепловодных видов микропланктона в высокие широты, вероятной причиной чему выступает современная тепловая (температурная) аномалия вод Арктического региона в целом.

Л и т е р а т у р а

Аксенов П.В., Иванов В.В. “Атлантификация” как вероятная причина сокращения площади морского льда в бассейне Нансена в зимний сезон // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. № 64(1). С. 42–54. DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-42-54

Макаревич П.Р., Дружкова Е.И. Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2010. 280 с.

Макаревич П.Р., Олейник А.А. Микропланктон Баренцева моря: современный состав и структура в предзимний период // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 20, № 2. С. 316–325.

Олейник А.А. Новые динофлагелляты (Dinophyceae) планктона Баренцева моря // Бот. журн. 2014. № 99(7). С. 756–765.

Олейник А.А. Фитопланктон побережья архипелага Земля Франца-Иосифа // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2015. № 2(21). С. 25–32.

Суханова И.Н. Концентрирование фитопланктона в пробе // Современные методы количественной оценки распределения морского планктона. М.: Наука, 1983. С. 97–108.

Bjørklund K.R., Kruglikova S.B. Radiolaria taxa in the Norwegian Sea and Arctic Ocean. Ver. 1.19. Natural History Museum, University of Oslo, 2020. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1295076>

- Chovgan O. Review of tintinnid species (Ciliophora: Tintinnina) from the Barents Sea // *Protistology*. 2019. Vol. 13(3). P. 141–147. DOI: 10.21685/1680-0826-2019-13-3-6
- Gómez F. Morphology and distribution of *Pronoctiluca* (Dinoflagellata, *incertae sedis*) in the Pacific Ocean // *Acta Oceanol. Sin.* 2013. Vol. 32(4). P. 71–76.
- Gómez F. A review on the synonymy of the dinoflagellate genera *Oxytoxum* and *Corythodinium* (Oxytoxaceae, Dinophyceae) // *Nova Hedwigia*. 2018. Vol. 107(1–2). P. 141–165.
- Lavrentyev P.J., Franzè G., Moore F.B. Microzooplankton distribution and dynamics in the Eastern Fram Strait and the Arctic Ocean in May and August 2014 // *Front. Mar. Sci.* 2019. Vol. 6. P. 264. DOI: 10.3389/fmars.2019.00264
- Nimmergut A., Abelmann A. Spatial and seasonal changes of radiolarian standing stocks in the Sea of Okhotsk // *Deep-Sea Res. I*. 2002. Vol. 49. P. 463–493.
- Particles, protists, and zooplankton in glacierinfluenced coastal svalbard waters / E. Trudnowska, A.M. Dabrowska, R. Boehnke et al. // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2020. Vol. 242(5). P. 103–306. DOI: 10.1016/j.ecss.2020.106842
- Taylor F.J.R. Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. *Bibliotheca Botanica*. 1976. 234 p.
- Zooplankton structure in high latitude fjords with contrasting oceanography (Hornsund and Kongsfjorden, Spitsbergen) / M.R. Ormańczyk, M. Głuchowska, A. Olszewska, S. Kwasniewski // *Oceanologia*. 2017. Vol. 59(4). P. 508–524. DOI: 10.1016/j.oceano.2017.06.003

ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИЕ РЕКОНСТРУКЦИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОСТРОВА ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН (ЗЕМЛЯ НОРДЕНШЕЛЬДА) ДЛЯ ПОЗДНЕНЕОПЛЕЙСТОЦЕН-ГОЛОЦЕНОВОГО ЭТАПА

В.В. Шарин

Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Санкт-Петербург–Ломоносов, Россия
e-mail: sharin_v@mail.ru

На основе геоморфологических, макрофаунистических данных и анализа радиоуглеродных датировок созданы схемы палеогеографических реконструкций для поздненеоплейстоцен-голоценового этапа развития территории. Схемы реконструкций составлены для периодов 15000–9500, 9500–5000 и 5000–800 лет назад. Каркасом для построения палеогеографических реконструкций служит геоморфологическая карта центральной части Земли Норденшельда (масштаб 1:100 000), составленная в Шпицбергенской партии АО “ПМРГЭ” в 2020 г. Построение палеогеографических схем базируется на следующих материалах.

Геоморфологические признаки. Учитывая ранее опубликованные данные (Семевский, Шкатов, 1965; Шарин и др., 2012) и материалы, полученные при проведении полевых работ, установлен ряд геоморфологических признаков, позволяющих определить положение береговой линии в тот или иной отрезок времени. Положение береговых линий фиксируется по ориентировке, высотному положению морских террас и сопутствующих им форм.

Макрофаунистические данные. Анализ состава макрофаунистического материала является одним из основополагающих факторов, играющих роль в построении палеогеографических реконструкций неоплейстоцена-голоцена Шпицбергена. В результате предыдущих (Семевский, Шкатов, 1980) и последних полевых работ были получены определения макрофауны из районов бухты Колс, Холлендардален. Высотное положение макрофаунистических комплексов, их видовой состав позволяют реконструировать положение береговых уровней в указанные отрезки времени. Кроме этого, раковины моллюсков служат материалом для радиоуглеродного датирования.

Радиоуглеродные датировки. Раковины морских моллюсков – наиболее часто встречающиеся включения органического материала в четвертичных отложениях Шпицбергена. Широко распространены переотложения как отдельных раковин и их обломков (водно-ледниковые осадки), так и дислокация целых блоков отложений вместе с органикой с ненарушенным залеганием *in situ* (морены напора). Поэтому от изучения взаимосвязей рельефа с местоположением находок зависит палеогеографический смысл абсолютных датировок. Исследования этого направления радиоуглеродного датирования на о. Западный Шпицберген были проведены О.В. Кокиным с коллегами (Абсолютные ..., 2019). Региональное распределение возраста раковин моллюсков отражает особенности климатических условий и положение относительно современного уровня моря. Были проанализированы 37 как ранее опубликованных, так и полученных в ходе полевых работ радиоуглеродных датировок.

К началу неоплейстоцен-раннеголоценового этапа уже были сформированы области сноса района (структурно-денудационные плато, склоны горных хребтов и массивов) и области накопления (днища долин и приморские равнины). Обращают на себя данные бурения в таких областях накопления как крупные долины. Например, в долине Вассдален по данным бурения параметрической скважины мощность четвертичных осадков составила 37 м (Российские ..., 1998). Подобные мощности четвертичных отложений, аномальные для Шпицбергена, могут свидетельствовать о накоплении этих толщ в достаточно спокойных морских условиях на дне котловин, возможно, унаследованных от геологических структур. В пользу этого факта свидетельствуют данные бурения на приморских равнинах в северной части района, где мощность четвертичных осадков не превышает 15 м (Российские ..., 1998). На рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена в таких долинах как Грэндален, Колсдален, Рейндален, Вассдален море проникало в них на расстояние до 12 км от современной береговой линии. Практически все приморские равнины и значительная часть крупных долин находились ниже уровня моря. Радиоуглеродные датировки из морских отложений показали, что это событие имело место между 15000–9500 лет назад (Новые ..., 2014; Соловьева и др., 2019). Видовой состав макрофаунистического комплекса, относящийся к этому отрезку времени, достаточно однообразен. Доминантами являются виды *Mya truncata* (Linne), *Hiatella arctica* (Linne) и *Macoma calcarrea* Chemnitz.

В промежутки времени 9500–5000 лет назад конфигурация береговой линии претерпела значительные изменения. В пределах большинства приморских равнин она немногим отличается от современной. Исключения составляют устьевые участки крупных долин, таких как Колсдален, Грэндален, Грэнфьорддален, Берцелиусдален и Сэммадален. Здесь фрагменты морских террас, относящихся к этому комплексу, прослеживаются на расстояние до 5 км от современной береговой линии. Следует отметить, что на поверхности морских террас сохранилось значительное количество “свежих” форм рельефа, например, штормовых валов, которые практически не затронуты процессами криогенеза и солифлюкции. Это свидетельствует о более молодом времени формирования этих форм. Значительно обогатился и состав малакофауны. Среди моллюсков появляются такие теплолюбивые виды как *Mytilus edulis* (Linne) и *Cyprina islandica* (Linne).

Средний-поздний голоцен. Практически полное отсутствие на открытых побережьях Земли Норденшельда радиоуглеродных датировок по древесине, раковинам в диапазоне 5000–800 лет назад, а также ранее опубликованные данные (Forman et al., 1990; Новые ..., 2014), указывают на тот факт, что в этот период береговая линия испытывала отрицательное, по отношению к современной, перемещение. Материалом для датирования этого периода являются в основном растительные остатки. Исключением служат переотложенные раковины в морене напора ледника Грэнфьордбреен. Они свидетельствуют, что в кутовой части Грэнфьорда в промежутки времени 4000–1000 лет назад господствовали морские условия. Во время малого ледникового периода морские осадки были дислоцированы и переотложены ледником вместе с раковинным материалом.

Л и т е р а т у р а

Абсолютный возраст раковин морских моллюсков в четвертичных отложениях Шпицбергена / О.В. Кокин, В.В. Шарин, Е.А. Гусев, Ф.Е. Максимов // Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений: Тез. докл. Всерос. науч. конф. М., 2019. С. 44.

Новые геохронологические данные четвертичных отложений северо-западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) / В.В. Шарин, О.В. Кокин, Е.А. Гусев и др. // Вестн. Санкт-Петерб. гос. ун-та. Сер. 7. 2014. Вып. 1. С. 158–167.

Российские геологические исследования на Шпицбергене 1962–1996 г.г. / Ред. А.А. Красильщиков. СПб.: Недра, 1998. 230 с.

Семевский Д.В., Шкатов Е.П. Геоморфология Земли Норденшельда (Западный Шпицберген) // Материалы по геологии Шпицбергена. Л.: Изд. НИИГА, 1965. С. 232–240.

Семевский Д.В., Шкатов Е.П. Четвертичная фауна беспозвоночных архипелага Свальбард // Геология осадочного чехла архипелага Свальбард. Л.: Изд. НИИГА, 1980. С. 129–133.

Соловьева Д.А., Савельева Л.А., Веркулич С.Р. Особенности послеледникового развития ландшафтов центральной части о. Западный Шпицберген по данным споро-пыльцевого анализа // Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием “Динамика экосистем в голоцене”. М.: Медиа-ПРЕСС, 2019. С. 301–304.

Шарин В.В., Окунев А.С., Лазарева Е.И. Геоморфологическая карта центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда, архипелаг Шпицберген). Масштаб 1:50 000 / Ред. Е.А. Гусев. СПб.: Ренова, 2012.

Forman S.L. Post-glacial relative sea-level history of northwestern Spitsbergen, Svalbard // Geol. Soc. America Bull. 1990. Vol. 102. P. 1580–1590.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВИРИО- И БАКТЕРИОПЛАНКТОНА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

**Т.И. Широколобова, М.П. Венгер, М.А. Болтенкова,
В.В. Водопьянова, И.А. Пастухов**

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: shirokolobova@mmbi.info

Согласно современным представлениям, значительная часть потоков углерода в морских экосистемах проходит через микробную пищевую сеть (Arrigo, 2005; Kirchman, 2008). Важную роль в трофических взаимодействиях ее представителей играет вирио- и бактериопланктон. Их сообщества исследованы в апреле 2016 г. на участке широтной ориентации с координатами 76–79° с. ш. и 34–64° в. д. (НИС “Дальние Зеленцы”). Материалом к работе послужили пробы воды, отобранные со стандартных горизонтов семи станций. В водной толще измеряли температуру и соленость (профилограф SEACAT SBE 19plus), концентрацию кислорода (метод Винклера) и хлорофилла (метод спектрофотометрии), основные количественные показатели вирусов и бактерий [метод эпифлуоресцентной микроскопии, краситель SYBR Green I, фильтры “Anodisc” с диаметром пор 0.02 мкм (Noble, Fuhrman, 1998) и краситель DAPI, ядерные фильтры с диаметром пор 0.2 мкм (Porter, Feig, 1980) соответственно].

Температура (1.60...–1.84 °С) и соленость верхней части фотического слоя (34.45–34.89 рси), его насыщение кислородом (< 100 %) и концентрация хлорофилла (0.23–0.93 мг/м³, среднее – 0.49±0.03 мг/м³) являлись характерными для периода, предшествующего подледному цветению (Жизнь ..., 1985; Гидрометеорология ..., 1992; Кузнецов, Шошина, 2003).

На фоне предстартового состояния альгоценозов численность бактериопланктона изменялась от 0.12×10^6 до 0.32×10^6 кл/мл [среднее – $(0.19 \pm 0.01) \times 10^6$ кл/мл], биомасса – от 3.98 до 18.20 мг/м³, среднее – 7.91 ± 0.87 мг/м³. Основные количественные показатели в поверхностных и придонных водах достоверно не различались. Средние значения численности и биомассы на станциях варьировали незначительно $(0.15–0.24) \times 10^6$ кл/мл и 6.20–11.13 мг/м³ соответственно.

Численность вириопланктона при сопоставимых минимальных (0.92×10^6 частиц/мл) и максимальных (4.03×10^6 частиц/мл) показателях в среднем достигала $(2.64 \pm 0.07) \times 10^6$ частиц/мл. Диапазон средних значений в столбе воды соответствовал $(1.96–3.26) \times 10^6$ частиц/мл. За исключением достоверных различий обилия вирусов в поверхности и у дна, особых закономерностей в их распределении не наблюдалось. Повышенные скопления частиц фиксировали как в подповерхностных слоях (10 м), так и на глубине (100 и 200 м).

Отношение численности вирусов к численности бактерий изменялось от 5 до 21, в среднем в 12 раз. Значимой корреляции между их количественными показателями не выявлено. Рассчитанная скорость контактов между вирусными частицами и бактериальными клетками являлась крайне низкой и не превышала одного контакта в сутки. На характер процессов в микробных сообществах пелагиали могли влиять как повышенная вязкость при низких температурах воды (Role ..., 2010), так и трофический статус исследуемой акватории, определяющий жизненную стратегию вирусов (лизогению) (Weinbauer et al., 1993; Steward et al., 1996; Wommack, Colwell, 2000).

Сравнение с литературными данными показало, что численность бактерио- и вириопланктона весной 2016 г. варьировала значительно меньше, чем летом при цветении фитопланктона в зоне дрейфующих льдов на северо-западе Баренцева моря – $(0.41–4.1) \times 10^6$ кл/мл и $(1.9–22.0) \times 10^6$ частиц/мл соответственно (Distribution ..., 2002). В этом же районе в аналогичных условиях средние значения численности и биомассы бактериальных сообществ в слое 0–50 м составляли 0.36×10^6 кл/мл и 7.1 мг С/м³ (Sturluson et al., 2008).

Таким образом, изучение структурных характеристик вирио- и бактериопланктона зоны дрейфующих льдов в северо-восточной части Баренцева моря в период предцветения показало, что вирусы в среднем в 12 раз превышали численность бактерий, достоверной связи между ними не прослеживалось, количество контактов в сутки являлось минимальным. Относительно равномерное распределение и незначительные пределы диапазона численности исследуемых сообществ свидетельствуют о динамическом равновесии между факторами, влияющими на продукцию и элиминацию вирусных частиц и бактериальных клеток в среде.

Работа выполнена в рамках государственного задания ММБИ РАН (№ 0228-2019-0003) по теме 9-17-01(133) “Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)” (№ госрегистрации АААА-А17-117052310083-5).

Л и т е р а т у р а

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. I. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. Л.: Гидрометеоиздат, 1992. 182 с.

Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1985. 220 с.

Кузнецов Л.Л., Шошина Е.В. Фитоценозы Баренцева моря. Физиологические и структурные характеристики. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2003. 308 с.

Arrigo K.R. Marine microorganisms and global nutrient cycles // *Nature*. 2005. Vol. 437. P. 349–355. DOI: 10.1038/nature04159

- Distribution of bacterial biomass and activity in the marginal ice zone of the central Barents Sea during summer / M.H. Howard-Jones, V.D. Ballard, A.E. Allen et al. // J. Mar. Syst. 2002. Vol. 38. P. 77–91.*
- Kirchman D.L. Microbial ecology of the oceans. Second Ed. New York: Wiley & Sons, Inc, 2008. 620 p.*
- Noble R.T., Fuhrman J.A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria // Aquat. Microbial. Ecol. 1998. Vol. 14, № 2. P. 113–118.*
- 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.*
- Role of microbial and phytoplanktonic communities in the control of seawater viscosity off East Antarctica (30–80° E) / L. Seuront, S.C. Leterme, J.R. Seymour et al. // Deep-Sea Res. 2010. Vol. 57. P. 877–886.*
- Steward G.F., Smith D.C., Azam F. Abundance and production of bacteria and viruses in the Bering and Chukchi seas // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1996. Vol. 131. P. 287–300.*
- Sturluson M., Nielsen T.G., Wassmann P. Bacterial abundance, biomass and production during spring blooms in the northern Barents Sea // Deep-Sea Res. 2008. Vol. 2, № 55. P. 2186–2198.*
- Weinbauer M.G., Fuks D., Peduzzi P. Distribution of viruses and dissolved DNA along a coastal trophic gradient in the northern Adriatic Sea // Appl. Environ. Microbiol. 1993. Vol. 59. P. 4074–4082.*
- Wommack K.E., Colwell R.R. Viruses in aquatic ecosystems // Microbial. Mol. Biol. Rev. 2000. Vol. 64. P. 69–114.*

ВИРИОПЛАНКТОН БАРЕНЦЕВА МОРЯ: СОСТАВ, КОЛИЧЕСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ, ВЗАИМОСВЯЗЬ С КОМПОНЕНТАМИ МИКРОБНЫХ СООБЩЕСТВ

М.П. Венгер, Т.И. Широколобова

Мурманский морской биологический институт РАН, г. Мурманск, Россия
e-mail: shirokolobova@mmbi.info

Вирусы – наиболее массовый и динамичный компонент пелагиали (Wommack, Colwell, 2000), который слабо изучен в экосистеме Баренцева моря. Частично восполнить этот пробел помогут исследования, выполненные нами на НИС “Дальние Зеленцы” в августе 2010 г. и ноябре 2013 г.

Цель работы – в водах Баренцева моря в контрастные по инсоляции сезоны изучить особенности пространственного распределения вирусных частиц, определить взаимосвязь их обилия с концентрацией хлорофилла *a* (показателя продукционной активности фитопланктона) и количественными характеристиками бактериопланктона, оценить влияние вирусов на уровень его развития.

При изучении вирио- и бактериопланктона применяли методы эпифлуоресцентной и электронной микроскопии. Методом эпифлуоресцентной микроскопии проводили количественный учет окрашенных на фильтрах вирусных частиц и бактериальных клеток. Препараты просматривали под микроскопом Olympus BX53 с системой анализа изображения при ув. 1000. При подсчете обилия вирусов использовали флуорохром SYBR Green I (Noble, Fuhrman, 1998) и мембранные фильтры “Anodisc” из оксида алюминия (диаметр пор 0.02 мкм). Препараты для определения общей численности и биомассы бактериопланктона готовили с использованием флуорохрома DAPI (Porter, Feig, 1980) и мембранных фильтров (производства ОИЯИ, г. Дубна) с диаметром пор 0.2 мкм.

Подготовка проб морской воды для просвечивающей электронной микроскопии включала осаждение вирусов и бактерий центрифугированием при 35 000 об/мин (100 000 g) в течение 1 ч на ультрацентрифуге OPTIMA L-90k (“Beckman Coulter”, США) на никелевые сеточки плотностью 400 мешей, покрытые пиолоформом с угольным напылением. Сеточки

просматривали под электронным микроскопом JEM 100C (JEOL, Япония) при ув. 20000–150000. В пробах морской воды учитывали: бактериальные клетки с адсорбированными на них вирусами, общее количества таких вирусов, среднее число зрелых фагов в клетках и частоту видимых инфицированных бактерий. Для расчета доли всех инфицированных клеток в общей численности бактерий и гибели бактериопланктона, вызванной вирусным лизисом, использовали уравнения по: (Binder, 1999).

В сообществах пелагиали Баренцева моря в разные по уровню инсоляции сезоны вириопланктон выступал доминирующим по численности компонентом. Его значения $[(1.7–64.1) \times 10^6]$ частиц/мл, определяемые наличием клеток-хозяев, ожидаемо были выше при активной вегетации фитопланктона (август), чем при резком снижении его фотосинтетической деятельности (ноябрь), когда обилие вирусов составляло $(0.2–10.7) \times 10^6$ частиц/мл. Численность вирусов превосходила таковую их основных хозяев – бактерий в среднем в 15 раз в первом случае против 5 раз во втором. В августе количество бактериальных клеток составляло $(0.4–4.4) \times 10^6$ кл/мл, их биомасса – 19.63–100.10 мг/м³, в ноябре – $(0.4–1.1) \times 10^6$ кл/мл и 19.47–210.52 мг/м³ соответственно.

Летом уменьшение количества вирусных частиц прослеживалось с переходом от более теплых вод на юге к более холодным на севере. Поздней осенью отмечен иной характер распределения – их максимальные скопления регистрировали не только в относительно прогретых водах южного, но и в менее теплых водах северного участка моря.

В глубоководной части моря (на севере) летний диапазон вирусного обилия поверхностных вод превышал таковой придонных, в мелководной части (на юге) величина этого параметра в слоях оставалась сопоставимой.

В конце осеннего сезона в водах центральной части моря (глубина 150–300 м) вирусные частицы от поверхности до дна распределялись относительно равномерно. Их основную массу представляли бактериофаги, в то время как в состав летнего вириопланктона входили и альго-вирусы. Косвенным свидетельством тому может служить тесная связь, выявленная между вирусами и биомассой бактерий в ноябре и вирусами и концентрацией хлорофилла *a* в августе.

По сравнению с планктонными вирусами, частицы, прикрепившиеся к поверхности бактериальных клеток, регистрировали в гораздо меньших количествах. Доля бактерий с внеклеточными вирусами в общем бактериопланктоне в среднем достигала 13 % в августе и 16 % в ноябре. Следовательно, атаке со стороны вирусов-бактериофагов подвергалась довольно значительная часть бактериального сообщества. Однако дальнейшие расчеты показали, что уровень вирусной инфекции и гибель бактерий от вирусного лизиса в водах центральной части Баренцева моря в целом были относительно низкими, поскольку частота всех инфицированных клеток от их общего числа в бактериопланктоне составила в августе 7 %, в ноябре 3 %. При этом вирусиндуцированная смертность бактерий не превышала 8 и 4 % соответственно.

Л и т е р а т у р а

Binder B. Reconsidering the relationship between virally induced bacterial mortality and frequency of infected cells // *Aquat. Microbial. Ecol.* 1999. Vol. 18. P. 207–215.

Noble R.T., Fuhrman J.A. Breakdown and microbial uptake of marine viruses and other lysis products // *Aquat. Microbial. Ecol.* 1999. Vol. 20. P. 1–11.

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.

Wommack K.E., Colwell R.R. Viruses in aquatic ecosystems // *Microbial. Mol. Biol. Rev.* 2000. Vol. 64. P. 69–114.

Содержание

Стр.

<i>Асминг В.Э., Баранов С.В., Воронин А.И., Федоров А.В., Федоров И.С.</i> Эксперимент по регистрации деструкции ледников несколькими инфразвуковыми микрогруппами	5
<i>Белаховский В.Б., Джин Я., Милош В.</i> Оценка вклада различных типов ионосферных возмущений в сцинтилляции GPS-сигналов по данным наблюдений на архипелаге Шпицберген	6
<i>Белишева Н.К., Соловьевская Н.Л.</i> Ковариации геофизических агентов и физико-химических свойств кожных покровов у жителей архипелага Шпицберген	6
<i>Берченко И.В.</i> Размерная структура популяций <i>Calanus</i> sp. в фьордах Шпицбергена ...	9
<i>Блошкина Е.В., Павлов А.К., К.В. Фильчук</i> Продолжается ли потепление вод в фьордах Западного Шпицбергена в последнее десятилетие?	11
<i>Василевич И.И., Третьяков М.В.</i> Межгодовая изменчивость структуры снежного покрова водосбора залива Грён-фьорд	12
<i>Ващенко А.В., Максимовская Т.М., Венгер М.П.</i> Бактериальные сообщества пелагиали северо-западного района Баренцева моря в апреле 2018 года	13
<i>Воскобойников Г.М., Метелькова Л.О., Жаковская З.А.</i> Органические соединения в воде и водорослях губы Териберская Баренцева моря	15
<i>Гудимов А.В.</i> Донные беспозвоночные – эффективные биологические индикаторы изменения условий среды в прибрежье морей высокой Арктики	16
<i>Давыдов Д.А.</i> Дифференциация видового состава цианопрокариот локальных флор Шпицбергена	18
<i>Дауэвальтер В.А., Мецьяков Н.И., Усягина И.С., Духно Г.Н., Шарин В.В., Служковский З.И., Денисов Д.Б.</i> Гранулометрический и химический состав поверхностных слоев донных отложений озера Фара, Западный Шпицберген	19
<i>Демин В.И., Иванов Б.В.</i> Изменения климата на архипелаге Шпицберген по данным ГМО “Баренцбург” в 1911–2020 годах	21
<i>Державин В.Л., Колесников А.Б.</i> О перекрытиях поморских домов Шпицбергена	24
<i>Дикаева Д.Р.</i> Распределение сообществ полихет в районе Шпицбергенской банки	25
<i>Друщиц В.А.</i> Корреляция природных событий позднего кайнозоя морей российской Арктики	27
<i>Дэспирак И.В., Любич А.А., Ролдугин А.В., Козелов Б.В.</i> “Полярные” суббури по наблюдениям сияний в Баренцбурге в 2020 году	29
<i>Евсеева О.Ю.</i> Фауна мшанок (Bryozoa) залива Ис-фьорд (Западный Шпицберген)	30
<i>Захаренко В.С.</i> Анализ геоэкологических факторов, представляющих риски при освоении Арктики	32
<i>Захаров В.Г., Кононова Н.К.</i> Связь дрейфа льдов в Арктике в XX–начале XXI веков с циркуляцией атмосферы	34
<i>Захаров В.Г., Лебедева Н.В.</i> Связь сроков прилета пуночки на архипелаг Шпицберген с циркуляцией атмосферы Северного полушария	36
<i>Иванов Б.В., Демин В.И., Ревина А.Д.</i> Самый длинный ряд инструментальных метеорологических наблюдений на архипелаге Шпицберген	38
<i>Ильин Г.В., Валуйская Д.А., Усягина И.С., Мецьяков Н.И.</i> Изучение роли ледников в формировании радиоэкологического фона в фьордах Шпицбергена	40
<i>Ишкулова Т.Г., Пастухов И.А.</i> Гидрохимическая структура водных масс западного побережья архипелага Шпицберген в конце ноября 2019 года	42
<i>Калинка О.П., Ващенко П.С., Водопьянова В.В.</i> Оценка эффективности спутниковых исследований хлорофилла <i>a</i> в труднодоступных областях арктических акваторий	44
<i>Кашулина Г.М., Литвинова Т.И., Коробейникова Н.М.</i> Температурный режим верхнего органогенного горизонта почв катены на склоне горного хребта Грёнфьорд, Шпицберген	46

Козеллов Б.В., Ролдугин А.В., Пильгаев С.В., Дэспирак И.В. Триангуляционные наблюдения полярных сияний в Баренцбурге в 2019/20 г.	48
Конорева Л.А., Чесноков С.В. Лишайники района бухты Хиннвика (Северо-Восточная Земля)	49
Константинова Н.А., Савченко А.Н. О распространении на Шпицбергене печеночников, включенных в Красную книгу Европы	50
Королева Н.Е., Данилова А.Д. Союз <i>Luzulion arcuatae</i> в гольцовых пустынях Мурманской области и Шпицбергена	53
Кукса К.А., Шарин В.В., Окунев А.С., Костева Н.Н., Сироткин А.Н. Уровни загрязнения и источники тяжелых металлов в почвах о. Западный Шпицберген	54
Ларченко А.В., Пильгаев С.В., Лебедь О.М., Никитенко А.С., Филатов М.В., Федоренко Ю.В. Особенности распространения СНЧ/ОНЧ-волн вдоль трассы EISCAT/Heating-архипелаг Шпицберген в эксперименте по модулированному нагреву ионосферы	56
Лебедева Н.В., Усягина И.С., Валуйская И.С. Искусственные и естественные радионуклиды в почвах птичьего базара на Шпицбергене	56
Лебедева Н.В. Птицы в антропогенном ландшафте на Шпицбергене	58
Литвинова Т.И., Кашулина Г.М., Коробейникова Н.М. Особенности распределения содержания и состава органического вещества серогумусовых грубогумусовых почв по высотному градиенту в окрестностях пос. Баренцбург, Западный Шпицберген	61
Мавлюдов Б.Р. Ледник Восточный Грэнфьорд	63
Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Касаткина Н.Е., Кокин О.В. Механизмы осадконакопления в озере Бретгёрна (Западный Шпицберген)	65
Милославский М.Ю., Сироткин А.Н., Шарин В.В., Окунев А.С., Костева Н.Н., Краснова Н.Г. Комплект карт геологического содержания центральной части Земли Норденшельда масштаба 1:100 000	68
Мингалёв И.В., Орлов К.Г., Мингалёв В.С. Возможность предсказания зарождения полярных циклонов в атмосфере арктической зоны	70
Михалко Е.А., Германенко А.В., Маурчев Е.А., Гвоздевский Б.Б., Щур Л.И., Балабин Ю.В. Перспективный мобильный детектор космических лучей	72
Моисеев Д.В., Запорожцев И.Ф., Максимовская Т.М. Межгодовая изменчивость затока атлантических вод в Ис-фьорд с 1993 года	73
Мосеев Д.С., Сергиенко Л.А. Активность видов сосудистых растений в экотопах побережий архипелага Новая Земля	75
Никитенко А.С., Пильгаев С.В., Ларченко А.В., Филатов М.В., Лебедь О.М., Федоренко Ю.В. Резонансные эффекты в СНЧ/ОНЧ-излучениях типа авроральный хисс по данным наземных наблюдений на Шпицбергене (Баренцбург)	77
Новиков М.А., Горбачева Е.А., Харламова М.Н., Прохорова Т.А. Встречаемость различных видов морского мусора на акватории Баренцева моря	77
Окунев А.С., Соловьева Д.А., Куприянова Н.В., Полецук К.В., Петров А.Ю. Условия формирования морских отложений на южном побережье Земли Норденшельда (бассейн Ван-Мейен-фьорда) в раннем голоцене	79
Пантелеева Н.Н. Гидроиды и гидромедузы (Hydrozoa) фьордов Западного Шпицбергена ...	81
Пастухов И.А., Ишкурова Т.Г. Межгодовая изменчивость гидрохимического режима залива Грэн-фьорд в зимний период	84
Петров Б.В. Температурный режим многолетнемерзлых пород Тазовского полуострова с 2006 по 2019 годы	85
Репина И.А., Шестакова А.А., Артамонов А.Ю., Чечин Д.Г. Исследование динамики и структуры атмосферного пограничного слоя над сложным рельефом в полярных районах ...	86
Рогов Д.Д., Калишин А.С., Николаев А.В., Новиков С.В., Угрюмов Ю.В. Мониторинг ионосферы над акваторией Баренцева моря	87
Ромашова К.В., Брызгалов В.А., Третьяков М.В. Современный гидрохимический режим озер Западного Шпицбергена	88

Самодова А.В., Добродеева Л.К., Балашова С.Н., Штаборов В.А., Пашинская К.О. Иммуный фон в период полярного дня у трудоспособного населения, проживающего в климатогеографических условиях архипелага Шпицберген	90
Сироткин А.Н. Первые данные об абсолютном возрасте магматических пород долины Чемберлена (Земля Веделя Ярсберга)	92
Соловьева Д.А., Савельева Л.А., Веркулич С.Р. Особенности развития растительности Земли Норденшельда в голоцене на основе данных спорово-пыльцевого анализа	94
Федоров А.В., Асминг В.Э., Федоров И.С. Аномальная последовательность слабых сейсмических событий на северо-западе архипелага Шпицберген	96
Чернов Р.А. Изменения баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) за последнее десятилетие	98
Човган О.В. Микропланктонная биота восточной части пролива Фрама	99
Шарин В.В. Палеогеографические реконструкции центральной части острова Западный Шпицберген (Земля Норденшельда) для позднеплейстоцен-голоценового этапа	101
Широколобова Т.И., Венгер М.П., Болтенкова М.А., Водопьянова В.В., Пастухов И.А. Исследования вирио- и бактериопланктона в северной части Баренцева моря	103
Венгер М.П., Широколобова Т.И. Вириопланктон Баренцева моря: состав, количественное распределение, взаимосвязь с компонентами микробных сообществ	105

Contents

	Page
<i>Asming V.E., Baranov S.V., Voronin A.I., Fedorov A.V., Fedorov I.S.</i> An experiment to register glacier destruction using several infrasound arrays	5
<i>Belakhovsky V.B., Dzhin Y., Milosh V.</i> Estimation of the contribution of various types of ionospheric disturbances to the scintillation of GPS signals based on observational data from the Svalbard Archipelago	6
<i>Belisheva N.K., Solovievskaya N.L.</i> Covariances of geophysical factors and physicochemical properties of the skin in residents of the Svalbard Archipelago	6
<i>Berchenko I.V.</i> The size structure of the <i>Calanus</i> sp. populations in fjords of Spitsbergen Island, Svalbard	9
<i>Bloshkina E.V., Pavlov A.K., Filchuk K.V.</i> Have the fjords of Spitsbergen Island been warming over the past decade?	11
<i>Vasilevich I.I., Tretiakov M.V.</i> Inter-annual variability of the structure of the snow cover in the catchment area of Grønfjorden	12
<i>Vashenko A.V., Maksimovskaya T.M., Venger M.P.</i> Pelagic bacterial communities in the northwestern Barents Sea in April 2018	13
<i>Voskoboinikov G.M., Metelkova L.O., Zhakovskaya Z.A.</i> Organic compounds in water and algae in Teriberskaya Bay of the Barents Sea	15
<i>Gudimov A.V.</i> Bottom invertebrates as effective biological indicators of changes of environmental conditions in the coastal zones of Arctic seas	16
<i>Davydov D.A.</i> Differentiation of the species composition of cyanoprokaryotes from local floras of Spitsbergen Island, Svalbard	18
<i>Dauvalter V.A., Mesheryakov N.I., Usyagina I.S., Dukhno G.N., Sharin V.V., Slukovsky Z.I., Denisov D.B.</i> Granulometric and chemical composition of the surface layers of bottom sediments of Lake Tenndammen (Fara), Spitsbergen Island, Svalbard	19
<i>Demin V.I., Ivanov B.V.</i> Climate change on the Svalbard Archipelago in 1911–2020 according to the Barentsburg Hydrometeorological Observatory data	21
<i>Derzhavin V.L., Kolesnikov A.B.</i> On the ceilings of the Pomor houses on Svalbard	24
<i>Dikayeva D.R.</i> Distribution of polychaete communities on the Spitsbergen Bank	25
<i>Druschits V.A.</i> Correlation of natural events of the Late Cenozoic in seas of the Russian Arctic	27
<i>Despirak I.V., Lubchich A.A., Roldugin A.V., Kozelov B.V.</i> Polar substorms registered during auroral observations in Barentsburg in 2020	29
<i>Evseyeva O.Yu.</i> Fauna of bryozoans (Bryozoa) in the Isfjorden Bay (Spitsbergen Island, Svalbard)	30
<i>Zakharenko V.S.</i> Analysis of geocological factors posing risks in the development of the Arctic	32
<i>Zakharov V.G., Kononova N.K.</i> Relationship between ice drift in the Arctic in the 20th and early 21st centuries and atmospheric circulation	34
<i>Zakharov V.G., Lebedeva N.V.</i> Relationship between the dates of the snow bunting arrival at the Svalbard Archipelago and the circulation of the atmosphere in the Northern Hemisphere	36
<i>Ivanov B.V., Demin V.I., Revina A.D.</i> The longest series of instrumental meteorological observations on the Svalbard Archipelago	38
<i>Ilyin G.V., Valuiskaya D.A., Usyagina I.S., Mesheriakov N.I.</i> Study of the role of glaciers in the formation of radioecological background in fjords of Spitsbergen Island, Svalbard	40
<i>Ishkulova T.G., Pastukhov I.A.</i> Hydrochemical structure of water masses offshore of the western coast of the Svalbard Archipelago in late November 2019	42
<i>Kalinka O.P., Vashenko P.S., Vodopyanova V.V.</i> Evaluation of the efficiency of remote sensing of chlorophyll-a in hard-to-reach areas of Arctic water bodies	44
<i>Kashulina G.M., Litvinova T.I., Korobeynikova N.M.</i> Temperature regime of the upper	

organogenic soil horizon of a catena on the slope of the Grøn fjorden mountain range, Spitsbergen Island, Svalbard	46
<i>Kozelov B.V., Roldugin A.V., Pilgaev S.V., Despirak I.V.</i> Triangulation observations of aurora borealis at Barentsburg in 2019/2020	48
<i>Konoreva L.A., Chesnokov S.V.</i> Lichens of Kinnvika Bay (Svalbard, Nordaustlandet, Murchisonfjord)	49
<i>Konstantinova N.A., Savchenko A.N.</i> On the spread of liverworts included in the Red Book of Europe on Svalbard	50
<i>Koroleva N.E., Danilova A.D.</i> Alliance <i>Luzulion arcuatae</i> in highland tundra (goltsy) deserts of Murmansk Oblast (Russia) and Svalbard	53
<i>Kuksa K.A., Sharin V.V., Okunev A.S., Kosteva N.N., Sirotkin A.N.</i> Contamination levels and sources of heavy metals in soils of Spitsbergen Island, Svalbard	54
<i>Larchenko A.V., Pil'gayev S.V., Lebed' O.M., Nikitenko A.S., Filatov M.V., Fedorenko Yu.V.</i> Features of the propagation of ELF/VLF waves along the EISCAT's Heating Facility (Tromsø, Norway)–Svalbard Archipelago way in the modulated ionospheric heating experiment	56
<i>Lebedeva N.V., Usyagina I.S., Valuiskaya I.S.</i> Man-made and natural radionuclides in soils of a bird rookery on Spitsbergen Island (Svalbard, Norway)	56
<i>Lebedeva N.V.</i> Birds in a man-made landscape on Spitsbergen Island (Svalbard, Norway) ...	58
<i>Litvinova T.I., Kashulina G.M., Korobeynikova N.M.</i> On the distribution and composition of organic matter in coarse gray humus soils along the elevational gradient in the vicinity of Barentsburg Settlement, Spitsbergen Island, Svalbard	61
<i>Mavlyudov B.R.</i> Western Grøn fjord Glacier	63
<i>Mesheryakov N.I., Usyagina I.S., Kasatkina N.E., Kokin O.V.</i> Sedimentation mechanisms in Lake Bretjørna (Spitsbergen Island, Svalbard)	65
<i>Miloslavsky M.Yu., Sirotkin A.N., Sharin V.V., Okunev A.S., Kosteva N.N., Krasnova N.G.</i> A set of geological maps of the central part of Nordenskiöld Land with a scale of 1:100,000	68
<i>Mingalev I.V., Orlov K.G., Mingalev V.S.</i> Possibility of predicting the origin of polar cyclones in the atmosphere of the Arctic zone	70
<i>Mikhalko E.A., Germanenko A.V., Mauricev E.A., Gvozdevsky B.B., Schur L.I., Balabin Yu.V.</i> Prospective portable detector of cosmic rays	72
<i>Moiseev D.V., Zaporozhtsev I.F., Maksimovskaya T.M.</i> Inter-annual changes of Atlantic water inflow to the Isfjorden since 1993	73
<i>Moseyev D.S., Sergiyenko L.A.</i> Activity of vascular plant species in coastal ecotopes of the Novaya Zemlya Archipelago	75
<i>Nikitenko A.S., Pilgayev S.V., Larchenko A.V., Filatov M.V., Lebed' O.M., Fedorenko Yu.V.</i> Observations of resonance effects in ELF/VLF emissions of the auroral hiss type at the Barentsburg Observatory	77
<i>Novikov M.A., Gorbacheva E.A., Kharlamova M.N., Prokhorova T.A.</i> Composition and distribution of marine litter in the Barents Sea	77
<i>Okunev A.S., Solovyeva D.A., Kupriyanova N.V., Poleschuk K.V., Petrov A.Yu.</i> Early Holocene conditions of marine sedimentation off the southern coast of Nordenskiöld Land (Van Mijenfjorden basin)	79
<i>Panteleyeva N.N.</i> Hydroids and hydroid jellyfish (Hydrozoa) in fjords of Spitsbergen Island, Svalbard	81
<i>Pastukhov I.A., Ishkulova T.G.</i> Inter-annual variability of the hydrochemical regime of Grøn fjorden (Spitsbergen Island, Svalbard) in winter	84
<i>Petrov B.V.</i> Temperature regime of permafrost rocks of Taz Peninsula from 2006 to 2019 ...	85
<i>Repina I.A., Shestakova A.A., Artamonov A.Yu., Chechin D.G.</i> Study of the dynamics and structure of the atmospheric boundary layer over difficult terrain of Svalbard	86
<i>Rogov D.D., Kalishin A.S., Nikolayev A.V., Novikov S.V., Ugryumov Y.V.</i> Ionosphere monitoring over the Barents Sea water area	87
<i>Romashova K.V., Bryzgalo V.A., Tretyakov M.V.</i> The modern hydrochemical regime of lakes of Spitsbergen Island, Svalbard	88

<i>Samodova A.V., Dobrodeyeva L.K., Balashova S.N., Shtaborov V.A., Pashinskaya K.O.</i> Immune status of the working-age population, living in the geographical and climatic conditions of the Svalbard Archipelago, during the polar day	90
<i>Sirotkin A.N.</i> Initial data on the absolute age of igneous rocks in Chamberlaindalen (Wedel Jarlsberg Land, Spitsbergen Island, Svalbard)	92
<i>Solovyeva D.A., Savelyeva L.A., Verkulich S.R.</i> Holocene vegetation development features of Nordenskiöld Land based on the pollen analysis results	94
<i>Fedorov A.V., Asming V.E., Fedorov I.S.</i> Anomalous sequence of weak seismic events in the northwest of the Svalbard Archipelago	96
<i>Chernov R.A.</i> Changes in the mass balance of the East Grönfjord glacier (Spitsbergen Island, Svalbard) over the last decade	98
<i>Chovgan O.V.</i> Microplankton biota of the eastern part of the Fram Strait	99
<i>Sharin V.V.</i> Paleogeographic reconstructions of the central part of Spitsbergen Island (Nordenskiöld Land) for the Late Neopleistocene–Holocene stage	101
<i>Shirokolobova T.I., Venger M.P., Boltenkova M.A., Vodopianova B.B. Pastuhov I.A.</i> Virio- and bakterioplancton research in the northern part of the Barents Sea	103
<i>Venger M.P., Shirokolobova T.I.</i> Virioplankton of the Barents Sea: structure, quantitative distribution, relationship with microbial community's components	105

Научное издание

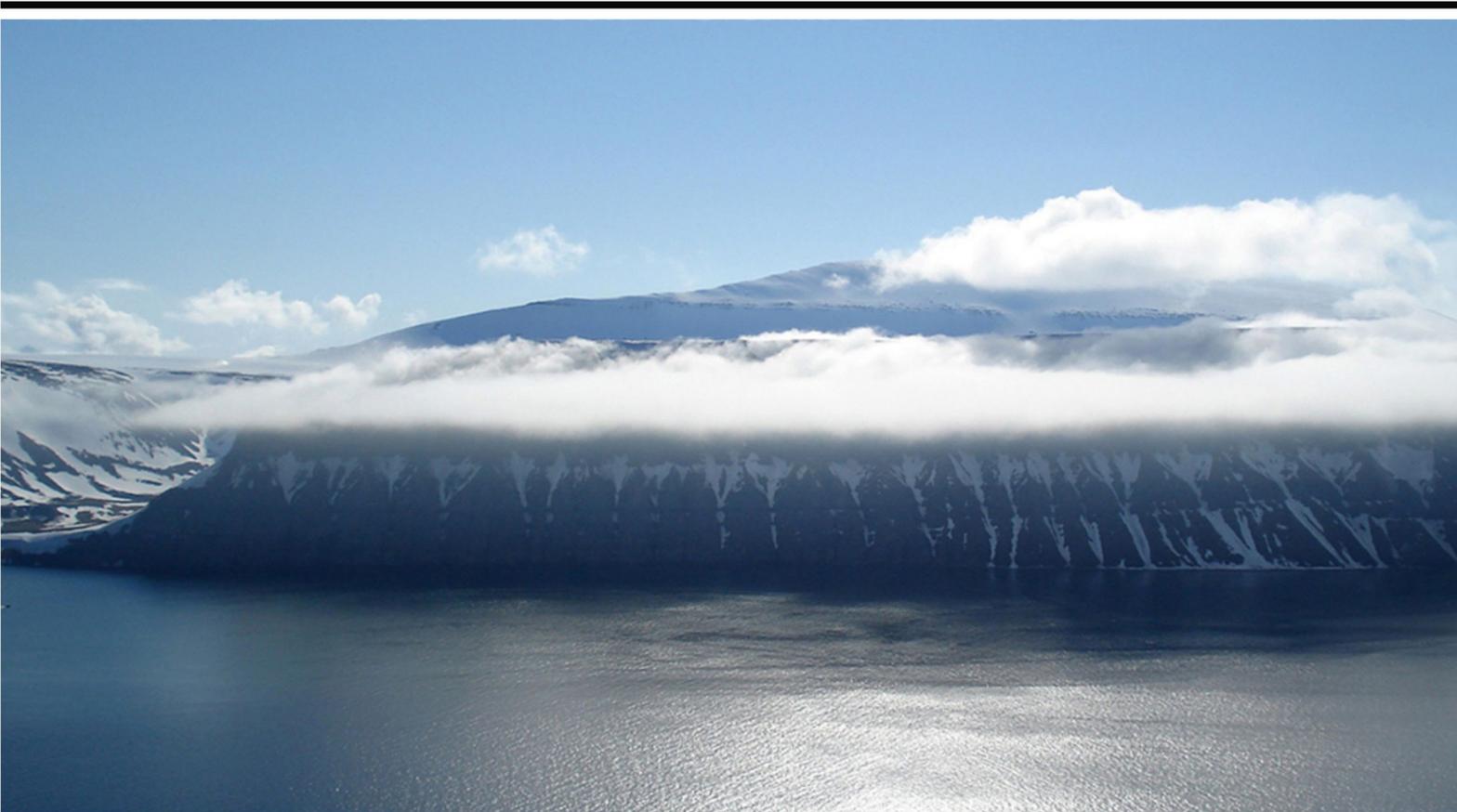
КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИРОДЫ ШПИЦБЕРГЕНА И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА

Тезисы докладов XV Всероссийской научной конференции
(г. Мурманск, 28–30 октября 2020 г.)

*Утверждено к печати
Ученым советом Мурманского морского биологического института
Российской академии наук*

Перевод В.В. Пономарев
Фото на обложке: А.В. Кузнецов

Технический редактор В. Ю. Жиганов
Подписано к печати 12.05.2020.
Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная.
Уч.-изд.л. 13,14. Заказ № 47. Тираж 500 экз.



ISBN 978-5-91137-435-8



9 785911 374358

