

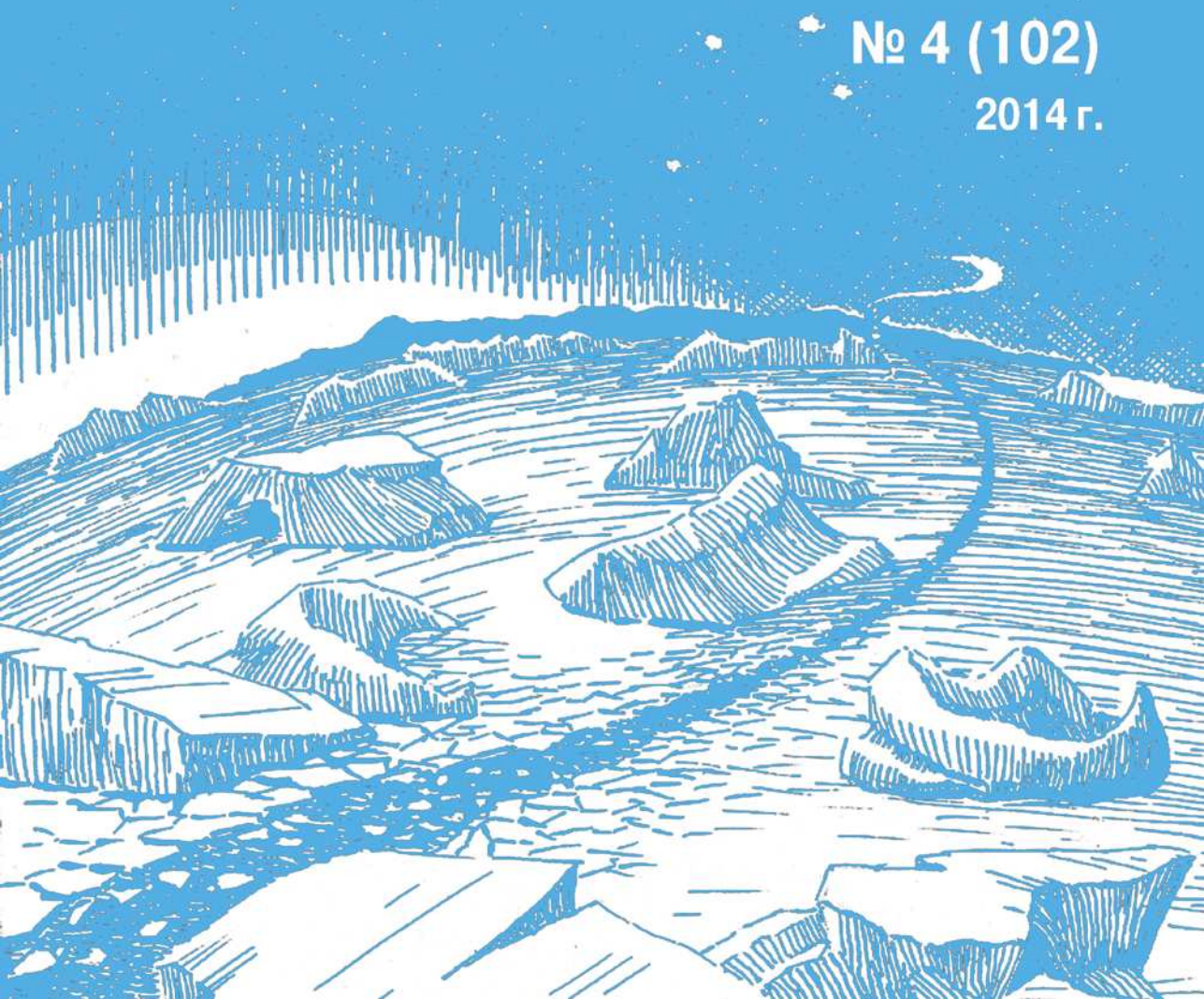
ISSN 0555-2648



ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 4 (102)

2014 г.



МИНИСТЕРСТВО ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИИ
И МОНИТОРИНГУ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
АРКТИЧЕСКИЙ И АНТАРКТИЧЕСКИЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ

ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 4 (102)

Издается с июня 1937 г.

Санкт-Петербург
ААНИИ
2014

Главный редактор

д-р геогр. наук, профессор *И.Е. Фролов* (ААНИИ)

Редакционная коллегия

канд. физ.-мат. наук *А.И. Данилов* (зам. главного редактора)

канд. геогр. наук *И.В. Бузин*

(ученый секретарь, тел. (812) 337-3212, e-mail: buzin@aari.ru)

А.А. Меркулов

(секретарь, тел. (812) 337-3135, e-mail: aam@aari.ru)

д-р геогр. наук *Г.В. Алексеев* (ААНИИ)

канд. физ.-мат. наук *Л.П. Бобылев* (Фонд Нансен-центр)

д-р геогр. наук *В.С. Вуглинский* (ГГИ)

канд. геол.-минерал. наук *Г.Э. Грикуров* (ВНИИОкеангеология)

д-р геогр. наук *Г.К. Зубакин* (ААНИИ)

д-р геол.-минерал. наук *В.Л. Иванов* (ВНИИОкеангеология)

д-р физ.-мат. наук *В.М. Катцов* (ГГО)

канд. геогр. наук *В.Я. Липенков* (ААНИИ)

канд. техн. наук *В.А. Лихоманов* (ААНИИ)

д-р физ.-мат. наук *А.П. Макштас* (ААНИИ)

д-р геогр. наук *Е.У. Миронов* (ААНИИ)

канд. биол. наук *А.В. Неелов* (ЗИН РАН)

д-р геогр. наук *А.Ю. Прошутинский* (Woods Hole Oceanographic Institute, USA)

канд. геогр. наук *В.Ф. Радионов* (ААНИИ)

д-р философии *Д. Рэйно* (Centre National de la Recherche Scientifique, France)

д-р физ.-мат. наук *В.А. Рожков* (СПбГУ)

д-р геогр. наук *Л.М. Саватюгин* (ААНИИ)

д-р техн. наук *К.Г. Ставров* (ОАО «ГНИНГИ»)

д-р физ.-мат. наук *Л.А. Тимохов* (ААНИИ)

д-р физ.-мат. наук *О.А. Трошичев* (ААНИИ)

ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ

№ 4 (102)

Свидетельство о регистрации

ПИ № ФС77-35144 от 28 января 2009 г.

Выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи и массовых коммуникаций
В соответствии с решением Президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России от
19 февраля 2010 года № 6/6 журнал включен в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и
изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание
ученых степеней доктора и кандидата наук.

Подписные индексы издания в каталоге «Газеты. Журналы» ОАО «Агентство Роспечать»

70279 – на год

48657 – для индивидуальных подписчиков (на полгода)

70278 – для предприятий и организаций (на полгода)

Редактор Е.В. Миненко

ISSN 0555-2648

© Государственный научный центр РФ
Арктический и антарктический
научно-исследовательский институт
(ГНЦ РФ ААНИИ), 2014

СОДЕРЖАНИЕ

<i>А.В. Крылов, Е.А. Гусев, А.Б. Кузнецов, Д.В. Зархидзе. Значение моллюсков рода <i>Cyrtodaria</i> для стратиграфии кайнозойских отложений Арктики</i>	5
<i>Г.Н. Антоновская, А.В. Данилов. Организация пунктов сейсмических наблюдений в условиях Европейского Севера России на примере функционирования пункта «Земля Франца-Иосифа»</i>	24
<i>Д.Г. Чернов, В.С. Козлов, М.В. Панченко, Ю.С. Турчинович, В.Ф. Радионов, А.В. Губин, А.Н. Прахов. Особенности изменчивости концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в 2011–2013 гг. ..</i>	34
<i>А.П. Недашковский, Е.П. Бондарева. Аномалия концентрации CO₂ на поверхностном горизонте в Арктическом бассейне летом 2007 г.</i>	45
<i>И.В. Федорова, И.Е. Сидорина, М.А. Родиченко, Т.В. Скороспехова, А.А. Четверова, В.В. Дмитриев, В.Н. Шеповальников, Н.К. Шумская, О.Н. Боброва, Т.В. Паришина, Р.Е. Власенков. Геоинформационное сопровождение зонирования геосистем прибрежных районов Российской Арктики по степени уязвимости.....</i>	50
<i>С.Н. Зацепя, А.А. Ивченко, А.М. Москвичев, В.В. Солбаков, В.В. Становой. К оценке области возможного обнаружения нефтяного загрязнения при прогнозировании распространения аварийных разливов нефти в море</i>	61
<i>И.А. Семерюк, А.А. Намятов. Использование параметра $\delta^{18}\text{O}$ для идентификации источников распреснения вод в проливе Фрама и на шельфе Баренцева моря.....</i>	71
<i>А.А. Екайкин, В.Я. Липенков, С.В. Попов, А.В. Туркеев, А.В. Козачек, Д.О. Владимирова. Пространственная изменчивость характеристик снежного покрова антарктических мегадюн в районе подледникового озера Восток</i>	78
<i>В.Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий. Годовой продукционный цикл зоопланктона в южной части Баренцева моря</i>	90
<i>А.Я. Коржиков, И.А.Ильющенкова. Межгодовая изменчивость групповых синоптических процессов и сценарий развития атмосферной циркуляции по сезонам в Арктике до 2016 г.</i>	97
<i>А.В. Клепиков, В.Э. Рябинин, А.И. Данилов, В.Г. Дмитриев. О подготовке проведения Международной полярной партнерской инициативы</i>	104

CONTENTS

<i>A.V. Krylov, E.A. Gusev, A.B. Kuznetsov, D.V. Zarkhidze.</i> The cenozoic molluscs of genus <i>Cyrtodaria</i> from russian Arctic	5
<i>G.N. Antonovskaya, A.V. Danilov.</i> Recommendations for the seismic points placement on the northern european Russia and first results	24
<i>D.G. Chernov, V.S. Kozlov, M.V. Panchenko, Yu.S. Turchinovich, V.F. Radionov, A.V. Gubin, A.N. Prakhov.</i> Features of variability of aerosol and black carbon concentrations on Barentsburg (Spitsbergen) in 2011–2013	34
<i>A.P. Nedashkovsky, E.P. Bondareva.</i> The anomaly of CO ₂ concentration on the surface horizon at the Arctic ocean in summer 2007	45
<i>I.V. Fedorova, I.E. Sidorina, M.A. Rodichenko, T.V. Skorospelkova, A.A. Chetverova, V.V. Dmitriev, V.N. Shipovalnikov, N.K. Shumskaya, O.N. Bobrova, T.V. Parshina, R.E. Vlasenkov.</i> Geoinformation maintenance of the Russian Arctic coastal areas geosystems zoning on vulnerability rate.....	50
<i>S.N. Zatsepa, A.A. Ivchenko, A.M. Moskvichev, V.V. Solbakov, V.V. Stanovoy.</i> To assessment of the area of potential detection of oil pollution at prediction of the accidental oil spills spreading in the sea.....	61
<i>I.A. Semeryuk, A.A. Namyatov.</i> Application of the oxygen isotope method for identification of fresh water sources in the Fram Strait and on the Barents Sea Shelf...	71
<i>A.A. Ekaykin, V.Ya. Lipenkov, S.V. Popov, A.V. Turkeev, A.V. Kozachek, D.O. Vladimirova.</i> Spatial variability of Antarctic mega-dunes snow characteristics in the vicinity of the subglacial Lake Vostok.....	78
<i>V.G. Dvoretzky, A.G. Dvoretzky.</i> Annual cycle of zooplankton production in the southern part of the Barents sea.....	90
<i>A.J. Korzhikov, I.A. Ilyushenkova.</i> Interannual variability group of synoptic processes and scenarios of the development of atmospheric circulation on the seasons in the Arctic until 2016	97
<i>A.V. Klepikov, V.E. Ryabinin, A.I. Danilov, V.G. Dmitriev.</i> On the preparation of the international polar partnership initiative.....	104

ЗНАЧЕНИЕ МОЛЛЮСКОВ РОДА *CYRTODARIA* ДЛЯ СТРАТИГРАФИИ КАЙНОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ АРКТИКИ

геолог А.В. КРЫЛОВ¹, канд. геол.-минерал. наук Е.А. ГУСЕВ²,
канд. геол.-минерал. наук А.Б. КУЗНЕЦОВ³, гл. геолог Д.В. ЗАРХИДЗЕ¹

¹ — ЗАО «Поляргео», Санкт-Петербург, e-mail: krylov-polargeo@yandex.ru, dzarkhidze@yandex.ru

² — ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», Санкт-Петербург, e-mail: gusev-evgeny@yandex.ru

³ — Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, Санкт-Петербург, e-mail: antonbor9@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Двустворчатые моллюски рода *Cyrtodaria* — одни из наиболее эндемичных обитателей морей Российской Арктики. Их изучением занимались выдающиеся советские и российские исследователи, как геологи, так и биологи: В.Н. Сакс (1951), Р.Л. Мерклин (Мерклин и др., 1979), К.Н. Несис (Nesis, 1965), В.С. Зархидзе (1983), Ю.Б. Гладенков (Гладенков и др., 1980) и С.Л. Троицкий (1966).

В настоящее время на территории Российской Арктики известно 8 ископаемых и современных видов, принадлежащих к этому роду. Они широко распространены в отложениях от палеоцена до голоцена и могут иметь важное стратиграфическое значение для расчленения и корреляции вмещающих отложений. В.С. Зархидзе (Мерклин и др., 1979; Зархидзе, 1983) выделял в отложениях позднего кайнозоя особые «циртодариевые слои», сопоставляемые с отложениями падимейской свиты, возраст которой им определялся как верхнеплиоценовый-раннеплейстоценовый. Вопросы возникновения, развития и путей миграции циртодарий сложны и требуют детального изучения. При этом они важны для правильного понимания кайнозойской истории палеошельфа Северной Евразии, а также для корреляции отложений кайнозоя Российской Арктики. Если циртодарии Северной Америки и Западной Европы хорошо изучены (Marquet, 2005; Strauch, 1972 и др.), то исследованию этой группы моллюсков в российском секторе Арктики не уделялось должного внимания.

Представленная статья является результатом изучения авторами коллекций раковин арктических циртодарий, собранных сотрудниками геологических организаций Санкт-Петербурга: НИИГА-ВНИИОкеангеология, ВСЕГЕИ и Поляргео (рис. 1). Коллекционные моллюски принадлежат 8 видам рода *Cyrtodaria*, из них 4 наиболее представительных вида описываются в данной статье. Некоторые раковины вымерших видов из разрезов Югорского полуострова и Таймыра были датированы с помощью метода стронциево-изотопной хемотратиграфии (SIS). Возможности и ограничения этого метода описаны в работе (Кузнецов и др., 2012). Датирование подтвердило миоценовый-эоплейстоценовый

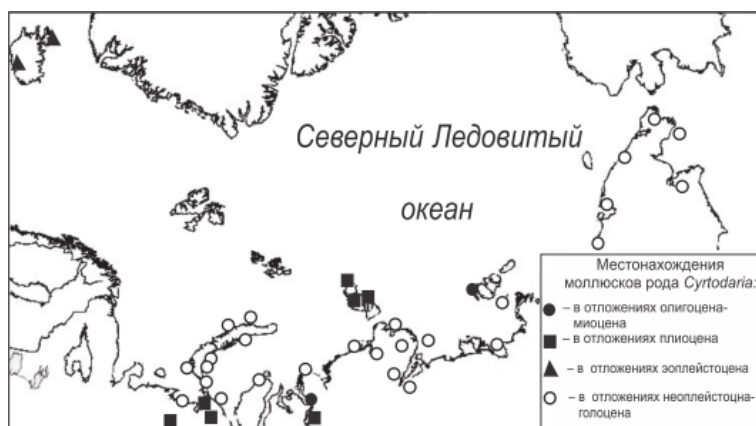


Рис. 1. Схема расположения местонахождений моллюсков рода *Cyrtodaria* в кайнозойских отложениях Северной Евразии и Исландии.

возраст отложений, вмещающих раковины циртодарий. По изученным видам возможно выделение трех биостратиграфических подразделений в разрезах плиоцена-голоцена от Белого моря до Таймырского полуострова — слоев с моллюсками, позволяющих более подробно различать отложения плиоцена-голоцена Российской Арктики.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате изучения коллекций, а также литературных сведений о циртодариях Арктики авторы пришли к выводу о необходимости вновь описать некоторые наиболее значимые виды. Это особенно актуально в связи с возникшими сомнениями относительно стратиграфической значимости этой группы моллюсков.



Рис. 2. Схема расположения элементов строения раковин моллюсков рода *Cyrtodaria* и параметров их измерений: *a* — вид с наружной стороны правой створки, *б* — вид с внутренней стороны правой створки, *в* — вид с внутренней стороны левой створки, *г* — вид с боку правой створки: LS — длина раковины, WS — ширина раковины, HS — высота раковины, LMS1 — длина переднего мускульного отпечатка, WMS1 — ширина переднего мускульного отпечатка, LMS2 — длина заднего мускульного отпечатка, WMS2 — ширина заднего мускульного отпечатка, DCR — расстояние между концентрическими кольцами на наружной стороне раковины (макс.), TS — толщина раковины, LLL — длина замочного углубления (или лопасти), HLL — ширина замочного углубления (или лопасти).

В статье используются сокращения основных элементов строения раковин моллюсков рода *Cyrtodaria* и параметров их измерений (рис. 2). Коллекция изученных моллюсков хранится в музее ЗАО «Поляргео» (Санкт-Петербург). Ниже приводятся систематические описания моллюсков.

Семейство Hiatellidae, Gray, 1824

Род *Cyrtodaria* Reuss, 1801

***Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839)**

Фотоготабл. I, фиг. 1, 3–5, 7–8

Glycymeris angusta Nyst et Westendorp, 1839, стр. 4, табл. 1, фиг. 1; *Glycymeris angusta* Wood, 1857, стр. 291, табл. 29, фиг. 2; *Cyrtodaria angusta* Schlessch, 1924, стр. 16, табл. VI, фиг. 3; *Cyrtodaria angusta* Strauch, 1972, текстовая табл. 17, табл. 7, фиг. 10–16, табл. 8, фиг. 1–20, стр. 90–92; non *Cyrtodaria angusta sachsi* Мерклин и др., 1979, стр. 38–39, табл. V, фиг. 1–3; *Cyrtodaria angusta* Гладенков и др., 1980, стр. 58, табл. X, фиг. 17–21; non *Cyrtodaria angusta* Гладенков и др., 1980, стр. 58, табл. XI, фиг. 1, 3 = *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov.; non *Cyrtodaria angusta* Гладенков и др., 1980, стр. 58, табл. XI, фиг. 2, 4, 5 = *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951; *Cyrtodaria angusta* Janssen et al., 1984, стр. 151, табл. 88, фиг. 221; *Cyrtodaria angusta* Marquet, 2005, стр. 94, табл. XXXXX, фиг. 2; *Cyrtodaria angusta* Крылов, Гусев, 2010, рис. 7, фиг. 1.

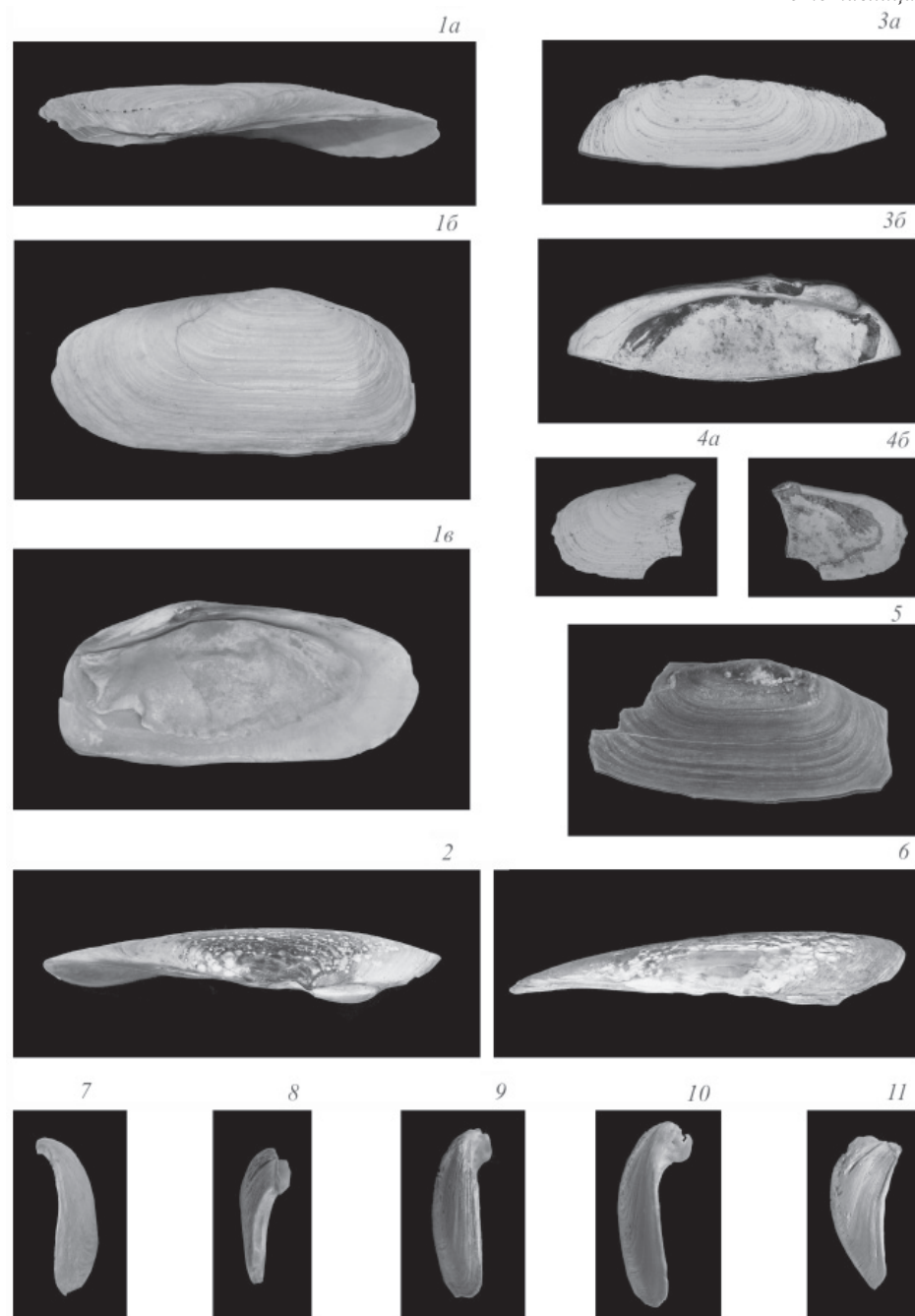
Лектотип. Левая створка раковины ((Nyst, Westendorp, 1839), табл. 1, фиг. 1), формация Скальд, с. Виньянегем, р-н г. Антверпен, Бельгия, колл. П.Х. Ниста и Г.Д. Вестендорпа, 1839 г.

Материал: 1 раковина хорошей сохранности, 4 поврежденные раковины, 2 замка.

Диагноз. Раковина слабовыпуклая, средних размеров, с округло-треугольным слабовыпуклым спинным краем и прямым в центре и слабозакругленным с боков тонким брюшным краем, узким передним мускульным отпечатком и выдающимся вперед выступом на переднем мускульном отпечатке на уровне меньше половины ширины раковины и широкой задней краевой каймой на внутренней стороне раковины. Ширина передней части раковины немного меньше ширины ее задней части.

Описание. Раковина равностворчатая, слабовыпуклая, округло-прямоугольных очертаний, вытянута в продольном направлении ($LS/WS = 2,2$), средних размеров, сверху покрыта частыми хорошо выраженными тонкими концентрическими ребрами. Спинной край раковины округло-треугольный и слабовыпуклый, брюшной край в центре — прямой, а с боков — слабозакругленный, тонкий. Угол А около 150° . Замок циртодонтный, укороченный, небольшой; макушка — широкая, немного выдается вперед. Мускульные отпечатки призматических очертаний, приближены к боковым краям раковины. Передний мускульный отпечаток узкий с выдающимся вперед выступом на уровне меньше половины ширины раковины. Задний мускульный отпечаток узкий, доходит до заднего внутреннего края внутренней краевой каймы раковины. Ширина передней части раковины немного меньше ширины ее задней части. Передняя краевая кайма на внутренней стороне раковины узкая, задняя — широкая. Боковая кайма на внутренней стороне раковины в передней и задней частях раковины различается по ширине.

Размеры (в мм). X-1 (левая створка): $WS = 18$, $HS = 3$, $WMS2 = 15$, $DCR = 0,5$, $TS = 1$; X-2 (правая створка): $HS = 6$, $LLL = 2,0$, $HLL = 13$, $WMS1 = 20$, $WMS2 = 25$, $DCR = 1$, $TS = 2$; X-3 (левая створка): $HS = 6$, $LLL = 2,5$, $DCR = 1$, $TS = 1,5$; X-4 (левая створка): $LS = 67$, $WS = 30$, $HS = 7$, $LLL = 2,5$, $HLL = 15$, $LMS1 = 22$, $WMS1 = 20$, $LMS2 = 5$, $WMS2 = 27$, $DCR = 1$, $TS = 2$.



Фиг. 1. *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839). Целая раковина, X-4 ($\times 1$): *a* — вид со спинного края, *б* — вид снаружи, *в* — вид изнутри. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, цоколь 60-метровой террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Фиг. 2. *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951. Целая раковина, Z-2 (×1), неотип: вид со спинного края. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, р. Матусевича, правый берег реки, цоколь 80 м морской террасы, обн. 8, обр. 25а, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Фиг. 3. *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839). Поврежденная раковина, X-2 (×1): а — вид снаружи, б — вид изнутри. Нижний плиоцен, занклский ярус, Югорский полуостров, колвинская свита, р. Б. Ою, проба 8801А-16, сборы А.С. Букасса, 2013 г.

Фиг. 4. *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839). Поврежденная раковина, X-1 (×1): а — вид снаружи, б — вид изнутри. Нижний плиоцен, занклский ярус, Югорский полуостров, колвинская свита, р. Б. Ою, проба 8248-09, сборы А.В. Бартовой, 2013 г.

Фиг. 5. *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839). Поврежденная раковина, X-3 (×1,5): вид со спинного края. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Комсомолец, побережье в северной части острова, сборы В.С. Зархидзе, 1981 г.

Фиг. 6. *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951. Поврежденная раковина, Z-3 (×1): вид со спинного края. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, правый берег реки, цоколь 70–80-метровой морской террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Фиг. 7. *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1843). Целая раковина, X-4 (×1): вид спереди. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Комсомолец, побережье в северной части острова, сборы В.С. Зархидзе, 1981 г.

Фиг. 8. *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1843). Поврежденная раковина, X-2 (×1,5): а — вид снаружи, б — вид изнутри. Нижний плиоцен, занклский ярус, Югорский полуостров, колвинская свита, р. Б. Ою, проба 8801А-16, сборы А.В. Букасса, 2013 г.

Фиг. 9. *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951. Целая раковина, Z-2 (×1), неотип: вид спереди. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, р. Матусевича, цоколь 80 м морской террасы, обн. 8, обр. 25а, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Фиг. 10. *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951. Поврежденная раковина, Z-3 (×1): вид спереди. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, цоколь 70–80 м морской террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Фиг. 11. *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov. Целая раковина, X-19 (×1): вид спереди. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, цоколь 50-метровой морской террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Сравнение. От *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793) и *C. jensiseae* (Sachs, 1951) этот вид отличается: другим соотношением длины раковины к ее ширине, слабой выпуклостью раковины, округло-треугольным слабовыпуклым спинным краем с более тупым углом, более резкими concentрическими ребрами, очертаниями передней части раковины, большей шириной краевой каймы у брюшного края на внутренней стороне раковины.

Замечания. Описанный вид был выделен П.Х. Нистом и Г.Д. Вестендорпом (Nyst, Westendorp, 1839) из нижнеплиоценовых отложений Бельгии. С.В. Вуд (Wood, 1857) отмечал находки этого вида в плиоценовых отложениях Англии (Кораллиновый и Красный Клар). Раковины моллюсков *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1839) были обнаружены в отложениях занклского-пьяченского ярусов Нидерландов (Janssen et al., 1984; Wijnker et al., 2008). В работе Р. Марке (Marquet, 2005) был установлен лектотип *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1839) и отмечается, что моллюски этого вида широко распространены в отложениях миоцена-плиоцена Бельгии, миоцена Нидерландов и Западной Германии. А.А. Слупиком и соавторами (Slupik et al., 2007) аналогичные раковины найдены в разрезе формации Маасслуис (гелазский ярус), вскрытой скважиной на буровой площади Шельфоек (Нидерланды).

Раковины *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) из отложений формации Тьёднес Северной Исландии (гелазский ярус) изображены в работах Х. Шлёша (Schlesch, 1924), Г. Штрауха (Strauch, 1972), Ю.Б. Гладенкова, П. Нортон и Г. Спайка (1980). В работе Р.Л. Мерклина, В.С. Зархидзе и Л.Б. Ильиной (1979) к *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) отнесены два подвида: *C. angusta sachsi* (Merklin, Zarhidze, 1979) и *C. angusta jenisseae* Мерклин, Зархидзе, 1979 из отложений кайнозоя севера Архангельской области. Эти подвиды отличаются: соотношениями длины раковины к ее ширине, различной шириной краевой каймы во внутренней части раковины и различной толщиной раковин. По мнению авторов, они принадлежат к двум разным самостоятельным видам: *Cyrtodaria sachsi* (Merklin, Zarhidze, 1979) и *C. jenisseae* Sachs, 1951, отличным от *C. angusta* (Nyst, Westendorp, 1839). Позднее раковины этого вида были найдены авторами в старой коллекции геологов НИИГА, собранной из разрезов на островах Северной Земли. Определение было подтверждено Р. Марке и А.В. Крыловым путем непосредственного сравнения образцов с раковиной *C. angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) из отложений нижнего плиоцена Бельгии. Следует отметить, что этот вид был обнаружен в отложениях колвинской свиты (заклский ярус) на Югорском полуострове в разрезах р. Большая Ою. Раннеплиоценовый возраст этих отложений подтвержден абсолютным датированием раковин. В работе (Alexanderson et al., 2014) приводится изображение одного обломка раковины циртодари, отнесенного С. Фундером к *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) из разреза р. Б. Балахня (п-ов Таймыр). Однако изображенный в этой работе обломок раковины на основании наличия следующих характерных черт: удлинено-эллиптической слабовыпуклой раковины, отдаленных друг от друга концентрических ребер раковины и слабовыраженного короткого тонкого заднего мускульного отпечатка, — вероятно, принадлежит к *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793).

Описанный вымерший вид, вероятно, имеет центральноевропейское атлантическое происхождение (самые древние его находки зафиксированы в отложениях миоцена Бельгии и Германии) (Marquet, 2005). В Арктике он имеет ограниченное распространение и является видом-мигрантом (Strauch, 1972), встречающимся в отложениях плиоцена Исландии и западной части Российской Арктики (до арх. Северная Земля) (Крылов, Гусев, 2010). Вероятно, он происходит от *Cyrtodaria parva* (Speyer, 1866) (некоторые считают подвидом этого вида — *Cyrtodaria angusta parva* Speyer, 1866), известного из отложений олигоцена Западной Европы (Strauch, 1972). От *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1839), вероятно, происходит вид *Cyrtodaria siliqua* (Speyer, 1793) — моллюски, широко распространенные в отложениях нижнего эоплейстоцена Исландии (Schlesch, 1924; Strauch, 1972), плиоцена — позднего голоцена Гренландии (Simonarson, 1974; Slupik et al., 2007) и среднего неоплейстоцена (?) Таймыра (Alexanderson et al., 2014).

Изменчивость. У представителей этого вида установлены следующие изменения внутривидового уровня (в определенных пределах): длина и выпуклость раковины, ширина краевой каймы внутри раковины, степень выпуклости макушки и ширина мускульных отпечатков, ширина и очертания задней части раковины.

Распространение. Нижний эоплейстоцен Исландии, миоцен — верхний плиоцен Западной Европы, нижний плиоцен Восточной Европы, верхний плиоцен Северной Сибири.

Местонахождение. Исландия, нижний эоплейстоцен, гелазский ярус, формация Тьёднес, п-ов Тьёднес. Западная Европа. Нижний миоцен — верхний плиоцен Бель-

гии: аквитанский ярус, формация Эдегем; бурдигальский-серравальский ярус, пачка Антверпен; торгонский-мессинский ярусы, пачка Деурне; занклский-пьяченский ярусы, район г. Антверпен, формации Каттендьяк – Лилло и р. Шельда. Нижний плиоцен — нижний эоплейстоцен Нидерландов: занклский-пьяченский ярусы, формация Оостерхаут (шахта у с. Лангенбуум); гелазский ярус — формация Маасслуис (буровая площадь Шельфоек). Нижний миоцен — нижний плиоцен Германии: бурдигальский ярус, пачка Киль (пески у г. Киль) и пачка Зондершот; занклский ярус, разрез по скважине в районе г. Клеве. Нижний — верхний плиоцен Англии, занклский, пьяченский ярусы, Кораллиновый-Красный Краги, графства Эссекс и Саффолк. Восточная Европа. Нижний плиоцен Югорского п-ова, колвинская свита, р. Большая Ою. Северная Сибирь. Верхний плиоцен арх. Северная Земля: пьяченский ярус — мыс Октябрьский на о. Октябрьской Революции, цоколь 50-метровой морской террасы (сборы партии под руководством Б.Х. Егизарова, 1953 г.); верхний плиоцен — разрезы побережья в северной части о. Комсомолец, слои с *Astarte borealis* (Schumacher) и *Mya truncata* (Linne), сборы В.С. Зархидзе, 1981 г.

***Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951**

Фототабл. I, фиг. 6, 9, фототабл. II, фиг. 1, 3, 4

Cyrtodaria jensiseae Sachs, 1951, стр. 132–133, табл. I, фиг. 7,

Cyrtodaria jensiseae Strauch, 1972, текстовая табл. 17, табл. 7, фиг. 8–9, стр. 92–93,

Cyrtodaria angusta jensiseae Мерклин, Зархидзе, 1979, стр. 39, табл. V, фиг. 4–7,

Cyrtodaria angusta Гладенков и др., 1980, стр. 58, табл. XI,

фиг. 2, 4, 5 = *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951,

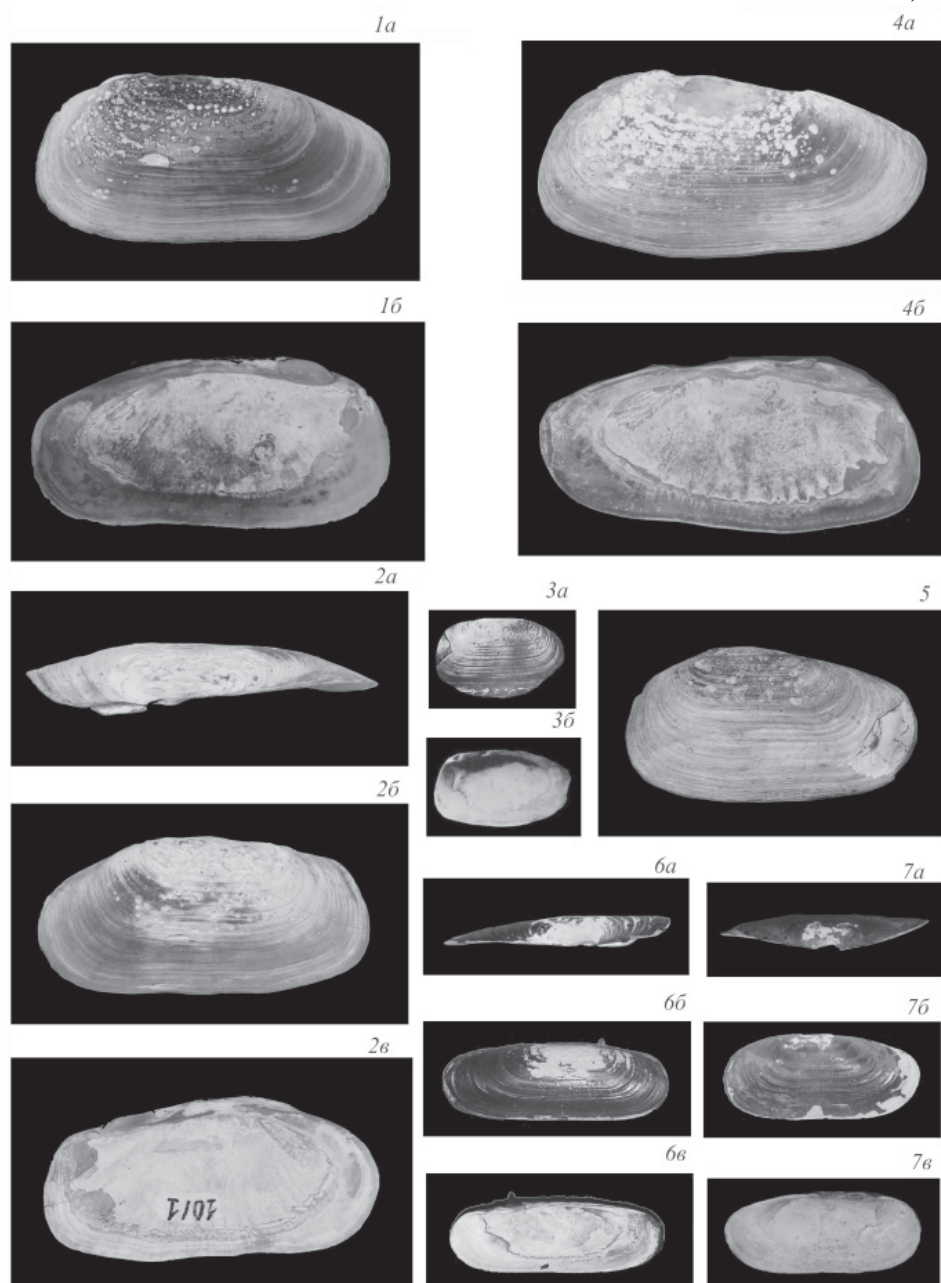
Cyrtodaria jensiseae Гусев и др., 2012, рис. 2.

Neomun. Левая створка целой раковины, Z-1, музей ЗАО «Поляргео», пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, р. Матусевича, цоколь морской террасы высотой 80 м, сборы партии под рук. Б.Х. Егизарова, 1951 г.

Материал: 5 раковин хорошей сохранности и 12 поврежденных раковин.

Диагноз. Раковина слабовыпуклая, средних и крупных размеров, с полуэллиптическим сильновыпуклым спинным краем и прямым в центре и сильнозакругленным с боков толстым брюшным краем, широким передним мускульным отпечатком и выдающимся вперед выступом на переднем мускульном отпечатке на уровне половины ширины раковины и широкой задней краевой каймой на внутренней стороне раковины. Ширина передней части раковины в полтора раза меньше ширины ее задней части.

Описание. Раковина равностворчатая, слабовыпуклая, удлинненно-трапециевидная, закруглена, вытянута в продольном направлении ($LS/WS = 2$), средних и крупных размеров, сверху покрыта очень частыми и слабо выраженными тонкими концентрическими ребрами. Спинной край раковины округло-треугольный и слабовыпуклый, брюшной край в центре — прямой и сильнозакругленный с боков, толстый. Угол A около 140° . Замок циртодонтный, удлинненный, небольшой, макушка — широкая, значительно выдается вперед. Мускульные отпечатки призматических очертаний, приближены к боковым краям раковины. Передний мускульный отпечаток широкий, с выдающимся вперед выступом на уровне, равном половине ширины раковины. Задний мускульный отпечаток узкий, значительно не доходит до внутренней краевой каймы раковины. Передняя краевая кайма на внутренней стороне раковины — узкая, задняя — широкая. Боковая кайма на внутренней стороне раковины в передней и задней частях раковины различается по ширине.



Фиг. 1. *Cyrtodaria jenissae* Sachs, 1951. Целая раковина, Z-2 ($\times 1$), неотип: *a* — вид снаружи, *б* — вид изнутри. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, р. Матусевича, цоколь 80-метровой морской террасы, обн. 8, обр. 25а, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Фиг. 2. *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov. Целая раковина, X-18 ($\times 1$), голотип: *a* — вид со спинного края, *б* — вид снаружи, *в* — вид изнутри. Верхний плиоцен, пьяченский ярус,

арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, цоколь 50-метровой морской террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егиазарова, 1953 г.

Фиг. 3. *Cyrtodaria jennisae* Sachs, 1951. Целая раковина ($\times 0,3$): а — вид снаружи, б — вид изнутри. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, Югорский п-ов, падимейская свита, р. Нядейтивис, колл. В.С. Зархидзе, 1979 г.

Фиг. 4. *Cyrtodaria jennisae* Sachs, 1951. Поврежденная раковина, Z-3 ($\times 1$): а — вид снаружи, б — вид изнутри. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, арх. Северная Земля, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, правый берег реки, цоколь 70–80-метровой морской террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егиазарова, 1951 г.

Фиг. 5. *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov. Поврежденная раковина, паратип X-18 ($\times 1$): вид снаружи. Верхний плиоцен, пьяченский ярус, Югорский п-ов, р. Янгарей (бассейн р. Коротых), цоколь террасы около 20 м, сборы М.А. Белкина, 1956 г.

Фиг. 6. *Cyrtodaria kurriana* Dunker, 1862. Целая раковина Z-5 ($\times 1$): а — вид со спинного края, б — вид снаружи, в — вид изнутри. Верхний голоцен, Югорский п-ов, 0,8 км к западу от устья р. 2-я Песчаная, отложения современного пляжа, проба 9195, сборы А.В. Крылова, 2013 г.

Фиг. 7. *Cyrtodaria kurriana* Dunker, 1862. Целая раковина, обр. 188 А-Б ($\times 1$): а — вид со спинного края, б — вид снаружи, в — вид изнутри. Верхний голоцен, Новосибирские острова, о. Большой Ляховский, мыс Малый Ванькин, сборы партии Г.В. Туруфанова, 1972 г.

Размеры (в мм). Z-1 (левая створка): LS = 53,5, WS = 26,5 HS = 8, DCR = 0,3, TS = 1; Z-2 (левая створка): LS = 67, WS = 32, HS = 10, LMS1 = 21, WMS1 = 15, LMS2 = 10, WMS2 = 20, DCR = 0,2, TS = 0,7; Z-3 (левая створка): LS = 72, WS = 34, HS = 11, LMS1 = 21, WMS1 = 12, LMS2 = 12, WMS2 = 21, DCR = 0,2, TS = 2.

Сравнение. От *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793), *C. angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) и *C. rossica* Krylov et al., sp. nov. описанный вид отличается: иным соотношением длины раковины к ее ширине, округло-треугольным слабовыпуклым спинным краем, более выпуклой макушкой, менее резкими концентрическими ребрами, прямым в центре и сильновогнутым с боков брюшным краем раковины, более коротким задним мускульным отпечатком, ширина передней части раковины в полтора раза меньше ширины задней части раковины, а также большей шириной краевой каймы у брюшного края на внутренней стороне раковины.

Замечания. Этот вид был выделен известным советским исследователем В.Н. Саксом (1951), по мнению которого он отличается следующими признаками: продолговатой, массивной почти овальной формой раковины (индекс высоты раковины составляет $48,36 \pm 0,15$), суживающейся к переднему концу, с почти не выдающейся макушкой, смещенной к заднему концу и отстоящей от него на $3/7$ длины раковины; передний край вытянут и слегка заострен, задний — тупой, усеченный и более высокий; тонкими концентрическими ребрами, отпечатком переднего аддуктора, вытянутым в длину и расширяющимся к переду, отпечатком заднего аддуктора, находящегося у самого заднего конца раковины, под ним небольшой мантийный синус. В.Н. Саксом было осуществлено сравнение этого нового вида со всеми известными видами циртодарий Арктики и установлен голотип — целая раковина из каргинского (?) горизонта разреза р. Большая Хета, коллекция М.К. Калинко.

В работе В.Н. Сакса (1951) достоверно принадлежащей к этому виду может считаться лишь раковина голотипа. Позднее две раковины, характеризующиеся аналогичным морфологическим строением из отложений формации Тьеднес (нижний эоплейстоцен Исландии) были упомянуты и изображены в работе Ф. Штрауха (Strauch, 1972). С большой долей достоверности устанавливается принадлежность к

этому виду циртодарий, описанных и частично изображенных в работе Р.Л. Мерклина, В.С. Зархидзе и Л.Б. Ильиной (1979) (данные авторы рассматривали этот вид в качестве подвида *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839)) из отложений палимеевской свиты (верхний палеоцен) Припечорья, Большеземельской тундры и Югорского полуострова. Нами были изучены многочисленные раковины этого вида в коллекциях геологов НИИГА из разрезов цоколей морских террас мыса Октябрьский и р. Матусевича (о. Октябрьской Революции). Также одна раковина была найдена в разрезе у пос. Воронцово в цоколе морской террасы (Енисейский залив) (Гусев и др., 2012).

Данный вид часто упоминается в многочисленных публикациях, но при этом изображения и описания раковин этого вида в них — отсутствуют, что делает дискуссионной видовую принадлежность упоминаемых циртодарий. В работах В.Н. Сакса (1951; 1959) и С.Л. Троицкого (1966) говорится о находках этого вида в нижнем течении Енисея, а также по рекам Танама, Пясине, Хатанге. Сомнительным также является отнесение разными авторами (Гудина и др., 1968; Сакс, 1951; Троицкий, 1966) отложений, содержащих остатки этого вида, к казанцевскому и каргинскому горизонтам (что, впрочем, позднее критиковалось и В.Н. Саксом (1959)) — за которые, возможно, принимались отложения миоцена-эоплейстоцена, обнажающиеся в цоколях позднечетвертичных морских террас Таймырского полуострова. Позднее В.С. Зархидзе (1983) в Российской Арктике было определено стратиграфическое положение песчаных отложений с конкрециями и многочисленными циртодариями, которые получили название «циртодариевые слои». К *Cyrtodaria jenisseae* Sachs, 1951 по мнению В.Н. Сакса (1951), принадлежат циртодарии, ранее определенные М.А. Лавровой как *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793) из отложений кайнозоя Югорского п-ова, о. Колгуев и севера Сибири (Енисейский залив, р. Большая Хета и р. Хатанга). Согласно В.И. Гудиной и соавторам (1968) раковины этого вида были обнаружены на р. Агапе (п-ов Таймыр). В публикациях Н.Г. Загорской (Четвертичные..., 1959), А.С. Красноженов, О.Ф. Барановской и В.С. Зархидзе (1982) говорится о находках *Cyrtodaria jenisseae* Sachs, 1951 в кайнозойских разрезах залива Клокова (Южный остров Новой Земли) и р. Янгарей (Югорский п-ов).

Ввиду недостаточно подробного описания, сделанного В.Н. Саксом, авторами в данной статье проведено переописание этого вида и сравнение с тремя наиболее близкими к нему видами циртодарий. В связи с неясным местоположением голотипа, нами выделяется неотип этого вида — целая раковина из разреза цоколя 80 м морской террасы р. Матусевича (о. Октябрьской Революции, Северная Земля), сборы партии под рук. Б.Х. Егизарова, 1953 г., изображенная в представленной статье (см. фототаблица I, фиг. 2, 9; фототаблица II, фиг. 1 а, б).

Авторами (Гусев и др., 2012; 2012а) в районе Енисейского залива в цоколях морской террасы у пос. Воронцово, наряду с раковиной неизвестного вида рода *Cyrtodaria*, была найдена раковина *Cyrtodaria jenisseae* Sachs, 1951, которая позднее подверглась абсолютному датированию. Эти исследования показали, что она имеет позднемиоцен-раннепалеоценовый возраст. Это самая древняя находка данного вида. На основании находок раковин, сделанных В.С. Юдиным (ВСЕГЕИ) в отложениях олигоцена о. Бельковский (Новосибирские о-ва), был установлен близкий к нему вид (*Cyrtodaria* sp. 1) (рис. 2), отличный от циртодарий палеогена Шпицбергена и Аляски, который может являться предковым видом *Cyrtodaria jenisseae* Sachs, 1951. В отложениях Северной Земли с раковинами этого вида нами были найдены вымершие моллюски палеоцена-эоплейстоцена родов *Isocrassiana* и *Astarte*. Таким образом, наши-

ми исследованиями подтверждаются предположения В.Н. Сакса (1959), К.Н. Несиса (Nesis, 1965) и Ф. Страуха (Strauch, 1972), что этот вид имеет донеоплейстоценовый (миоцен-эоплейстоценовый) возраст и северо-сибирское арктическое происхождение. Он является характерным для отложений миоцена-плиоцена Российской Арктики.

В разрезах эоплейстоцена Исландии *Cyrtodaria jenisseae* Sachs, 1951 более редкие, чем *Cyrtodaria angusta* (Nyst, Westendorp, 1839), что, возможно, отражает время наибольшего распространения этого вида в Арктике. В это время данный вид был распространен на огромных пространствах от арх. Северная Земля на севере до среднего течения р. Печоры (р. Б. Вольма) и среднего течения р. Хатанги (Таймыр) на юге и от Исландии на западе до бассейна р. Хатанги на востоке. Возможно, данный вид обитал в условиях глобальной регрессии в мелководных условиях прибрежной зоны Арктического бассейна позднего плиоцена — раннего эоплейстоцена.

Таким образом, можно отметить, что описанный вид широко распространен и часто встречается в больших количествах в отложениях миоцена-эоплейстоцена Югорского полуострова, Таймыра и Северной Земли и поэтому может использоваться для стратиграфии и корреляции вмещающих его отложений из этих регионов. В восточной части Российской Арктики и на севере Северной Америки находки этого вида неизвестны, а в районах западнее границ российского сектора Арктики установлены лишь редкие раковины из нижнего эоплейстоцена Исландии (формация Тьёднес).

Изменчивость. У представителей описанного вида варьируют (в определенных пределах): длина раковины, ширина краевой каймы во внутренней части раковины, степень выпуклости, форма макушки и ширина мускульных отпечатков, ширина и очертания задней части раковины.

Распространение. Нижний эоплейстоцен Исландии, верхний плиоцен крайнего северо-востока Восточной Европы (Припечорье, Большеземельская тундра, Югорский полуостров), верхний миоцен-плиоцен севера Сибири (Енисейский залив, арх. Северная Земля).

Местонахождение. Исландия: нижний эоплейстоцен, гелазский ярус, формация Тьёднес: п-ов Тьёднес, колл. Ф. Страуха, 1972 г.; Ю.Б. Гладенкова, 1979 г. Восточная Европа, верхний плиоцен Припечорья: пьяченский ярус, падимейская свита, р. Б. Вольма, сборы Р.Б. Крапивнера. Верхний плиоцен Большеземельской тундры: пьяченский ярус, падимейская свита, р. Шапкина и р. Падымейтывис, колл. В.С. Зархидзе, 1979 г. Верхний плиоцен Югорского п-ова: занклский ярус, колвинская свита, р. Коротаиха, колл. В.С. Зархидзе, 1979 г. Север Западной Сибири, верхний миоцен — нижний плиоцен Енисейского залива, санчуговская (?) свита у пос. Воронцово, устье Енисея, санчуговская (?) свита, р. Большая Хета, колл. М.К. Калинин, 1951 г. Верхний плиоцен арх. Северная Земля: о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, цоколь 70–80-метровой морской террасы, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г., р. Матусевича, цоколь 80-метровой морской террасы, обн. 8, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1953 г.

Cyrtodaria rossica sp. nov.

Фототабл. I, фиг. 11, фототабл. II, фиг. 2, 5

Cyrtodaria angusta Гладенков и др., 1980, стр. 58, табл. XI, фиг. 1, 3,

Cyrtodaria aff. *insperata* Крылов, 2008, стр. 62, рис. 3, фиг. 1.

Голотип. Левая створка целой раковины, X-19, музей ЗАО «Поляргео», пьяченский ярус, мыс Октябрьский, о. Октябрьской Революции, арх. Северная Земля, абс. высота 50 м, сборы партии под рук. Б.Х. Егiazарова, 1951 г.

Паратип. Левая створка поврежденной раковины, X-17, музей ЗАО «Поляргео», пьяченский ярус, падимейская свита, р. Янгарей (бассейн р. Коротаихи), Пай-Хой, цоколь террасы около 20 м, сборы М.А. Белкина, 1956 г.

Материал: 6 раковин хорошей сохранности и 4 поврежденные раковины.

Диагноз. Раковина сильновыпуклая, средних и небольших размеров, с округло-треугольным сильновыпуклым спинным краем и полуэллиптическим слабо закругленным с боков, тонким брюшным краем, широким передним мускульным отпечатком, выдающимся вперед выступом на переднем мускульном отпечатке на уровне половины ширины раковины и узкой задней краевой каймой на внутренней стороне раковины. Ширина передней части раковины равна ширине ее задней части.

Описание. Раковина равносторчатая, сильновыпуклая, удлинненно-эллиптическая, вытянута в продольном направлении ($LS/WS = 1,8$), округло-прямоугольных очертаний, средних и небольших размеров, сверху покрыта очень частыми и слабо выраженными тонкими концентрическими ребрами. Спинной край раковины округло-треугольный и сильновыпуклый, брюшной край в центре — полуэллиптический, слабозакругленный с боков, тонкий. Угол A около 150° . Замок циртодонтный, удлинненный, небольшой, макушка — широкая, значительно выдается вперед. Мускульные отпечатки призматических очертаний, приближены к боковым краям раковины. Передний мускульный отпечаток — узкий, с выдающимся вперед выступом на уровне, равном половине ширины раковины. Задний мускульный отпечаток узкий, немного не доходит до задней внутренней краевой каймы раковины. Ширина передней части раковины равна ширине ее задней части. Передняя краевая кайма на внутренней стороне раковины — узкая, задняя — широкая, боковая — в передней и задней частях раковины имеет одинаковую ширину.

Размеры (в мм). X-16 (левая створка): $LS = 22,5$, $WS = 13$, $HS = 5$, $LMS1 = 0,7$, $WMS1 = 4$, $LMS2 = 4$, $WMS2 = 5$, $DCR = 0,1$, $TS = 0,5$; X-18 (правая створка): $LS = 53,5$, $WS = 26,5$, $53,5$, $HS = 8$, $DCR = 0,3$, $TS = 1$; X-19 (левая створка): $LS = 64$, $WS = 30$, $HS = 10$, $LMS1 = 20$, $WMS1 = 10$, $LMS2 = 12$, $WMS2 = 25$, $DCR = 0,3$, $TS = 0,5$.

Сравнение. От *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793), *C. angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) и *C. jenseae* Sachs, 1951 новый вид отличается: иным соотношением длины раковины к ее ширине; более сильновыпуклой раковинной, более крупной и выпуклой макушкой раковины; округло-треугольным слабывыпуклым спинным краем с более острым углом и полуэллиптическим брюшным краем; более выпуклой макушкой; одинаковой шириной передней и задней частей раковины; более узкой и тонкой краевой каймой у брюшного края раковины на ее внутренней стороне.

Замечания. В коллекциях предыдущих исследователей нами были обнаружены раковины моллюсков, которые отличаются по морфологии от *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793), *C. angusta* (Nyst, Westendorp, 1839) и *C. jenseae* Sachs, 1951 — арктических циртодарий с толстыми и крупными раковинами. А.В. Крыловым (2008) они были отмечены еще ранее из кайнозойских отложений Югорского полуострова и условно включались в состав *Cyrtodaria aff. insperata* (Merklin, 1974), хотя, как показывают более поздние исследования, отличаются более выпуклым спинным краем раковины, более выпуклой макушкой, более узкой и четкой краевой каймой на внутренней стороне раковины и менее резкими концентрическими ребрами. Две подобные раковины, также отличающиеся этими признаками, были обнаружены в ходе изучения музейной коллекции ООО «Полярноуралгеология». Кроме того, две

раковины, характеризующиеся сходными признаками, были изображены в работе Ю.Б. Гладенкова, П. Нортон и Г. Спайка (1980), а также присутствуют в сборах геологов НИИГА из разреза верхнего плиоцена на мысе Октябрьский (о. Октябрьской Революции, арх. Северная Земля).

Описанный новый вид, вероятно, имеет северо-сибирское арктическое происхождение и происходит от ранних представителей *Cyrtodaria jensense* Sachs, 1951 распространенных в отложениях верхнего плиоцена — нижнего эоплейстоцена Исландии и Тимано-Уральского региона, Таймыра и Северной Земли.

Изменчивость. У различных моллюсков внутри этого вида наблюдаются изменения следующих морфологических черт: длины и толщины раковины, степени выраженности и ширины макушки и ширины мускульных отпечатков.

Распространение. Нижний эоплейстоцен Исландии, верхний плиоцен Восточной Европы и верхний плиоцен Северной Сибири.

Местонахождение. Исландия: нижний эоплейстоцен, гелазский ярус, колл. Ю.Б. Гладенкова, 1979 г. Восточная Европа: верхний плиоцен Югорского полуострова, пьяченский ярус, падимейская свита, р. Янгарей, цоколь морской террасы высотой около 20 м, сборы М.А. Белкина, 1956 г. Северная Сибирь: верхний плиоцен арх. Северная Земля, пьяченский ярус, о. Октябрьской Революции, мыс Октябрьский, цоколь морской террасы высотой 50 м, сборы партии под рук. Б.Х. Егизарова, 1953 г.

***Cyrtodaria kurriana* Dunker, 1861**

Фототабл. II, фиг. 6–7

Cyrtodaria kurriana Dunker, 1861, стр. 38,

Cyrtodaria kurriana Сакс, 1951, стр. 132–133, табл. I, фиг. 7,

Cyrtodaria kurriana Петров, 1966, стр. 234–235, табл. XX, фиг. 7–10,

Cyrtodaria kurriana Strauch, 1972, текстовая табл. 17, табл. 9, фиг. 10–16, стр. 90–92,

Cyrtodaria kurriana Simonarson, 1974, табл. I, фиг. 4–6,

Cyrtodaria kurriana Simonarson et al., 1998, фиг. 31-a–b, 32–33, с. 62–64.

Голотип. Целая раковина из современных отложений Японии изображена в работе В. Дункера и хранится в музее Естественной истории (Германия, г. Берлин).

Материал: 3 раковины хорошей сохранности.

Диагноз. Раковина слабовыпуклая, небольших размеров, с полуэллиптическим слабовыпуклым спинным краем и прямым и сильно закругленным с боков тонким брюшным краем, широким передним мускульным отпечатком, выдающимся вперед выступом на переднем мускульном отпечатке на уровне менее половины ширины раковины и широкой задней краевой каймой на внутренней стороне раковины. Ширина передней части раковины равна ширине ее задней части.

Описание. Раковина равносторонняя, слабовыпуклая, эллиптическая, вытянута в продольном направлении ($LS/WS = 1,8$), небольших размеров, сверху покрыта резкими тонкими концентрическими ребрами. Спинной край раковины полуэллиптический и сильновыпуклый, брюшной край в центре — прямой, с боков сильно закруглен, тонкий. Угол А около 160° . Замок циртодонтный, укороченный, небольшой, макушка широкая, значительно выдается вперед. Мускульные отпечатки призматических очертаний, приближены к боковым краям раковины. Передний мускульный отпечаток — узкий, с выдающимся вперед выступом на уровне меньше половины ширины раковины. Задний мускульный отпечаток узкий, немного не доходит до заднего края внутренней краевой каймы раковины. Ширина передней части раковины равна шири-

не задней ее части. Передняя краевая кайма на внутренней стороне раковины узкая, задняя — широкая, боковая равна по ширине в передней и задней частях раковины.

Размеры (в мм). Y-1 (правая створка): LS = 26, WS = 12, HS = 3, LMS1 = 7, WMS1 = 6, LMS2 = 4, WMS2 = 5, DCR = 0,1, TS = 0,2; Y-2 (правая створка): LS = 37, WS = 12, HS = 3, LMS1 = 7, WMS1 = 6, LMS2 = 4, WMS2 = 10, DCR = 0,1, TS = 0,3; Y-3 (левая створка): LS = 37, WS = 12, HS = 3, LMS1 = 7, WMS1 = 6, LMS2 = 4, WMS2 = 10, DCR = 0,1, TS = 0,3.

Сравнение. От *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793) и *Cyrtodaria sachsi* (Merklin, Zarhidze, 1979) вышеописанный вид отличается: иным соотношением длины и ширины раковины; более плоской и тонкой раковиной; широкой, плоской макушкой; более широкими резкими концентрическими ребрами; полуэллиптическим спинным краем раковины; прямым в центре и сильновогнутым с боков брюшным краем раковины; более длинным задним мускульным отпечатком; шириной передней части раковины, равной ширине ее задней части; большей шириной краевой каймы у брюшного края на внутренней стороне раковины.

Замечания. Данный вид был выделен В. Дункером (Dunker, 1861) из современных отложений Японии. В современных осадках морей Северной Европы, Гренландии и Российской Арктики он отмечался многими исследователями (Гуков, 2001; England, Furze, 2008; Nesis, 1965; Simonarson, 1974; Strauch, 1972 и др.). В ископаемом состоянии описан из нижнеэоплейстоценовых отложений формации Кэйп Кобенхавн, из района одноименного мыса на севере Гренландии (Simonarson et al., 1998). Этот вид В.Н. Саксом (1951) описывался из отложений казанцевского горизонта (верхний неоплейстоцен) нижнего течения р. Енисей (Западная Сибирь), О.М. Петровым (1966) из отложений крестовской свиты — валькантленских слоев (среднего-верхнего неоплейстоцена Чукотки) и А.Э. Базиляном и П.А. Никольским (2007) из разреза мыса Каменный позднего неоплейстоцена о. Новая Сибирь (Новосибирские о-ва). Кроме того, в ходе изучения арктических циртодарий впервые отмечаются два новых местонахождения моллюсков *Cyrtodaria kurriana* Dunker, 1861 из отложений позднего голоцена: в 1 км к западу от устья р. 2-я Песчаная (Западный Пай-Хой) и район мыса Малый Ванькин (о. Новая Сибирь, арх. Новосибирские о-ва) (см. фототабл. II, фиг. 6–7). К описаниям морфологических черт этого вида, упомянутых в работах предыдущих исследователей, необходимо добавить: небольшие размеры раковин; слабую выпуклость макушки и ширину передней части раковины, равную ширине ее задней части.

Вышеописанный вид, возможно, происходит от *Cyrtodaria sachsi* (Merklin, Zarhidze, 1979) из отложений верхнего плиоцена Большеземельской тундры (Мерклин и др., 1979) и, вероятно, юга Югорского полуострова и имеет арктическое происхождение. Наиболее древние его находки зафиксированы в отложениях нижнего эоплейстоцена Гренландии, хотя существуют непроверенные сведения о его находках в верхнем плиоцене Нидерландов. В настоящее время этот арктический циркумполярный вид широко распространен у берегов Гренландии и Северной Америки (иногда на значительных глубинах). В морях Российской Арктики — чаще всего встречается в небольших количествах на мягких песчаных илах в прибрежной зоне. Данные о распространении *Cyrtodaria kurriana* Dunker, 1861 на севере Восточной Сибири содержатся в работе А.Ю. Гукова (2001).

Изменчивость. У представителей этого вида варьируют: длина раковины, ширина мускульных отпечатков и краевой каймы.

Распространение. Нижний эоплейстоцен — верхний голоцен Гренландии, верхний неоплейстоцен — голоцен Западной Европы, верхний голоцен Восточной Европы, верхний неоплейстоцен — голоцен Северной Сибири, средний неоплейстоцен — верхний голоцен Чукотки, верхний голоцен севера Северной Америки.

Местонахождение. Гренландия, нижний эоплейстоцен, гелазский ярус, формация Кэйп Кобенхавн, мыс Кобенхавн, верхний голоцен. Западная Европа: верхний плейстоцен-голоцен Шпицбергена; верхний голоцен о. Ян Майен. Восточная Европа: верхний голоцен побережья Печерского моря; арх. Новая Земля; Югорский полуостров; верхний голоцен Байдарацкой губы. Север Сибири: верхний голоцен п-ов Ямал, Таймыр, Северная Земля; верхний неоплейстоцен — верхний голоцен Новосибирских островов; верхний неоплейстоцен о. Новая Сибирь; верхний голоцен о. Большой Ляховский (пляж на мысе Малый Ванькин, обр. 188 А, Б, сборы партии Г.В. Туруфанова, 1972 г.); верхний голоцен побережий моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря; средний неоплейстоцен — верхний голоцен Чукотки и Восточной Азии. Верхний голоцен Приморья (устье р. Амур) и Японии. Северная Америка: верхний голоцен Северной Канады; верхний голоцен Восточной Канады (п-ов Лабрадор и о. Ньюфаундленд). Верхний голоцен Исландии и Фарерских островов.

РЕЗУЛЬТАТЫ АБСОЛЮТНОГО ДАТИРОВАНИЯ

В настоящее время дискутируется стратиграфическое значение вида *Cyrtodaria jenniseae* Sachs, 1951. Так, В.И. Астахов (2006), опираясь на мнение С. Фундера (Дания), высказывает сомнения в неоген-эоплейстоценовом возрасте циртодариевых слоев, выделенных когда-то В.С. Зархидзе (1983). Кроме собственно палеонтологического материала, мы располагаем новыми результатами датирования с помощью метода стронциево-изотопной хемотратиграфии (SIS). В одном случае датирована раковина *Cyrtodaria jenniseae* Sachs, 1951 из разреза Воронцово (енисейский север) (Гусев и др., 2012), в другом — раковина *Hiatella rugosa* (Linnaeus) из разреза р. Ою (Пай-Хой), в котором также встречены были раковины *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1839). Результаты датирования приведены в таблице 1, из которой видно, что содержащие циртодарии слои имеют миоценовый — плиоценовый возраст. Таким образом, первыми датировками Sr-изотопным методом подтверждено присутствие неогеновых отложений в разрезе осадочного чехла севера Западной Сибири и Большеземельской тундры.

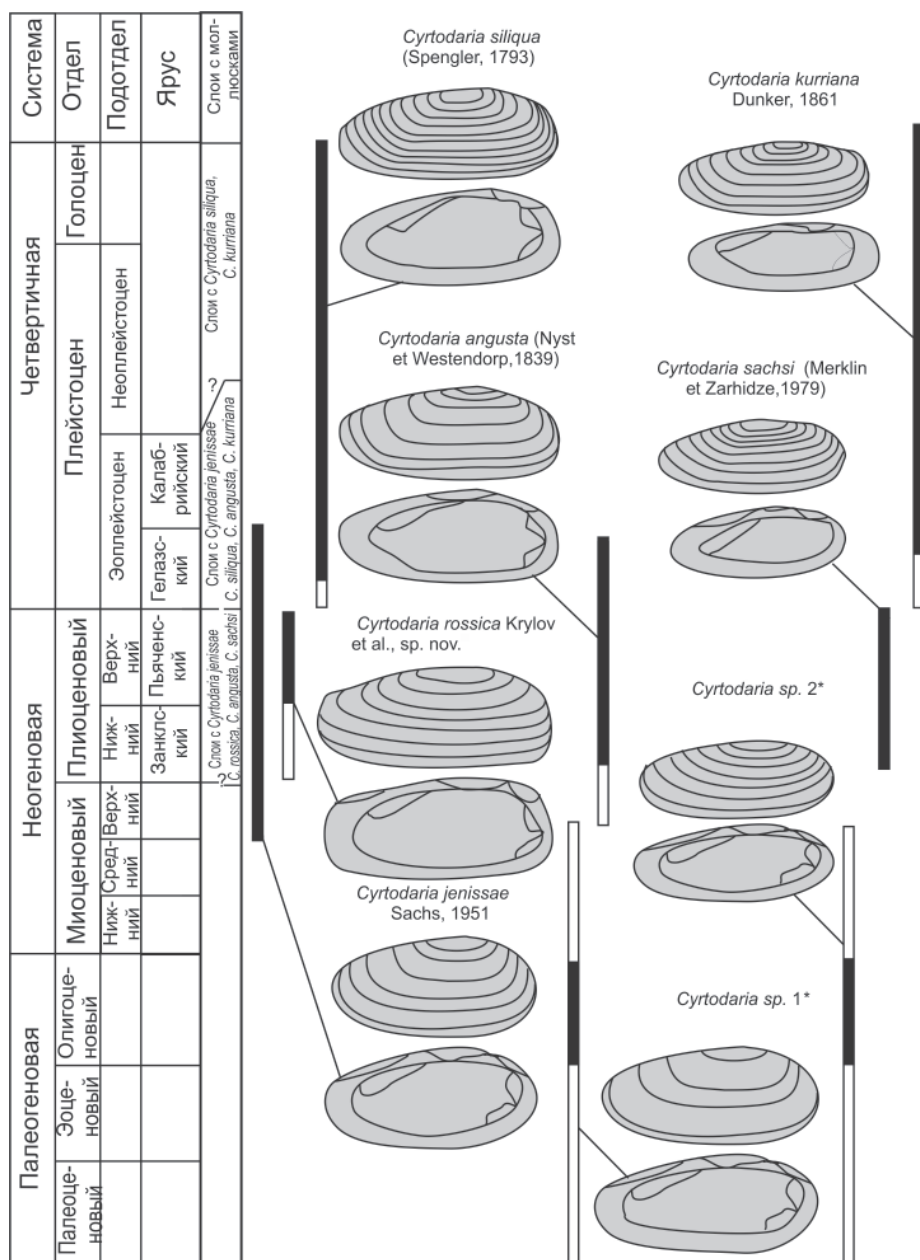
Таблица 1

Результаты определения изотопного состава Sr в образцах карбонатных раковин и оценка их возраста методом SIS

№	№ разреза	Материал датирования	№ образца	Возраст, млн лет SIS	Sr, ppm	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ от 0,709175
1	8801	<i>Hiatella rugosa</i> (Linnaeus)	PG-164	4,90	2375	0,709037
2	0801	<i>Cyrtodaria jenniseae</i> (Sachs)	PG-106	5,65	3116	0,709012

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ревизия известных видов циртодарий из позднекайнозойских отложений Российской Арктики привела к открытию нового вида (*Cyrtodaria rossica* sp. nov.). Используя его описание и фотографии, можно идентифицировать этот вид и из других возможных местонахождений. Нами он определен из коллекций, собранных на Северной Земле и Пай-Хое.



*-по данным С.В. Юдина, сборы из отложений палеогена о. Бельковский, Новосибирские острова, 2012 г.

Рис. 3. Схема расположения разрезов верхнего кайнозоя с моллюсками рода *Cyrtodaria* в верхнем течении р. Большой Ою (Югорский п-ов) (по данным А.В. Бартовой, А.С. Букасса, 2013 г.).

Распространение моллюсков рода *Cyrtodaria* в отложениях Севера

Вид МОЛЛЮСКОВ	Районы					
	Исландия	Припечорье, Большеземельская тундра	Югорский п-ов	П-ов Таймыр	Арх. Северная Земля (о-ва Октябрьской Революции и Комсомолец)	Арх. Новосибирские о-ва (о-ва Бельковский, Бол. Ляховский)
1. <i>Cyrtodaria</i> sp. 1.						P ₃
2. <i>Cyrtodaria</i> sp. 2.						P ₃
3. <i>Cyrtodaria angusta</i> (Nyst et Westendorp, 1839)	Q _E ¹ gl – Q _E ² cal		N ₂ ¹ zan		N ₂ ² pla	
4. <i>Cyrtodaria jensiseae</i> Sachs, 1951	Q _E ¹ gl	N ₂ ² pla	N ₂ ² pla	N ₁ ³ – N ₂ ¹ zan, N ₂ ² pla	N ₂ ² pla	
5. <i>Cyrtodaria rossica</i> sp. nov.	Q _E ¹ gl	N ₂ ² pla			N ₂ ² pla	
6. <i>Cyrtodaria sachsi</i> (Merklin et Petrov, 1979)		N ₂ ² pla				
7. <i>Cyrtodaria siliqua</i> (Spengler, 1793)	Q _E ¹ gl, Q _{HSA3}			Q _{NI}		
8. <i>Cyrtodaria kurriana</i> Dunker, 1861	Q _E gl, Q _{HSA3}		Q _{HSA3}	Q _{HSA3}	Q _{HSA3}	Q _{NIIP} , Q _{HSA3}

Примечание. Буквами обозначен возраст изученных циртодарий: P₃ — олигоцен, N₁³ — верхний миоцен, N₂¹zan — ранний плиоцен, N₂²pla — поздний плиоцен, Q_E¹gl — нижний эоплейстоцен, Q_E²cal — поздний эоплейстоцен, Q_{NI} — ранний неоплейстоцен, Q_{NIIP} — поздний неоплейстоцен, Q_{HSA3} — поздний голоцен.

Изучение распространения других видов циртодарий в разрезах Российской Арктики, а также проведенное датирование подтверждают важное стратиграфическое значение этих моллюсков (табл. 2). Для отложений плиоцена-эоплейстоцена характерными являются четыре вида (рис. 3): *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1839), *C. jensiseae* Sachs, 1951, *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov., *C. sachsi* (Merklin et Zarhidze, 1979); для отложений эоплейстоцена — виды: *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1839), *C. siliqua* (Spengler, 1793), *C. jensiseae* Sachs, 1951, *C. kurriana* Dunker, 1861; для отложений неоплейстоцена-голоцена — два вида: *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793) и *C. kurriana* Dunker, 1861. В миоценовых и олигоценных отложениях Таймыра и Новосибирских островов найдено несколько остатков циртодарий (отличных от вышеупомянутых, но родственных *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951), что позволяет предполагать северосибирское происхождение этой филогенетической ветви арктических циртодарий. Для вида *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951 впервые выделен неотип и сделано его переописание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Астахов В.И. О хроностратиграфических подразделениях верхнего плейстоцена Сибири // Геология и геофизика. 2006. Т. 47. № 11. С. 1207–1220.

- Басилян А.Э., Никольский П.А. Опорный разрез четвертичных отложений мыса Каменный (о-в Новая Сибирь) // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2007. № 67. С. 76–84.
- Гладенков Ю.Б., Нортон П., Спайк Г. Верхний кайнозой Исландии (стратиграфия плиоцена и плейстоцена и палеонтологические комплексы) // Труды ГИН АН СССР. 1980. Вып. 345. 115 с.
- Гудина В.И., Нужицина Н.А., Троицкий С.Л. Новые данные о морском плейстоцене Таймырской низменности // Геология и геофизика. 1968. № 1. С. 40–48.
- Гуков А.Ю. Гидробиология устьевой области р. Лены. М.: Научный Мир, 2001. 288 с.
- Гусев Е.А., Крылов А.В., Воронков А.Ю., Никитин М.Ю. Неоплейстоцен-голоценовые моллюски Енисейского севера // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. Вып. 8. Тр. ВНИИОкеангеология. 2012. Т. 223. С. 75–85.
- Гусев Е.А., Крылов А.В., Воронков А.Ю., Никитин М.Ю. Позднекайнозойские моллюски енисейского севера // Современные наукоемкие технологии. 2012. № 2. С. 11–15.
- Зархидзе В.С. Комплексы неоген-четвертичных морских моллюсков // Основные проблемы палеогеографии позднего кайнозоя Арктики. Л.: Недра, 1983. С. 94–104.
- Красножен А.С., Барановская О.Ф., Зархидзе В.С., Малясова Е.С., Лев О.М. Четвертичные отложения южного острова Новая Земля // Стратиграфия и палеогеография позднего кайнозоя Арктики. Л.: Изд-во Севморгеология, 1982. С. 40–52.
- Крылов А.В., Гусев Е.А. Комплексы позднекайнозойских моллюсков из террас Северной Земли // Геолого-геофизические характеристики литосферы Арктического региона. 2010. Вып. 7. С. 82–95.
- Крылов А.В. О результатах изучения морских моллюсков из кайнозойских отложений северо-востока Архангельской области // Геология, геоэкология, эволюционная география / Под ред. Е.М. Нестерова. СПб.: Эпиграф, 2008. С. 60–62.
- Кузнецов А.Б., Семихатов М.А., Горохов И.М. Изотопный состав Sr в водах Мирового океана, окраинных и внутренних морей: возможности и ограничения Sr-изотопной хемотратиграфии // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2012. Т. 20. № 6. С. 3–19.
- Мерклин Р.Л., Зархидзе В.С., Ильина Л.Б. Определитель морских плиоцен-плейстоценовых моллюсков северо-востока Европ. части СССР // Тр. ПИН АН СССР. 1979. Т. 173. 96 с.
- Петров О.М. Стратиграфия и фауна морских моллюсков четвертичных отложений Чукотского полуострова // Тр. ГИН АН СССР. 1966. Вып. 155. 252 с.
- Сакс В.Н. Четвертичные двустворчатые моллюски Полярного бассейна // Тр. НИИГА. 1951. Т. XIX. С. 121–139.
- Сакс В.Н. Некоторые спорные вопросы истории четвертичного периода в Сибири // Тр. НИИГА. 1959. Т. 96. Вып. 8. С. 151–163.
- Троицкий С.Л. Четвертичные отложения и рельеф равнинных побережий Енисейского залива и прилегающей части гор Бырранга. М.: Наука, 1966. 208 с.
- Четвертичные отложения Советской Арктики // Тр. НИИГА. 1959. Т. 91. 232 с.
- Alexanderson H., Backman J., Cronin T.M., Funder S., Ingolfsson O., Jakobsson M., Landvik J., Löwemark L., Mangerud J., März C., Möller P., O'Regan M., Spielhagen R.F. An Arctic perspective on dating Mid-Late Pleistocene environmental history // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 92. P. 9–31. doi: 10.1016/j.quascirev.2013.09.023
- Dunker W. Mollusca japonica: Descripta et tabulis tribus iconum, illustrate. Stuttgartidae: Schweizerbart, 1861. 36 p.
- England J.H., Furze M.F.A. New evidence from the western Canadian Arctic Archipelago for the resubmergence of Bering Strait // Quaternary Research. 2008. Vol. 70. Is. 1. P. 60–67. doi: 10.1016/j.yqres.2008.03.001

- Janssen A.W., Peeters G.A., van Slik L.* De fossiele schelpen van de Nederlandse stranden en zeegaten tweede serie, 8 (slot) // *Basteria*. 1984. № 48. P. 89–220.
- Marquet R.* The Neogene Bivalvia (Heterodonta and Anomalodesmata) and Scaphopoda from Kallo and Doel (Oost-Vlaanderen, Belgium) // *Paleontos.* 2005. Vol. 6. P. 1–142.
- Nesis K.N.* Ecology of *Cyrtodaria siliqua* and history of the genus *Cyrtodaria*. (Bivalvia: Hiatellidae) // *Malacolog.* 1965. Vol. 3. Is. 2. P. 197–210.
- Nyst P.H., Westendorp G.D.* Nouvelles recherches sur les coquilles fossiles de la Province d'Anvers // *Bull. Acad. Roy. Brussels*. 1839. Vol. 6. № 1. P. 393–414.
- Schlesch H.* Der Kenntnis der pliocänen Cragformation von Hallbjarnar stadur Tjornes, Norsland und ihrer Molluskenfauna // *Abh. des Archiv für Molluskunde*. Frankfurt, 1924. Bd. I. Heft. 3. P. 1–62.
- Simonarson L.A.* Recent *Cyrtodaria* and its fossil occurrence in Greenland // *Bulletin of the Geological Society of Denmark*. 1974. Vol. 23. № 1–2. P. 65–75.
- Simonarson L.A., Petersen K.S., Funder S.* Molluscan palaeontology of the Pliocene-Pleistocene Kap København Formation, North Greenland // *Meddelelser om Grønland*, 1998. Vol. 315. 104 p.
- Slupik A.A., Wesselingh F.P., Janse A.C., Reumer J.W.F.* The stratigraphy of the Neogene – Quaternary succession in the south-west Netherlands from the Schelphoek borehole (42G4-11/42G22) — a sequence-stratigraphic approach // *Netherlands Journal of Geosciences*. 2007. Vol. 86. Is. 4. P. 317–332.
- Speyer O.* Die ober-oligocänen Tertiärgelände und deren Fauna im Fürstenthum Lippe-Detmold // *Palaeontography*. 1866. Vol. 16. P. 1–52.
- Spengler L.* Om Slaegterne Chaena, Mya og Unio // *Skrifter af Naturhistorie Selskabet*. 1793. Vol. 3. P. 16–69.
- Strauch F.* Phylogenie Adaptation und Migration einiger nordischer mariner Mollusken-genera (*Neptunea*, *Panomya*, *Cyrtodaria* und *Mya*) // *Abhandlungen der Senckenberg Naturforsch. Gesellsch.* Frankfurt am Main, 1972. Bd. 531. P. 1–211.
- Wijnker E., Bor T.J., Wesselingh F.P., Munstermann D.K., Brinkhuis H., Burger A.W., Vonhof H.B., Post K., Hoedemakers C., Janse A.C., Taverne N.* Neogene stratigraphy of the Langenboom locality (Noord-Brabant, the Netherlands) // *Netherlands Journal of Geosciences*. 2008. Vol. 87. Is. 2. P. 165–180.
- Wood S.V.* The Mollusca of the Crag. Bivalves. Part 2 // *Monograph of the Palaeontographical Society*. 1857. Vol. 9. Is. 33. P. 217–342.

ОРГАНИЗАЦИЯ ПУНКТОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ЕВРОПЕЙСКОГО СЕВЕРА РОССИИ НА ПРИМЕРЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПУНКТА «ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА»

канд. тех. наук Г.Н. АНТОНОВСКАЯ, мл. науч. сотр. А.В. ДАНИЛОВ

*Институт экологических проблем Севера УрО РАН, г. Архангельск,
e-mail: essm.ras@gmail.com, danilov.aleksey.vikt@gmail.com*

ВВЕДЕНИЕ

Согласно Стратегии развития Арктической зоны РФ и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 г. количество ответственных объектов на территориях Крайнего Севера будет возрастать (Стратегия развития...). Одной из основных проблем при проектировании сооружений является достоверная оценка несущей способности грунтов оснований и ее прогноз с учетом влияния комплекса природных и техногенных факторов. Причем для территории Европейского Севера исследования многолетнемерзлых грунтов выполнены в гораздо меньшем объеме, чем для севера Сибири и п-ва Ямал, что затрудняет задачи проектирования и строительства инженерных сооружений (Кривое, 2009). Осложняет ситуацию повышение тектонической активности этих хрупких территорий (даже слабые землетрясения могут создать предпосылки к возникновению угрозы экологической катастрофы) (Маловичко и др., 2014; Махутов и др., 2014). Согласно данным С.В. Антипова и В.Л. Высоцкого (ИБРАЭ РАН, «Комплексная безопасность-2014») с 1961 по 2003 г. в Арктике затоплено около 18000 различных радиоактивных объектов (реакторы и суда с ТРО), вопрос о техническом состоянии которых и необходимости реабилитации до сих пор остается открытым. Кроме того, места затопления радиоактивных объектов совпадают с районами, перспективными на углеводородное сырье (рис. 1). Согласно данным сейсмических служб NORSAR (Норвегия), КФ ГС РАН (г. Апатиты, Россия) и ИЭПС УрО РАН (г. Архангельск, Россия) в акватории Баренцева моря за 1990-2013 гг. были зафиксированы сейсмические события в местах расположения/захоронения особо ответственных природно-технических объектов (рис. 1).

В связи с развитием добывающих, перерабатывающих и транспортных отраслей получение современных знаний о сейсмичности арктических территорий является весьма актуальной задачей, которая требует повышения чувствительности действующих сейсмических сетей, установки новых сейсмических станций и создания сейсмических групп. Отметим, что на всем арктическом пространстве РФ действует только одна сейсмическая группа, принадлежащая Кольскому филиалу ГС РАН (г. Апатиты, Мурманская обл.), тогда как на территории только Норвегии установлено 4 сейсмические группы, не считая 32 одиночных стационарных станций, плотно покрывающих всю территорию страны.

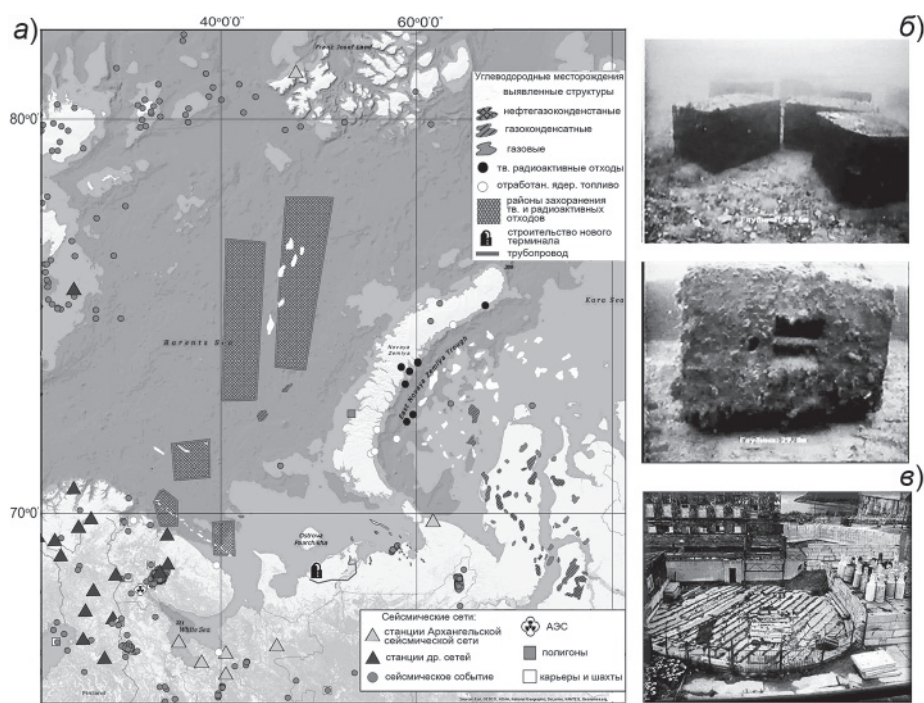


Рис. 1. Ответственные объекты акватории Западно-Арктического сектора РФ: а — размещение объектов и сейсмическая активность (по данным NORSAR, Архангельской сети); б — фото контейнеров с ТРО на дне (по данным ИБРАЭ РАН); в — блок «сухого» хранения ОЯТ, Мурманская обл. (по данным ИБРАЭ РАН).

При создании пунктов сейсмических наблюдений приходится сталкиваться со спецификой территории Европейского Севера России, что накладывает ряд ограничений на организацию и проведение данных работ. Существует ряд современных технологий, применяемых зарубежными коллегами для установки сейсмических станций и организации передачи данных в полярных широтах (Seismic Vaults), но в условиях российской действительности приходится изыскивать всевозможные бюджетные варианты и пути проведения подобных работ в силу их чрезвычайно низкого финансирования.

В данной работе обобщены сведения об организации пунктов сейсмических наблюдений, способах хранения и передачи данных с учетом возможности их организации в условиях Европейского Севера России — рассматривается территория севера Русской плиты (Архангельская обл.), и показан вклад арктических пунктов сейсмических наблюдений в мониторинг Европейского Севера.

ПУНКТ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Сейсмический бункер

В общем случае вопросы организации сейсмического мониторинга для решения различных задач являются подобными. Создается сейсмическая сеть, в основе работы которой: регистрация сейсмическими датчиками сигналов природного и техногенного характера, их оцифровка, передача данных на локальный компьютер, хранение и

дальнейшая передача в центральный пункт сбора и обработки данных для их анализа. Различия заключаются лишь в масштабах изучаемых явлений, что отражается на типе создаваемой сети (телесеismicческая, региональная, локальная или детальная) и на виде используемой seismicческой аппаратуры. Важным моментом является объединение действующих seismicческих сетей, что позволяет повысить надежность прогнозирования опасных проявлений динамических процессов и минимизировать последствия чрезвычайных ситуаций. Плотная сеть seismicческих станций позволяет выявить природу и особенности проявления региональной seismicчности, изучить современную геодинамику региона, без чего невозможно прогнозировать пути развития техносферы. Эти результаты являются основой для построения карт seismicческого районирования (ОСР), которые используются при проектировании сооружений.

Рассматриваемая территория (север Русской плиты) представляет собой область погружения кристаллического фундамента от Балтийского щита на восток и юго-восток в Мезенскую синеклизу, причем абсолютные отметки поверхности фундамента составляют от $-0,5$ до $-1,5...-2,0$ км (в осевых зонах некоторых грабенов они превышают $-4,0$ км) (Отчет ЗАО «ВАЛДАЙГЕОЛОГИЯ»..., 2004; Балуев, 2013). Таким образом, одно из главных условий — наличие скальных грунтов — для установки пункта seismicческих наблюдений на континентальной части Европейского Севера (Архангельской обл. и территория НАО) не может быть выполнено. Кроме того, на этой территории распространены многолетнемерзлые грунты, в том числе засоленные, заторфованные, сильнольдистые. Все эти факторы создают значительные трудности при поиске места и создании постаментов для пунктов seismicческих наблюдений.

В общем случае пункт стационарных seismicческих наблюдений состоит из seismicческого сооружения (бункера) и центра сбора данных (локального компьютера). Seismicческий бункер представляет собой гидро- и теплоизолированное сооружение, где на бетонном постаменте размещаются seismicческие датчики, а вне его — оборудование, необходимое для передачи данных в центр сбора.

Seismicческий бункер должен:

- быть заглублен для уменьшения шума, вызываемого экзогенными природными процессами и техногенной деятельностью (глубина ямы определяется местными грунтовыми условиями, как правило, до 3 м);
- обеспечивать термо- и гидроизоляцию;
- иметь бетонный постамент (или плиту), изготовленный с применением соответствующей марки цемента и отвязанный от стен сооружения. Постамент должен



Рис. 2. Пункты seismicческих наблюдений в виде погреба (а) и колодца (б) на примере организации Архангельской seismicческой сети и пример организации бюджетного seismicческого сооружения (в).

быть надежно соединен со скальными или плотными грунтами (мергель, известняк), изолирован от влияния метеофакторов.

Сейсмический бункер можно организовать в неэксплуатируемой шахте. Наиболее стандартным способом является строительство погреба или колодца (рис. 2 а, б). Размеры постаментов (плиты) зависят от индивидуальных особенностей каждого конкретного пункта сейсмических наблюдений, но, как правило, не превышают 1000×1000×800 мм. При выборе места для пункта сейсмических наблюдений (ПСН) необходимо учитывать наличие экзогенных природных микросейсм, обусловленных процессами переработки внутренних напряжений средой: шумом в солевых пластах, разгрузкой напряжений в горных выработках и др. (Капустян, Юдахин, 2007).

При организации пункта сейсмических наблюдений в арктических условиях, когда время выполнения работ может быть сильно ограничено, доставка техники и соответствующих специалистов весьма затратная процедура, наиболее удобным вариантом является использование готовых конструкций. Например, использование металлических бочек от горюче-смазочных материалов объемом 200 л (рис. 2 в), которые необходимо дополнительно гидроизолировать и утеплить. Данный вариант реализован при создании ПСН «Земля Франца-Иосифа» на о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа.

На сегодняшний день существует большое количество методов и материалов для гидроизоляции, которые подбираются в зависимости от условий работ, а также от типа материалов, которые необходимо гидроизолировать. Термоизоляция должна обеспечивать постоянство температуры внутри сейсмического сооружения. В качестве термоизоляционных материалов в основном применяется вспененный полистирол, монтажная пена, минеральная вата. Некоторые зарубежные коллеги в качестве утеплителя используют вакуумно-изоляционные панели (ВИП), обладающие крайне низким коэффициентом теплопроводности при той же толщине, что и стандартные утеплители. Однако недостатком ВИП является высокая стоимость и малая распространенность на территории России.

Сейсмическая аппаратура

Регистрирующая аппаратура подбирается исходя из задач сейсмического мониторинга с учетом технических характеристик датчиков (динамический диапазон, рабочий диапазон температур, разрядность АЦП и пр.). К примеру, при организации локальной сети, как правило, используются короткопериодные датчики. При организации региональной сети желательно предусмотреть создание сейсмической группы/групп, а в одиночных пунктах регистрации использовать комплекс из широкополосных и короткопериодных датчиков. В настоящее время фирмы по разработке сейсмической аппаратуры предоставляют возможность одновременно оцифровывать сигнал с различными частотами опроса. Это позволяет получать с одного датчика потоки данных с различными частотными диапазонами. Например, такую возможность имеют датчики фирмы Guralp Systems Limited (GSL), предлагая вести регистрацию сигнала параллельно при 20 отс/с, 50 отс/с, 100 отс/с и т.д.

В российских сейсмологических сетях широко применяется сейсмическая аппаратура отечественного производства, но при подборе аппаратуры для арктических условий выбор падает на зарубежных производителей, таких как Nanometrics, Kinometrics, Metrozet и GSL (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). Одной из причин такого выбора является соответствие высоким требованиям, предъявляемым к аппаратуре для установки в арктических условиях, а также использование этого типа

оборудования и программного обеспечения зарубежными коллегами — сейсмологами, что значительно облегчает совместную работу по анализу данных. Из указанных выше фирм на территории России официального представителя имеет только фирма GSL — НПП «ВУЛКАН» (<http://www.vulcan-seismicsystems.com>), поэтому большинство российских сейсмологических сетей, использующих зарубежную аппаратуру, укомплектованы оборудованием этой фирмы. В области изготовления регистраторов есть и отечественные разработки, способные составить достойную конкуренцию зарубежным аналогам, к примеру, станция ADAS3 фирмы ООО «Алекс Лаб» (ТУ 4314-71332728-003-2013..., 2013).

Передача данных

При установке аналогового сейсмометра регистратор размещают рядом с ним или на небольшом расстоянии (как правило, не больше 20 м), в зависимости от характеристик аппаратуры. Удаление регистратора на большие расстояния приводит к искажению регистрируемого аналогового сигнала, снижению динамического диапазона и появлению дополнительных шумов. При организации стационарного ПСН не всегда имеется возможность размещения компьютера непосредственно рядом с регистратором. В связи с этим наиболее оптимальным и надежным вариантом является передача на большие расстояния (больше 20 м) не аналогового, а цифрового сигнала. Передача данных с регистратора непосредственно в центр сбора и обработки информации может осуществляться при помощи сотовых сетей (а именно 2G/3G модемов). Однако это не всегда оправдано в силу неустойчивости связи и малой зоны покрытия сотовых сетей на территориях Европейского Севера России.

Итак, оцифрованные данные с регистратора в центр сбора данных (на локальный компьютер) могут быть переданы при помощи: кабелей с токопроводящими жилами, оптоволоконных кабелей или беспроводных каналов связи. Для этого, как правило, используются стандартные средства, предлагаемые производителем аппаратуры, к примеру, для сейсмометров фирмы Guralp CMG-6TD это интерфейс EIA-232 (RS-232). В случае передачи данных на расстояния большие, чем позволяет стандартный интерфейс, необходимо применять дополнительные или другие (встроенные) интерфейсы. В зависимости от комплектации регистратора, это могут быть Wi-Fi и/или Ethernet либо дополнительные внешние устройства (преобразователи сигналов (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013)). На коротких расстояниях (до 20 м) можно использовать интерфейс EIA-232 (RS-232), на расстояниях до 100 м — Ethernet 100BASE-T, свыше 100 м — интерфейсы EIA-485 (RS-485), EIA-422 (RS-422) (до 1200 м) либо Wi-Fi (расстояние передачи будет зависеть от антенн).

Использование беспроводных каналов связи является наиболее удобным способом передачи данных с регистратора на компьютер. Однако в случае сбоя в работе оборудования или сильных помех (например, обусловленных погодными условиями) может произойти потеря сигнала. Поэтому если условия установки позволяют проложить проводную линию, то лучше использовать ее.

В связи со сложностью монтажа оптических линий, а также необходимостью привлечения специализированной техники, что автоматически повышает трудозатраты, наиболее удобным для арктических широт является использование интерфейсов EIA-485 (RS-485) или EIA-422 (RS-422) (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). Интерфейс EIA-485 (RS-485) в отличие от EIA-422 (RS-422) на линии может иметь несколько приемопередатчиков (до 32), в остальном они схожи.

Если для передачи данных используется Wi-Fi канал, компьютер должен быть оснащен соответствующим модулем. Связь компьютера с регистратором осуществляется с помощью специализированного программного обеспечения. Так, при использовании аппаратуры фирмы GSL для формирования файлов с сейсмическими записями и их визуализации на компьютере используется программа «Scream!» (Guralp Systems).

Кабель для передачи данных подбирается исходя из условий, в которых он будет использоваться. Если кабель будет применяться для наружной прокладки или прокладки в грунте, необходимо учесть в его характеристиках водонепроницаемость, реакцию на воздействие УФ-излучения и устойчивость к внешней агрессивной среде. В общем случае для наружной прокладки кабель должен иметь:

- бронированное покрытие (для защиты от механических повреждений);
- экранирование во избежание влияния внешних полей на сигнал;
- изоляцию из полиэтилена, который имеет высокие свойства изоляции и влагостойкости;
- необходимый рабочий диапазон температур.

В (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013) приведены основные марки кабелей, учитывающие эти требования. Выбор сечения и количества пар жил кабеля зависит от решаемых задач. В качестве дополнительной защиты кабеля можно использовать металлическую гофру.

В обрабатывающий центр данные могут передаваться с использованием спутниковой связи, Интернета или почтовой связи, в зависимости от имеющейся инфраструктуры в районе установки ПСН. Передача данных с использованием спутниковых систем весьма удобна, однако для полярных регионов наличие только одного оператора — компания Iridium — и высокая стоимость оказываемых ею услуг ограничивают возможность ее применения.

Использование средств Интернета для передачи данных осуществляется при помощи специального оборудования и программного обеспечения от провайдера (к примеру, 3G модемы) либо при помощи стандартных программных и аппаратных средств компьютеров. В обрабатывающий центр данные поступают как on-line, так и в режиме, близком к реальному времени, в виде архивированных пакетов, в зависимости от возможностей интернет-канала. Если связь отсутствует, то оператор переписывает данные на съемный носитель и отправляет в центр обработки данных любым доступным способом.

Обеспечение электроснабжения сейсмического бункера

Основные требования к кабелям для обеспечения электроснабжения такие же, как и для кабелей передачи данных: влагостойкость, устойчивость к механическим и УФ-воздействиям. В некоторых случаях передача данных и электричества может осуществляться по одному кабелю при наличии достаточного количества жил и отсутствии помех на передачу данных. При отсутствии инфраструктуры энергоснабжение сейсмического бункера осуществляется при помощи автономных систем (АС) (Системы бесперебойного электроснабжения). Основные преимущества и недостатки различных АС приведены в (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013).

Энергообеспечение пункта сейсмических наблюдений может быть осуществлено, к примеру, и за счет только аккумуляторных батарей большой емкости (порядка 200 А·ч). При их выборе следует отдавать предпочтение батареям, изготовленным на основе технологии AGM или на основе гелевого электролита, т.к. они обладают

широким температурным диапазоном и устойчивы к глубокому разряду. Из недостатков можно выделить более высокую цену в сравнении с аналогами на основе жидких электролитов, а также необходимость замены аккумуляторов на аналогичные в составе батареи.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ ПУНКТА СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ «ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА»

Реализация пункта сейсмических наблюдений с использованием рекомендаций, изложенных выше, была выполнена на архипелаге Земля Франца-Иосифа о. Земля Александры (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). В качестве сейсмической аппаратуры были выбраны датчики фирмы Guralp Systems Limited: велосиметр CMG-6TD со встроенным регистратором и короткопериодный аналоговый датчик CMG-40T с регистратором GSR-24 (GeoSIG Ltd., Швейцария). Возникающие сбои в работе оборудования описаны в (Данилов, Антоновская, Конечная, 2013). Из-за сложности с технической точки зрения прокладки/подключения оптоволокну в арктических условиях, предпочтение было отдано медному проводу, так как эту работу можно выполнить самостоятельно.

Открытие в последнее время ряда новых станций в Арктике позволило практически полностью охватить изучаемый регион — Европейский Север — и регистрировать слабые сейсмические события магнитудой от 2,0. Особый вклад вносит пункт сейсмических наблюдений «Земля Франца-Иосифа» (ZFI), позволяющий, в частности, более детально исследовать сейсмичность полярных областей евро-арктической части России.

Анализ уровня микросейсмического фона пункта ZFI (частотный диапазон датчика 30 с — 100 Гц) в сопоставлении с минимальным и максимальным уровнями микросейсм по модели Петерсона (Peterson, 1993), а также в сравнении с уровнем микросейсмического фона пункта сейсмических наблюдений SPA0, установленным на архипелаге Шпицберген, показывает более низкий уровень шумов на всем частотном диапазоне, т.е. более высокое качество записей регистрируемых сейсмических событий (рис. 3).

За период функционирования пункта ZFI было зарегистрировано более 100 событий из района хребта Гаккеля. На рис. 4 нанесены эпицентры сейсмических событий с магнитудами от 1,4 до 4,3, произошедших в районе исследования за период с 16 октября 2012 г. по 19 апреля 2013 г., рассчитанные с привлечением данных зарубежных станций с

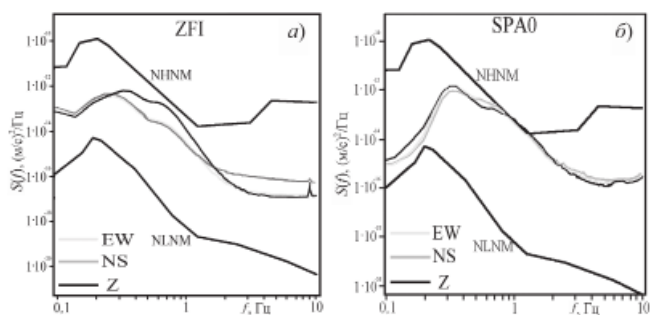


Рис. 3. Зависимость спектра мощности от частоты по модели Петерсона для пункта ZFI (a) и SPA0 (б).

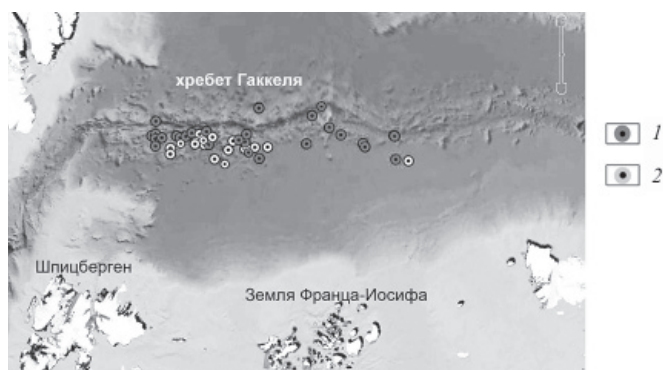


Рис. 4. Распределение эпицентров землетрясений в районе хребта Гаккеля: 1 — землетрясения 1-го типа; 2 — землетрясения 2-го типа.

архипелага Шпицберген. Все события можно разделить на два типа — с более широким спектральным составом (первый тип) и события, спектры которых характеризуются наличием явно выраженной низкочастотной составляющей (второй тип).

Наблюдается смещение эпицентров сейсмических событий от осевой линии хребта Гаккеля. Возможно, это объясняется отсутствием локального годографа для данного региона Арктики, причем как в отечественном, так и в зарубежном сейсмологическом сообществе, что приводит к ошибке в локации. Отмечается дискретное проявление сейсмичности в западной части хребта Гаккеля. ПСН ZFI регистрирует достаточное количество событий из восточной части Российской Арктики, но так

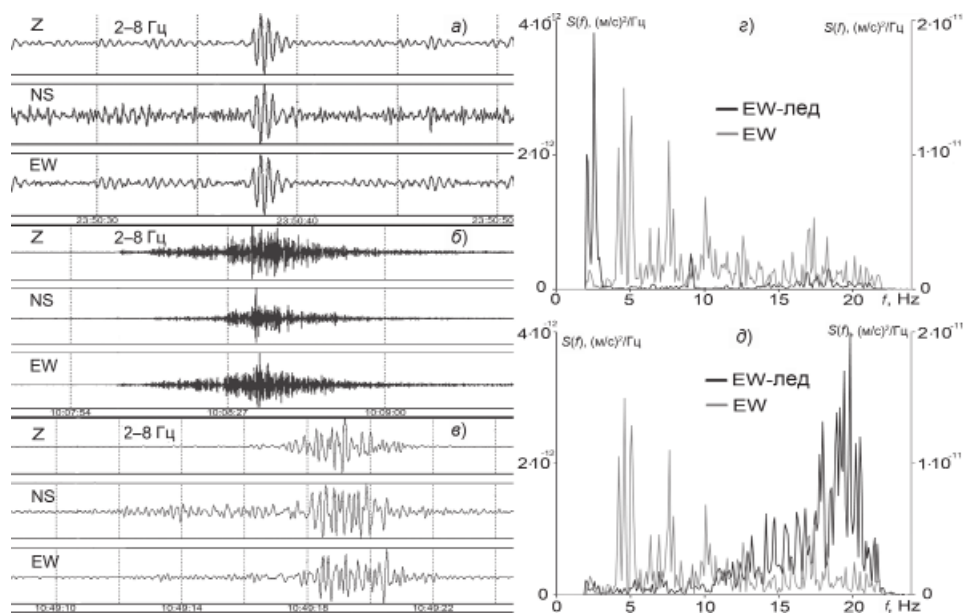


Рис. 5. Характерные волновые формы и спектры мощности локальных событий: а и в — волновые формы ледниковых событий I и II групп соответственно, б — волновая форма локального землетрясения, г и д — сравнение спектров мощности локального землетрясения и ледниковых событий I и II групп соответственно в диапазоне частот 2–22 Гц.

как в этом районе отсутствуют сейсмические станции, то определение эпицентров землетрясений только по данным одиночного пункта ZFI весьма затруднительно. Для решения данных проблем необходимо развивать сеть сейсмических станций в Российской Арктике.

Выявлена сейсмическая активность на склоне континентального шельфа, что подтверждает ограниченность имеющейся сейсмогеодинамической информации о евро-арктической зоне до настоящего времени.

Кроме того, на волновых формах пункта ZFI регистрируется большое количество микросейсмических (микроимпульсных) событий, в отдельные месяцы до 100 событий в день. Проведенный анализ (Антоновская, Конечная, Морозов, 2013) показал, что данные микросейсмические события связаны с ледниковыми процессами (рис. 5), называемыми сейсмологами льдотрясением (icequake). Непрерывные наблюдения за сейсмической активностью арктических ледников осуществляются преимущественно зарубежными учеными (Nettles, Ekström, 2010), к сожалению, подобные исследования в России практически отсутствуют.

Данные события разделяются по частотному составу, что соответствует различному механизму их образования. Первая группа событий имеет преобладающие частоты в диапазоне от 1 до 10 Гц, вторая группа — от 10 до 22 Гц (рис. 5). События первой группы предположительно связаны с процессами откола ледниковой массы — образованием айсбергов, а события второй группы предположительно обусловлены образованием трещин в ледниковых массивах, что согласуется с данными (Rial, Tang, Steffen, 2009). Ледниковые события имеют четкую сезонность — арктическая зима и арктическое лето (рис. 6а), что обусловлено температурными вариациями (рис. 6б).

Полученные результаты можно рассматривать как основу для целого цикла научных исследований по изучению динамики ледников сейсмическими методами, что является вкладом в глобальный мониторинг климатических изменений Арктики.

Таким образом, несмотря на всю сложность условий, в которых проводились работы, полученные результаты подтверждают высокую степень качества установки ПСН ZFI. Выполненные работы — это один из этапов по развитию сейсмических сетей на территориях Крайнего Севера. Организация сейсмических групп и установка дополнительных одиночных сейсмических станций на Европейском Севере России будет способствовать более глубокому изучению геодинамического режима арктического региона, повышению надежности прогнозирования опасных проявлений динамических процессов и созданию основ для разработки мер по снижению рисков

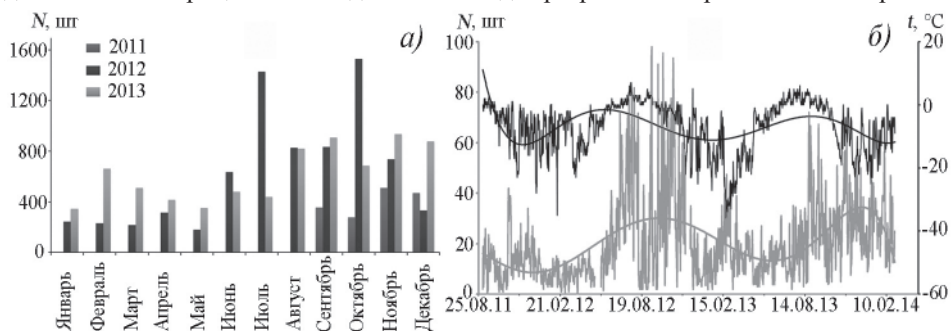


Рис. 6. Сезонные вариации ледниковых событий (а) и их корреляция с температурными вариациями (б).

и минимизации негативных последствий от проявлений сейсмической активности в районах освоения нефтегазовых ресурсов и других видов деятельности.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов РФФИ 14-05-93080 и 14-05-98801-север и инициативного проекта УрО РАН № 12-У-5-1006.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Антоновская Г.Н., Конечная Я.В., Морозов А.Н. Сейсмическая активность Арктической зоны: Новые данные по Западному сектору // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 2 (96). С. 16–25.

Балуев А.С. Континентальный рифтогенез севера Восточно-Европейской платформы в неогее: геология, история развития, сравнительный анализ: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2013. 49 с.

Данилов А.В., Антоновская Г.Н., Конечная Я.В. Особенности установки пунктов регистрации сейсмических событий в Арктическом регионе России // Сейсмические приборы. 2013. Т. 49. № 3. С. 5–24.

Капустян Н.К., Юдахин Ф.Н. Сейсмические исследования техногенных воздействий на земную кору и их последствий. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 416 с.

Кривое Д.Н. Закономерности деформирования и разрушения мерзлых засоленных грунтов района Большеземельской тундры: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. М., 2009. 26 с.

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

Махутов Н.А., Гаденин М.М., Лебедев М.П., Аммосов А.П., Захарова М.И., Пермяков П.П., Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х. Особенности возникновения чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне России и пути их парирования на основе концепции риска / Арктика: экология и экономика. 2014. № 1 (13). С. 10–29.

Отчет ЗАО «ВАЛДАЙГЕОЛОГИЯ» «Результаты региональных геолого-геофизических работ в Мезенской синеклизе в 2000 – 2004 гг.» ФГУ ГНПП «СПЕЦГЕОФИЗИКА». М., 2004. 340 с.

Системы бесперебойного электроснабжения // Компания MANBLAN — эффективные решения для дома и бизнеса. URL: <http://msk.manblan.ru/catalog/alternativeenergy/> (дата обращения 18.08.2014)

Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года // Президент России — молодым ученым и специалистам. URL: <http://www.youngscience.ru/pages/main/documents/5124/11484/index.shtml> (дата обращения 18.08.2014)

ТУ 4314-71332728-003-2013 Удаленный регистратор сейсмических сигналов ADAS3. М.: ООО «Алекс Лаб», 2013. 23 с.

Хуторской М.Д., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. Аномальный тепловой поток и природа желобов в северной части Свальбардской плиты // Докл. РАН. 2009. Т. 424. № 2. С. 1–7.

Guralp Systems. URL: <http://www.guralp.com/> (дата обращения 18.08.2014)

Nettles M., Ekström G. Glacial Earthquakes in Greenland and Antarctica // Annual Review of Earth and Planetary Science. 2010. Vol. 38. P. 465–489.

Peterson J. Observation and modeling of seismic background noise // U.S. Department of Interior, Geological Survey. Open-File Report 93–322. 1993. 91 p.

Rial J.A., Tang C., Steffen K. Glacial rumblings from Jakobshavn ice stream, Greenland // Journal of Glaciology. 2009. Vol. 55. № 191. P. 389–399.

Seismic Vaults // Program for Array Seismic Studies of the Continental Lithosphere. URL: <http://www.passcal.nmt.edu/category/related-topics/seismic-vaults> (дата обращения 18.08.2014)

ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ КОНЦЕНТРАЦИЙ АЭРОЗОЛЯ И САЖИ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА В БАРЕНЦБУРГЕ (ШПИЦБЕРГЕН) В 2011–2013 гг.

канд. физ.-мат. наук Д.Г. ЧЕРНОВ¹, канд. физ.-мат. наук В.С. КОЗЛОВ¹,
д-р физ.-мат. наук М.В. ПАНЧЕНКО¹, программист Ю.С. ТУРЧИНОВИЧ¹,
канд. геогр. наук В.Ф. РАДИОНОВ², инж. 1-й кат. А.В. ГУБИН²,
науч. сотр. А.Н. ПРАХОВ²

¹ — ФГБУН Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН. Томск,
e-mail: chernov@iao.ru, vkozlov@iao.ru, tus@iao.ru, pmv@iao.ru

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт.
Санкт-Петербург, e-mail: vradion@aari.ru, a-k-l@mail.ru, aleks.prahov@rambler.ru

ВВЕДЕНИЕ

Понимание важности данных о состоянии окружающей среды в Арктике и субарктических районах привело в течение двух последних десятилетий к значительному увеличению исследований (Jacobson, 2001; Bond et al., 2006, 2013; Kozlov et al., 2008; Смирнов и др., 2000; Иванов и др., 2009; Польшин и др., 2008; Сакерин и др., 2012; Виноградова, Веремейчик, 2013; Clarke, Noone, 1985; Quinn et al., 2008; Wang, Penner, 2008; Eleftheriadis et al., 2009; Engvall et al., 2009; Hirdman et al., 2010; Weinbruch et al., 2012; Stohl et al., 2012). Арктический регион в настоящее время рассматривается как наиболее важный индикатор глобальных климатических изменений, происходящих на планете. Наряду с парниковыми газами важную роль в изменении экологического состояния и радиационного баланса атмосферы играет атмосферный аэрозоль (частицы размерами 10–10000 нм). Аэрозольные частицы, загрязняющие атмосферу и подстилающую поверхность в Арктике и субарктических районах России, в основном переносятся из многочисленных антропогенных (тепловые станции, промышленность, транспорт, факелы дожигания попутных нефтяных газов и др.) и природных (лесные пожары, вулканы, песчаные бури и др.) источников в умеренных широтах (Bond et al., 2013; Kozlov et al., 2008; Виноградова, Веремейчик, 2013; Hirdman et al., 2010). Переносимые воздушными массами на тысячи километров от источников, аэрозольные частицы трансформируются, перемешиваются и создают среднерегиональные уровни аэрозольных концентраций.

В составе аэрозольных частиц часто присутствует сажевая компонента, генерируемая в ходе процессов неполного сгорания углеводородных топлив и биомассы (Jacobson, 2001; Bond et al., 2006; Kozlov et al., 2008; Eleftheriadis et al., 2009). Сажа, как основное поглощающее вещество в составе атмосферного аэрозоля, служит ключевым фактором его радиационно-климатического воздействия на атмосферу. По последним оценкам радиационный форсинг нагрева атмосферы за счет сажи со-

поставим с воздействием основного парникового газа CO_2 (Bond et al., 2013). В то же время, по заключению Межправительственной группы по изучению изменений климата (IPCC), при оценках радиационного воздействия различных составляющих атмосферы на климат наиболее низкий уровень знаний относится к роли аэрозоля и сажи в атмосфере. Это связано с недостатком информации о содержании, характеристиках пространственно-временной изменчивости и процессах трансформации слабопоглощающего субмикронного аэрозоля и сажи в арктической атмосфере. Аэрозоль оказывает многообразное влияние на радиационный баланс (Jacobson, 2001; Wang, Penner, 2008; Clarke, Noone, 1985). При прямом воздействии слабопоглощающий аэрозоль в основном рассеивает коротковолновую солнечную радиацию и тем самым выхолаживает атмосферу, в то время как сильнопоглощающая компонента в составе аэрозоля нагревает ее (Jacobson, 2001; Bond et al., 2006, 2013). Суммарное воздействие (радиационный форсинг) определяется соотношением масс сажи и непоглощающего вещества в составе аэрозольных частиц — так называемой величиной относительного содержания сажи в аэрозоле (Kozlov et al., 2008). Косвенный эффект аэрозоля и сажи проявляется во влиянии на процессы облакообразования и радиационные свойства облаков (Wang, Penner, 2008), а также в уменьшении альbedo подстилающей поверхности за счет осаднения на снежно-ледовый покров. Седиментация сажесодержащих частиц вызывает уменьшение альbedo, увеличение поглощения солнечного излучения, что приводит к более интенсивному таянию снега и льда.

Детальное изучение свойств и закономерностей изменчивости арктического аэрозоля возможно при непрерывном мониторинге состояния окружающей среды на сети стационарных станций для получения статистически обоснованных данных об уровне загрязнений. Комплексные исследования состояния окружающей среды, начатые в настоящее время, позволяют получить и прогностические оценки, необходимые для планирования мероприятий по предотвращению опасных экологических и климатических последствий в районах накопления или транзита антропогенных загрязняющих веществ. Одним из примеров является выполнение в рамках международного сотрудничества широкого комплекса атмосферных исследований, включая и измерения аэрозольной составляющей атмосферы, в Гидрометеорологической обсерватории Тикси, оснащенной современным научным оборудованием (Иванов и др., 2009). В Российском научном центре на Шпицбергене (РНЦШ) предполагается создание единой инфраструктуры систем мониторинга природных процессов и состояния окружающей среды в районе архипелага Шпицберген и на акватории Северного Ледовитого океана. Отметим, что длительные измерения характеристик атмосферного аэрозоля на Шпицбергене проводятся на норвежской научной станции Цепелин (Ню-Олесунн, $78,9^\circ$ с.ш., $11,9^\circ$ в.д., 475 м над уровнем моря) (Tomasi et al., 2007; Quinn et al., 2008; Eleftheriadis et al., 2009; Hirdman et al., 2010; Weinbruch et al., 2012). Кроме Норвегии в Ню-Олесунне поддерживают свои исследовательские станции Нидерланды, Германия, Великобритания, Франция, Италия, Япония, Южная Корея и Китай. В южной части архипелага располагается польская станция Хорнсунд ($77,0^\circ$ с.ш., $15,5^\circ$ в.д., 10 м над уровнем моря), на которой проводятся регулярные солнечные фотометрические измерения спектральной прозрачности всей толщи атмосферы.

СОСТАВ АППАРАТУРЫ И МЕТОДИКА АЭРОЗОЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В настоящей статье анализируются результаты измерений оптических и микрофизических характеристик приземного аэрозоля на метеорологическом полигоне РНЦШ, проведенных в весенний и летний сезоны 2011–2013 гг. Наблюдения выполня-

лись в районе Зональной гидрометеорологической обсерватории (ЗГМО) Баренцбург (78,1° с.ш., 14,2° в.д., 70 м над уровнем моря).

В режиме круглосуточного мониторинга в приземном слое воздуха измерялись следующие аэрозольные характеристики: счетная концентрация частиц N_A (см⁻³) в диапазоне диаметров более 0,3 мкм; распределение частиц по размерам dN/dr (см⁻³·мкм⁻¹), где r — радиус частиц, и массовая концентрация сажи M_{BC} (мкг/м³). Данные микро-структурных измерений использовались для вычисления распределения объема частиц (фактора аэрозольного заполнения) по размерам $dV/dr_i = 4/3 \cdot \pi r_i^3 dN_i$ (мкм²·см⁻³), где dN_i и r_i — счетные концентрации частиц и средние значения радиусов для i -го интервала размеров, и последующего расчета массовой концентрации аэрозоля M_A (мкг/м³) в предположении значения плотности аэрозольного вещества $\rho = 1,5$ г/см³.

Комплекс аппаратуры (мобильная аэрозольная станция) состоял из оптического счетчика частиц (Grimm, model 1.108 — в 2011 г., АЗ-10 — в 2012–2013 гг.) и четырехволнового двухканального аэталометра МДА, разработанного в Институте оптики атмосферы СО РАН (Козлов и др., 2008). Счетчики частиц использовались для измерений счетной концентрации N_A (см⁻³) и распределения частиц по размерам в диапазоне диаметров 0,3–20 мкм (Grimm) либо в диапазоне 0,3–5 мкм (АЗ-10). Периодическая калибровка счетчиков в процессе измерений осуществлялась с помощью внутренних калибраторов приборов.

Аэталометр МДА, аналогичный по принципу измерений использовавшемуся ранее в работе (Hansen, Rosen, Novakov, 1984), обеспечивал круглосуточную регистрацию массовой концентрации сажи M_{BC} (мкг·м⁻³) в атмосферном аэрозоле с концентрационной чувствительностью около 10 нг/м³ при прокачке через прибор 30 литров воздуха. Калибровка прибора выполнялась в лабораторных условиях с помощью пиролизного генератора сажевых частиц с размерами 50–200 нм путем сопоставления данных синхронных оптических и гравиметрических измерений (Baklanov et al., 1998). Дополнительно, с целью контроля стабильности калибровки используемого прибора, на Аэрозольной станции ИОА СО РАН в г. Томске ежегодно производятся интеркалибровочные измерения концентраций сажи в приземном аэрозоле с помощью аэталометров МДА и МААР 5012 (Petzold et al., 2005). В ходе экспедиционных измерений аэталометр дополнительно не калибровался, однако периодически производилась проверка «нуля» и герметичности воздушных магистралей прибора путем прокачки чистого воздуха через оптическую ячейку.

Аппаратура мобильной аэрозольной станции располагалась в помещении ЗГМО при комнатной температуре. В процессе измерений пробы воздуха отбирались на высоте 5 м от подстилающей поверхности и поступали по воздуховодам в измерительные ячейки оптического счетчика и аэталометра. При аспирации аэрозоля были обеспечены условия изокINETического забора проб воздуха. Для аэталометра внутренний диаметр и длина воздухопроводов составляли 1,5 см и не более 2 м соответственно, что обеспечивало измерения концентрации сажи без искажений в субмикронном диапазоне размеров (размеры частиц менее 1 мкм). Для оптического счетчика частиц длина воздушной магистрали составляла не более 1 м, что обеспечивало при скорости прокачки воздуха 1 л/мин изокINETичность забора аэрозольных частиц размерами до 20 мкм.

Измерения на аэрозольной станции выполнялись в автоматическом режиме круглосуточно с периодичностью 1 час под управлением компьютерной программы с возможностью изменения длительности и периодичности заборов проб воздуха.

Длительность разовых заборов в аэталометр составляла 20 минут при скорости прокачки воздуха 4 л/мин. Оптический счетчик частиц проводил измерения в течение 20,5 мин. Данные измерений заносятся в реальном масштабе времени в рабочие файлы компьютера.

Важная роль при обработке и анализе полученных исходных данных отводилась предварительной выбраковке результатов наблюдений, отягощенных влиянием локальных источников аэрозоля в месте расположения пункта измерений, а также влиянием неблагоприятных метеорологических условий: низкая облачность, туманы, осадки и пр. Такие данные исключались из дальнейшей обработки.

РЕЗУЛЬТАТЫ АЭРОЗОЛЬНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ ВОЗДУХА

На рис. 1. приведены временные зависимости массовой концентрации сажи M_{BC} , счетной N_A и массовой концентраций аэрозоля M_A для весеннего и летнего сезонов 2013 г.

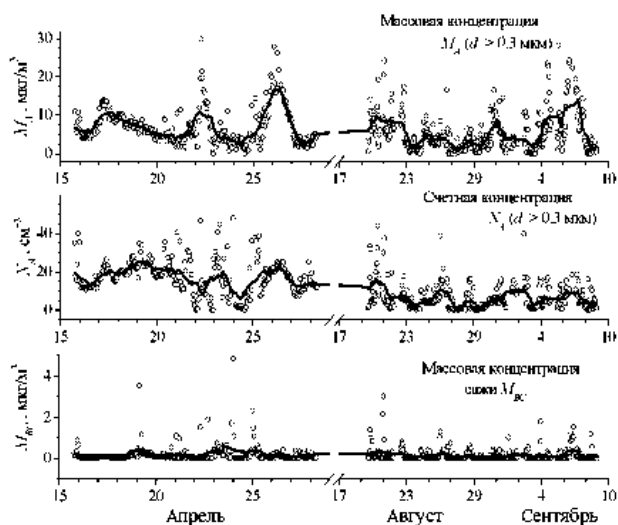


Рис. 1. Изменчивость счетной и массовой концентраций аэрозоля, массовой концентрации сажи в апреле и августе–сентябре 2013 г. в п. Баренцбург (Шпицберген).

Временной ход средних за час величин M_{BC} , N_A и M_A иллюстрирует согласованную изменчивость концентраций при изменении синоптических условий. На рисунках жирными линиями нанесены сглаженные за 24 часа исходные данные, которые характеризуют межсуточную изменчивость концентраций аэрозоля и сажи.

В табл. 1 приведены оценки средних значений аэрозольных характеристик и количество почасовых наблюдений для всех массивов данных, полученных в каждый из сезонов в 2011–2013 гг., а также средних за два сезона значений для каждого года измерений. На рис. 2 представлены средние величины M_{BC} , N_A и M_A .

Из приведенных в табл. 1 и на рис. 2 данных видно, что при переходе от весны к лету в приземном слое наблюдалось уменьшение средней за сезон счетной концентраций аэрозоля. Оно сопровождалось уменьшением соответствующих значений массовой концентрации в 2011 и 2013 гг., что соответствует обычному ходу сезонной изменчивости содержания аэрозоля в арктической атмосфере. Но в 2012 г. на фоне уменьшения счетной концентрации частиц наблюдался рост их массовой концентра-

Таблица 1

Средние значения ($\pm$ СКО) массовой M_A и счетной N_A ($>0,3$ мкм) концентраций аэрозоля и массовой концентрации сажи M_{BC} в 2011–2013 гг.

Период		$M_A \pm \text{СКО}, \text{ мкг/м}^3/N$	$N_A \pm \text{СКО}, \text{ см}^3/N$	$M_{BC} \pm \text{СКО}, \text{ мкг/м}^3/N$
2011	весна (19.04 – 26.05)	$0,92 \pm 1,03/741$	$4,95 \pm 3,49/744$	$0,15 \pm 0,09/731$
	лето (26.07 – 31.08)	$0,76 \pm 1,27/753$	$3,66 \pm 3,13/729$	$0,43 \pm 0,42/363$
	среднее	$0,84 \pm 1,15/1494$	$4,31 \pm 3,3/1473$	$0,29 \pm 0,25/1094$
2012	весна (20.04 – 12.06)	$1,41 \pm 1,35/912$	$12,0 \pm 13,76/912$	$0,10 \pm 0,13/1153$
	лето (21.07 – 28.08)	$1,93 \pm 2,59/268$	$4,05 \pm 6,45/268$	$0,15 \pm 0,25/804$
	среднее	$1,53 \pm 2,05/1180$	$10,2 \pm 11,5/1180$	$0,12 \pm 0,19/1957$
2013	весна (14.04 – 29.04)	$6,95 \pm 4,47/290$	$17,1 \pm 8,6/290$	$0,17 \pm 0,27/300$
	лето (18.08 – 10.09)	$5,31 \pm 5,05/381$	$6,06 \pm 6,59/381$	$0,15 \pm 0,3/422$
	среднее	$6,10 \pm 5,10/672$	$10,9 \pm 9,50/672$	$0,17 \pm 0,36/725$
Среднее за 2011–2013 гг.		$2,14 \pm 2,26/3346$	$7,73 \pm 7,46/3325$	$0,18 \pm 0,24/3776$

Примечание. N — количество почасовых измерений.

ции. Такое увеличение массовой концентрации аэрозольных частиц при уменьшении их счетной концентрации может быть связано с существенным отличием дисперсного состава аэрозоля весной при наличии снежного покрова и летом при его отсутствии и дополнительном поступлении почвенной пыли в приземный слой воздуха в этот год.

Анализ экспериментальных данных показал, что по средним значениям характеристик состояние атмосферы в районе наблюдений в целом характеризуется сравнительно низким уровнем аэрозольного замутнения приземного слоя воздуха. Так, «среднегодовые» значения массовой и счетной концентраций аэрозоля изменялись в диапазонах $M_A = 0,84 \div 6,1$ мкг/м³ и $N_A = 4,3 \div 10,9$ см⁻³, а массовая концентрация сажи $M_{BC} = 0,12 \div 0,29$ мкг/м³. Пониженный уровень содержания аэрозоля в приземном слое согласуется с данными о высокой прозрачности всей толщи атмосферы, полученными по данным солнечно-фотометрических измерений (Сакерин и др., 2012). «Среднегодовые» значения аэрозольной оптической толщины атмосферы на длине волны 0,5 мкм в 2011 г. варьировали в пределах $0,045 \div 0,068$ — для субмикронных частиц и $0,020 \div 0,033$ — для частиц крупнодисперсного (более 1 мкм) диапазона размеров, что характеризует очень низкий уровень аэрозольного замутнения атмосферы.

Но, даже при низких уровнях аэрозольного замутнения приземного слоя воздуха, массовая и счетная концентрации аэрозоля испытывали значительные межгодовые

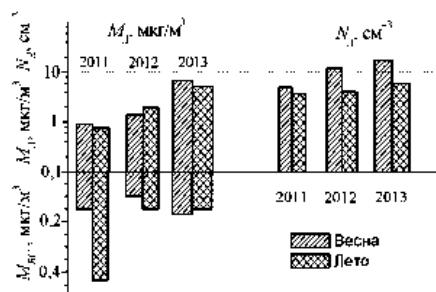


Рис. 2. Среднесезонные весенние и летние значения массовой и счетной концентраций аэрозоля, массовой концентрации сажи в 2011–2013 гг. в районе п. Баренцбург.

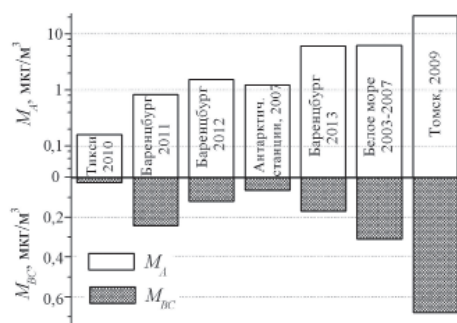


Рис. 3. Средние значения массовой концентрации аэрозоля M_A и сажи M_{BC} в Баренцбурге, в высокоширотных районах Арктики, Антарктики и в Томске.

вариации: M_A в разные годы отличались более чем в 7 раз, а счетные концентрации N_A — в 2,5 раза. Их минимальные значения наблюдались в 2011 г. Но в 2011 г. наблюдалась максимальная «среднегодовая» массовая концентрация сажи $M_{BC} \sim 0,29$ мкг/м³, в основном обусловленная повышенным содержанием сажи летом.

В 2012 г. в летний период также наблюдались более высокие массовые концентрации сажи по сравнению с весенними значениями. Только в 2013 г. происходило уменьшение концентрации сажи от весны к лету, согласованное с убыванием счетной концентрации аэрозольных частиц. Эти отличия внутригодового хода содержания сажевого аэрозоля в приземном воздухе в разные годы могут быть связаны с влиянием местного источника — каменноугольных шахт и транспортируемого из них угля.

На рис. 3 представлены средние массовые концентрации аэрозоля и сажи в районе п. Баренцбург в 2011–2013 гг. в сопоставлении с данными для высокоширотных районов (Полькин и др., 2008; Сакерин и др., 2012) и в Томске (Козлов и др., 2012).

Как видно, в рассмотренных районах минимальные средние концентрации аэрозоля и сажи наблюдались в п. Тикси (71,7° с.ш., 125,9° в.д.) — $M_A = 0,16$ мкг/м³ и $M_{BC} = 0,026$ мкг/м³, а максимальные — $M_A = 21,2$ мкг/м³ и $M_{BC} = 0,68$ мкг/м³ в Томске (56,5° с.ш., 85,1° в.д.). Сравнительный анализ полученных данных показал, что средние массовые концентрации аэрозоля и сажи в Баренцбурге занимают промежуточное положение между данными в Тикси и более высокими значениями концентраций в районе Белого моря. В Баренцбурге средние значения M_A в 2011 г. — в 1,5 раза меньше, а в 2012–2013 гг. — в 1,2–4,9 раз больше значений, наблюдаемых на антарктических станциях. Отметим, что концентрации сажи в пункте наблюдений на Шпицбергене устойчиво превышают ее содержание в полярных областях ($M_{BC} = 0,065$ мкг/м³ в Антарктике) от 1,8 раз в 2012 г. до 3,7 раз в 2011 г. При этом соответствующие наибольшие средние концентрации обеих аэрозольных характеристик в Баренцбурге (в 2013 г. по аэрозолю и в 2011 г. по саже) сопоставимы с концентрациями над Белым морем. Из отмеченного следует, что состав арктического аэрозоля в районе Баренцбурга существенно варьирует и подвержен как воздействию процессов дальнего переноса загрязнений с континента, так и влиянию неучтенных локальных источников и факторов накопления аэрозоля. Так, повышенный уровень концентрации сажи от 200 до 400 нг/м³, выявленный во время научно-исследовательского круиза судна в Белом, Баренцевом и Карском морях (Stohl et al., 2013), авторы связывают с сильными эмиссиями сажевого аэрозоля в субарктических районах при сжигании в факелах попутных нефтяных газов и последующим переносом сажи в Арктику.

Ранее регулярные аэталометрические измерения массовой концентрации сажи на Шпицбергене проводились только на норвежской научной станции Цеппелин, находящейся примерно в 100 км севернее п. Баренцбург. По результатам мониторинговых аэталометрических измерений сажи в 1998–2007 гг. авторами работы (Eleftheriadis et al., 2009) было получено, что среднемесячные концентрации сажи в течение года уменьшаются от максимальных значений $\sim 80 \text{ нг/м}^3$ в феврале–марте до минимальных $\sim 0\text{--}10 \text{ нг/м}^3$ в июне–сентябре. Отметим, что в континентальных условиях сезонная динамика концентрации сажи также характеризуется зимним максимумом и летним минимумом значений.

Полученные нами в весенне-летние периоды 2011–2013 гг. средние значения концентраций сажи в Баренцбурге значительно превышают значения, наблюдаемые на станции Цеппелин, особенно в летний период. Наиболее вероятной причиной таких различий является то, что условия измерений на двух станциях существенно отличаются. Можно отметить две наиболее важные, по нашему мнению, причины различий. Во-первых, станция Цеппелин находится за пределами населенного пункта и, следовательно, в значительно меньшей степени подвержена влиянию локальных местных источников аэрозоля. Напротив, станция в п. Баренцбург, расположенная на окраине населенного пункта, подвержена воздействию различных локальных источников аэрозоля (рассеяние дыма ТЭЦ в приземном слое, возможные транспортные эмиссии, ветровые выносы почвенной и каменноугольной пыли в летний период).

Во-вторых, станция Цеппелин расположена на вершине горы. По этой причине в сезонной и межгодовой динамике аэрозольных характеристик здесь вполне могут проявляться особенности высотного распределения концентраций аэрозоля и сажи в атмосфере, связанные со стратификацией тропосферы, обуславливающей уменьшение концентраций аэрозоля и сажи с увеличением высоты, часто наблюдаемое в континентальных условиях (Козлов и др., 2009).

ИЗМЕНЧИВОСТЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ЧАСТИЦ ПО РАЗМЕРАМ

На рис. 4 приведены средние объемные распределения частиц по размерам в районе Баренцбурга в 2011–2013 гг., осредненные за весенние и летние периоды наблюдений. В сезонной динамике распределений частиц по размерам за трехлетний период измерений можно отметить следующие основные особенности. В каждый из

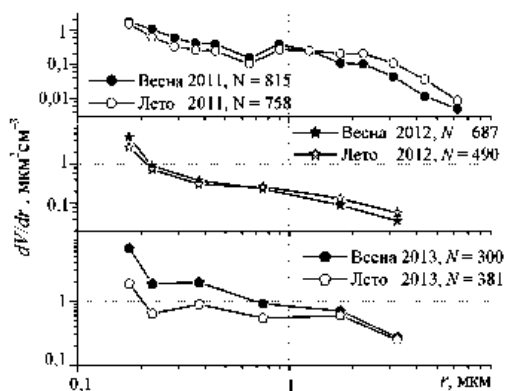


Рис. 4. Средние объемные распределения частиц по размерам в районе Баренцбурга в весенние и летние периоды наблюдений в 2011–2013 гг.

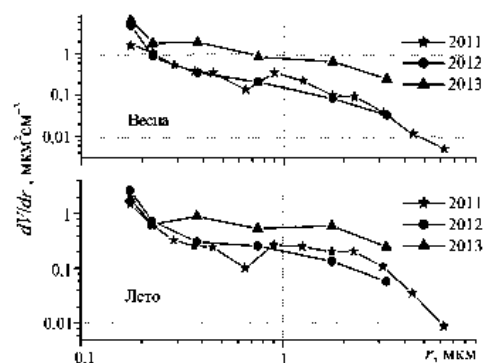


Рис. 5. Средние за весенний и летний сезоны распределения частиц по размерам в районе Баренцбурга в разные годы.

трех годов наблюдений при переходе от весны к лету в распределениях происходило уменьшение концентраций мелкодисперсных частиц, а в 2011 и 2012 гг. увеличивалось и содержание крупнодисперсных частиц.

Общей особенностью было сезонное уменьшение счетных концентраций обеих фракций, приводящее к значительному уменьшению селективности распределения частиц. Наибольшее (до 3,5 раз) уменьшение концентраций наблюдалось в субмикронной области размеров частиц. При этом концентрация крупнодисперсных частиц уменьшалась не столь значительно (до 2,5 раз), оставаясь неизменной для наиболее крупных частиц с радиусами больше 2 мкм. Отметим, что полученная тенденция сезонного уменьшения селективности (наклона кривой распределений частиц по размерам) свидетельствует о росте доли крупных частиц в составе аэрозоля в летний период, что качественно согласуется с нашим предположением об увеличении летом долевого вклада пылевой компоненты аэрозоля в величину аэрозольного поглощения (концентрации сажи).

На рис. 5 приведены те же, что и на рис. 4, значения, но объединенные по сезонам наблюдений в каждый из годов. Видно, что особенности межгодовой изменчивости распределений частиц по размерам для весеннего и летнего сезонов в 2011 и 2012 гг. близки между собой.

Однако в 2013 г. динамика спектра объемных концентраций частиц существенно изменилась. В 2013 г., по сравнению с предшествующими годами, произошел зна-

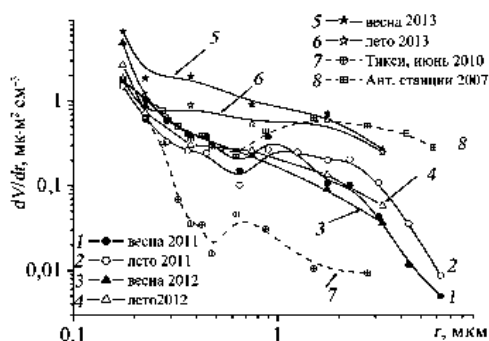


Рис. 6. Сравнение средних за сезоны наблюдений объемных распределений частиц по размерам в районе архипелага Шпицберген (п. Баренцбург) в 2011–2013 гг. с данными измерений (Сакерин и др., 2012) в высокоширотных районах Арктики и в Антарктике.

чительный рост объемных концентраций по всему спектру размеров. Увеличение концентраций достигало 5 раз для субмикронных и до 8 раз для крупнодисперсных частиц. Подобная динамика привела к значительному уменьшению селективности распределения частиц по размерам.

На рис. 6 сравниваются средние за сезоны распределения частиц по размерам, полученные весной и летом 2011–2013 гг., с результатами ранее выполненных измерений в Арктике (п. Тикси, июнь 2010 г.) и в Антарктике (Сакерин и др., 2012).

Как видно, результаты сезонных измерений на Шпицбергене (п. Баренцбург) в 2011 и 2012 гг. расположены между кривыми распределений частиц по размерам, полученными ранее для высокоширотных измерений в п. Тикси (кривая 7) и в Антарктике (кривая 8). Однако весной и летом 2013 г. наблюдалось значительное (в 3–4 раза) превышение концентраций частиц субмикронных размеров в п. Баренцбург по сравнению с данными в Антарктике. При этом в области диаметров частиц более 2 мкм объемные концентрации в Баренцбурге сопоставимы с наблюдавшимися в Тикси.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Натурные исследования аэрозольных характеристик приземного слоя атмосферы на архипелаге Шпицберген (п. Баренцбург) в весенний и летний сезоны 2011–2013 гг. показали, что аэрозоль в районе измерений характеризовался сравнительно невысокими величинами средних значений счетной и массовой концентраций аэрозоля и сажи и небольшим диапазоном их изменчивости: $M_A = 0,84 \div 6,1$ мкг/м³; $N_A = 4,3 \div 10,9$ см⁻³; $M_{BC} = 0,12 \div 0,29$ мкг/м³. При этом средние величины массовой и счетной концентрации аэрозоля значительно изменялись от года к году. Минимальные средние значения массовой и счетной концентраций аэрозоля наблюдались в 2011 г. ($M_A = 0,84 \pm 1,15$ мкг/м³, $N_A = 4,3 \pm 3,3$ см⁻³). В 2013 г. средние значения этих концентраций были максимальны и составили $M_A = 6,1 \pm 5,1$ мкг/м³, $N_A = 10,9 \pm 9,5$ см⁻³.

Межгодовые изменения массовой концентрации сажи не повторяли изменения параметров аэрозольных частиц. В 2011 г. наблюдалось наибольшее за 3 года значение средней массовой концентрации сажи ($M_{BC} = 0,29$ мкг/м³), но в 2012 г. наблюдалось значительное ее уменьшение — до $M_{BC} = 0,12$ мкг/м³. В 2013 г. величина M_{BC} выросла в 1,4 раза по сравнению со значением в 2012 г. — до $M_{BC} = 0,17$ мкг/м³.

Обычной особенностью сезонной изменчивости содержания аэрозоля в атмосфере Арктики при переходе от весны к лету является уменьшение концентраций аэрозоля и сажи. В Баренцбурге это наиболее отчетливо проявилось в 2012 г. в изменении счетной концентраций аэрозоля — уменьшение от весны к лету составило 2,8 раза. Однако в этом же году наблюдался рост массовой концентрации аэрозоля от весны к лету. В 2011–2012 гг. наблюдался и рост массовой концентрации сажи, особенно сильно проявившийся летом 2012 г. (увеличение в 3 раза по сравнению с весенними значениями). Наиболее вероятной причиной этому является ветровое поступление почвенной и каменноугольной пыли в приземный слой воздуха в летний сезон, дающей вклад в аэрозольное поглощение. Такой вывод согласуется с полученными результатами анализа сезонной динамики объемных распределений частиц по размерам, показавшими, что в летний период уменьшалась селективность функции распределения частиц, свидетельствующая о возрастающем долевым вкладе крупнодисперсных (пылевых) частиц в дисперсный состав аэрозоля.

Сопоставление результатов аэрозольных измерений в п. Баренцбург в 2011–2013 гг. с литературными данными по составу атмосферы на Шпицбергене

и в других высокоширотных районах Арктики и в Антарктике позволило оценить пределы вариаций аэрозольных характеристик в этом пункте. Полученные результаты свидетельствуют о существенном влиянии локальных источников аэрозоля, включая и сажевый, на уровни загрязнения приземного слоя воздуха в Баренцбурге. Начатый в настоящее время мониторинг аэрозольных характеристик в перспективе позволит оценить изменчивость аэрозольного загрязнения воздуха в районе РНЦШ для различных временных масштабов (сутки, месяц, сезон, год) и при накоплении достаточного объема данных разработать эмпирические оптические и микрофизические модели аэрозоля в регионе размещения станции (см., например, Panchenko et al., 2012). Они необходимы, в частности, для радиационных блоков при модельных оценках климатических изменений в регионе, а также контроля экологического состояния природной среды.

Авторы выражают благодарность организаторам и руководству экспедициями «Шпицберген-2011, 2012 и 2013» Л.М. Саватюгину и И.Ю. Соловьяновой за помощь в проведении исследований. Работа выполнялась при частичной поддержке проекта № 23 Программы фундаментальных исследований Президиума РАН; гранта РФФИ № 14-05-93109 НЦНИЛ_а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Виноградова А.А., Веремейчик А.О. Модельные оценки содержания антропогенной сажи в атмосфере Российской Арктики // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26. № 6. С. 443–451.
- Иванов Н.Е., Макишас А.П., Шутилин С.В., Гунн Р.М. Многолетняя изменчивость характеристик климата района гидрометеорологической обсерватории Тикси // Проблемы Арктики и Антарктики. 2009. № 1 (81). С. 24–41.
- Козлов В.С., Панченко М.В., Польшин В.В., Шмаргунов В.П., Турчинович Ю.С., Ходжер Т.В., Голобокова Л.П., Нецветаева О.Г., Онищук Н.А., Оболкин В.А., Потемкин В.Л. Микрофизические характеристики приземного аэрозоля, химический состав воздуха и осадков в Сибири и Приморье // Исследование радиационных характеристик аэрозоля в азиатской части России / Под ред. С.М. Сакерина. Томск: Изд-во ИОА СО РАН. 2012. С. 255–342.
- Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Панченко М.В. Сезонная изменчивость вертикальных профилей поглощающих характеристик субмикронного аэрозоля в тропосфере // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 7. С. 635–642.
- Козлов В.С., Шмаргунов В.П., Польшин В.В. Спектрофотометры для исследования характеристик поглощения света аэрозольными частицами // Приборы и техника эксперимента. 2008. № 5. С. 155–157.
- Польшин В.В., Панченко М.В., Грищенко И.В., Коробов В.Б., Лисицын А.П., Шевченко В.П. Исследования дисперсного состава приземного аэрозоля Белого моря в конце летнего сезона 2007 г. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 10. С. 836–840.
- Сакерин С.М., Чернов Д.Г., Кабанов Д.М., Козлов В.С., Панченко М.В., Польшин В.В., Радионов В.Ф. Предварительные результаты исследований аэрозольных характеристик атмосферы в районе Баренцбурга (Шпицберген) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 1 (91). С. 20–31.
- Смирнов В.В., Пронин А.А., Радионов В.Ф., Савченко А.В., Шевченко В.П. Внутрисезонные факторы изменчивости аэрозольного и ионного состава полярных атмосфер // Известия АН. ФАО. 2000. Т. 36. № 5. С. 639–649.
- Baklanov A.M., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Ankilov A.N., Vlasenko A.L. Generation of soot particles in submicron range // J. Aerosol Sci. 1998. Vol. 29. Suppl. 1. P. 919–920.
- Bond T.C., Bergstrom R.W. Light absorption by carbonaceous particles: an investigative review // Aer. Sci. and Technol. 2006. Vol. 40 (1). P. 27–67.

- Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W., Forster P.M. et al. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment // *Journal of Geophysical Research – Atmosphere*. 2013. Vol. 118. P. 5380–5552. doi:10.1002/jgrd.50171.
- Clarke A.D., Noone K.J. Soot in the Arctic snowpack: a cause for perturbations in radiative transfer // *Atmos. Environ.* 1985. Vol. 19. P. 2045–2053.
- Eleftheriadis K., Vratolis S., Nyeki S. Aerosol black carbon in the European Arctic: measurements at Zeppelin station, Ny-Ålesund, Svalbard from 1998–2007 // *Geophysical Research Letters*. 2009. Vol. 36. L02809. doi:10.1029/2008GL035741.
- Engvall A.-C., Ström J., Tunved P., Krejci R., Schlager H., Minikin A. The radiative effect of an aged, internally mixed Arctic aerosol originating from lower-latitude biomass burning // *Tellus B - Chemical and Physical Meteorology*. 2009. Vol. 61(4). P. 677–684. doi: 10.1111/j.1600-0889.2009.00432.x.
- Hansen A.D.A., Rosen H., Novakov T. The Aethalometer—An Instrument for The Real-time Measurement of Optical Absorption by Aerosol Particles // *Sci. Total. Envir.* 1984. Vol. 36. P. 191–196.
- Hirdman D., Burkhardt J.F., Sodemann H., Eckhardt S., Jefferson A., Quinn P.K., Sharma S., Ström J., Stoh A. Long-term trends of black carbon and sulphate aerosol in the Arctic: changes in atmospheric transport and source region emissions // *Atmos. Chem. Phys.* 2010. Vol. 10 (19). P. 9351–9368.
- Jacobson M.Z. Strong radiative heating due to the mixing slate of black carbon in atmospheric aerosols / *Nature*. 2001. Vol. 409. P. 695–697.
- Kozlov V.S., Panchenko M.V., Yausheva E.P. Mass fraction of Black Carbon in submicron aerosol as an indicator of influence of smokes from remote forest fires in Siberia // *Atmospheric Environment*. 2008. Vol. 42 (11). P. 2611–2620.
- Panchenko M.V., Zhuravleva T.B., Terpigova S.A., Polkin V.V., Kozlov V.S. An empirical model of optical and radiative characteristics of the tropospheric aerosol over West Siberia in summer // *Atmos. Meas. Tech.* 2012. Vol. 5 (7). P. 1513–1527.
- Petzold A., Schloesser H., Sheridan P.J., Arnott W.P., Ogren J.A., Virkkula A. Evaluation of Multiangle Absorption Photometry for Measuring Aerosol Light Absorption // *Aerosol Sci. and Technol.* 2005. Vol. 39. № 1. P. 40–51. doi:10.1080/027868290901945.
- Quinn P.K., Bates T.S., Baum E., Doubleday N., Fiore A., Flanner M., Fridlind A., Garrett T., Koch D., Menon S., Shindell D., Stohl A., Warren S.G. Short-lived pollutants in the Arctic: Their climate impact and possible mitigation strategies // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008. Vol. 8. P. 1723–1735.
- Stohl A., Klimont Z., Eckhardt S., Kupiainen K., Shevchenko V., Kopeikin V., Novigatsky A. Black carbon in the Arctic: the underestimated role of gas flaring and residential combustion emissions // *Atmos. Chem. Phys.* 2013. Vol.13. P. 8833–8855.
- Tomasi C., Vitale V., Lupi A., Di Carmine C. et al. Aerosols in polar regions: A historical overview based on optical depth and in situ observations // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. D16205 doi: 10.1029/2007JD008432.
- Wang M., Penner J.E. Aerosol indirect forcing in a global model with particle nucleation // *Atmos. Chem. Phys. Disc.* 2008. Vol. 8. P. 13943–13998. SRef-ID: 1680-7375/acpd/2008-8-13943.
- Weinbruch S., Wiesemann D., Ebert M., Schütze K., Kallenborn R., Ström J. Chemical composition and sources of aerosol particles at Zeppelin Mountain (Ny-Ålesund, Svalbard): An electron microscopy study // *Atmos. Environ.* 2012. Vol. 49. P. 142–150.

АНОМАЛИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ CO_2 НА ПОВЕРХНОСТНОМ ГОРИЗОНТЕ В АРКТИЧЕСКОМ БАССЕЙНЕ ЛЕТОМ 2007 г.

канд. хим. наук А.П. НЕДАШКОВСКИЙ¹, мл. науч. сотр. Е.П. БОНДАРЕВА²

¹ — Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, г. Владивосток, e-mail: nealpa@mail.ru

² — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: lena_kirillova@mail.ru

ВВЕДЕНИЕ

Направление обмена углекислым газом между океаном и атмосферой определяется разностью парциальных давлений углекислого газа, $P(\text{CO}_2)$, в атмосфере и на поверхностном горизонте. Как правило, характеристики поверхностного горизонта в Мировом океане достаточно близки характеристикам верхнего квазиоднородного слоя (ВКС). В Северном Ледовитом океане (СЛО) в летний сезон характеристики поверхностного горизонта во многих случаях значительно отличаются от характеристик ВКС, что в основном связано с распреснением, вызванным таянием льда и атмосферными осадками. Наблюдения $P(\text{CO}_2)$ на поверхностном горизонте представляют интерес для оценки роли СЛО в обмене углекислым газом в летний сезон.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Наблюдения проводились в 26-м рейсе НЭС «Академик Федоров» в августе 2007 г. Выполнено 52 станции. Ледовая обстановка в районах отбора проб по данным (Обзорные карты..., 2012) представлена в табл. 1. Схема станций представлена на рис. 1.

Пробы воды с поверхностного горизонта отбирались ведром с носовой части судна. Температура измерялась электронным термометром с выносным датчиком (HI 98508 Checktemp 1, HANNA Instruments, Германия) непосредственно в ведре.

Таблица 1

Ледовая обстановка в период проведения наблюдений (август–сентябрь 2007 г.)

Станции	Период наблюдений	Ледовая обстановка
11	6 августа	Лед 7–10 баллов
19–21	7 августа	Открытая вода
34–41	10–11 августа	Граница зоны 7–10 баллов с зоной 1–6 баллов
44–53	12–14 августа	Лед 7–10 баллов
54–60	15–17 августа	Открытая вода
61–72	18–25 августа	Лед 7–10 баллов
73–82	25 августа – 1 сентября	Открытая вода

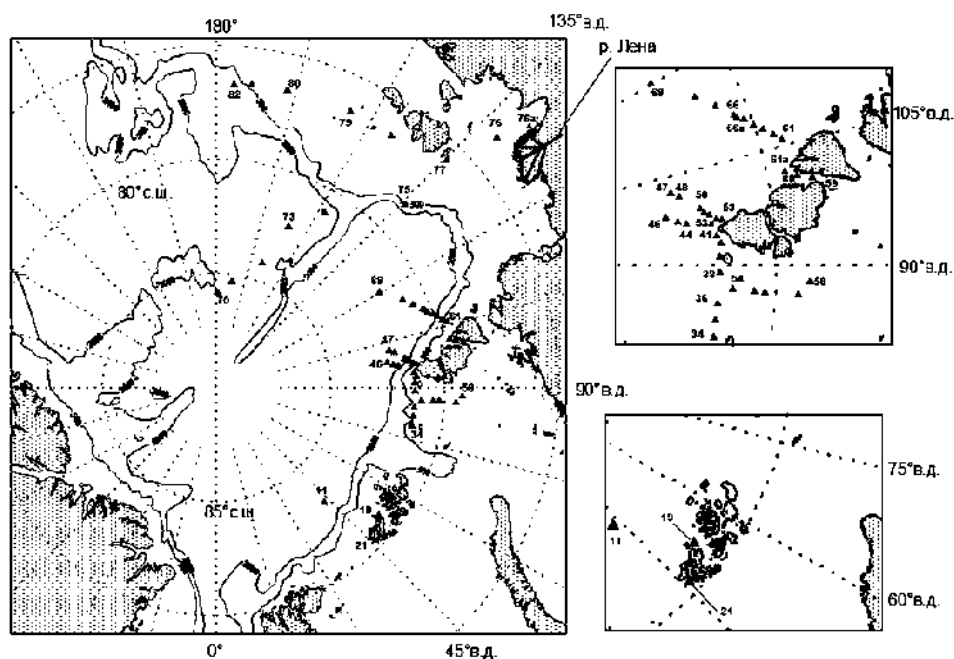


Рис. 1. Схема станций в 26-м рейсе НЭС «Академик Федоров»: цифры — номера станций. В правой части подробно показано расположение станций в районе Северной Земли и Земли Франца-Иосифа.

Соленость определялась с помощью солемера Autosal 8400B. Калибровку солемера выполняли по стандартам морской воды ($K_{15} = 1,00025$ и $K_{21} = 0,3254$), изготовленным ИО РАН им. П.П. Ширшова. Определение общей щелочности (ТА), pH и расчет давления углекислого газа выполнялись как описано в (Недашковский, Лесенков, 2014). Соленость и pH определялись на борту судна. Щелочность определялась спустя 1–2 месяца в пробах, законсервированных сулемой, в лагерной лаборатории СП–35.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Температура и соленость на поверхностном горизонте сильно варьировали. На станциях в ледяном поле сплоченностью 7–10 баллов температура воды оставалась низкой, составляя $-1,7 \dots -0,2$ °C, соленость изменялась от 3,6 до 33,6 psu. В открытой воде, за исключением станций 76, 76а, 77, температура на поверхностном горизонте менялась в пределах: $-1,2 \dots 4,8$ °C, соленость в пределах 23,6–33,4 psu. На станциях 76, 76а, 77 наблюдалась высокая температура: 6–8 °C; соленость варьировала в интервале 2,8–19,3 psu.

На рис. 2 показана изменчивость $P(\text{CO}_2)$. Парциальное давление CO_2 в атмосфере в период проведения наблюдений по данным обсерватории Барроу (NOAA ESRL..., 2013) составляло 373 ± 1 мкатм. На рисунке видно, что на большинстве станций в исследуемом регионе $P(\text{CO}_2)$ на поверхностном горизонте меньше атмосферного, следовательно, имеет место сток CO_2 из атмосферы.

Пересыщение CO_2 (черные кружки) наблюдается в двух районах: на станциях 76–79, расположенных в море Лаптевых западнее и севернее Новосибирских островов, и на станциях 64, 65 на разрезе от о. Большевик поперек материкового склона.

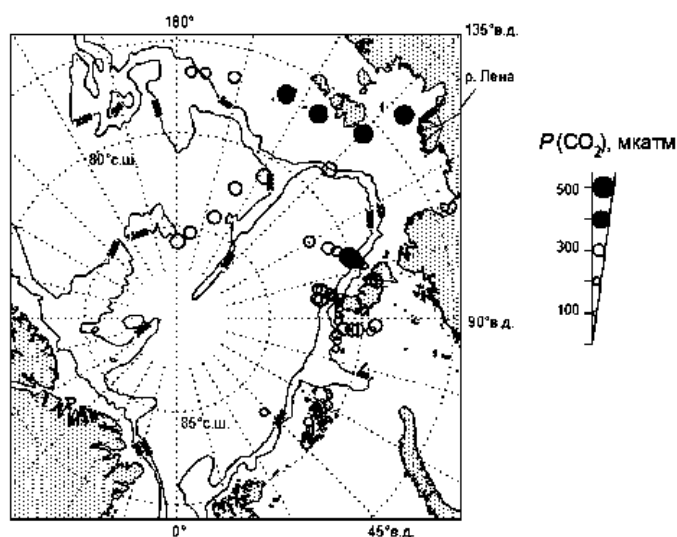


Рис. 2. Парциальное давление CO_2 на поверхностном горизонте: черные кружки — $P(\text{CO}_2) > 373$ мкатм (пересыщение), светлые кружки — $P(\text{CO}_2) < 373$ мкатм (недосыщение).

Станции 76–79 расположены в районе влияния стока Лены (Атлас океанов..., 1980). $P(\text{CO}_2)$ на этих станциях меняется в интервале 430–455 мкатм. Из-за выноса биогенных элементов и органического вещества воды в этой области характеризуются высокой интенсивностью продукционно-деструкционных процессов. Вследствие этого биотические факторы, контролирующие $P(\text{CO}_2)$, здесь играют большую роль, что качественно отличает данный район от остальной акватории. Пересыщение может вызываться тем, что на момент съемки главным фактором, определяющим $P(\text{CO}_2)$, является окисление $\text{C}_{\text{орг}}$.

На ст. 64 и 65 давление $\text{CO}_2 \sim 430$ мкатм. Станции расположены в районе, в котором поверхностный горизонт не насыщен CO_2 . Кроме того, в этой области воды,

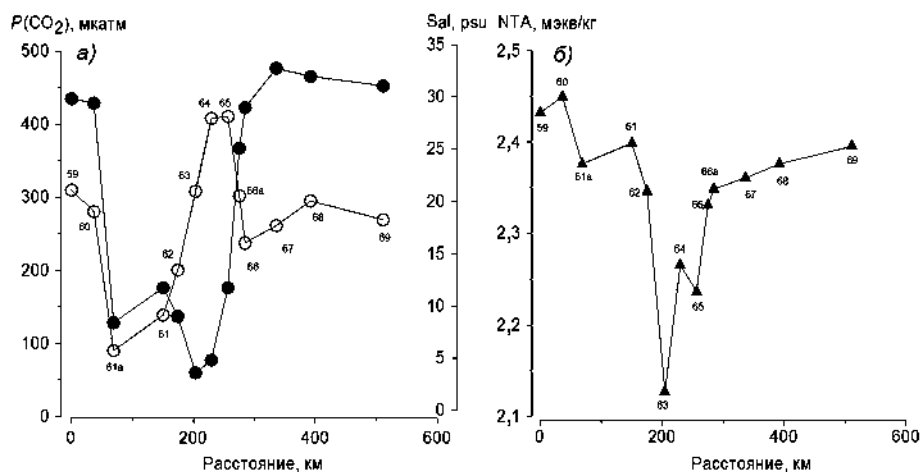


Рис. 3. Изменчивость $P(\text{CO}_2)$ и Sal (а), а также NTA (б) на разрезе ст. 59–69: черные кружки — Sal, светлые кружки — $P(\text{CO}_2)$, треугольники — NTA. Цифры — номера станций.

лежащие ниже, также не насыщены углекислым газом. Рассмотрим возможную причину повышенного $P(\text{CO}_2)$ на ст. 64 и 65. На рис. 3 показана изменчивость $P(\text{CO}_2)$, солености и нормированной щелочности, NTA ($\text{NTA} = \text{TA}/\text{Sal} \cdot 35$), на разрезе ст. 59–69.

На рис. 3а видно, что на начальном участке разреза с уменьшением солености $P(\text{CO}_2)$ падает. Однако на участке ст. 62–66 минимуму солености отвечает максимум $P(\text{CO}_2)$. На рисунке 3б видно, что максимуму $P(\text{CO}_2)$ соответствует значительное понижение NTA. Разбавление морской воды речной водой может вызывать только рост NTA. Разбавление водой, образующейся при таянии морского льда, практически не меняет NTA (Недашковский, Швецова, 2010). Падение NTA в районе станций 62–66 можно объяснить тем, что морская вода разбавляется талой водой, подкисленной в результате выпадения кислотных осадков в виде снега. Если кислоты в снегу отсутствуют, оценкой NTA на ст. 62–66 может быть среднее значение NTA для ст. 61а, 61, 66–69, составляющее 2,377 мэкв/кг. В этом случае ожидаемая щелочность воды ($\text{TA}_{\text{ожд}}$) на поверхностном горизонте ст. 62–66 определяется следующим образом: $\text{TA}_{\text{ожд}} = 2,377/35 \cdot \text{Sal}$, где Sal — соответствующая соленость.

Подкисление, уменьшая щелочность, не должно изменить содержание общего неорганического углерода. Из пар значений $\text{TA}_{\text{ожд}}$ и ТС можно рассчитать давление CO_2 , которое должно наблюдаться в отсутствие подкисления. Расчет показывает, что без подкисления пика $P(\text{CO}_2)$ в рассматриваемой области не будет. При этом ожидаемое $P(\text{CO}_2)$ на ст. 64 и 65 составит 245 и 123 мкатм. Предполагаемая кислотность снега, которая рассчитывается по разности между $\text{TA}_{\text{ожд}}$ и измеренной величиной TA, составляет 0,02 мэкв/кг на ст. 64 и 0,08 мэкв/кг на ст. 65. Если кислотность обусловлена сильной кислотой и коэффициент активности ионов H^+ близок к 1, то полученным оценкам кислотности соответствуют предельные величины pH атмосферных осадков, равные 4,7 и 4,1.

Согласно (Першина, Полищук, Свистов, 2009) в европейском районе Российской Арктики наибольшая повторяемость значений pH осадков приходится на интервал от 4,6 до 6,7. В отдельных случаях регистрировались кислотные осадки, среднеемесячное значение pH которых составляло 3,6. В Мурманске наблюдались осадки с $\text{pH} \sim 3,2$. В сибирском регионе самая низкая величина pH осадков составляла 3,9. Таким образом, выполненные оценки возможной кислотности осадков в районе ст. 64 и 65 вполне реальны. Согласно (The Arctic Environmental Atlas, 2013) воздушный перенос в этот район осуществляется из Северной Европы, Кольского полуострова, захватывая район Норильского комбината. Именно в этих областях воздушные массы могут загрязняться кислотными соединениями (Першина, Полищук, Свистов, 2009; Свистов и др., 2009). Следовательно, повышенное давление CO_2 , наблюдаемое на ст. 64 и 65, можно рассматривать как аномалию, обусловленную выпадением кислотных осадков.

В желобе Воронина, вблизи архипелага Земля Франца-Иосифа, в проливе Шокальского между островом Октябрьской Революции и островом Большевик на поверхностном горизонте наблюдались воды, сильно распресненные за счет таяния льда (причина распреснения во всех случаях устанавливалась при расчете вклада речных и талых вод). Как правило, с уменьшением солености давление углекислого газа падает. Наиболее низкие величины $P(\text{CO}_2)$ наблюдались на ст. 53а (3,6 psu и 51 мкатм) и 61а (8,4 psu и 93 мкатм). Это подтверждает предположение (Недашковский, Швецова, 2010; Makshtas et al., 2011), что распреснение, вызываемое таянием льда, уменьшает давление углекислого газа, способствуя тем самым его стоку из атмосферы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В августе парциальное давление CO_2 на поверхностном горизонте на большей части акватории в Евразийском секторе Арктики меньше равновесного с атмосферой. Пересыщение CO_2 наблюдается в двух областях. Первая расположена в районе влияния стока Лены. Здесь пересыщение вызывается окислением органического вещества, поступающего с речным стоком. Вторая область находится северо-восточнее о. Большевик, где поверхностный горизонт сильно распреснен за счет таяния льда. Распреснение, вызываемое таянием льда, уменьшает давление углекислого газа. Поэтому в этой области высокое $P(\text{CO}_2)$ является аномалией. Анализ показывает, что аномалия может объясняться выпадением кислотных осадков. Размер аномалии в меридиональном направлении составляет около 50 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас океанов. Северный Ледовитый океан. М.: Главное управление навигации и океанографии МО СССР, 1980. 184 с.

Недашковский А.П., Лесенков С.Б. Изменчивость парциального давления CO_2 в поверхностной структурной зоне в Евразийском секторе Арктики // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. № 3 (101). С. 37–47.

Недашковский А.П., Швецова М.Г. Общий неорганический углерод в морском льду // Океанология. 2010. Т. 50. № 6. С. 910–917.

Обзорные карты состояния ледяного покрова Северного Ледовитого океана. URL: <http://www.aari.ru/projects/ECIMO/index.php> (дата обращения 25.12.2012).

Перицина Н.А., Полищук А.И., Свистов П.Ф. К вопросу о закислении атмосферных осадков в Российской Арктике // Труды ГГО. 2008. Вып. 558. С. 211–232.

Свистов П.Ф., Перицина Н.А., Полищук А.И., Павлова М.Т. Кислотный и химический состав атмосферных осадков. Раздел 2.3. // Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2008 г. М.: Росгидромет, 2009. С. 51–55.

The Arctic Environmental Atlas (in Russian). Transport Pathways. URL: <http://www.arctic.noaa.gov/aaro/atlas/> (дата обращения 17.01.2013).

Makshatas A., Nedashkovsky A., Utall T. The role of the arctic sea ice cover in carbon dioxide exchanges // 11th Conference on Polar Meteorology and Oceanography. 2–4 May 2011, Boston, Massachusetts. URL: <https://ams.confex.com/ams/11Polar/webprogram/Paper188861.html> (дата обращения 01.10.2013)

NOAA ESRL Global Monitoring Division Carbon Cycle Gases Barrow, Alaska, Time Series. URL: <http://www.esrl.noaa.gov/gmd/dv/iadv/graph.php?code=BRW&program=ccgg&type=ts> (дата обращения 02.08.2013).

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ СОПРОВОЖДЕНИЕ ЗОНИРОВАНИЯ ГЕОСИСТЕМ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ ПО СТЕПЕНИ УЯЗВИМОСТИ

канд. геогр. наук И.В. ФЕДОРОВА^{1,2,3}, канд. геогр. наук И.Е. СИДОРИНА²,
студентка М.А. РОДИЧЕНКО², инженер Т.В. СКОРОСПЕХОВА¹,
науч. сотр. А.А. ЧЕТВЕРОВА^{2,1}, д-р геогр. наук В.В. ДМИТРИЕВ²,
канд. мед. наук В.Н. ШЕПОВАЛЬНИКОВ¹, вед. инженер Н.К. ШУМСКАЯ¹,
аспирант О.Н. БОБРОВА², ассистент Т.В. ПАРШИНА², науч. сотр. Р.Е. ВЛАСЕНКОВ¹

¹ — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, e-mail: AChetverova@otto.nw.ru, cpm@aari.ru, vre@aari.ru

² — Санкт-Петербургский государственный университет, e-mail: vasily-dmitriev@
rambler.ru, tat_shurik@mail.ru, helga.castor@gmail.com

³ — Казанский (Приволжский) федеральный университет, e-mail: ifedorova@otto.nw.ru

ВВЕДЕНИЕ

Современные направления региональной политики и устойчивого развития регионов России предполагают переход от концепции «реагировать на угрозы и исправлять» к концепции «предвидеть и предупреждать». Реализация такого подхода к управлению требует выявления опасностей (угроз) для развития арктических природных систем, оценки риска управленческих решений и формирования системы геоинформационного управления рисками для систем различного масштаба и сложности. Кроме этого, немаловажным является умение выявлять способность геосистем сохранять свои свойства и параметры режимов в условиях внешних и внутренних воздействий на них (Отчет о научно-исследовательской работе, фонды СПбГУ, 2011).

Если анализировать количество видов и биоразнообразие в различных зонах мира (Arctic Biodiversity Assessment, 2013), можно заметить, что в Российской Арктике произрастает всего до 200 видов высших сосудистых растений на 10 тыс. км², а в Субарктике — уже до 500. То есть арктический регион, в силу своих природных условий, имеет узкие рамки биоразнообразия и является довольно чувствительным к техногенным воздействиям, особенно в связи с возрастающей хозяйственной нагрузкой на него.

Наиболее уязвимыми и чувствительными к климатическим флуктуациям и антропогенному воздействию являются прибрежные геосистемы. В связи с этим важной задачей является выделение зон повышенной устойчивости или уязвимости на основе определения главных критериев изменения устойчивости геосистем. В работе представлен один из подходов к выделению зон уязвимости прибрежных арктических геосистем. Развитие подхода применительно к водным объектам, по-

чвам и ландшафтам в целом приводится в серии наших работ (Дмитриев и др., 2012; Дмитриев и др., 2013; Дмитриев и др., 2014). Был создан первоначальный вариант геоинформационной системы (ГИС), что позволило разнородные и разрозненные исходные данные объединить в одной базе данных. В разработанной ГИС учтены разномасштабность и пространственная неоднородность значимых процессов в прибрежной зоне. В итоге появилась не только возможность разноаспектного представления разрозненных и разнородных данных на покомпонентной основе, но и возможность их учета при оценке эмерджентных (устойчивых, благополучных) свойств геосистем и визуализации результатов зонирования геосистем прибрежных районов Российской Арктики по степени их уязвимости к техногенным и климатическим воздействиям.

ОБОСНОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗОН УЯЗВИМОСТИ ГЕОСИСТЕМ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Под «геосистемой» нами понимается фундаментальная структурная единица географического ландшафта, объединяющая в себе геоморфологические, климатические, гидрологические природные компоненты и живые организмы на определенном участке поверхности Земли. Геосистемы прибрежных районов Российской Арктики представлены приморскими территориями и прибрежными акваториями. Именно эти районы наиболее плотно используются человеком, как для обеспечения жизнедеятельности местными жителями, так и для добычи полезных ископаемых в промышленных масштабах. Поэтому данные геосистемы наиболее чувствительны к антропогенному воздействию. Оценка этого воздействия и выделение наиболее уязвимых зон могут быть основаны на нескольких принципах — био-, эко-, гео- и антропоцентрическом. Критериями оценивания в первом и втором случаях могут выступать биоразнообразие экосистем, совокупность абиотических факторов, их изменение под влиянием антропогенных факторов. В последнем случае наиболее показательными, на наш взгляд, являются качество жизни и здоровье населения — критерии, имеющие важные социальную, экономическую и экологическую составляющие (Боблакова и др., 2014; Осипова и др., 2014).

Немаловажным фактором при оценивании прибрежных геосистем выступает и гидрометеорологическая обстановка. На пограничных территориях, каковой и является прибрежная зона Арктики, активизируется циклоническая деятельность, возрастают волновая, а значит, и эрозионная активность, происходят сложные процессы в зоне смешения пресных и морских вод (устьевые зоны рек). Наличие трансграничного переноса способствует распространению различных летучих веществ, в том числе аэрозолей, на довольно большие расстояния в глубь континента.

Зонирование — территориальное обобщение каких-то групп сходных явлений или объектов и пространственное их отчленение от других подобных групп. Зонирование может выражаться в дифференциации процесса, в построении карт и схем районов с отличительными признаками. Выделение зон — весьма сложная и неоднозначная задача, т.к. границы природных процессов или природных объектов нечеткие и часто принимаются с какими-либо условностями. Например, трудно выделить границу между морскими и речными водами, т.к. перемешивание происходит постепенно и постоянно, иногда без наличия четко выраженного галоклина, граница плавающая, т.к. приливо-отливные и сгоно-нагонные явления все время меняют ее местоположение.

Для проведения зонирования территорий необходимо выделить критерии, по которым будет проводиться выборка. Это могут быть границы объектов (например, граница моря или граница природной зоны), сфера влияния того или иного воздействия (например, трансграничный перенос может резко увеличить пространственную неоднородность территории), ареал распространения (того или иного вида растений или животных), промышленная дифференциация территорий, политическая граница государства и пр. Наиболее сложными для зонирования являются морские объекты с «виртуальной» морской границей.

Гидрометеорологические условия для зонирования акватории морей Северного Ледовитого океана (СЛО) и прибрежных территорий по степени уязвимости к различным техногенным воздействиям играют двоякую роль. С одной стороны, сильные ветры и волнение могут стать причиной техногенных аварий на море, что в конечном счете может привести к распространению загрязняющих веществ (ЗВ) на большие расстояния. Например, разливы нефти в морской части часто оказываются причинами гибели множества рыб и млекопитающих даже в прибрежной части, т.к. волновой перенос транспортирует нефтеуглеводороды (НУ). Аварии на атомных подводных лодках могут привести к радиационному заражению большей части моря ввиду наличия течений. С другой стороны, гидрометеорологические факторы могут ослаблять воздействие или рассеивать его, что часто для крупных точечных выбросов бывает необходимо; действие ветра определенного направления в данный момент может не привести к аварии, т.к. выброс газа, к примеру, пойдет в другую сторону от возможного места возгорания.

Отдельно стоит выделять внутренние части морей и прибрежные территории из-за различных параметров среды, ледовой обстановки и иногда даже разнонаправленности геопроцессов. Стоит упомянуть также о береговых зонах и различных типах берегов, подверженных и не подверженных волновым процессам; берегах с узкими заливами, термоабразионных и др. Особенно важен тип берегового процесса для строительства и эксплуатации портовых сооружений, наливных емкостей и пр. Часто отмечаются термоабразионные процессы, приводящие к разрушению берега, его отступанию. Также существуют и противоположные процессы, например аккумуляция наносов в устьевых областях рек и заиление русловых каналов.

Для арктического региона важным компонентом для зонирования территорий по уязвимости к техногенным воздействиям является учет месторасположения особо охраняемых территорий. Выделяются природные заповедники, национальные парки и заказники. Самой большой заповедник в Российской Арктике находится на северо-западном побережье Таймыра и в Карском море. Стоит отметить также заповедники дельты р. Лены и о. Врангеля. Из приморских охраняемых территорий выделяют заказники, памятники природы, природные парки и ресурсные резерваты (Атлас, 2014).

Источниками загрязнений морской среды могут служить непосредственно нефтяные вышки и платформы при добыче полезных ископаемых на шельфе, трубопроводы, морской транспорт, перевозящий различные грузы, места захоронения радиоактивных отходов, поселки, расположенные по берегам морей, а также все поселки и месторождения, сток с которых может по рекам или плоскостным смывом попадать в море. Также стоит отметить наличие воздушного переноса для транспорта загрязняющих веществ, в том числе аэрозолей, гари, копоти и пыли. Эти загрязнения могут улавливаться растениями на довольно больших расстояниях. Например, на-

личие горнодобывающей промышленности на Кольском полуострове сказывается в содержании тяжелых металлов не только во мхах и лишайниках (Шевченко, 2006), но и в биосубстратах (волосах, крови, плаценте) людей (Колесников и др., 1986).

Немаловажным фактором для зонирования с биоцентрической точки зрения является видовое разнообразие животных и растений, т.к. существует масса стенобионтных видов, которые имеют крайне малый ареал распространения, в отличие, к примеру, от белых медведей, которые могут мигрировать по всей Арктике. Поэтому в данном случае стоит задача выбора наиболее верного индикационного вида для зонирования уязвимости геосистем.

Зонирование территорий с учетом условий проживания и деятельности людей представляет еще большую сложность. Следует выделять коренное и пришлое население, т.к. их образ жизни и ведения хозяйства абсолютно различен и, соответственно, должны быть использованы разные подходы к зонированию территории. Так, коренное население, занимающееся пастбищным оленеводством, имеет больший ареал распространения и больший вес при учете характерных параметров среды для ведения хозяйства на определенной территории, чем пришлое, которое проживает по большей части в поселках и городах. В ряде случаев именно точечные объекты являются основными факторами, смещающими границы зон уязвимости.

Разработка системы показателей качества жизни населения является одним из важнейших направлений исследований, нацеленных на совершенствование инструментов управления развитием общества. Повышение уровня жизни населения является главной целью любого прогрессивного общества. Государство обязано создавать благоприятные условия для долгой, безопасной, здоровой и благополучной жизни людей, обеспечивая экономический рост и социальную стабильность в обществе.

Термин «качество жизни» был введен Дж. Гэлбрейтом в 1960-е гг. при решении проблемы охраны окружающей среды и обновления городов, оценки здоровья городского населения. Ряд авторов трактуют качество жизни как сложное, комплексное многокомпонентное понятие, но эта сложность рассматривается ими в различных аспектах. Одни авторы определяют качество жизни через систему качеств (духовных, материальных, социокультурных, экологических и демографических компонентов жизни). Другие представляют качество жизни как комплексную, интегральную характеристику экономических и неэкономических факторов, определяющих положение человека в современном обществе. Третьи говорят о качестве жизни как об интегральном понятии, всесторонне характеризующем степень (уровень) комфортности общественной и природной среды для жизни и деятельности (труда) человека, уровень благосостояния, социального, духовного и физического здоровья человека. Категория «образ жизни» подразумевает в общем виде формы жизнедеятельности людей, типичные для исторически определенных социальных отношений. Категория «стиль жизни» конкретизирует образ жизни, раскрывает его особенности, выражающиеся в общении, поведении людей. Категория «уровень жизни» предусматривает еще один важнейший параметр любой социальной системы — жизнеобеспеченность. Уровень жизни характеризует количественную сторону жизни, сопоставимую с качественной, степень удовлетворения материальных и культурных потребностей людей. Существующие трактовки понятия «качество жизни» весьма многочисленны и неоднозначны, следовательно, и подходы к его измерению у разных исследователей различны.

Наиболее известно определение «качества жизни», данное ВОЗ. По этому определению качество жизни — это восприятие людьми своего положения в жизни в зависимости от культурных особенностей и системы ценностей и в связи с их целями, ожиданиями, стандартами и заботами.

Это определение, на наш взгляд, не полностью отражает суть данного термина, поскольку восприятие людьми своего положения зависит от социальных, экономических и экологических особенностей и системы ценностей, принятых в обществе, в связи с их целями, ожиданиями, стандартами и нормами.

В наши дни *качество жизни* — термин, широко применяемый в экологии человека, в социальной экологии и выражающий качество удовлетворения материальных и культурных потребностей людей — качество питания, комфорт жилища, качество образования, здравоохранения, сферы обслуживания, окружающей природной среды, структуры рекреации; модность одежды, степень удовлетворения потребностей в объективной информации, уровень стрессовых состояний и т.д. Кроме того, под качеством жизни может пониматься соответствие среды жизни социально-психологическим установкам личности. Исходя из определений качества жизни, основной задачей оценки может считаться определение совокупности природных, социальных и экономических условий, обеспечивающих в той или иной степени *здоровье человека* — личного и общественного и его потребности, т.е. соответствия среды жизни здорового человека его потребностям (Боблакова и др., 2014).

По-видимому, качество жизни на современном этапе — главный критерий развития научно-технического и человеческого потенциала региона, достижения его социально-экономической безопасности и определения уровня социально-экономического развития.

Экономические и социальные компоненты качества жизни — здоровье населения, размещение промышленности, перспективы экономического развития — весьма важны при проведении границ зон при антропоцентрическом подходе. При анализе данных по здоровью населения четко прослеживаются границы болееязвимых участков Арктики. Как правило, основным фактором при этом является размещение источников загрязнений и тип этих загрязнений. По всем данным, одним из неблагоприятных районов Российской Арктики по заболеваемости является ЯНАО и по некоторым видам заболеваний Чукотка.

Если говорить о зонировании по степени уязвимости к техногенным воздействиям, то необходимо выделять отдельные компоненты геосистем, т.к. одни из них могут быть более уязвимы к определенным параметрам, а другие — совершенно к иным. Так, бентос не так сильно будет зависеть от поверхностных разливов нефти, как сообщества водоплавающих птиц и морских млекопитающих. С другой стороны, бентос окажется значимым индикатором при образовании подводных карьеров или дноуглубительных работах. Однако жизнеспособность бентоса заливов, губ и эстуариев во многом определяется именно речным стоком, стоком наносов, которые осаждаются на границе с морем, тем самым создавая вероятность поступления загрязняющих веществ на дно. Трубопроводы, проложенные по дну морей, составляют большую потенциальную угрозу всей водной толще, всем живым организмам и трофической цепи в целом. Например, результаты гидрохимических анализов, выполненные во время экспедиции «Ямал – Арктика» летом 2012 г. в Байдарацкой губе, показали загрязнение нефтеуглеводородами (НУ) как в придонном, так и в поверхностном слоях

(Научный отчет экспедиции «Ямал – Арктика», фонды ААНИИ, 2013). Превышение ПДК по НУ были обнаружены также и в озерах на самом побережье Обской губы (п. Тамбей), причиной этого может являться либо поступление с наземной техникой, либо с морской водой во время весеннего половодья, когда затапливаются обширные участки побережий (лайды).

Таким образом, уязвимость геосистем прибрежных районов Российской Арктики характеризуется совокупностью многих разновесомых параметров, наиболее значимыми из которых, на наш взгляд, являются индикаторы, объединенные в группы: гидрометеорологические, заболеваемость населения и биоразнообразие экосистем. Именно изменение этих индикаторов свидетельствует об уязвимости геосистем. Однако задача состоит не только в том, чтобы оценить уязвимость геосистем прибрежных районов Российской Арктики, но и выделить зоны уязвимости и получить их пространственное отображение на карте, для более наглядной характеристики тех или иных территорий, а также для возможности прогноза ситуаций изменения геосистем при усилении антропогенного воздействия или смене гидрометеорологических условий. Для этого был разработан первоначальный вариант ГИС зон уязвимости геосистем прибрежных районов Российской Арктики.

ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ЗОН УЯЗВИМОСТИ ГЕОСИСТЕМ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

Геоинформационная система зон уязвимости геосистем прибрежных районов Российской Арктики создавалась на базе программных продуктов ArcGis 9.3 и Microsoft Access. Система состоит из трех основных блоков: база данных, блок визуализации и аналитический блок. В исходных данных, которые были использованы для работы, можно выделить две главные составляющие: данные наблюдений и исследований геосистем и картографические материалы. Все исходные данные, а также обработанные файлы в табличном виде вошли в базу данных ГИС. Визуализация данных проводилась как для предварительной информации, которая использована в дальнейшем для выделения зон уязвимости, так и для непосредственного составления итоговых карт. Аналитические функции системы применялись для анализа пересечений полигонов и для выделения буферных зон.

Описание исходных данных, их визуализация. Основной блок в ГИС — база данных (БД). Главные задачи, которые он выполняет, — хранение и структурирование данных, возможность получения оперативной информации и связь базы данных с блоком визуализации. Имеющиеся данные по различным параметрам представлены в виде таблиц Microsoft Excel, такое хранение данных облегчает их использование при визуализации информации с помощью программы ArcGis. В качестве картографической основы в ГИС была использована Электронная карта России М 1:1000000. В исходные данные наблюдений и исследований БД вошли: гидрометеорологические данные, экологические данные, сведения о загрязнении окружающей среды и данные по заболеваемости населения арктических районов.

Гидрометеорологические данные представляют собой именно критические значения, которые в большей степени могут влиять на последствия в геосистемах прибрежных территорий. Были использованы справочные данные за многолетний период по режиму ветра и волнения морей Баренцева, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского, Японского и Охотского (Справочные данные, 2009; Справочные данные, 2013) — карты ветров максимальной силы более 26 м/с и

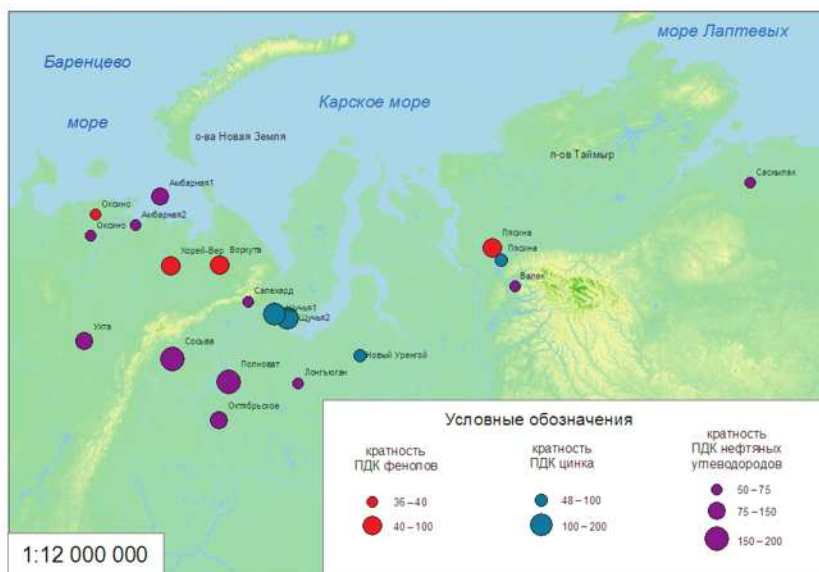


Рис. 1. Пространственное распределение максимальных уровней загрязненности водной среды фенолами, цинком и нефтеуглеводородами рек бассейнов Баренцева и Карского морей.

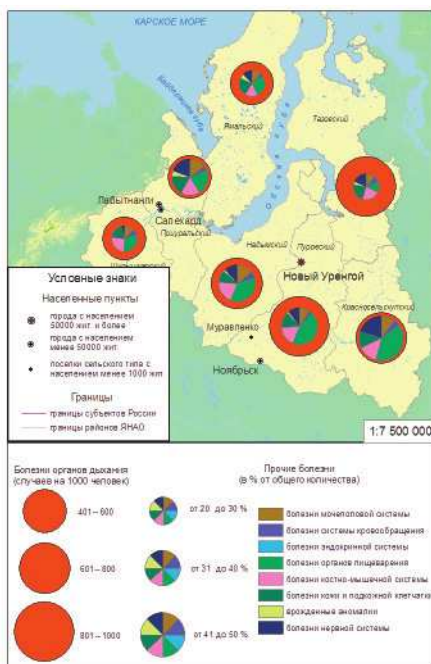


Рис. 2. Карта заболеваний подростков (15–17 лет) в поселках и районах Ямало-Ненецкого автономного округа.

К статье И.В. Федоровой, И.Е. Сидориной, М.А. Родиченко и др.

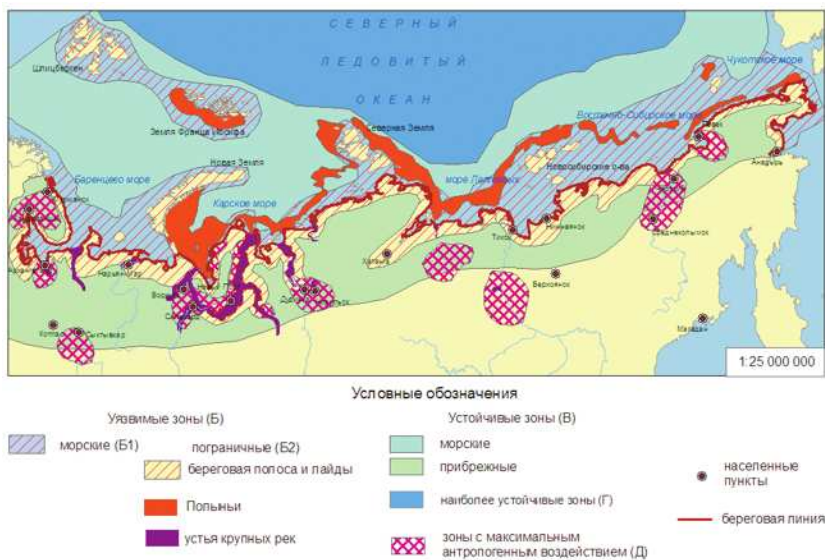


Рис. 3. Зоны уязвимости российской акватории морей Северного Ледовитого океана и прибрежных территорий к техногенному и гидрометеорологическому воздействию.

максимального волнения более 5 баллов. Учитывались следующие характеристики волнения и ветрового режима: а) экстремальные скорости ветра (в м/с) с осреднением 10 мин, 2 мин и 5 с (порывы), возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50 и 100 лет, по направлениям (8 румбов) и без учета направлений (макс.); б) длительность штормов (в сут.) для скоростей ветра; в) экстремальные высоты волн (в м), средние, 13, 3, 1 и 0,1 %-ной обеспеченности, возможные 1 раз в год, 5, 10, 25, 50 и 100 лет, по направлениям (8 румбов) и без учета направлений (макс.); в) характеристики опасных природных явлений и аномалий за 40-летний период 1973–2012 гг. по данным на 12 метеорологических станциях, расположенных в прибрежной зоне арктических морей (<http://www.ncdc.noaa.gov>; <http://www.rp5.ru>). Все характеристики были внесены в БД, в созданной ГИС построены карты повторяемости ветров со скоростью более 26 м/с и карты вероятности появления волнения более 5 баллов в морях Российской Арктики.

Анализ данных показал, что для Баренцева и Карского морей опасные гидрометеорологические явления имеют большую вероятность и силу, а также довольно ровный внутригодовой ход. Только летние месяцы являются более стабильными и не такими опасными для судоходства. Лаптевых и Чукотское моря характеризуются меньшими силами ветра и меньшим количеством штормов. Только май может оказаться довольно опасным для мореходства в море Лаптевых, когда отмечается наибольшая вероятность штормов.

Для анализа *экологических* характеристик прибрежных районов и оценки их уязвимости были использованы различные источники картографического материала и данные, в первую очередь — Атлас биологического разнообразия морей и побережий Российской Арктики (Атлас, 2011). Для анализа были выбраны: карта физико-географического районирования морей, районирование основных групп макрозообентоса, провинции Арктической флористической области и число обитающих в них видов приморских маршевых сосудистых растений, распространение морских льдов в СЛО, районы расположения основных заприпайных полыней, морфогенетические типы берегов, ключевые орнитологические территории в береговой зоне и морях, а также расположение и границы федеральных морских и приморских особо охраняемых природных территорий, региональных приморских особо охраняемых природных территорий.

Сведения о загрязнении окружающей среды представлены в БД информацией по загрязнению рек, впадающих в СЛО (Отчет о научно-исследовательской работе, фонды СПбГУ, 2011), перечнем экологических последствий антропогенного воздействия на арктическую морскую среду Арктики (Отчет о научно-исследовательской работе, фонды СПбГУ, 2011) и загрязнению лишайников (Шевченко, 2006). Арктические реки, впадающие в СЛО, часто приносят уже сильно загрязненные воды. Наиболее опасными ЗВ, которые поступают в СЛО с речным стоком, являются нефтеуглеводороды, фенолы, соединения меди и цинка, употребление которых в течение длительного времени может сказываться на здоровье местного населения. Наиболее загрязненными из арктических рек являются реки Щучья, Обь и Норилка. По этим данным было создано более двадцати карт загрязнения лишайников (отдельно по химическим элементам: Al, Zn, Cd, K, Ca, Co, La, Mg и т.д.). На рис. 1 на цв. вклейке можно увидеть сводную карту пространственного распределения максимальных уровней загрязненности водной среды фенолами, цинком и нефтеуглеводородами, на которой отражена кратность превышения рыбохозяйственных ПДК этих веществ в наиболее загрязненных реках бассейнов Баренцева и Карского морей.

Данные по заболеваемости населения были взяты из материалов проекта «Дети Севера», реализованного в 2000–2005 гг., из Отчета о научно-исследовательской работе (Фонды ААНИИ, 2014), а также материалов государственной статистической отчетности МПГ 2007/08. По результатам исследований была создана серия карт, куда вошли карты: «Динамика заболеваемости детей от 0 до 14 лет болезнями системы кровообращения за период 2002–2005 гг.», «Карта заболеваемости подростков 15–17 лет в Ямало-Ненецком автономном округе (ЯНАО) по районам» (см. рис. 2 на цв. вклейке), «"Горячая точка" природной территории Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) Обская губа и загрязняющие ее вещества».

Сравнение заболеваемости взрослого населения двух поселков Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО) — п. Харп и п. Аксарка (Отчет о научно-исследовательской работе, фонды ААНИИ, 2014) — показало, что наиболее значимыми заболеваниями являются: жировая дистрофия печени, хронический гастродуоденит, хронический холецистит, желчекаменная болезнь, миомы матки, киста яичников, гипертоническая болезнь, остеохондроз, энцефалопатии различного генеза, заболевания артрозами различной этиологии, хронический пиелонефрит, доброкачественная гиперплазия предстательной железы, мочекаменная болезнь, аутоиммунный тиреоидит, заболевание ожирением. В целом для п. Харп уровень заболеваемости в 2 раза выше, чем в п. Аксарка. Возможно, это связано с поступлением в организм жителей п. Харп тяжелых металлов (никеля и хрома), содержание которых в употребляемой в пищу рыбе из реки Собь, а также в дикорастущих грибах и ягодах существенно выше ПДК. Известно, что тяжелые металлы, особенно кадмий и хром, могут способствовать развитию патологических процессов предстательной железы, вплоть до развития онкологических заболеваний. Однако явных проявлений болезней, вызванных интоксикацией тяжелыми металлами, за исключением энцефалопатий, выделить не удалось. Необходимо отметить другой важный факт, влияющий на здоровье взрослого населения данного района, — хроническая интоксикация алкоголем.

На рис. 2 на цв. вклейке приведена карта заболеваний подростков (15–17 лет) для Ямало-Ненецкого автономного округа. Анализ полученных картматериалов показал, что наиболее значимыми из заболеваний детей и подростков являются болезни органов дыхания, органов пищеварения и кровеносной системы.

ОПИСАНИЕ ЗОН УЯЗВИМОСТИ ГЕОСИСТЕМ ПРИБРЕЖНЫХ РАЙОНОВ РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ

С учетом всех описанных выше параметров было выделено 5 зон (А–Д) и 2 подзоны уязвимости геосистем прибрежных районов Российской Арктики (Отчет о научно-исследовательской работе, фонды ААНИИ, 2013). Уязвимость геосистем рассматривалась по отношению к техногенному и гидрометеорологическому воздействию:

- А — наиболее уязвимые зоны особо охраняемых природных территорий;
- Б — уязвимые зоны;
- Б1 — уязвимые морские подзоны;
- Б2 — уязвимые пограничные подзоны: береговая полоса и лайды, устья крупных рек, полыньи;
- В — устойчивые морские и наземные зоны;
- В1 — устойчивые морские;
- В2 — устойчивые наземные;

Г — наиболее устойчивые зоны;

Д — зона с максимальным антропогенным воздействием.

Ниже приведена более детальная характеристика зон уязвимости.

А. Наиболее уязвимые зоны особо охраняемых природных территорий соответствуют месторасположению природных заповедников, заказников и национальных парков. К ним также можно отнести места гнездования птиц редких видов.

Б. Уязвимые зоны — наиболее распространенный вариант для Российской Арктики. Они делятся на уязвимые морские и уязвимые пограничные подзоны. К морским уязвимым подзонам относятся морские губы, заливы, бухты, а также шельфовая часть побережья. Уязвимые пограничные подзоны включают устья крупных арктических рек, полыньи, лайды и береговую линию побережья. Все эти объекты весьма чувствительны к техногенным воздействиям, т.к. подвержены наибольшему антропогенному влиянию: все порты основной транспортной артерии Арктики находятся в прибрежной полосе, основная часть поселений людей тоже тяготеет к устьям рек, для промышленности часто бывает необходим большой расход водных ресурсов и др. Лайды — осушаемые во время отливов участки литорали с маршевой растительностью, которая хорошо переносит избыток солей. Ввиду низкого положения прибрежных арктических территорий к уровню моря, лайды могут занимать довольно обширные пространства во время затопления в приливы, а особенно во время совпадения приливов и нагонов. Лайды обладают особыми экосистемами циклического типа, поддерживают поступление углерода в атмосферу, обладают особыми биотопами и др. Лайды включают в себя лагуны, марши, дюны и краевые участки тундры (Атлас, 2011), которые при нагонах оказываются под влиянием моря. Полыньи — обширные пространства без льда, возникающие в зимний период между неподвижным припаем и сплоченными дрейфующими льдами. Процессы, происходящие в полынях, сильно отличаются от других частей моря в зимний период. Полыньи выделяются немного особняком в плане загрязнений, они более чистые по сравнению с устьями рек и прибрежной полосой, однако в них концентрируется жизнь морских обитателей в зимний период, что является лимитирующим фактором для выделения этих районов в самостоятельную подзону. Необходимо отметить также, что именно в прибрежной полосе больше всего сказывается влияние гидрометеорологических факторов: волнение, сгоно-нагонные и приливо-отливные колебания, принос веществ с морской части и осаждение речных наносов, концентрация морских и пресных видов растений и животных, особого их типа для маршей и лайд.

В. Устойчивые морские и наземные зоны граничат с предыдущей зоной и охватывают центральные части морей и зоны наибольшего размещения городов и поселков. Эти зоны обладают лучшим восстановительным потенциалом экосистем, лучше обеспечены транспортом и инфраструктурой, что вызывает более благоприятные условия для жизни людей и существования биотопов. В этой зоне лучше выделять две подзоны — устойчивые морские и устойчивые наземные, обладающие более специфичными характеристиками.

Г. Наиболее устойчивая зона охватывает центральную часть СЛО, т.к. на нее меньше всего оказывается техногенное воздействие, постоянная покрытость льдом не вносит значительных изменений в гомеостаз экосистем.

Д. Отдельно можно выделить зону с максимальным антропогенным воздействием. Она имеет мозаичную пространственную структуру, т.к. в Арктике выделяются

отдельные районы с максимальной концентрацией промышленности и городской агломерацией. Сюда можно отнести центральную часть Кольского п-ва, Архангельскую область, Нарьян-Мар, Сыктывкар, Салехард и большую часть Ямальского п-ва, особенно западное побережье, побережье Тазовской губы и Енисейского залива (Норильск, Дудинка), р-н п.Тикси и Черский, центральную часть Якутии, район Певека и Анадыря.

Для визуализации и анализа работы по зонированию геосистем в Арктике с помощью ГИС была создана итоговая карта зон уязвимости геосистем прибрежных районов Российской Арктики к техногенному и гидрометеорологическому воздействию (см. рис. 3 на цв. вклейке) в масштабе 1: 25000000. Карта состоит из следующих слоев: суша, океан, водоемы суши, политико-административные границы (береговая линия), города, наиболее устойчивая зона, устойчивая прибрежная (наземная) зона, устойчивая морская зона, антропогенные районы — слой содержит районы с максимальным хозяйственным освоением и воздействием, неустойчивая зона — содержит уязвимые морские и пограничные зоны, полярные — содержит заприпайные полярные СЛО, устья — уязвимые зоны, содержит наиболее загрязненные устья арктических рек.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ многолетних данных гидрометеорологических параметров, заболеваемости населения и биоразнообразия прибрежных районов Российской Арктики, а также использование геоинформационных технологий позволили выделить уязвимые и устойчивые зоны. Использование сведений по направлению ветра и характеру смещения речных и морских вод дало возможность отображения ареалов более возможных и значимых районов загрязнений природной среды, что, в свою очередь, не может в дальнейшем не сказаться на здоровье местного населения и биоразнообразии данных районов.

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы», поисковые научно-исследовательские работы по лоту с шифром «2013-1.5-14-515-0037» «Рациональное природопользование и обеспечение экологической безопасности в Арктической зоне Российской Федерации», по теме: «Гидрометеорологическое обеспечение рационального природопользования и экологической безопасности Арктической зоны Российской Федерации» (шифр заявки «2013-1.5-14-515-0037-006»), а также инициативного гранта РФФИ № 14-05-00787 «Эмерджентность прибрежных арктических водных экосистем как результат изменения палеоэкологических и современных воздействий».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Атлас биологического разнообразия морей и побережий российской Арктики / Под редакцией В.А. Спиридонова, М.В. Гаврило, Е.Д. Красновой, Н.Г. Николаевой. М.: WWF России, 2011. 64 с. URL: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/500> (дата обращения 15.05.2013).

Боблакова Л.М., Дмитриев В.В. Интегральная оценка качества жизни населения г. Санкт-Петербурга и г. Москвы // Научный журнал Российской академии естествознания «Международный журнал экспериментального образования». 2014. № 3. Ч. 1. С. 91–95.

Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. I. Интегральная оценка устойчивости наземных и водных геосистем // Вестник СПбГУ. Сер. 7 (геология, география). 2012. Вып. 3. С. 65–78.

Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем. II. Методы интегральной оценки

устойчивости наземных и водных геосистем // Вестник СПбГУ. Сер. 7 (геология, география). 2013. Вып. 3. С. 88–103.

Дмитриев В.В., Огурцов А.Н. Подходы к интегральной оценке и ГИС-картографированию устойчивости и экологического благополучия геосистем». III. Интегральная оценка устойчивости почвы и наземных геосистем // Вестник СПбГУ. Сер. 7 (геология, география). 2014. Вып. 4. С. 114–113.

Колесников С.И., Иванов В.В., Семенюк А.В., Колесникова Л.И., Файбушевич А.А., Беляев Л.Л. Беременность и токсиканты. Новосибирск: Наука, 1986. 159 с.

Осипова А.А., Дмитриев В.В. Интегральные оценки качества жизни населения и качества городской среды г. Санкт-Петербурга // Научный журнал Российской академии естествознания «Международный журнал экспериментального образования». 2014. № 3. Ч. 1. С. 96–102.

Расписание погоды. URL: <http://www.rp5.ru> (дата обращения 20.08.2014).

Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2003. 213 с.

Справочные данные по режиму ветра и волнения Японского и Карского морей. НД № 2-029901-007. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2009. 355 с.

Шевченко В.П. Влияние аэрозолей на среду и морское осадконакопление в Арктике. М.: Наука, 2006. 225 с.

Arctic Biodiversity Assessment. Status and trends in Arctic biodiversity: Synthesis. First print for the Arctic Council ministerial meeting, Kiruna, Sweden, May 2013. URL: <http://www.arcticbiodiversity.is/> (дата обращения 18.06.2014).

National Climatic Data Center. URL: <http://www.ncdc.noaa.gov> (дата обращения 21.08.2014).

К ОЦЕНКЕ ОБЛАСТИ ВОЗМОЖНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВОВ НЕФТИ В МОРЕ

канд. физ.-мат. наук С.Н. ЗАЦЕПА¹, ст. науч. сотр. А.А. ИВЧЕНКО¹,
аспирант А.М. МОСКВИЧЕВ¹, канд. физ.-мат. наук В.В. СОЛБАКОВ^{2,1},
ст. науч. сотр. В.В. СТАНОВОЙ³

¹ — ФГБУ Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова, г. Москва, e-mail: zatsepa@gmail.com

² — ФГБУН Вычислительный центр им. А.А. Дородницына РАН, г. Москва, e-mail: solbakov@ccas.ru

³ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: vstanovoy@yandex.ru

Прогноз распространения нефтяного разлива — это классический пример «прогноза на прогнозе», так для его реализации приходится использовать прогнозы приводного ветра, течений и уровня в океане. Для пользователя важно иметь представление о том, насколько точно на текущий момент возможно определение положения нефтяного пятна и его конфигурации. В литературе встречаются оценки качества прогнозов метеорологических параметров, в частности оценка точности краткосрочных прогнозов сильных ветров, полученных с использованием двух различных моделей, для дальневосточного региона приведена в статье (Вербицкая, Любичский, Романский, 2012). Региональная модель Гидрометцентра России, исследуемая в цитируемой статье, задает входные условия для метода расчета течений и уровня в Баренцевом море.

Мы сравнили данные наблюдений с 3-часовой дискретностью на ГМС Варандей за 2013 г. из архива, размещенного на сайте <http://rp5.ru>, и результаты расчетов по методу краткосрочного прогноза уровня моря, скоростей течений и температуры воды в Баренцевом и Белом морях (Попов и др., 2014) с заблаговременностью 24 часа (рис. 1). Для расчетов полей скоростей ветра используются поля приземного давления, рассчитанные по региональной модели (Лосев, 2010). Расхождение в направлении ветра при скоростях более 3 м/с показано на рис. 2.

Сплошными линиями на диаграммах (рис. 1) показаны линии линейной регрессии измеренных и рассчитанных компонент ветра. Уравнения линейной регрессии, приведенные на диаграммах (рис. 1а и 1б), показывают, что в расчетных данных нет значительной систематической погрешности, по крайней мере для района, примыкающего к ГМС Варандей, а диаграмму рассеяния отклонений скорости ветра на рис. 2 приближенно можно считать симметричной.

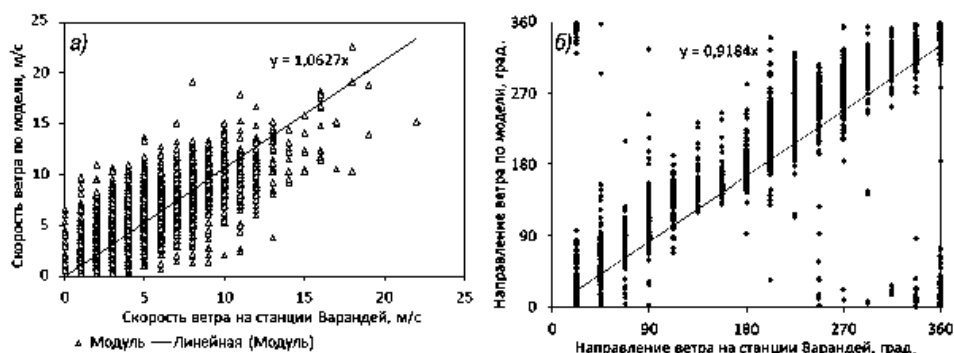


Рис. 1. Корреляция между данными наблюдений и расчета по модели (Попов и др., 2014).

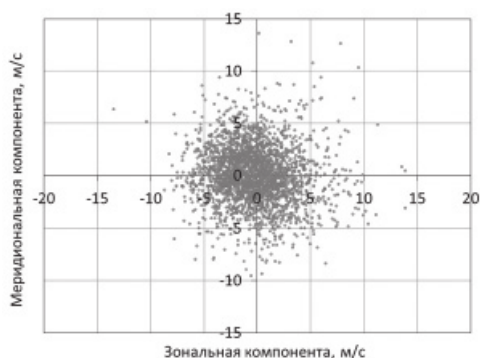


Рис. 2. Диаграмма рассеяния отклонений расчетной скорости ветра от наблюдений.

Статистический анализ временных рядов отклонений скорости ветра от наблюдаемых значений показал, что распределение ошибки расчета скорости с увеличением длины ряда стремится к приближенно нормальному распределению, где естественно отсутствуют большие значения расхождений между наблюдениями и расчетом. Однако и функция распределения ошибок, и нулевое среднее, и дисперсия не в полной мере характеризуют анализируемую случайную величину.

На рис. 3 приведен фрагмент ряда наблюдаемых и рассчитанных значений U -компоненты (зональной) скорости ветра. В некоторые достаточно длительные промежутки времени наблюдаемые значения скорости ветра превышают расчетные, но бывает и наоборот.

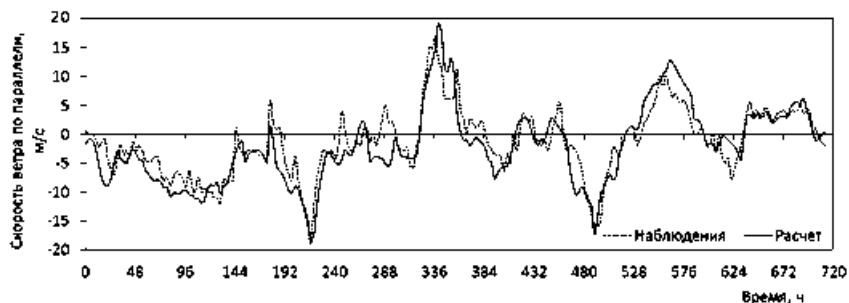


Рис. 3. Наблюдаемая на станции и рассчитанная по модели скорость ветра.

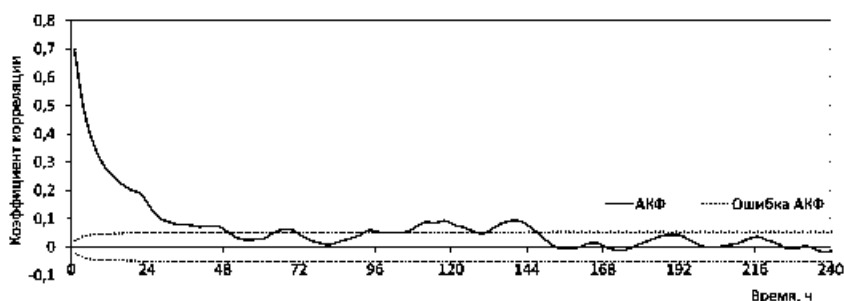


Рис. 4. Автокорреляционная функция для ошибки расчета скорости ветра.

Из графика автокорреляционной функции (АКФ) для погрешности компонент рассчитанной скорости ветра (рис. 4) видно, что промежуток времени τ порядка 50 ч можно считать радиусом корреляции или лагом для рассматриваемого временного ряда.

Показанное на рис. 5 среднееквадратичное отклонение (СКО) результатов расчета от данных наблюдений определилось как

$$|\sigma_u| = -0,01|u_s| + 2,9, \quad (1)$$

что можно рассматривать как примерно постоянное значение 2,9 м/с. Отметим, что в работе (Вербицкая, Любичкий, Романский, 2012) были получены значения для СКО скоростей ветра в пределах от 2 до 6,5 м/с в зависимости от используемой модели.

В модели PADM (система SeaTrackWeb) (Liungman, Mattsson, 2011), в которой нефтяной разлив имитируется ансамблем лагранжевых частиц, для того чтобы реализовать идею о неопределенности в имитации переноса, каждой частице присваивалась дополнительная случайная скорость, величина которой зависит от погрешности в оценке прогностической скорости ветра. Случайные «добавки» к скорости движения частицы на поверхности моря определяются соотношением

$$\begin{aligned} u' &= \sigma_{stw} P \cos(2\pi Q) \\ v' &= \sigma_{stw} P \sin(2\pi Q) \end{aligned} \quad (2)$$

где P — нормально распределенная случайная величина $N(0,1)$, Q — равномерно распределенная случайная величина на интервале $[0, 1]$. Параметр σ_{stw} задается как

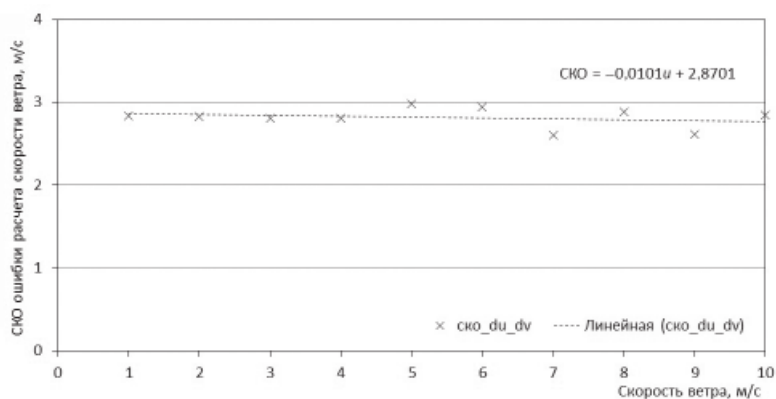


Рис. 5. Зависимость СКО рассчитанной скорости ветра от модуля скорости ветра.

стандартное отклонение ошибки прогноза скорости ветра $\sigma_w = \Delta W / 1,41$, где ΔW — погрешность в расчете модуля скорости метеорологического прогноза по модели HIRLAM, умноженная на коэффициент $\alpha = 0,02$, чтобы привести к скорости индуцированного ветром течения.

Погрешность в расчете модуля скорости, которая покрывает 85 % наблюдаемых значений скорости ветра (Liungman, Mattsson, 2011), определена как:

$$\begin{aligned} \Delta W &= 2 & W \leq 2 \text{ м/с}, \\ \Delta W &= 1,7 + 0,195 \cdot W & W > 2 \text{ м/с}. \end{aligned} \quad (3)$$

Дополнительные скорости переноса частиц u' , v' в (Liungman and Mattsson, 2011) задаются единожды в начале моделирования и сохраняются неизменными для каждой частицы.

В модели (Liungman, Mattsson, 2011) пульсации скорости течения, определенные непосредственно по оценке дисперсии ошибок в определении скорости ветра, приводят к рассеянию частиц R_{un} на поверхности моря за время t после начала аварии в соответствии с соотношением

$$\overline{R_{un}^2} = (t\sigma_{stw})^2 = 4\tilde{K}_L t, \quad (4)$$

что эквивалентно рассеянию в диффузионном процессе с коэффициентом диффузии

$$\tilde{K}_L = \frac{\sigma_{stw}^2 t}{4}. \quad (5)$$

Отметим, что в настоящей работе мы используем термин диффузия (лат. *diffusio* — распространение) лишь как наиболее распространенный термин для рассеивания чего бы то ни было. Искомой величиной является определение вероятного местонахождения разлива нефти и отдельных его частей. По этой причине термин «коэффициент диффузии» мы не идентифицируем с реальными физическими процессами, но используем по аналогии для описания процедуры расчета (квазидиффузии) области возможного обнаружения разлива нефти.

Рассеяние частиц при наличии временной корреляции между скоростями пульсаций рассмотрено в работе (Озмидов, 1986), и средний квадрат отклонения частиц от центра $\overline{R_x(t)^2}$ определен выражением

$$\overline{R_x(t)^2} = 2 \left[\int_0^t u'(\zeta) d\zeta \right]^2 = 2(\overline{u'})^2 \int_0^t (t - \zeta) R_u(\zeta) d\zeta, \quad (6)$$

где $R_u(\zeta_2 - \zeta_1) = \overline{u'(\zeta_1)u'(\zeta_2)} / (\overline{u'})^2$ по определению (Озмидов, 1986) — лагранжев коэффициент корреляции, или, в нашем случае, автокорреляционная функция. В выражении (6) сделаны предположения, что $\overline{(u')^2}$ не зависит от координаты и времени, коэффициент корреляции зависит только от разности моментов времени и $R_u(\zeta)$ четная функция.

Коэффициент диффузии в рассматриваемом случае записывается как (Озмидов, 1986):

$$K_L(t) = \overline{(u')^2} \int_0^t R_u(\zeta) d\zeta. \quad (7)$$

Интеграл $\int_0^\infty R_u(\zeta) d\zeta = T_u$ имеет размерность времени и называется лагранжевым масштабом турбулентности (Озмидов, 1986). В нашем случае этот временной масштаб соответствует промежутку времени, на котором сохраняется коррелятивная связь

между пульсациями скорости, которые мы ассоциируем со случайными ошибками метеорологического прогноза.

При больших временах выражение (6) приближенно равно

$$\overline{R_x(t)^2} \approx 2(\overline{u'})^2 T_u t, \quad (8)$$

и для коэффициента диффузии при $t \gg T_u$ имеем выражение

$$K_L = (\alpha \cdot \sigma_u)^2 T_u. \quad (9)$$

При малых временах разложение функции $R_u(\zeta)$ приводит (6) к виду

$$\overline{R_x(t)^2} \approx (\overline{u'})^2 t^2 = (\alpha \sigma_u)^2 t^2, \quad (10)$$

что соответствует линейному по времени росту коэффициента диффузии

$$K_L(t) = (\alpha \cdot \sigma_u)^2 t. \quad (11)$$

Использование общего выражения (6) для оценки неопределенности в положении разлива нефти на поверхности моря представляется трудно реализуемым и практически нецелесообразным. При оценке возможного рассеяния местоположения разлива нефти или его частей следует при временах $t < T_u$ использовать соотношение (11), а при $t \geq T_u$ — соотношение (9). Таким образом мы получим несколько завышенную оценку рассеяния на временах порядка T_u , что представляется в практических приложениях оправданным в силу очевидного упрощения вычислительной процедуры и, вообще говоря, по причине недостаточности данных для надежного определения $R_u(\zeta)$. С учетом (9) и (11) определим более общее выражение для коэффициента квазидиффузии как

$$K(t) = (\alpha \cdot \sigma_u)^2 T_u \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_u}\right) \right). \quad (12)$$

Соотношение (12) при временах $t \gg T_u$ удовлетворяет условиям (9), а при $t \ll T_u$ в результате разложения экспоненты в ряд получим соотношение (11).

Максимальное значение коэффициента «диффузии» для оценки неопределенности в положении разлива нефти на поверхности моря, рассчитанное по соотношению (7) и $R_u(\zeta)$, соответствующему АКФ (см. рис. 4), при больших временах и $\alpha = 0,03$ оказывается численно равно $K_L = 300 \text{ м}^2/\text{с}$, а значение параметра T_u приближенно равным 11 часам. Изменение условного радиуса области, в которую с вероятностью 63 % «попадает» разлив нефти, при постоянном коэффициенте квазидиффузии описывается соотношением

$$R_{RMS}(t) = 2\sqrt{K_L t}. \quad (13)$$

Приведенное в (13) соотношение представляет т.н. RMS (root mean square) оценку «радиуса» области вероятного попадания разлива нефти. Вероятность $P(D)$ попадания случайной точки $((x, y), x = N(0, \sigma), y = N(0, \sigma))$ в круг D с радиусом R равна

$$P(D) = \iint_D f_{x,y}(u, v) du dv = \frac{1}{2\pi} \iint_{u^2+v^2 \leq R^2} e^{-\frac{u^2+v^2}{2\sigma^2}} du dv = 1 - e^{-\frac{R^2}{2\sigma^2}}. \quad (14)$$

Из (14) следует, что радиус области с 95 %-ным попаданием определится как $R_{95\%} = 1,73 R_{MS}$.

Используя имеющиеся в нашем распоряжении ряды данных наблюдений на ГМС Варандей за 2013 г. и результаты расчетов по модели (Попов и др., 2014), авторы

провели прямые оценки расхождения траекторий перемещения нефтяных slickов по поверхности моря. Обозначим как dX_k, dY_k разность между координатами нефтяных slickов на k -том шаге, рассчитанных по наблюдаемому u_{oi} и модельному ветру u_{mi} .

$$\begin{aligned} dX_k &= \sum_{i=1}^k (x_{oi} - x_{mi}) = (\alpha \Delta t) \sum_{i=1}^k (u_{oi} - u_{mi}), \\ dY_k &= \sum_{i=1}^k (y_{oi} - y_{mi}) = (\alpha \Delta t) \sum_{i=1}^k (v_{oi} - v_{mi}). \end{aligned} \quad (15)$$

В эксперименте были рассчитаны 2650 сценариев распространения нефтяных slickов. На рис. 6 приведена эволюция радиуса рассеяния при использовании различных параметризаций коэффициента диффузии. Средний квадрат расхождения траекторий $\langle L_k^2 \rangle$

$$\overline{L_k^2} = \overline{(dX_k)^2} + \overline{(dY_k)^2} = (\alpha \Delta t)^2 \left[\overline{\left(\sum_{i=1}^k (u_{oi} - u_{mi}) \right)^2} + \overline{\left(\sum_{i=1}^k (v_{oi} - v_{mi}) \right)^2} \right] \quad (16)$$

показан на рис. 6 как кривая 4.

Постоянный коэффициент (рис. 6, кривая 1) приводит к наибольшему рассеянию, а соотношения (9) и (11) — к несколько меньшему. Использование выражения (12) для коэффициента — к наименьшему среди вариантов, полученных аналитически на основе анализа автокорреляции. Значения радиуса рассеяния, рассчитанные численно, согласно формулировке для горизонтальной дисперсии (12) оказываются близки. Модель с постоянным коэффициентом (рис. 6, кривая 1) дает значительно большее относительное рассеяние по сравнению с результатами численного моделирования, особенно в течение нескольких первых суток от начала разлива.

Приведенные оценки для радиуса рассеяния справедливы лишь для пространственно-однородных полей течений и ветра и условий открытого моря. Если нефтя-

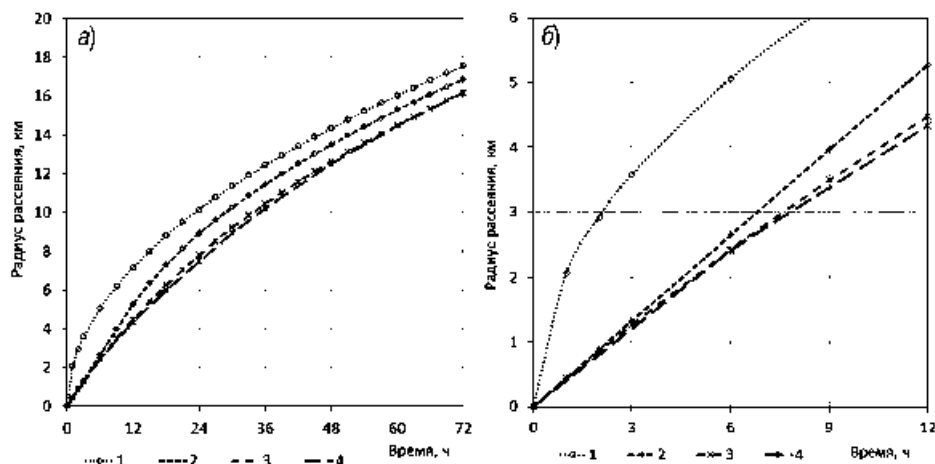


Рис. 6. Оценка радиуса рассеяния при расчете местоположения разлива нефти на поверхности моря в пределах 72 ч (а) и 12 ч (б): 1 — расчет при постоянном коэффициенте дисперсии ($300 \text{ м}^2/\text{с}$); 2 — расчет коэффициента дисперсии по формулам (9) и (11); 3 — расчет коэффициента дисперсии по формуле (12); 4 — расчет по формуле (16).

ной разлив «попадает» в искусственные (боны) или природные ловушки (заливы, особенности береговой линии), то данная оценка неправомерна.

Отметим, что приведенные оценки получены для ГМС Варандей и могут быть распространены на акваторию Печорского моря (например, для района платформы Приразломная). Для получения оценок для всей акватории Баренцева моря необходимо провести подобный анализ для других береговых станций.

Описание неопределенности в местоположении пятна нефти на поверхности моря простым радиусом рассеяния недостаточно. Для продолжительных разливов нефти область вероятного обнаружения нефти может иметь довольно сложную геометрию. Погрешность в данных метеорологического прогноза приведет к существенно большим областям рассеяния вблизи берега за счет трансформации течениями и взаимодействия нефтяного пятна с берегом. По этой причине для каждой «порции» нефти, попавшей на морскую поверхность в результате аварии, следует, наряду с традиционным моделированием физико-химической трансформации, рассчитывать рассеяние ансамбля ассоциированных частиц в искусственном диффузионном процессе с коэффициентом диффузии, определенным соотношением (9). В этом случае необходим численный расчет вероятности обнаружения нефтяного слика. Для этого возможно применение следующего алгоритма. После расчета траекторий перемещения частиц, имитирующих квазидиффузионное рассеяние при распространении разлива нефти и определения частот попаданий в ячейки сетки, определенной по координатам ансамбля частиц, значения частот ранжируются, выбираются ячейки с наибольшими значениями относительных частот, в совокупности составляющих заданный процент попадания в область. Отобранные ячейки оконтуриваются, и полученный контур называется областью обнаружения нефтяного слика с вероятностью.

Ниже рассмотрен сценарий распространения нефти при гипотетической аварии танкера в юго-восточной части Баренцева моря. По сценарию в результате технической аварии 1800 т нефти вытекает на морскую поверхность за 12 часов. В расчете были использованы ветер и течения, рассчитанные по модели (Попов и др., 2014).

На рис. 7 приведено распределение толщины нефти на поверхности моря, а также области с вероятностями обнаружения нефти, равными 97, 80 и 50 %. Наиболее вероятные конфигурации разлива нефти показаны темным контуром, а зоны возможного обнаружения нефти, рассчитанные с учетом погрешности метеорологического прогноза, — светлым контуром со штриховкой. Вектор в геометрическом центре зоны нефтяного загрязнения показывает скорость суммарного течения (приливного и дрейфового), а в дополнительном окошке на рисунке, представляющем копию экрана в системе прогнозирования SPILLMOD, скорость и направление ветра.

На первом из рисунков (рис. 7а), через 12 часов после начала сброса нефти разлив нефти еще не «оторвался» от источника. Заметим, что область возможного обнаружения нефтяного пятна формируется не мгновенным ветром, но его историей от начала аварии и до момента времени, на который дается прогноз.

На втором рисунке представлена конфигурация через 36 часов после начала сброса нефти (рис. 7б). Наиболее вероятное движение пятна сопровождается выносом нефти на о. Долгий, при этом область возможного обнаружения нефтяного пятна захватывает «затененную» островом от ветра акваторию.

Конфигурация пятна на 48 часов от начала разлива (рис. 7в), свидетельствует о том, что при наиболее вероятном выносе разлива нефти на западное побережье

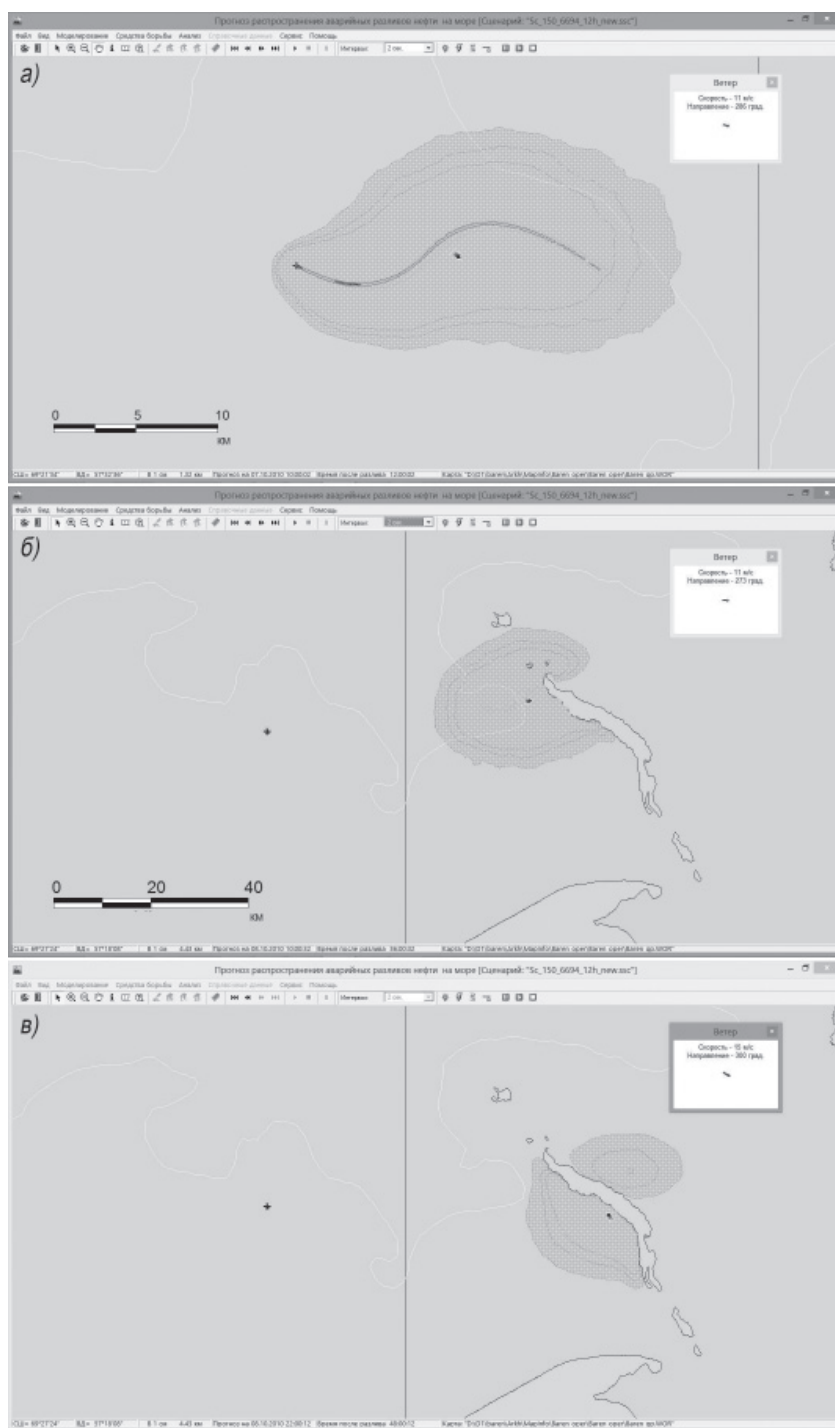


Рис. 7. Расчет распространения разлива нефти с учетом ошибок прогноза ветра: а — 12 ч, б — 36 ч, в — 48 ч.

о. Долгий сохраняется вероятность загрязнения акватории в более обширных областях, в том числе и на восточном побережье острова.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При составлении прогнозов распространения нефтяных разливов неизбежно возникают ошибки различной природы. Их источником могут являться неточности в задании исходных данных, среди которых тип и количество нефти на поверхности, время начала сброса и координаты источника, поля приводного ветра, течений и уровня моря и не всегда точные параметризации процессов для всех диапазонов природных условий. Небольшие, на первый взгляд, неточности в задании координат или времени сброса нефти могут приводить к значительным модификациям траекторий распространения разливов. При возможности использования данных аэрокосмического мониторинга для прогнозирования разливов нефти следует вносить корректировки в результаты расчетов.

Для повышения качества прогноза распространения нефтяного разлива в море нужно обращать внимание и сфокусировать усилия на уменьшение погрешности региональных гидрометеорологических прогнозов (ветер, течение и волнение). При оценке прогноза, как правило, используются допустимые диапазоны параметров, при попадании в которые прогноз считается оправдавшимся. Если прогностическая величина дается в виде градации, то это — попадание в соседние градации, если прогностическая величина дается в виде абсолютной величины, то определяются допустимые пределы этой величины. В итоге может возникнуть парадоксальная ситуация, когда прогнозы полей ветра и течения оправдались, а прогноз распространения нефтяного разлива не оправдался и пятно загрязнения неожиданно вышло к берегу или вышло совсем не в том месте, где прогнозировалось.

Здесь же отметим проблему, возникающую при идентификации источника разлива. В литературе и на практике нередко призывы к использованию расчетов траекторий распространения нефтяных разливов для определения потенциальных пересечений двух траекторий — траектории распространения нефти и траектории потенциального источника загрязнения. Методы «обратного счета» должны учитывать погрешности в прогнозах ветра и течений, и, таким образом, можно с некоторой уверенностью говорить о вероятном пересечении траектории движения судов с областью, в которой в заданный момент времени мог находиться источник позже обнаруженного разлива нефти или нефтепродукта.

Авторы выражают признательность сотруднику Гидрометцентра России канд. физ.-мат. наук А.А. Зеленько за полезные замечания при подготовке данной статьи.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Русского географического общества в рамках научных проектов № 13-05-41214 РГО_а, № 14-07-00513 и 14-07-00434.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Вербицкая Е.М., Любицкий Ю.В., Романский С.О. Оценка точности краткосрочного прогноза сильных ветров над акваторией дальневосточных морей, рассчитанного по региональным гидродинамическим моделям // Тр. ДВНИГМИ. 2012. Вып. 154. С. 22–40.

Лосев В.М. Региональная гидродинамическая модель Гидрометцентра России // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада ЛТД, 2010. С. 36–58.

Озмидов Р.В. Диффузия примеси в океане. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 300 с.

Попов С.К., Зильберштейн О.И., Лобов А.Л., Елисов В.В., Батов В.И. Метод краткосрочного прогноза уровня Баренцева и Белого морей // Инф. сборник № 41 ФГБУ «Гидрометцентр России» «Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов». М.; Обнинск: ИГ-СОЦИН, 2014. С. 98–110.

Liungman O., Mattsson J. Scientific documentation of Seatrack Web; physical processes, algorithms and references. 1 March 2011. URL: [http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15600!Seatrack Web Scientific Documentation.pdf](http://www.smhi.se/polopoly_fs/1.15600!Seatrack%20Web%20Scientific%20Documentation.pdf) (дата обращения 29.07.2014).

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРА $\delta^{18}\text{O}$ ДЛЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ ИСТОЧНИКОВ РАСПРЕСНЕНИЯ ВОД В ПРОЛИВЕ ФРАМА И НА ШЕЛЬФЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

инженер И.А. СЕМЕРЮК, канд. геогр. наук А.А. НАМЯТОВ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: Irinasemeryuk@aari.ru

ВВЕДЕНИЕ

В проливе Фрама и на шельфе Баренцева моря, акватории которых являются ключевыми районами в формировании ледово-гидрологического режима СЛО, происходит трансформация атлантических водных масс в результате процессов взаимодействия океана, льда и атмосферы, опреснения в результате таяния морского льда в летний период и поступления речных или талых вод от ледников Гренландии, а также перемешивания с поверхностными арктическими водами, поступающими в пролив Фрама из Арктического бассейна.

Важная роль распресненных вод в формировании региональных особенностей гидрологического режима в районе пролива Фрама и на северо-западе Баренцева моря неоднократно рассматривалась в различных работах, в том числе (Rabe et al., 2013, 2014). Для оценки вклада пресных вод различного происхождения в процесс трансформации водных масс многими авторами успешно использовался параметр $\delta^{18}\text{O}$ (Намятов, Семерюк, 2013; Craig, Gordon, 1965; Östlund, Hut, 1984; Bauch et al., 1995).

Величина $\delta^{18}\text{O}$ определяется как разница отношений содержания изотопов кислорода ^{18}O к ^{16}O в образце воды и в стандарте и рассчитывается по формуле (1) и выражается в промилле.

$$\delta^{18}\text{O}(\text{‰}) = [({}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{образец}} - {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{SMOW}}) / {}^{18}\text{O}/{}^{16}\text{O}_{\text{SMOW}}] \cdot 1000, \quad (1)$$

где SMOW — стандарт средней океанической воды.

Влияние гидрологического цикла на распределение изотопов кислорода ^{18}O и ^{16}O в различных водных средах было описано Г. Крейгом в 1965 г. (Craig, Gordon, 1965). В процессе изотопного фракционирования более легкий изотоп ^{16}O первым участвует в фазовом переходе, в то время как более тяжелый изотоп ^{18}O обычно остается в менее подвижной фазе. В результате испарения морская вода становится обогащенной изотопом кислорода ^{18}O по отношению к изотопу ^{16}O и $\delta^{18}\text{O}$ (‰) принимает положительные значения, тогда как в результате выпадения осадков водяной пар становится насыщен изотопом кислорода ^{16}O и $\delta^{18}\text{O}$ (‰) имеет отрицательные значения.

Целью настоящей работы является использование параметра $\delta^{18}\text{O}$ как гидрохимического трассера водных масс для количественной оценки вклада основных

пресноводных составляющих массового баланса поверхностных вод, а также идентификации причин и источников распределения.

ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ РАСЧЕТА

В работе были использованы данные, опубликованной на сайте NASA (<http://data.giss.nasa.gov/o18data/>), включающие в себя величины температуры, солёности и данные определения $\delta^{18}\text{O}$. Выборка была произведена для района пролива Фрама, включая Норвежское, Гренландское и Баренцево моря в период с 1972 по 2008 г. с мая по сентябрь включительно. Все данные были разделены на три временных промежутка с 1972 по 1989 (рис. 1 а), с 1990 по 1999 (рис. 1 б) и с 2000 по 2008 г. (рис. 1 в), которым соответствует распределение по районам пролив Фрама — Баренцево море, Норвежское — Гренландское моря и Восточно-Шпицбергенское течение — Стур-фьорд.

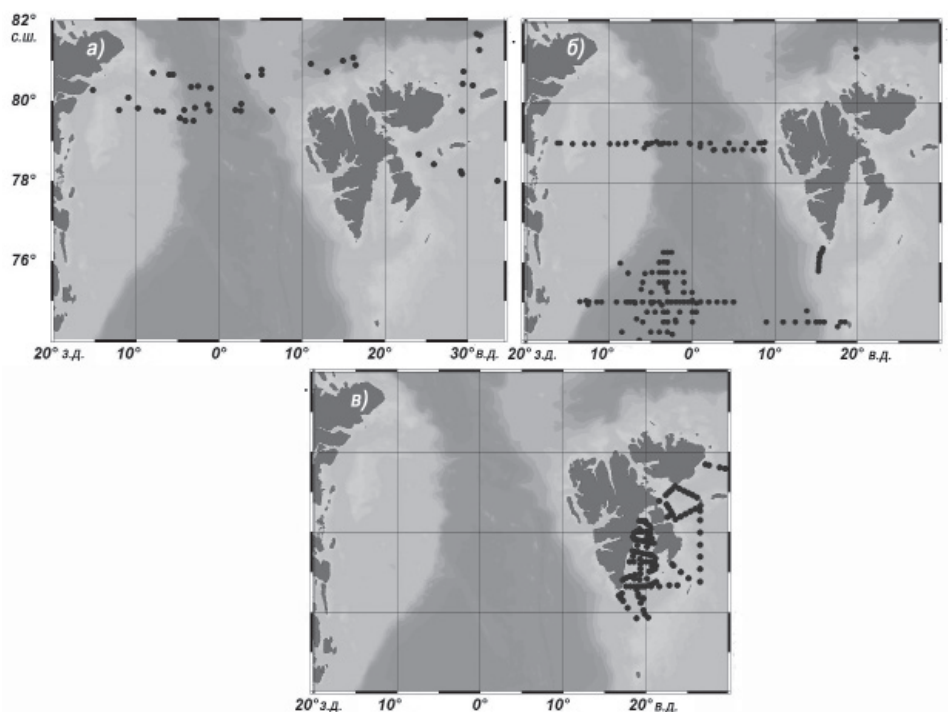


Рис. 1. Распределение данных по временным промежуткам с 1972 по 1989 г. (а), с 1990 по 1999 г. (б), с 2000 по 2008 г. (в).

Изотопный метод идентификации водных масс включает в себя количественный, заключающийся в расчете фракций, составляющих водную массу, и качественный подход, использующий возможность идентификации фракций при помощи диаграмм «изотоп кислорода — солёность» ($\delta^{18}\text{O}$ –S).

В рамках количественного подхода каждый образец воды был рассмотрен как смесь морской (f_{mar}) и речной (f_r) воды и воды, полученной в результате таяния/образования морского льда (f_i), и рассчитаны соответствующие фракции (табл. 2). В данном случае под морской водой (f_{mar}) понимается «чистая» атлантическая водная масса.

Расчет фракций был выполнен на основе следующей системы уравнений, предложенной в (Bauch et al., 1995):

$$\begin{aligned}
 f_{mar} + f_r + f_i &= 1, \\
 f_{mar} \cdot S_{mar} + f_r \cdot S_r + f_i \cdot S_i &= S_{meas}, \\
 f_{mar} \cdot O_{mar} + f_r \cdot O_r + f_i \cdot O_i &= O_{meas},
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где f_{mar} , f_r и f_i — фракции морской и речной воды и воды, полученной в результате таяния/образования морского льда; S_{meas} и O_{meas} — значения солёности и $\delta^{18}\text{O}$, измеренные в образце; S_{mar} , S_r , S_i и O_{mar} , O_r , O_i — значения солёности и $\delta^{18}\text{O}$ «чистой» морской и речной воды и льда соответственно.

Использованные значения S_{mar} , S_r , S_i и O_{mar} , O_r , O_i (табл. 1) были приведены в статьях (Bauch et al., 1995; Brezgunov et al., 1983, Brezgunov, 1990; Letolle et al., 1993), где морской воде (атлантической водной массе) с солёностью 34,94 ‰ соответствует содержание $\delta^{18}\text{O}$, равное 0,3 ‰, речным водам на шельфе Баренцева моря с солёностью 0 ‰ содержание $\delta^{18}\text{O}$, равное –14,4 ‰. Водные массы, образовавшиеся в результате таяния ледников Гренландии и Шпицбергена, с солёностью 0 ‰ имеют значение $\delta^{18}\text{O}$, равное –18,9 ‰ (среднее между –13,4 ‰ и –24,4 ‰ (Letolle et al., 1993)) и –10,0 ‰ соответственно. Для морского льда солёность принимается равной 4 ‰, а величина $\delta^{18}\text{O}$ рассчитывается как значение $\delta^{18}\text{O}$ для поверхностных вод в данной точке плюс 2,6 (величина, учитывающая изотопное фракционирование в процессе таяния/образования льда).

Таблица 1

Значение солёности и содержания изотопа кислорода ^{18}O
(Bauch et al., 1995; Brezgunov et al., 1983, Brezgunov, 1990; Letolle et al., 1993)

Тип фракции	Солёность (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)
Морская вода	34,94	0,3
Таяние ледников Шпицбергена*	0	–10,0
Речная воды (река Печора)	0	–14,4
Таяние ледников Гренландии*	0	–18,9
Таяние/образование морского льда	4	поверхн. +2,6

Примечание: * — по (Letolle et al., 1993).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для всех данных поверхностного слоя 2–10 м в рамках качественного подхода были построены $\delta^{18}\text{O}$ – S и T – S -диаграммы. Как видно из рис. 2, положение водных масс, трансформированных речными водами (или таянием ледника) и таянием морского льда, на T – S -диаграммах совпадают или находятся в одном диапазоне изменений температурно-солёностных характеристик.

На рисунке 2 (б, з, е) приведены T – S -диаграммы для рассматриваемых районов исследования. Солёность и температура изменялись от 30,0 до 35,0 ‰ и от –1,90 до 7,00 °C соответственно. «Выбросы» отдельных точек объясняются летним периодом проведенных измерений.

Диаграмма $\delta^{18}\text{O}$ – S (рис. 2 а, в, д) позволяет разделить водные массы по источнику их опреснения и показывает связь изотопного состава и солёности водных масс. Точки на диаграмме могут располагаться выше или ниже прямой смешения речных и морских вод, построенной по координатам (–18,9; 0) и (0,3; 34,94). Т.е. точки, соответствующие нетрансформированным морским водным массам, находятся на прямой

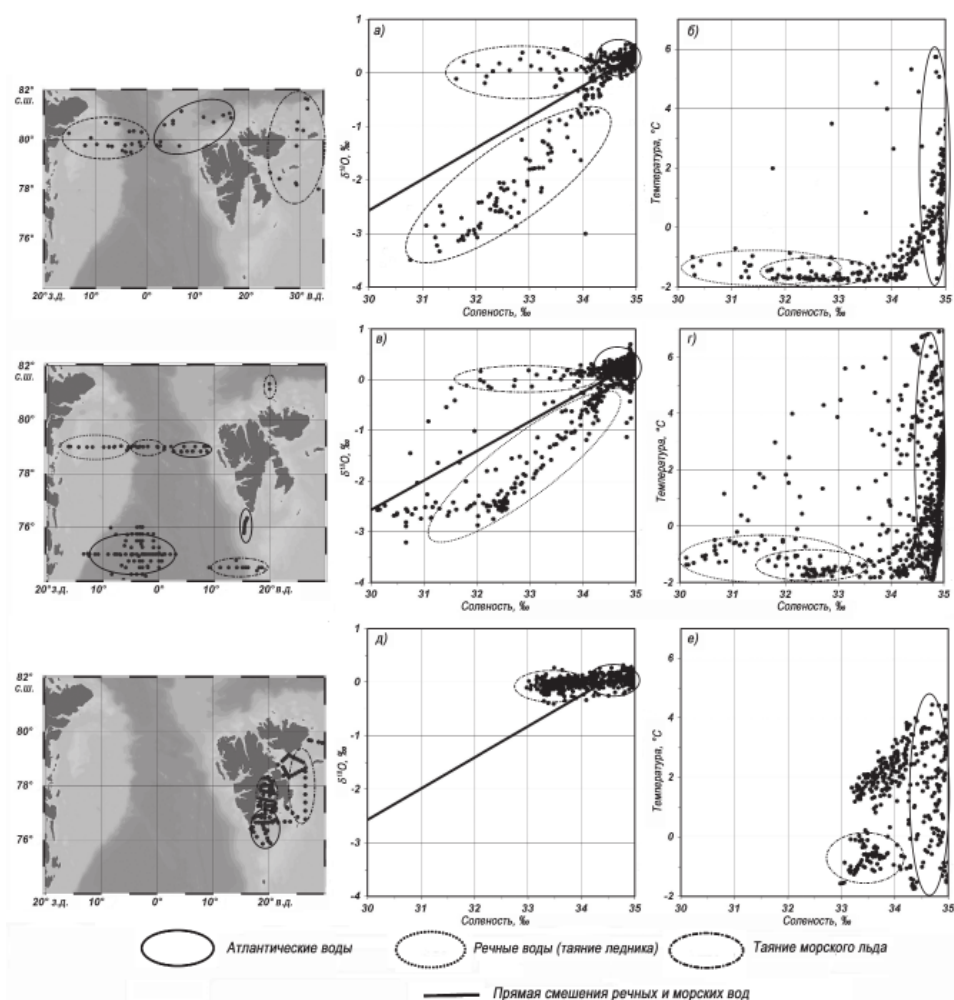


Рис. 2. Диаграммы $\delta^{18}\text{O}$ — солёность (а, в, д) и T - S (б, г, е) для трех групп данных: пролив Фрама — Баренцево море (1972–1989) (а, б), Норвежское — Гренландское моря (1990–1999) (в, г) и Восточно-Шпицбергенское течение — Стур-фьорд (2000–2008) (д, е). На диаграммах $\delta^{18}\text{O}$ — солёность (а, в, д) изображена прямая смешения речных и морских вод, построенная по координатам (–18,9;0) и (0,3;34,94) из табл. 1.

смешения в диапазоне изменения солёности 34,0–35,0 ‰. Опреснение морских вод в результате таяния льда незначительно сказывается на изотопном составе, и точки на диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ – S сдвигаются выше прямой смешения вдоль линии постоянного (мало изменяющегося) изотопного состава. В случае поступления речных вод или вод, опресненных в процессе таяния ледника, не только изменяется солёность, но и происходит обеднение тяжелым изотопом кислорода ^{18}O . Таким образом, точки на диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ – S лежат ниже прямой смешения.

Процентное содержание фракции водных масс, рассчитанное в рамках количественного подхода изотопного метода (табл. 2), изменяется в диапазоне 92–100 %

Характеристика водных масс по диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ -S и рассчитанные фракции

Тип водных масс	Содержание $\delta^{18}\text{O}$, ‰	Соленость, ‰	Процентное содержание фракции, %		
			1972–1989	1990–1999	2000–2008
Атлантические воды (<i>fmar</i>)	–0,5... 0,3	34,0–35,0	92–100	91–100	95–100
Воды, трансформированные речным стоком (таянием ледника) (<i>fr</i>)	–4,0... –1,8	30,0–33,0	0–16	0–19	–
Воды, трансформированные в процессе таяния морского льда (<i>fi</i>)	–1,8... 0,3	31,5–33,5	0–8	0–6	0–5

для атлантических вод; для вод, образовавшихся в результате таяния морского льда, содержание фракции меняется в пределах 0–8 %; а для речных 0–19 %.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные позволяют дать более детальную характеристику составляющих водных масс.

Атлантические воды

Теплые и соленые атлантические водные массы, попадающие в Арктический бассейн через пролив Фрама и шельф Баренцева моря, хорошо прослеживаются на представленных диаграммах. Диапазон изменения величин солености и $\delta^{18}\text{O}$ составляет: в районе пролива Фрама – Баренцево море (рис. 2 а, б) — 34,0–35,0 ‰ и –0,5–0,3 ‰ соответственно; в районе Норвежского – Гренландского морей (рис. 2 в, г) — 34,0–35,0 ‰ и –0,2–0,3 ‰ соответственно; в районе Восточно-Шпицбергенского течения — Стур-фьорд (рис. 2 д, е) — 34,5–35,0 ‰ и –0,1–0,3 ‰ соответственно.

Итак, в атлантической водной массе величина параметра $\delta^{18}\text{O}$ изменяется в пределах (–0,5 – +0,3) ‰ (рис. 2 а, в, д; табл. 2), что соответствует значению $\delta^{18}\text{O}$ для атлантической водной массы, не подвергнутой значительным трансформациям. Величина фракции *fmar* составляет 92 –100 %. Подобные значения были получены и другими авторами (Brezgunov et al., 1983; Brezgunov, 1990).

Воды, модифицированные в процессе таяния морского льда и поступления речного стока (таяния ледника)

Как показано выше, разделение источников распреснения водных масс, происходящего в результате таяния морского льда или за счет поступления речных вод (таяния ледника), по изменению значений температуры и солености сделать сложно.

Величина солености распресненных водных масс, выделенных на шельфе Баренцева моря, в акватории Стур-фьорда арх. Шпицберген, в районе к северу от Гренландии и в юго-западной части пролива Фрама (рис. 2 б, г, е), варьируется от 30,0 до 33,5 ‰ (табл. 2). Области распределения двух видов распресненных вод частично перекрываются на TS-диаграмме.

Но в то же время значения содержания изотопа кислорода $\delta^{18}\text{O}$ распределяются выше или ниже кривой смешения на $\delta^{18}\text{O}$ -S-диаграмме в зависимости от причины и степени опреснения вод (рис. 2 а, в, г).

Распресненные водные массы к северу от Гренландии, а также на шельфе Баренцева моря, в юго-западной части пролива Фрама (рис. 1 и рис. 2 а, б, в и г)

характеризуются тем, что источниками распреснения являются как пресные воды речного происхождения (таяние ледника) во фьордах Индепенденс (Independence fjord) и Денмарк (Denmark fjord), так и таяние морского льда. Точки на диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ –S располагаются как выше, так и ниже от прямой простого смешения пресных и соленых вод (рис. 2 а, в). В поверхностном слое содержание вод от таяния ледников максимально может составлять 19 %, а содержание вод от таяния морского льда достигает 6–8 %.

В акватории Стур-фьорда арх. Шпицберген (рис. 1) величины $\delta^{18}\text{O}$ на диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ –S располагаются выше прямой простого смешения пресных и соленых вод, что говорит о том, что пресноводный сток от таяния ледников на Шпицбергене фактически не оказывает влияния на величины распреснения поверхностного слоя морских вод. Основным источником распреснения являются воды, образованные от таяния морского льда. Содержание талых вод здесь может достигать 5 %.

Таким образом, использование параметра $\delta^{18}\text{O}$ позволяет разделить водные массы с близкой соленостью и определить факторы, влияющие на их трансформацию в результате распреснения.

ВЫВОДЫ

По данным наблюдений летом (май–сентябрь) 1972–1989, 1990–1999, 2000–2008 гг. в районе пролива Фрама, включающего области Норвежского, Гренландского и Баренцева морей, на основе качественного и количественного подходов изотопного метода, основанного на исследовании соотношения содержания изотопов ^{16}O и ^{18}O , была выполнена идентификация источников распреснения водных масс. При рассмотрении водных масс пролива Фрама и шельфа Баренцева моря было выявлено, что уменьшение солености вод имеет различные причины. Изотопный метод идентификации источников распреснения позволил разделить распресненные воды с близкой соленостью по типу их образования. В первом случае причиной распреснения является поступление вод в результате таяния гренландских ледников во фьордах Индепенденс (Independence fjord) и Денмарк (Denmark fjord), во втором распреснение происходит в процессе таяния морского льда. Процентное содержание фракции водных масс изменялось в диапазоне 92–100 % для «чистых» атлантических вод, для вод, образовавшихся в результате таяния морского льда, в пределах 0–8 %, а для речных вод 0–19 %.

В акватории Стур-фьорда арх. Шпицберген пресноводный сток от таяния ледников на Шпицбергене фактически не оказывает влияния на величины распреснения поверхностного слоя морских вод. Основным источником распреснения являются воды, образованные от таяния морского льда. Содержание талых вод здесь может достигать 5 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Намятов А.А., Семерюк И.А. Применение параметра $\delta^{18}\text{O}$ для анализа происхождения водных масс на примере моря Лаптевых // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 4 (98). С. 35–42.
- Bauch D., Schlosser P., Fairbanks R.F. Freshwater balance and the sources of deep and bottom waters in the Arctic Ocean inferred from the distribution of H_2^{18}O // Progress in Oceanography. 1995. Vol. 35. P. 53–80.
- Beszczyńska-Møller A., Fahrback E., Schauer U., Hansen E. Variability in Atlantic water temperature and transport at the entrance to the Arctic Ocean, 1997–2010 // Journal of Marine Science. 2012. doi:10.1093/icesjms/fss056.

Brezgunov V.S., Debolskii V.K., Nechaev V.V., Ferronskii V.I., Yakimova T.V. Characteristics of the formation of the oxygen isotope composition and salinity upon mixing of sea and river waters in the Barents and Kara Seas // *Water Resources*. 1983. Vol. 9 (4). P. 335–344.

Brezgunov V.S., Study of water exchange in sea-river water mixing zones using the isotopic composition-salinity diagram // *Nuclear Geology*. 1990. Vol. 4. № 1. P. 71–77.

Letolle R., Martin J.M., Thomas A.J., Gordeev V.V. Gusarova S., Sidorov L.S. ^{18}O abundance and dissolved silicate in the Lena delta and the Laptev Sea (Russia) // *Mar. Chem.* 1993. Vol. 43. P. 47–64.

Craig H., Gordon L.I. Deuterium and oxygen 18 variations in the ocean and the marine atmosphere // *Stable Isotopes in Oceanographic Studies and Paleotemperatures*. Spoleto, Italy. Pisa. 1965. P. 9–130.

Ostlund H.G., Hut G. Arctic Ocean water mass balance from isotope data // *Journal of Geophysical Research*. 1984. Vol. 89. P. 6373–6381.

Rabe B., Karcher M., Kauker F., Schauer U., Toole J.M, Krishfield R.A., Pisarev S., Kikuchi T., Su J. Arctic Ocean basin liquid freshwater storage trend 1992–2012 // *Geophysical Research Letters*. 2014. Vol. 41 (3). P. 961–968. doi:10.1002/2013GL058121.

Rabe B., Dodd P., Hansen E., Falck E., Schauer U., Mackensen A., Beszczynska-Möller A., Kattner G., Rohling E., Cox K. Liquid export of Arctic freshwater components through the Fram Strait 1998–2011 // *Ocean Science*. 2013. Vol. 9. P. 91–109. doi:10.5194/os-9-91-2013.

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК СНЕЖНОГО ПОКРОВА АНТАРКТИЧЕСКИХ МЕГАДЮН В РАЙОНЕ ПОДЛЕДНИКОВОГО ОЗЕРА ВОСТОК

канд. геогр. наук А.А. ЕКАЙКИН^{1,2}, канд. геогр. наук В.Я. ЛИПЕНКОВ¹,
д-р геогр. наук С.В. ПОПОВ³, инж. А.В. ТУРКЕЕВ¹,
мл. науч. сотр. А.В. КОЗАЧЕК¹, инж. Д.О. ВЛАДИМИРОВА^{1,2}

1 – ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: ekaykin@aari.ru, lipenkov@aari.ru, aturkeev@yandex.ru, kozachek@aari.ru, vladimirova@aari.ru

2 – Санкт-Петербургский государственный университет

3 – Полярная морская геологоразведочная экспедиция, г. Ломоносов, e-mail: sporov67@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ

Первые сообщения о существовании значительных по размеру волн на поверхности Антарктического ледяного щита появились вскоре после начала интенсивных исследований шестого континента в период МГТ (Долгушин, 1958). С тех пор подобные формы рельефа неоднократно наблюдались в различных частях Антарктиды — на Земле Адели (Pettre et al., 1986), Королевы Мод (Anschutz et al., 2006; Eisen et al., 2005), Эндерби (Fujita et al., 2002), Мэри Бэрд (Whillans, 1975; Gow, Rowland, 1965), Земле Виктории (Frezzotti et al., 2002b; Frezzotti et al., 2002a), в районе Берега Правды (Vladimirova, Ekaykin, 2014), Уилкса (Black, Budd, 1964; Goodwin, 1990) — т.е. практически повсеместно.

В дальнейшем подобные формы рельефа получили название «мегадюны» (Swithinbank, 1988) на основании их сходства с песчаными мегадюнами пустынь. В настоящее время этот термин принято употреблять по отношению к определенному виду дюн, существующих в Центральной Антарктиде и образующих систему параллельных гряд с длиной волны 2–5 км, высотой 2–8 м и длиной гребней до 100 км (Albert et al., 2004; Alberti, Biscaro, 2010; Fahnestock et al., 2000; Arcone et al., 2012; Frezzotti et al., 2002b).

Первые исследования зависимости между рельефом ледника (наклоном поверхности) и скоростью снегонакопления показали, что дюны интенсивно перераспределяют снежные осадки, при этом снег сдувается с выпуклых поверхностей и накапливается в вогнутых (Black, Budd, 1964). Эта зависимость в дальнейшем была подтверждена большим количеством наблюдений (Frezzotti et al., 2007; Fujita et al., 2011; Hamilton, 2004; Kaspari et al., 2004; Richardson et al., 1997; Rotschky et al., 2004; Anschutz et al., 2007; Ekaykin et al., 2002). Было показано, что дюны не неподвижны, а перемещаются по поверхности ледника со скоростью порядка 4–25 м/год (Whillans, 1975; Frezzotti et al., 2002b; Van der Veen et al., 1999; Black, Budd, 1964).

Комплексное исследование феномена мегадюн (Frezzotti et al., 2002b) показало, что снег сдувается с подветренного склона дюн, где формируется типичный эрозийный тип микрорельефа («глянцевая поверхность»). Напротив, на наветренных склонах дюны, где накопление снега увеличено, развиваются депозиционные типы микрорельефа (заструги).

С 1980-х гг. для исследования мегадюн начали использовать спутниковые технологии (Swithinbank, 1988; Fahnestock et al., 2000; Alberti, Biscaro, 2010; Scambos et al., 2012), с помощью которых было установлено, что эти формы рельефа широко представлены в Антарктиде и занимают площадь около 500 тыс. км².

В антарктической гляциологии широко применяется радиолокационное зондирование снежной толщи (Eisen et al., 2008). В частности, с помощью этого метода можно определять прошлое положение поверхности дюны и рассчитывать скорость ее перемещения (Frezzotti et al., 2002b).

В последнее время стало очевидным, что метелевый перенос не просто сдувает осадки в одном месте и откладывает в другом, но приводит к интенсивной сублимации снега (Bintanja, Reijmer, 2001; Thiery et al., 2012), удаляя от 20 до 75 % осадков (Frezzotti et al., 2007; Frezzotti et al., 2004). В районе мегадюн эта величина может возрастать до 85 % (Frezzotti et al., 2004). Таким образом, широкое распространение мегадюн и «глянцевых поверхностей» (которые в совокупности занимают более 10 % площади Антарктиды), где процессы метелевого переноса усилены, должно быть принято во внимание для корректной оценки баланса массы ледникового покрова (Scambos et al., 2012; Das et al., 2013).

Физические свойства снега в районе мегадюн были изучены в работах (Albert et al., 2004; Courville et al., 2007; Severinghaus et al., 2010; Gregory et al., 2014). В частности, зоны эрозии в мегадюнах сложены крупнозернистым снегом (изморозью), характеризующимся повышенной проницаемостью для воздуха. Изучение процессов, происходящих в снегу при почти нулевой аккумуляции, помогает интерпретировать результаты исследований изотопного состава воздуха, заключенного в воздушных включениях ледяных кернов (Severinghaus et al., 2010). Предполагается, что зоны пониженной аккумуляции с высокой воздухопроницаемостью фирна, подобные тем, что существуют сейчас в районах мегадюн, были широко распространены в Антарктиде в эпоху оледенения (Dreyfus et al., 2010).

Химические свойства снега в районе мегадюн были исследованы в очень немногих работах (Dixon et al., 2013). Отмечено, что наклон поверхности ледника каким-то образом влияет на химический состав поверхностного слоя снега, по крайней мере в прибрежных районах (Mahalinganathan et al., 2012).

Сильный постдепозиционный метаморфизм снежной толщи в районе мегадюн должен изменять изотопный состав снега (Courville et al., 2007; Frezzotti et al., 2002b). Известно также, что перераспределение снежных осадков ветром при взаимодействии снего-ветрового потока с рельефом снежной поверхности также изменяет изотопный состав снега, что приводит к слабой корреляции между вертикальными профилями изотопного состава, полученными в двух точках, разделенных небольшим расстоянием (Ekaykin et al., 2014; Benoist et al., 1982; Karlof et al., 2006). Однако до настоящего момента в Антарктиде не было проведено детальных систематических исследований изотопного состава снега в районе мегадюн.

Настоящая работа восполняет этот пробел. В летние полевые сезоны 58-й и 59-й Российской антарктической экспедиции (2013–2014 гг.) мы провели комплексные

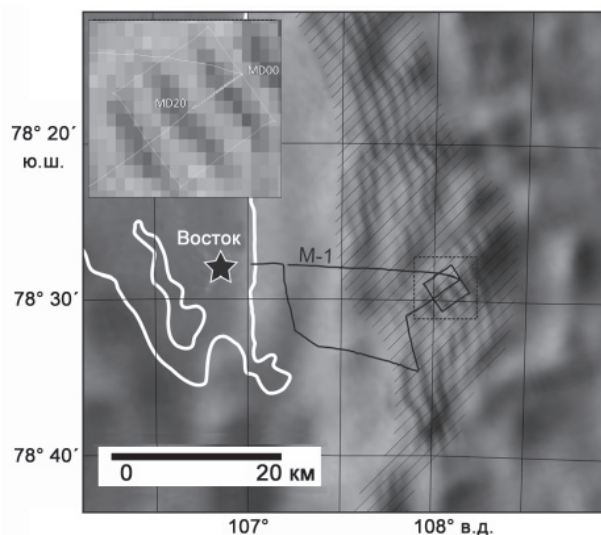


Рис. 1. Окрестности станции Восток и район выполнения работ.

Район мегадюны выделен штриховкой. Черная линия — маршруты радиолокационного профилирования. Положение гляциологического профиля показано на врезке (MD00–MD20). Белая линия — береговая черта подледникового озера Восток по (Popov, Masolov, 2007).

гляциологические исследования в районе мегадюны, расположенном в 30 км к востоку от станции Восток (рис. 1). В данной статье проанализированы новые данные о пространственном распределении изотопного состава снега, полученные в ходе указанных исследований.

ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В январе 2013 г. состоялось первое посещение мегадюны в районе станции Восток. Перпендикулярно гребню мегадюны был заложен гляциологический профиль, состоящий из 21 вехи (MD00–MD20). Расстояние между соседними вехами составило около 100 м, а общая длина профиля — 1983 м (рис. 1). Образцы поверхностного (до глубины 1,5 м) слоя снега были отобраны возле каждой вехи и впоследствии проанализированы на содержание стабильных изотопов воды (δD , $\delta^{18}O$).

В январе 2014 г. профиль был посещен второй раз. Повторные измерения высоты вех и плотности поверхностного (20 см) слоя снега позволили определить накопление снега за 2013 г. Также были отобраны пробы снега на изотопный и химический анализы.

Концентрация тяжелых изотопов воды в пробах, отобранных во время обеих экспедиций, определялась в Лаборатории изменений климата и окружающей среды (ЛИКОС) ААНИИ в январе–июне 2014 г. с помощью лазерного анализатора Picarro L2102-*i*. Рабочий стандарт VOS, изготовленный из современного снега, отобранного в районе станции Восток, и откалиброванный относительно стандартов МАГАТЭ VSMOW-2, GISP и SLAP-2, измерялся после каждых пяти образцов. Воспроизводимость измерений, определенная путем повторного измерения случайно выбранных проб, оказалась равной 0,04 ‰ для $\delta^{18}O$ и 0,2 ‰ для δD , что на два порядка величины меньше естественной изменчивости изотопного состава снега в этом районе и, таким образом, удовлетворительна для целей нашего исследования.

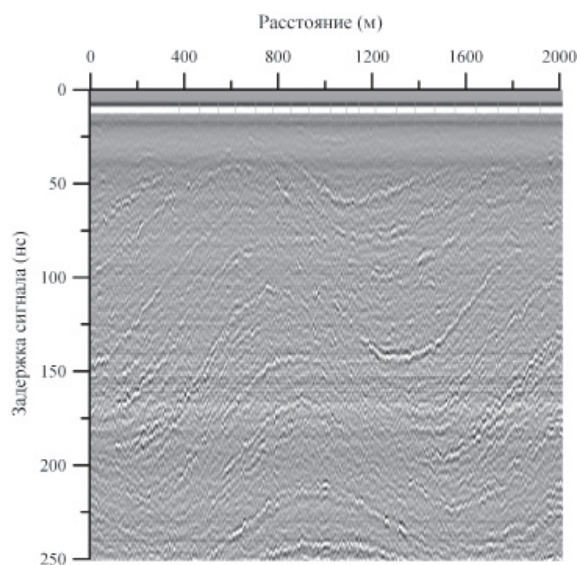


Рис. 2. Временной радиолокационный разрез через гляциологический профиль.

Во время сезона 58-й РАЭ (январь 2013 г.) было также выполнено радиолокационное (РЛ) профилирование снежно-фирновой толщи, для чего был использован 200-МГц георадар GSSI SIR10B с антенной «5106 200 MHz». Георадар был установлен на двух санях, ведомых снегоходом «ски-ду». Маршрут радиолокационного профиля записывался с помощью GPS. Было получено около 80 км РЛ-профилей, но лишь 2 км из них использованы в настоящей работе (профиль между точками MD00 и MD20 на рис. 1).

Главной проблемой при обработке и интерпретации РЛ-данных являются диэлектрические свойства среды, в которой распространяются электромагнитные волны. Поскольку для района мегадюн модели пересчета времени запаздывания эха электромагнитного импульса в глубину отсутствуют, использовалась модель, разработанная для станции Восток (Попов, 2014):

$$v_s(H) = c/(1,29097 + 0,00635 H),$$

где v_s — вертикальная скорость электромагнитных волн, c — скорость света и H — глубина снежно-фирновой толщи.

На рис. 2 показан фрагмент временного РЛ-разреза, записанный вдоль гляциологического профиля MD00–MD20.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Формирование мегадюн обычно приурочено к резкому перелому угла наклона поверхности ледника вдоль направления преобладающих ветров (Frezzotti et al., 2002b). «Восточные» мегадюны не являются исключением, т.к. образуются с подветренной стороны от восточного берега подледникового озера Восток, где наклон изменяется от значений близких к нулевым или даже отрицательным (в ближайших окрестностях станции Восток ветер дует вверх по склону) до величины порядка 1,6 м/км.

Длина волны исследуемых мегадюн — порядка 1,9 км (рис. 3д), хотя для более точной оценки их параметров нужны специальные геодезические наблюдения.

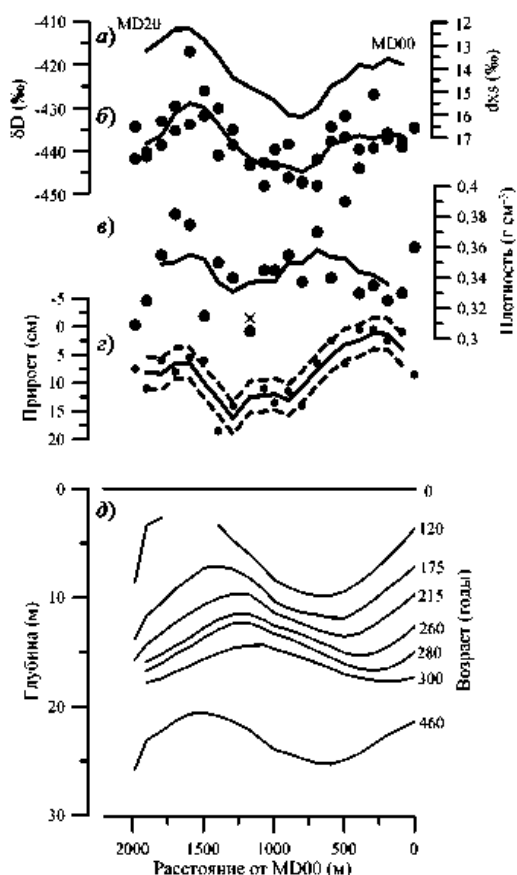


Рис. 3. Результаты гляциологических и радиолокационных наблюдений в районе мегадюны: *a* и *б* — изотопный состав поверхностного (1,5 м) слоя снега, δD (*б*) и δx_s (*a*). Для *D* точками показаны результаты измерения отдельных образцов, а линией — среднее по результатам исследований 58-й и 59-й РАЭ. Для δx_s показаны только средние значения; *в* — поверхностная (20 см) плотность снега, отдельные значения (точки) и скользящее среднее по трем точкам (линия); *г* — накопление снега за 2013 г., отдельные значения (точки) и скользящее среднее по трем точкам (сплошная линия). Пунктирными линиями показан доверительный интервал средних значений ($\pm 1\sigma$); *д* — глубина залегания семи внутренних горизонтов отражения, обнаруженных с помощью радиолокации. Числа справа — оценка возраста этих горизонтов.

Проведенные нами гляциологические работы позволили определить пространственную изменчивость накопления снега между январем 2013 и январем 2014 г. (рис. 3г). Даже несмотря на относительно высокий уровень «стратиграфического шума», типичный для районов с малой аккумуляцией (Ekaikin et al., 2002), можно четко видеть квазипериодическую изменчивость прироста высоты снежного покрова. На расстоянии всего лишь в несколько сотен метров накопление снега меняется в 14 раз, от 1,2 до 16 см, что эквивалентно 4–56 мм в.э., согласно данным по плотности снега, представленным на рис. 3в. Разброс значений оказался большим, чем указан в работе (Frezzotti et al., 2002b) (7–35 мм в.э.). При этом среднее накопление снега составило 25 мм в.э., что близко величине, полученной за тот же период на снегомер-

ном полигоне станции Восток (23 мм в.э.). Если количество осадков, выпадающих в районе мегадюн и на станции Восток, одинаково, это означает, что в нашем случае не наблюдается усиленной сублимации снега в районе мегадюн, отмеченной в других работах (Frezzotti et al., 2004).

Плотность поверхностного (20 см) слоя снега не обнаруживает существенной пространственной изменчивости (рис. 3б), а среднее значение плотности ($0,34 \text{ г/см}^3$) очень близко результатам измерений на полигоне станции Восток в декабре 2013 г. ($0,335 \text{ г/см}^3$).

Во время полевых работ нам также не удалось обнаружить визуально заметной разницы между характером снежной поверхности на разных участках мегадюн. В зоне сниженной аккумуляции мы не обнаружили развития «глянцевых поверхностей», а в зоне повышенного накопления — поля заструг.

На рис. 3б показан профиль изотопного состава (δD) верхнего полуметрового слоя снега. Отчетливо видна волна с амплитудой около 20 ‰ и длиной, сопоставимой с длиной мегадюн. Наблюдается отрицательная корреляция (с коэффициентом $-0,35$) между изотопным составом и скоростью накопления снега. Похожая картина — хотя и в меньшем пространственном масштабе — наблюдалась ранее в районе снегомерного полигона станции Восток (Eckaykin et al., 2002). Мы объясняем такое распределение изотопного состава различной интенсивностью постдепозиционных изменений свойств снега в зонах с повышенной и пониженной аккумуляцией. Чем меньше скорость накопления снега, тем медленнее данный слой снега удаляется из активной поверхностной зоны, где и происходит большая часть постдепозиционных изменений, тем сильнее итоговое обогащение этого слоя тяжелыми изотопами воды (Town et al., 2008). Этот процесс может быть дополнительно усилен повышенной проницаемостью снега в районе мегадюн (Albert et al., 2004), что приводит к большей толщине активной зоны. Предложенный механизм не противоречит наблюдаемому поведению эксцесса дейтерия ($dxs = \delta D - 8 \delta^{18}O$) (рис. 3а), поскольку в ходе постдепозиционных изменений δD и dxs меняются разнонаправленно (Winkler et al., 2013).

Альтернативное объяснение отрицательной связи между изотопным составом и скоростью накопления снега было предложено в (Eckaykin et al., 2002). Поскольку зимой кристаллики снега мельче, а скорость ветра выше, зимние осадки гораздо легче подвержены ветровому перераспределению по сравнению с летними. В этом случае в эрозионной зоне доля летних осадков должна быть существенно больше, чем в аккумулятивной зоне, что также приводит к отрицательной связи между δD и dxs вследствие отрицательной связи между ними в годовом цикле.

Имеющиеся у нас данные не позволяют установить, какой из механизмов, «постдепозиционный» или «метелевый» (или оба), ответственен за наблюдаемое явление. Возможно, что ответ на этот вопрос будет получен после измерения « ^{17}O -excess» (Landais et al., 2012) в снеге мегадюн. Дело в том, что в случае пост-депозиционных процессов ^{17}O -excess и δD связаны друг с другом отрицательно (Winkler et al., 2013), а в ходе годового цикла — положительно (Landais et al., 2012).

Мы использовали РЛ-данные, в которых хорошо видны слои отражения, маркирующие положение дюны в прошлом (рис. 3д), чтобы оценить горизонтальную скорость их перемещения.

Для этого прежде всего был оценен возраст каждого отражающего горизонта по модели глубина–возраст, разработанной для района станции Восток (Eckaykin et

al., 2014). Было установлено, что самый верхний горизонт имеет возраст около 120 лет, а самый нижний — порядка 460 лет. По перемещению характерных точек дюны (гребней и ложбин) прослежено перемещение дюны и рассчитана средняя скорость перемещения, которая составила $5,5 \pm 1,3$ м/год. Это точно соответствует значению скорости перемещения дюн 5 м/год, полученному в работе (Frezzotti et al., 2002b). Легко подсчитать, что при такой скорости перемещения дюна сдвигается на одну длину волны за 340 лет.

При движении дюны перемещаются и все связанные с ней аномалии свойств снежной поверхности, включая накопление и изотопный состав снега. Поэтому ледяной керн, пробуренный в любой точке мегадюны, показал бы циклические изменения этих параметров с периодом порядка 340 лет, связанные не с климатической изменчивостью, а с движением дюны.

Построим расчетный профиль изотопного состава керна, который наблюдался бы в керне, пробуренном в точке MD00.

На рис. 4а показаны временные изменения скорости накопления снега (черная сплошная линия) и изотопного состава (пунктир), которые наблюдались бы при прохождении дюны через точку MD00. Чтобы построить эти кривые, мы разделили расстояние каждой точки на рис. 3а и 3г на установленную выше скорость перемещения дюны. На рис. 4а также показана (серой сплошной линией) климатическая изменчи-

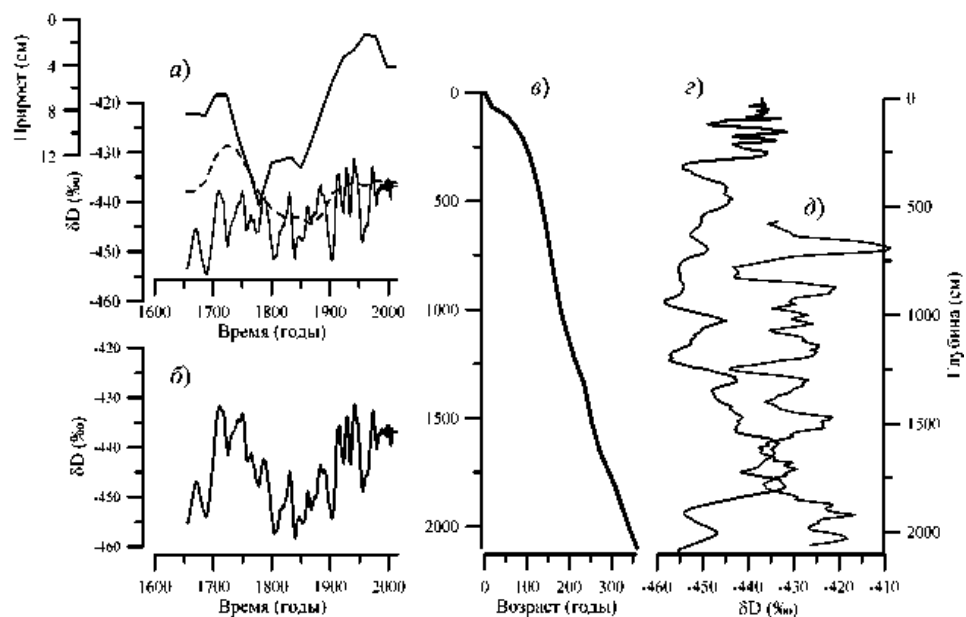


Рис. 4. Модельный изотопный профиль в точке MD00: а — неклиматические колебания снегонакопления (сплошная черная линия) и изотопного состава (пунктир), рассчитанные с использованием данных, показанных на рис. 3 б и г. Сплошная серая линия — климатически обусловленные колебания снегонакопления, взятые из (Ekaikin et al., 2014); б — комбинация климатической и рельефообусловленной компонент изотопного состава, показанных на рис. 4 а и б; в — функция глубина–возраст для точки MD00; г — модельный вертикальный профиль изотопного состава для точки MD00; д — вертикальный профиль изотопного состава из скважины NVFL-1 (район Купола Б).

вость изотопного состава снега в районе ст. Восток по данным (Ekeykin et al., 2014). Обращает на себя внимание сходный характер изменения обеих компонент общей изменчивости изотопного состава снега (рельефообусловленной и климатической). Сложив обе эти компоненты, мы получаем ожидаемую изменчивость изотопного состава снега в точке MD00 (рис. 4б). Затем мы трансформируем эту кривую в вертикальный профиль изотопного состава снега, используя функцию глубина–возраст, представленную на рис. 4в и учитывающую существенную изменчивость скорости накопления, связанную с перемещением дюны (рис. 4а). Результирующий вертикальный профиль представлен на рис. 4г.

Наш модельный вертикальный профиль визуально мало чем отличается от любого вертикального профиля изотопного состава, полученного в области низкой скорости аккумуляции снега в Восточной Антарктиде (т.е. не имеет сезонного цикла). В качестве примера на рис. 4д показан изотопный профиль, полученный по керну скважины NVFL-1 (77,0888° ю.ш. и 95,3789° в.д., в окрестностях Купола Б), пробуренной в январе 2008 г.

В случае модельного профиля мы знаем, что наблюдаемый «сигнал» связан, главным образом, с перемещением мегадюны, но как разделить климатическую изменчивость и связанный с рельефом шум в реальном керне?

Общепризнано, что районы мегадюн являются неподходящим местом для бурения льда с целью изучения палеоклимата, но это не означает, что области Антарктиды за пределами мегадюн также не подвержены неклиматической, рельефообусловленной изменчивости.

Например, в окрестностях Южного полюса мегадюны не развиты, но детальная топоъемка местности выявила дюноподобные структуры с типичной амплитудой порядка нескольких метров и длиной волны до нескольких километров — см. рис. 8 в (Van der Veen et al., 1999) и рис. 2 в (Hamilton, 2004). В отличие от мегадюн, эти холмы не вытянуты, а скорее округлые в плане. Авторы предполагают, что данные формы рельефа не стационарны, а перемещаются в пространстве, что вызывает неклиматические колебания скорости снегонакопления с периодом несколько сотен или даже тысяч лет. Похожие структуры были недавно обнаружены в районе станции Конен (Eisen et al., 2005).

Даже окрестности ледниковых куполов могут быть подвержены подобным эффектам. В частности, измерение изотопного состава керна из двух рядом расположенных скважин в районе Купола С показало очень слабую корреляцию между ними даже в масштабе столетий, что связывается с влиянием местной топографии (Benoist et al., 1982).

На Земле Королевы Мод ледяные керны, пробуренные на относительно небольшом расстоянии друг от друга, обнаруживают различные линейные тренды изменения скорости снегонакопления за последние 200 лет (Oerter et al., 2000), что может быть объяснено лишь влиянием неклиматических факторов.

В целом в районах с низкой скоростью снегонакопления отношение сигнала к шуму как для аккумуляции, так и для изотопного состава снега очень мало и составляет порядка 0,2 (Ekeykin et al., 2014). Шум, связанный с метелевым переносом снега и/или с постдепозиционными процессами, сильнее климатического сигнала даже в масштабе вековой изменчивости. Это означает, что для изучения климатической изменчивости с периодом меньше, чем 10^3 – 10^4 лет, в области с низкой аккумуляцией

(которая охватывает большую часть Восточной Антарктиды (Arthern et al., 2006)) требуется более одного керна в каждой точке.

Влияние снежной топографии на распределение снега и его свойств известно и во многом изучено в масштабе от 10^{-2} до 10^1 м (микрорельеф) и от 10^3 до 10^6 м (мегадюны и континентальный масштаб). При этом относительно мало известно об изменчивости в масштабе от 10^1 до 10^3 м, в диапазоне так называемых «мезодюн» (Ekaikin et al., 2002; Eisen et al., 2008). Вероятно, перемещение мезодюн приводит к неклиматической временной изменчивости скорости накопления и изотопного состава снега с периодом несколько десятилетий за счет механизмов, близких тем, что описаны в настоящей работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ледяные керны — бесценный источник палеоклиматической информации, несмотря на неизбежные ограничения методов их исследования. Одним из таких ограничений является высокий уровень шума, который затрудняет изучение высокочастотной составляющей климатической изменчивости (от сезонной до нескольких тысячелетий), особенно в районах с низкой скоростью снегонакопления. Основные причины шума — взаимодействие снего-ветрового потока с топографией снежной поверхности, приводящее к крайне неравномерному отложению снега, а также пост-депозиционные процессы.

В настоящей работе мы представили первые результаты полевых исследований, выполненных в течение двух летних полевых сезонов в окрестностях антарктической станции Восток. Главным образом статья посвящена влиянию крупных форм рельефа поверхности ледника — мегадюн — на изотопный состав отложенного снега. Показано, что в пределах мегадюн наблюдается сильная пространственная изменчивость изотопного состава, отрицательно коррелирующая со скоростью накопления снега вследствие различной интенсивности постдепозиционных процессов и/или неравномерного отложения летних и зимних осадков.

Используя данные радиолокационного профилирования, мы смогли оценить горизонтальную скорость перемещения дюн, которая оказалась равной $5,5 \pm 1,3$ м/год. Это позволило смоделировать временную изменчивость изотопного состава снега в отдельно взятой точке, которая наблюдалась бы при перемещении дюны через эту точку.

Опираясь на литературные данные, можно утверждать, что подобные неклиматические колебания широко распространены в Антарктиде, даже вне районов мегадюн.

Области развития мегадюн во многом являются уникальными местоположениями, где свойства снежного покрова кардинально меняются в пределах очень маленьких расстояний, что делает их пригодными для проведения различных экспериментов, направленных на изучение постдепозиционных процессов, моделирование условий, существовавших в ледниковые эпохи, и т.д.

В будущих работах мы планируем изучить пространственную изменчивость концентрации кислорода 17 и химического состава снега, содержания микрочастиц и прочих характеристик в районе «восточных» мегадюн.

Логистические операции в Антарктиде были выполнены Российской антарктической экспедицией. Мы, в частности, благодарны В. Заровчатскому за помощь в полевых работах. Авторы также благодарят А. Циридзотти и С. Урбину (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy) за предоставление георадара.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект 14-27-00030).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Долгушин Л.Д. Географические наблюдения в Антарктиде. Сообщение 1-е // Известия АН СССР. Сер. геогр. 1958. № 1. С. 28–47.
- Попов С.В. Применение георадиолокации для изучения строения снежно-фирновой толщи и грунта Восточной Антарктиды в сезон 2012/13 г. // Лед и снег. 2014. № 4. (в печати).
- Albert M., Shuman C., Courville Z., Bauer R., Fahnestock M., Scambos T. Extreme firn metamorphism: Impact of decades of vapor transport on near-surface firn at a low-accumulation glazed site on the east antarctic plateau // *Annals of Glaciology*. 2004. Vol. 39. P. 73–78.
- Alberti M., Biscaro D. Height variation detection in polar regions from icesat satellite altimetry // *Computers and Geosciences*. 2010. Vol. 36. P. 1–9.
- Anschutz H., Eisen O., Rack W., Scheinert M. Periodic surface features in coastal East Antarctica // *Geophys. Res. Lett.* 2006. Vol. 33. P. 1–5.
- Anschutz H., Eisen O., Oerter H., Steinhage D., Scheinert M. Investigating small-scale variations of the recent accumulation rate in coastal Dronning Maud Land, East Antarctica // *Annals of Glaciology*. 2007. Vol. 46. P. 14–21.
- Arcone S.A., Jacobel R., Hamilton G. Unconformable stratigraphy in east antarctica: Part i. Large firn cosets, recrystallized growth, and model evidence for intensified accumulation // *J. Glaciol.* 2012a. Vol. 58. P. 240–252.
- Arthern R.J., Winebrenner D.P., Vaughan D.G. Antarctic snow accumulation mapped using polarization of 4.3-cm wavelength microwave emission // *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. iii. D06107, doi:10.1029/2004JD005667.
- Benoist J.P., Jouzel J., Lorius C., Merlivat L., Pourchet M. Isotope climatic record over the last 2.5 ka from dome c, Antarctica, ice cores // *Annals of Glaciology*. 1982. Vol. 3. P. 17–22.
- Bintanja R., Reijmer C.H. A simple parameterization for snowdrift sublimation over Antarctic snow surfaces // *J. Geophys. Res.* 2001. Vol. 106. P. 739–748. doi: 10.1029/2000JD000107
- Black H.P., Budd W. Accumulation in the region of wilkes, wilkes land, Antarctica // *J. Glaciol.* 1964. Vol. 5. P. 3–15.
- Courville Z.R., Albert M.R., Fahnestock M.A., Cathles IV L.M., Shuman C.A. Impacts of an accumulation hiatus on the physical properties of firn at a low-accumulation polar site // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. P. 1–11.
- Das I., Bell R.E., Scambos T.A., Wolovick M., Creyts T.T., Studinger M., Frearson N., Nicolas J.P., Lenaerts J.T. M., Van den Broeke M.R. Influence of persistent wind scour on the surface mass balance of Antarctica // *Nature Geoscience*. 2013. Vol. 6. P. 367–371.
- Dixon D.A., Mayewski P.A., Korotkikh E., Sneed S.B., Handley M.J., Introne D.S., Scambos T.A. Variations in snow and firn chemistry along us itase traverses and the effect of surface glazing // *The Cryosphere*. 2013. Vol. 7. P. 515–535.
- Dreyfus G., Jouzel J., Bender M., Landais A., Masson- Delmotte V., Leuenberger M. Firn processes and d15n: Potential for a gas-phase climate proxy // *Quat. Sci. Rev.* 2010. Vol. 29. P. 28–42.
- Eisen O., Rack W., Nixdorf U., Wilhelms F. Characteristics of accumulation around the epica deep-drilling site in dronning maud land, Antarctica // *Annals of Glaciology*. 2005. Vol. 41. P. 41–46.
- Eisen O., Frezzotti M., Genthon C., Isaksson E., Magand O., Van den Broeke M.R., Dixon D.A., Ekaykin A.A., Holmlund P., Kameda T., Karlof L., Kaspari S., Lipenkov V.Y., Oerter H., Takahashi S., Vaughan D.G. Ground-based measurements of spatial and temporal variability of snow accumulation in East Antarctica // *Reviews of Geophysics*. 2008. Vol. 46. P. 1–39.
- Ekaykin A.A., Lipenkov V.Y., Barkov N.I., Petit J.R., Masson-Delmotte V. Spatial temporal variability in isotope composition of recent snow in the vicinity of vostok station: Implications for ice-core interpretation // *Annals of Glaciology*. 2002. Vol. 35. P. 181–186.

- Ekaykin A.A., Kozachek A.V., Lipenkov V.Y., Shibaev Y.A.* Multiple climate shifts in the southern hemisphere over the past three centuries based on central antarctic snow pits and core studies // *Annals of Glaciology*. 2014. Vol. 55. P. 259–266.
- Fahnestock M.A., Scambos T.A., Shuman C.A., Arthern R.J., Winebrenner D.P., Kwok R.* Snow megadune fields on the east antarctic plateau: Extreme atmosphere-ice interaction // *Geophys. Res. Lett.* 2000. Vol. 27. P. 3719–3722.
- Frezzotti M., Gandolfi S., La Marca F., Urbini S.* Snow dunes and glazed surfaces in antarctica: New field and remote-sensing data // *Annals of Glaciology*. 2002a. Vol. 34. P. 81–87.
- Frezzotti M., Gandolfi S., Urbini S.* Snow megadunes in antarctica: Sedimentary structure and genesis // *J. Geophys. Res.* 2002b. Vol. 107. ACL P. 1–12.
- Frezzotti M., Pourchet M., Flora O., Gandolfi S., Gay M., Urbini S., Vincent C., Becagli S., Gragnani R., Proposito M., Severi M., Traversi R., Udisti R., Fily M.* New estimations of precipitation and surface sublimation in east antarctica from snow accumulation measurements // *Clim. Dyn.* 2004. Vol. 23. P. 803–813.
- Frezzotti M., Urbini S., Proposito M., Scarchilli C., Gandolfi S.* Spatial and temporal variability of surface mass balance near talos dome, East Antarctica // *J. Geophys. Res.* 2007. Vol. 112. P. 1–15.
- Fujita S., Maeno H., Furukawa T., Matsuoka K.* Scattering of vhf radio waves from within the top 700 m of the antarctic ice sheet and its relation to the depositional environment: A case-study along the syowa-mizuho-dome fuji traverse // *Annals of Glaciology*. 2002. Vol. 34. P. 157–164.
- Fujita S., Holmlund P., Andersson I., Brown I., Enomoto H., Fujii Y., Fujita K., Fukui K., Furukawa T., Hansson M., Hara K., Hoshina Y., Igarashi M., Iizuka Y., Imura S., Ingvander S., Karlin T., Motoyama H., Nakazawa F., Oerter H., Sjöberg L.E., Sugiyama S., Surdyk S., Strom J., Uemura R., Wilhelms F.* Spatial and temporal variability of snow accumulation rate on the east antarctic ice divide between dome fuji and epica dml // *The Cryosphere*. 2011. Vol. 5. P. 1057–1081.
- Goodwin I.D.* Snow accumulation surface topography in the katabatic zone of eastern wilkes land, Antarctica // *Science*. 1990. Vol. 2. P. 235–242.
- Gow A.J., Rowland R.* On the relationship of snow accumulation to surface topography at “Byrd station”, Antarctica // *J. Glaciol.* 1965. Vol. 5. P. 843–847.
- Gregory S.A., Albert M., Baker I.* Impact of physical properties and accumulation rate on pore close-off in layered firn // *The Cryosphere*. 2014. Vol. 8. P. 91–105.
- Hamilton G.S.* Topographic control of regional accumulation rate variability at south pole and implications for ice-core interpretation // *Annals of Glaciology*. 2004. Vol. 39. P. 214–218.
- Karol L., Winebrenner D.P., Percival D.B.* How representative is a time series derived from a firn core? A study at a low-accumulation site on the antarctic plateau // *J. Geophys. Res.* 2006. Vol. 111. P. 1–11.
- Kaspari S., Mayewski P.A., Dixon D.A., Spikes V.B., Sneed S.B., Handley M.J., Hamilton G.S.* Climate variability in west antarctica derived from annual accumulation-rate records from itase firn/ice cores // *Annals of Glaciology*. 2004. Vol. 39. P. 585–594.
- Landais A., Ekaykin A.A., Barkan E., Winkler R., Luz B.* Seasonal variations of 17o-excess and d-excess in snow precipitation at vostok station, East Antarctica // *J. Glaciol.* 2012. Vol. 58. P. 725–733.
- Mahalinganathan K., Thamban M., Laluraj C.M., Redkar B.L.* Relation between surface topography and sea-salt snow chemistry from princess elizabeth land, East Antarctica // *The Cryosphere*. 2012. Vol. 6. P. 505–515.
- Oerter H., Wilhelms F., Jung-Rothenhauser F., Goktas F., Miller H., Graf W., Sommer S.* Accumulation rates in dronning maud land, antarctica, as revealed by dielectric-profiling measurements of shallow firn cores // *Annals of Glaciology*. 2000. Vol. 30. P. 27–34.
- Pette P., Pinglot F., Pourchet M., Reynaud L.* Accumulation distribution in terre adelie, antarctica: Effect of meteorological parameters // *J. Glaciol.* 1986. Vol. 32. P. 486–500.

- Popov S.V., Masolov V.N.* Forty-seven new subglacial lakes in the 0-110°E sector of East Antarctica // *J. Glaciol.* 2007. Vol. 53. P. 289–297.
- Richardson C., Aarholt E., Hamran S.-E., Holmlund P., Isaksson E.* Spatial distribution of snow in western Dronning Maud Land, East Antarctica, mapped by a ground-based snow radar // *J. Geophys. Res.* 1997. Vol. 102. P. 20343–20353.
- Rotschky G., Eisen O., Wilhelms F., Nixdorf U., Oerter H.* Spatial distribution of surface mass balance on Amundsen Plateau, Antarctica, derived from ice-penetrating radar studies // *Annals of Glaciology.* 2004. Vol. 39. P. 265–270.
- Scambos T.A., Frezzotti M., Haran T.V., Bohlander J., Lenaerts J.T. M., Van den Broeke M.R., Jezek K., Long D., Urbini S., Farness K., Neumann T., Albert M., Winther J.-G.* Extent of low-accumulation ‘wind-glaze’ areas on the East Antarctic plateau: Implications for continental ice mass balance // *J. Glaciol.* 2012. Vol. 58. P. 633–647.
- Severinghaus J.P., Albert M.R., Courville Z.R., Fahnestock M.A., Kawamura K., Montzka S.A., Muhl J., Scambos T.A., Shields E., Shuman C.A., Suwa M., Tans P., Weiss R.F.* Deep air convection in the firn at a zero-accumulation site, central Antarctica // *Earth and Planetary Science Letters.* 2010. Vol. 293. P. 359–367.
- Switchenbank C.* Antarctica. U.S. Geol. Survey Prof. Rep. 1988. 1386-B.
- Thiery W., Gorodetskaya I.V., Bintanja R., Van Lipzig N.P.M., Van den Broeke M.R., Reijmer C.H., Kuipers Munneke P.* Surface and snowdrift sublimation at Princess Elizabeth Station, East Antarctica // *The Cryosphere.* 2012. Vol. 6. P. 841–857.
- Town M.S., Warren S.G., Walden V.P., Waddington E.D.* Effect of atmospheric water vapor on modification of stable isotopes in near-surface snow on ice sheets // *J. Geophys. Res.* 2008. Vol. 113. P. 1–16.
- Van der Veen C.J., Mosley-Thompson E., Gow A., Mark B.G.* Accumulation at South Pole: Comparison of two 900-year records // *J. Geophys. Res.* 1999. Vol. 104. P. 31067–31076.
- Vladimirova D.O., Ekaykin A.A.* Climatic variability in Davis Sea sector (East Antarctica) over the past 250 years based on the “105 km” ice core geochemical data // *Geophysical Research Abstracts.* 2014. Vol. 16. P. 285.
- Whillans I.M.* Effect of inversion winds on topographic detail and mass balance on inland ice sheets // *J. Glaciol.* 1975. Vol. 14. P. 85–90.
- Winkler R., Landais A., Risi C., Baroni M., Ekaykin A.A., Jouzel J., Petit J.R., Prie F., Minster B., Falourd S.* Inter-annual variation of water isotopologue at Vostok indicates a contribution from stratospheric water vapour // *PNAS.* 2013. 10.1073/pnas.1215209110.

ГОДОВОЙ ПРОДУКЦИОННЫЙ ЦИКЛ ЗООПЛАНКТОНА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

канд. биол. наук В.Г. ДВОРЕЦКИЙ, канд. биол. наук А.Г. ДВОРЕЦКИЙ

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН (ММБИ КНЦ РАН), г. Мурманск,
e-mail: vdvoretskiy@mmbi.info

ВВЕДЕНИЕ

Зоопланктон представляет собой ключевой компонент пелагических морских экосистем, который связывает первичных продуцентов (фитопланктон) с более высокими трофическими уровнями (Богоров, 1974; Виноградов, Шушкина, 1987). В Баренцевом море зоопланктон формирует основу кормовой базы личинок наиболее ценных промысловых рыб (треска и пикша), а также молоди и взрослых особей мойвы и сельди (Тимофеев, 2000).

Зоопланктонные сообщества Баренцева моря являются объектом пристального внимания на протяжении более 100 лет (Планктон..., 1997; Тимофеев, 2000). За этот период накоплен обширный массив данных о составе, распределении, вертикальных миграциях и биологии массовых видов. В то же время, некоторые аспекты функционирования баренцевоморских сообществ зоопланктона остаются мало исследованными. В частности, это касается оценок продукции на протяжении года. Ранее для прибрежной зоны Восточного Мурмана были получены данные о годовом цикле обилия и биомассы зоопланктона, проведена оценка годовой продукции массового вида *Calanus finmarchicus* (Камшилов, 1955, 1958; Зеликман, Камшилов, 1960). Для Белого моря имеется информация о сезонном развитии массовых планктонных ракообразных и годовой динамике их обилия (Прыгункова, 1967, 1974).

Для точных расчетов продукции водных биоценозов необходимо детально знать основные черты репродуктивной биологии массовых видов, что требует проведения трудоемких и длительных экспериментов (Методы..., 1968). Для приблизительных оценок часто используют данные о биомассе и внешних характеристиках среды (температура воды, кормовые условия). Именно такой подход может использоваться для расчетов продукции, если для анализа привлекаются архивные материалы. Указанная методика довольно широко применяется в современных исследованиях продукционных циклов зоопланктона в различных районах Мирового океана (напр., Ara, Hiromi, 2007; Madsen et al., 2008).

Целью работы было изучение сезонной динамики состава, численности, биомассы и потенциальной суточной продукции зоопланктонного сообщества в южной части Баренцева моря.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материала были использованы архивные данные лаборатории планктона ММБИ, полученные в 1952–1959 гг. в прибрежной зоне Восточного Мурмана (рис. 1). Помимо этого использованы данные, полученные в ходе комплексных экспедиций ММБИ в 2001, 2004–2011 гг. в южной части Баренцева моря и Кольском заливе (табл. 1), районах, где представлена одна водная масса – мурманские прибрежные воды (Комплексные..., 2011).



Рис. 1. Карта отбора проб зоопланктона в Баренцевом море.

Таблица 1

Объем проанализированного материала

Район	Период отбора проб	Число станций	Число проб
Восточный Мурман*	05/10/1952–03/12/1958	165	1986
Баренцево море	06/07/2001–18/07/2001	45	90
Баренцево море	13/06/2004–18/07/2004	8	10
Кольский залив	17.06.2004	3	9
Кольский залив	12.05.2005	3	9
Кольский залив	12/12/2004–23/07/2005	1	56
Баренцево море	06/07/2005–13/07/2005	5	5
Кольский залив	04/08/2005–05/08/2005	1	18
Кольский залив	22/12/2005–23/12/2005	1	12
Кольский залив	12/09/2005–16/09/2005	10	10
Кольский залив	08/07/2006–12/07/2006	10	10
Баренцево море	16/08/2006–01/09/2006	10	10
Баренцево море	01/03/2007–05/03/2007	8	12
Баренцево море	28/05/2007–03/06/2007	6	10
Баренцево море	19/08/2007–03/09/2007	8	8
Баренцево море	31/07/2007–06/08/2007	13	13
Баренцево море	30/09/2007–06/10/2007	12	12
Баренцево море	24/07/2008–01/08/2008	14	18
Баренцево море	29/07/2009–20/08/2009	10	10
Баренцево море	19/08/2010–30/08/2010	8	8
Баренцево море	10/11/2010–01/12/2010	9	9
Кольский залив	13.12.2010	1	3
Баренцево море	05/07/2011–14/07/2011	1	43
Баренцево море	15/08/2011–22/08/2011	13	13
Всего		365	2384

Примечание. * — архивные данные ММБИ.

Орудием лова во всех случаях была сеть Джеди (диаметр входного отверстия 38 см, размер ячеей фильтрующего полотна 168 мкм). Численность (в экз./м³) рассчитывали для всего слоя облова от дна до поверхности. На большинстве станций глубины не превышали 50–100 м, по этой причине мы полагаем, что сопоставление мелководных и более глубоководных станций можно считать корректным. В 2001 и 2004–2011 гг. данные по температуре получены с использованием зонда SBE 19plus SEACAT CTD. Для 1950-х гг. океанологические данные получены из опубликованных источников (Matishov et al., 2004).

В прибрежной зоне в течение летнего-осеннего периодов выражена температурная стратификация (Matishov et al., 2004). Как правило, при глубинах более 100–150 м лов зоопланктона ведут в разных слоях (Тимофеев, 1997), т.к. там разная температура, однако зоопланктон совершает вертикальные миграции, что делает практически невозможным учет данного фактора в расчетах продукции. По этой причине в расчетах нами использована средняя температура воды и данные по тотальным ловам. Таким образом, полученные ниже величины отражают приблизительную оценку сезонной продукции зоопланктонного сообщества.

Обработку проб проводили в лаборатории по стандартной методике. Биомассу кормового зоопланктона (ракообразные, птероподы, щетинкочелюстные, аппендикулярии) рассчитывали по стандартным таблицам (Richter, 1994), размерно-весовым зависимостям (Зависимость..., 1989) или номограммам. Полученные величины были выражены в мг сухой массы на 1 м³ с использованием соотношения (Виноградов, Шушкина, 1987): 1 мг сырой массы = 0,16 мг сухой массы = 0,064 мг углеродной массы.

Расчет продукции вели по опубликованной ранее методике (Дворецкий, 2012). Суточные величины продукции (мг сухой массы/м³ в сутки) ювенильных стадий копепоид рассчитывали по уравнению: $P = B \cdot g$, где g — скорость роста (в сутки). Для веслоногих рачков этот показатель вычисляли по уравнению (Hirst et al., 2003):

$$\lg(g) = -1,529 + 0,0345 \cdot T - 0,128 \cdot \lg(w_{ic}),$$

где T — средняя температура воды в слое облова, w_{ic} — средняя углеродная масса (мкгС/экз.). Для взрослых стадий g соответствует удельной генеративной продукции (SEP). Эти данные для массовых копепоид были взяты из литературных источников (Madsen et al., 2001, 2008; Halsband-Lenk et al., 2002; Norcroft et al., 2005). Поскольку скорость обмена сильно зависит от температуры воды, величина SEP была умножена на коэффициент Q_{10} , который для копепоид равен:

$$Q_{10} = a^{0,1(T_2 - T_1)},$$

где T_2 — средняя температура воды в слое облова, T_1 — температура, при которой было определено значение удельной генеративной продукции, a — коэффициент, который равен 1,59 или 1,43 для видов, откладывающих яйца в воду или формирующих яйцевые мешки соответственно (Hirst, Bunker, 2003). Продукцию прочих ракообразных вычисляли по формуле (Примаков, Бергер, 2007):

$$P = 0,0746 \cdot W^{0,8} \cdot 0,8 - ((0,125 \cdot W^{0,579} \cdot 4,86 \cdot 24)/500) \cdot N \cdot 2,25^{0,1(T-20)} \cdot 1000,$$

где $0,0746 \cdot W^{0,8}$ — суточный рацион в г сырой массы, W — индивидуальная сырая масса организма (г), $(0,125 \cdot W^{0,579} \cdot 4,86 \cdot 24)/500$ — величина обмена, 4,86 — оксикалорийный коэффициент, T — средняя температура воды в слое облова, N — численность (экз./м³). Полученную величину переводили в единицы сухой массы/м². Продукцию аппендикулярий, щетинкочелюстных и птеропод рассчитывали как произведение B

и g с учетом коэффициента Q , который принимали равным $Q_{10} = 2,25^{0,1(T_2 - T_1)}$ (Методы..., 1986). Информация по значениям g была получена из опубликованных ранее источников (Conover, Lalli, 1972; Kotori, 1999; Tomita et al., 1999).

Для зимних месяцев продукцию зоопланктона считали равной 10 % от расчетных величин, поскольку основная часть популяции растительноядных организмов (прежде всего *Calanus finmarchicus*) находится в состоянии диапаузы, а основную часть продукции формируют активные на протяжении всего года всеядные виды (например, *Oithona* и *Metridia*) (Тимофеев, 2000).

Обработку данных проводили при помощи методов описательной статистики. Средние значения в работе представлены со стандартной ошибкой ($\pm SE$). Сравнение количественных показателей разных лет проводили с использованием однофакторного дисперсионного анализа (в случае нормального распределения данных) или непараметрического теста Крускала–Уоллиса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Минимальная температура воды была отмечена в феврале ($-1,6 \pm 0,1$ °C), максимальная — в августе $7,1 \pm 0,2$ °C. Соленость в слое облова на протяжении года варьировала слабо (33,0–34,4 psu). Рассматриваемый нами период включает годы с различающимися термическими условиями. В теплые промежутки времени потенциальная продукция должна быть выше, чем в холодные. В приведенной работе мы объединили весь массив данных по месяцам, поэтому описываемая нами картина сезонной динамики характеризует условный «средний» год.

Общая численность зоопланктона колебалась от 35 до 3880 экз./м³ при средней величине 592 ± 309 экз./м³. Пик численности регистрировали в июле–августе (рис. 2а).

Наибольшие значения суммарной биомассы зоопланктонного сообщества были отмечены в мае–июне (19–32 мг сухой массы/м³), когда доминировали эвфаузииды и веслоногие ракообразные. При этом в мае основу зоопланктона составляли представители *Thyssanoessa* (82 ± 13 %), а в июне — *C. finmarchicus* (95 ± 8 %). С июля по ноябрь сохранялась довольно высокая биомасса (более 7 мг сухой массы/м³) (рис. 2б). В декабре отмечен резкий спад количественных показателей зоопланктона (рис. 2б) до 0,4 мг сухой массы/м³. Зимой основной вклад в биомассу вносили копеподы (88–99 %), среди которых преобладали *Metridia* spp. и *C. finmarchicus*.

Таким образом, на протяжении всего года доминировали веслоногие ракообразные (72 ± 7 %), наиболее массовым был *C. finmarchicus* (49 ± 9 %), что в целом хорошо соответствует опубликованным ранее данным (Планктон..., 1997; Тимофеев, 2000). По суммарной биомассе различные сезоны не отличались друг от друга ($p > 0,05$). Суммарная биомасса всего сообщества, выраженная на единицу площади, варьировала от 0,04 до 4,2 г сухой массы/м², составляя в среднем $1,2 \pm 0,4$ г сухой массы/м².

Динамика суточной продукции зоопланктонного сообщества демонстрировала два выраженных пика — в июне (804 мкг сухой массы/м³ в сутки) (рис. 2в), этот максимум был связан с интенсивным развитием *C. finmarchicus*, формировавшим 95 ± 7 % от совокупных показателей, и в августе (758 мкг сухой массы/м³ в сутки) (рис. 2в), когда в сообществе основной вклад в продукцию вносили аппендикулярии *Fritillaria borealis* (71 ± 15 %). В июле–октябре регистрировали довольно высокие значения продукции (198–400 мкг сухой массы/м³ в сутки). В октябре основной вклад в продукцию вносили птероподы *Limacina* spp., составлявшие 39 ± 15 % от общих показателей. С декабря по апрель средние величины суточной продукции не превы-

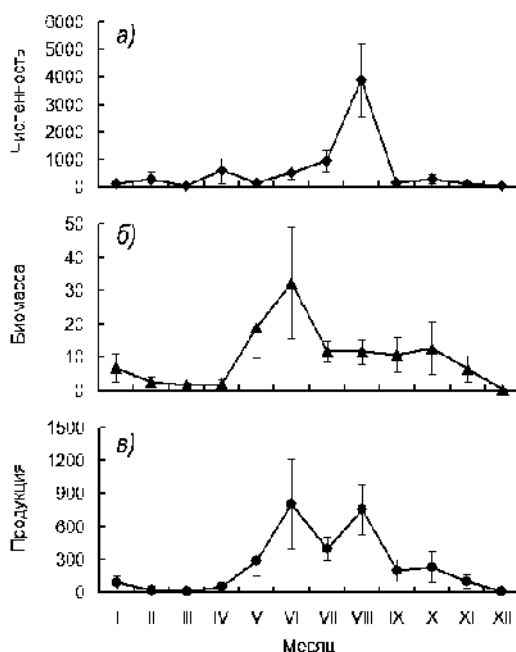


Рис. 2. Сезонная динамика численности (экз./м³), биомассы (мг сухой массы/м³) и продукции (мкг сухой массы/м³) зоопланктона в южной части Баренцева моря. Вертикальные линии показывают стандартную ошибку.

шали 53 мг сухой массы/м² в сутки (рис. 2в). На протяжении года в среднем на долю веслоногих ракообразных приходилось $66 \pm 8\%$, второе место занимали эвфаузииды ($11 \pm 7\%$), третье — птероподы ($7 \pm 4\%$).

Статистический анализ выявил значимые отличия между сезонами по величине суточной продукции ($p < 0,05$). Множественное сравнение показало, что уровни суточной продукции осенью и зимой, а также весной и зимой были сходными ($p > 0,05$). Общая суточная продукция, выраженная на единицу площади, варьировала в диапазоне $0,7\text{--}103,2$ (25 ± 8) мг сухой массы/м², причем в этом случае на протяжении года был выражен один пик — в июне. Интегральная годовая продукция равнялась 9 г сухой массы/м².

Согласно имеющимся оценкам, основанным на величине P/B -коэффициента (Vetrov, Romankevich, 2004), годовая продукция в Белом и Карском морях, а также в море Лаптевых примерно в 1,5–2 раза ниже, чем выявлено нами для южной части Баренцева моря. На наш взгляд, это связано с тем, что у берегов Кольского п-ова сильно выражено влияние теплых вод атлантического происхождения (особенно на глубинах 50–100 м) (Комплексные..., 2011), за счет чего формирования ледяного покрова здесь не происходит даже в зимний период.

Удельная суточная продукция зоопланктонного сообщества в южной части Баренцева моря колебалась от 0,007 в сутки до 0,065 в сутки. При этом средняя удельная продукция копепоид на протяжении года не превышала 0,029 в сутки. Максимальный P/B -коэффициент регистрировали в августе, минимальный — в феврале–марте. Летний P/B -коэффициент зоопланктона был статистически значимо выше летом по

сравнению с зимним и осенним периодами ($p < 0,05$). Годовая удельная продукция всего сообщества равнялась 7,5.

Полученная нами величина годового P/B -коэффициента близка к более ранним оценкам для южной части Баренцева моря, где она составляет 6,9 (Камшилов, 1958). Для сравнения укажем, что среднее значение удельной продукции зоопланктона за год для Мирового океана в целом близко к 10 (Моисеев, 1989).

Общепризнано, что основными факторами, детерминирующими развитие зоопланктона, являются кормовые условия и гидрологический режим (Планктон..., 1997; Тимофеев, 2000). Ранее было показано, что годовой цикл развития фитопланктона в южной части Баренцева моря характеризуется наличием двух весенних пиков — в середине—конце апреля (ранневесеннее цветение) и в мае—июне (поздневесеннее цветение) (Планктон..., 1997). Первичная продукция в эти периоды активно используется зоопланктоном, за счет чего формируется годовой максимум продукции планктонных животных (Богоров, 1974; Тимофеев, 2000).

Как показали наши исследования, роль температурного фактора в детерминации вариации продукции зоопланктона также значительна. Мы выявили, что биомасса (B , мг сухой массы/м³) и продукция (P , мкг сухой массы/м³ в сутки) зоопланктона повышались с ростом температуры воды:

$$\log_{10}(B + 1) = 0,15 \cdot T - 0,10; F = 37,85; R^2 = 0,31; p < 0,001,$$

$$\log_{10}(P + 1) = 0,19 \cdot T + 0,99; F = 53,16; R^2 = 0,38; p < 0,001.$$

Таким образом, анализ полученных материалов подтвердил высокий продукционный потенциал южной части Баренцева моря. Установлено, что основной запас зоопланктона в пределах мурманской прибрежной водной массы сосредоточен в шельфовой зоне (глубины до 100–150 м), в мелководных губах и заливах величина продукции ниже. Максимальное количество органического вещества зоопланктона синтезируется в летние месяцы. Проведенное исследование позволило детализировать роль отдельных видов в структуре прибрежных сообществ зоопланктона у берегов Кольского п-ова. Лидирующее положение по биомассе и продукции занимают копеподы, среди которых наибольшим вкладом в суммарные показатели зоопланктона характеризуются *C. finmarchicus* и представители рода *Metridia*. Полученные нами величины отражают потенциальную продукцию зоопланктона на протяжении «среднего» года. Они могут послужить основой для дальнейших более детальных исследований продукционного потенциала южной части Баренцева моря.

Авторы благодарят рецензента статьи за ценные замечания по улучшению качества статьи. Работа поддержана грантом Президента РФ МК-52.2014.4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Богоров В.Г. Планктон Мирового океана. М.: Наука, 1974. 320 с.
- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана. М.: Наука, 1987. 240 с.
- Дворецкий В.Г. Продукция кормового зоопланктона в Баренцевом море в летний период // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 168. С. 163–177.
- Зависимость между размерами и массой тела некоторых беспозвоночных и рыб Северо-Восточной Атлантики: Справочно-информационный материал. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1989. 24 с.

- Зеликман Э.А., Камшилов М.М. Многолетняя динамика биомассы планктона южной части Баренцева моря и факторы, ее определяющие // Тр. ММБИ АН СССР. 1960. Т. 2 (6). С. 68–102.
- Камшилов М.М. Материалы по биологии *Calanus finmarchicus* Gunner Баренцева и Белого морей // Тр. ММБИ. 1955. Т. 2. С. 62–86.
- Камшилов М.М. Продукция *Calanus finmarchicus* (Gunner) в прибрежной зоне Восточного Мурмана // Тр. ММБИ. 1958. Т. 4. С. 45–56.
- Комплексные исследования больших морских экосистем России / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. 516 с.
- Методы определения продукции водных животных / Под ред. Г.Г. Винберга. Минск: Вышэйшая школа, 1968. 250 с.
- Моисеев П.А. Биологические ресурсы Мирового океана. М.: Агропромиздат, 1989. 367 с.
- Планктон морей Западной Арктики / Под ред. Г.Г. Матишова. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1997. 352 с.
- Примаков И.М., Бергер В.Я. Продукция планктонных ракообразных в Белом море // Биол. моря. 2007. Т. 33. С. 356–360.
- Прыгункова Р.В. Изменения численности массовых планктонных ракообразных Белого моря за 1961 и 1962 гг. // Гидробиологические исследования на Карельском побережье Белого моря. Л.: Наука, 1967. С. 203–209.
- Прыгункова Р.В. Некоторые особенности сезонного развития зоопланктона губы Чупа Белого моря // Сезонные явления в жизни Белого и Баренцева морей. Л.: Наука, 1974. С. 4–55.
- Руководство по гидробиологическим работам в океанах и морях. Л.: Гидрометеиздат, 1977. 724 с.
- Тимофеев С.Ф. Экология морского зоопланктона. Мурманск: Изд-во МГПИ, 2000. 216 с.
- Ara K., Hiromi J. Temporal variability in primary and copepod production in Sagami Bay, Japan // J. Plankton Res. 2007. Vol. 29 (Suppl. 1). P. 85–96.
- Conover R.J., Lalli C.M. Feeding and growth in *Clione limacina* (Phipps), a pteropod mollusc // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 1972. Vol. 9. P. 279–302.
- Halsband-Lenk C., Hirche H.J., Carlotti F. Temperature impact on reproduction and development of congener copepod populations // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2002. Vol. 271. P. 121–153.
- Hirst A.G., Bunker A.J. Growth of marine planktonic copepods: global rates and patterns in relation to chlorophyll *a*, temperature, and body weight // Limnol. Oceanogr. 2003. Vol. 48. P. 1988–2010.
- Hirst A.G., Roff J.C., Lampitt R.S. A synthesis of growth rates in marine epipelagic invertebrate zooplankton // Adv. Mar. Biol. 2003. Vol. 44. P. 1–142.
- Hopcroft R.R., Clarke C., Byrd A.G. et al. The paradox of *Metridia* spp. egg production rates: a new technique and measurements from the coastal Gulf of Alaska // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2005. Vol. 286. P. 193–201.
- Kotori M. Life cycle and growth rate of the chaetognath *Parasagitta elegans* in the northern North Pacific Ocean // Plankton Biol. Ecol. 1999. Vol. 46. P. 153–158.
- Madsen S.D., Nielsen T.G., Hansen B.W. Annual population development and production by *Calanus finmarchicus*, *C. glacialis* and *C. hyperboreus* in Disko Bay, western Greenland // Mar. Biol. 2001. Vol. 139. P. 75–83.
- Madsen S.D., Nielsen T.G., Hansen B.W. Annual population development of small sized copepods in Disko Bay // Mar. Biol. 2008. Vol. 155. P. 63–77.
- Matishov G., Zuyev A., Golubev V. et al. Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004: Part I. Database of the Barents, Kara, Laptev, and White Seas — Oceanography and Marine Biology. NOAA Atlas NESDIS 58. Washington: U.S. Government Printing Office, 2004. 148 p.
- Richter C. Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea // Ber. Polarforsch. 1994. Vol. 154. P. 1–90.
- Vetrov A.A., Romankevich E.A. Carbon cycle in the Russian Arctic Seas. Berlin: Springer, 2004. 332 p.

**МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ГРУППОВЫХ СИНОПТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
И СЦЕНАРИЙ РАЗВИТИЯ АТМОСФЕРНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ
ПО СЕЗОНАМ В АРКТИКЕ ДО 2016 г.**

*канд. геогр. наук А.Я. КОРЖИКОВ, вед. инженер И.А. ИЛЬЮЩЕНКОВА
ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, e-mail: akorjikov@mail.ru, iral122@mail.ru*

Группы атмосферных синоптических процессов в Арктике были в свое время определены Л.А. Дыдиной (Дыдина, 1964, 1982). В лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов ААНИИ постоянно ведется мониторинг атмосферной циркуляции над северной полярной областью, непрерывно проводится типизация наблюдаемых групповых процессов с 1949 года.

Определено шесть типов групповых процессов, средние поля приземного давления для которых представлены в Атласе Арктики (Атлас, 1985). Группа А характеризуется развитием циклонической деятельности над всеми морями Евразийского сектора Арктики. Группе Б свойственны обширные антициклоны, которые занимают пространство над всем Арктическим бассейном. Группа В отличается развитием активной циклонической деятельности над Западной Арктикой, в то время как над Восточной Арктикой локализуется антициклон. Для группы Г свойственно формирование антициклона над Западной Арктикой. Группа Д отличается активным циклогенезом в районе полуострова Таймыр. При синоптических процессах группы К, наоборот, в районе Таймыра наблюдается антициклоническое поле. Длительность групповых синоптических процессов составляет 6–7 суток (Дыдина, 1982).

Создание групп имело не только большое научное, но и практическое значение. В течение длительного времени в ААНИИ исследовались закономерности преобразования групповых процессов. Определены типовые варианты преобразования групповых процессов длительностью около 20 дней, которые применялись при составлении 8–10-суточных прогнозов погоды для Арктики макроциркуляционным методом.

Группы атмосферных процессов имеют существенные отличия в характере распределения полей приземного давления над морями российского сектора Арктики. На это в свое время обратили внимание исследователи ледово-гидрологических процессов (Горбунов, 1972; Крутских, 1978). Установлено, что групповые синоптические процессы тесным образом связаны с естественными гидрологическими периодами в арктических морях. Это обстоятельство позволило разработать комплексный метод ледово-гидрологических прогнозов, который успешно применялся в летний навигационный период.

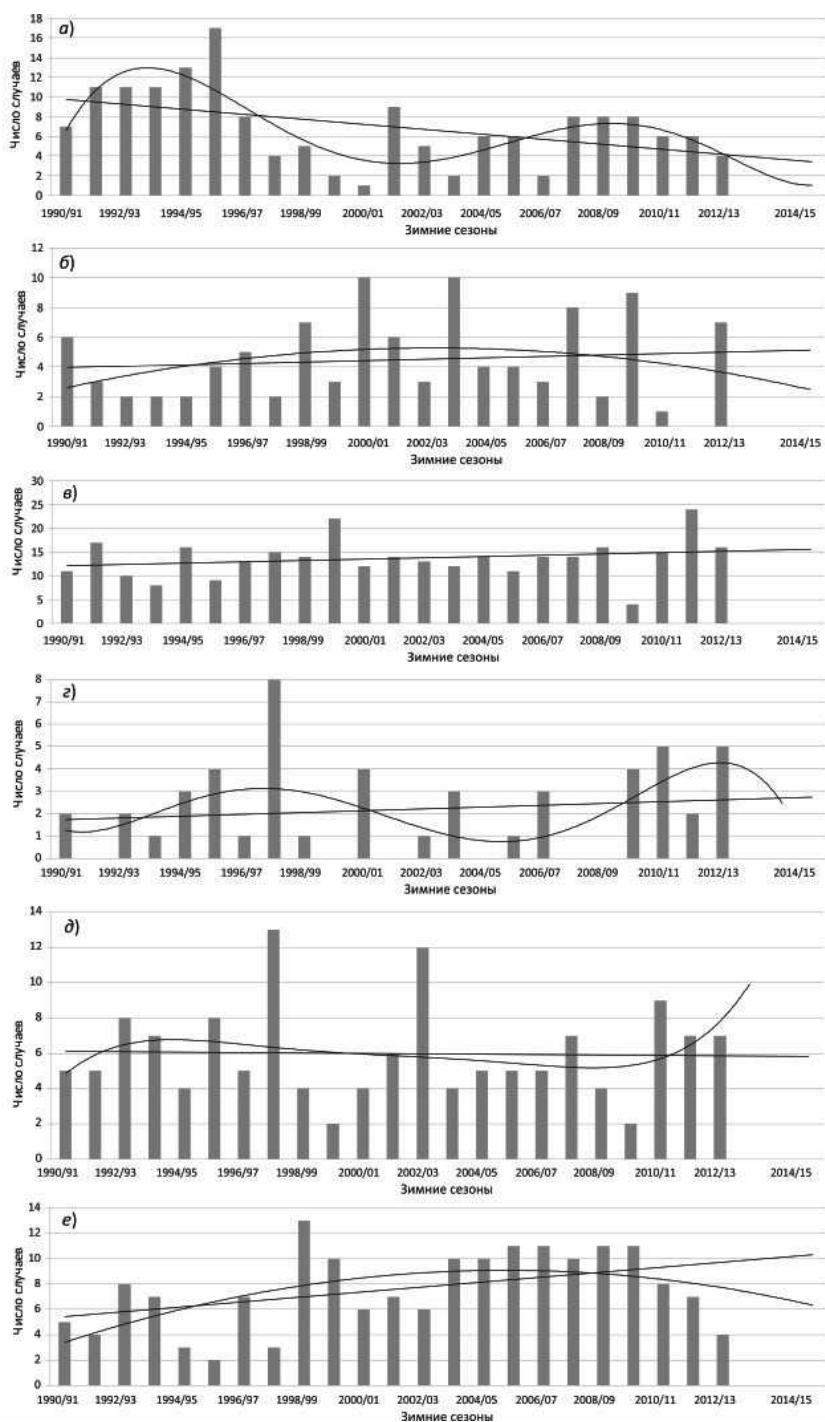


Рис. 1. Повторяемость синоптических процессов групп А (а), Б (б), В (в), Г (г), Д (д) и К (е) в зимние сезоны 1990–2013 гг.

Повторяемость групповых синоптических процессов испытывает естественные межгодовые колебания. Представляет интерес рассмотрение колебаний повторяемости за текущий период (1991–2013 гг.), который характеризуется глобальным потеплением в атмосфере Земли. Чтобы исключить влияние климатического фактора, межгодовая изменчивость групповых процессов исследовалась нами по сезонам.

В статье представлены результаты исследования изменчивости групповых синоптических процессов для зимнего сезона, который продолжается в Арктике с ноября по март. Из анализа рис. 1а следует, что в период текущего глобального потепления имеется тенденция уменьшения повторяемости синоптических процессов группы А. Аппроксимация полиномом шестой степени позволила выявить 14-летний период колебания повторяемости этой группы. Прогностическая составляющая кривой аппроксимации позволила определить, что в предстоящие зимние сезоны 2013–2016 гг. следует ожидать 2–4 случая возникновения синоптических процессов групп А в среднем за сезон. Следует сказать, что прогностические составляющие кривых при полиномиальной аппроксимации существенно теряют достоверность за пределами трех итераций. Поэтому прогностические выводы о повторяемости всех групп во всех сезонах не превышали трехлетнего периода.

Синоптические процессы группы Б имели максимальную повторяемость в середине текущего периода потепления (рис. 1б). Положительный линейный тренд указывает на тенденцию возрастания повторяемости в последующие годы. Однако аппроксимация полиномом второго порядка дает основание предполагать, что в ближайшие зимние сезоны следует ожидать не больше 3–5 случаев синоптических процессов группы Б.

В большинстве зимних сезонов 1991–2013 гг. синоптические процессы группы В имели стабильно высокую повторяемость: 10–15 случаев (рис. 1в). Имеется небольшой положительный тренд повторяемости группы. С учетом прогностической составляющей тренда в ближайшие три сезона также следует ожидать высокую повторяемость (11–16 случаев) синоптических процессов этой группы.

Изменчивость процессов группы Г претерпевает 14-летний период колебания, как и процессы группы А (рис. 1г и 1а). Анализ прогностических составляющих линий аппроксимации полиномом пятой степени, а также линейного тренда показывает, что в зимние сезоны 2014–2016 гг. повторяемость процессов группы Г должна уменьшиться до 2–4 случаев за сезон.

Аппроксимация повторяемости синоптических процессов группы Д полиномом пятой степени позволила выявить периодичность, близкую 20 годам (рис. 1д). При этом линейный тренд почти отсутствует. В этой связи можно сделать вывод о том, что в ближайшие сезоны следует ожидать повторяемость группы в пределах 4–6 случаев.

Синоптические процессы группы К имеют хорошо выраженный положительный линейный тренд в повторяемости (рис. 1е). Однако аппроксимация полиномом второй степени отмечает тенденцию уменьшения повторяемости группы в ближайшие годы. Прогностические составляющие трендов указывают на то, что в ближайшие зимние сезоны следует ожидать 5–8 случаев формирования синоптических процессов этой группы.

Аналогичным способом проанализирована межгодовая изменчивость групповых синоптических процессов в остальных сезонах. С помощью линейной и полиномиальной аппроксимаций получены прогностические значения средних сезонных повторяемостей синоптических процессов шести групп для весеннего, летнего и осеннего сезонов 2014–2016 гг., которые представлены в табл. 1.

**Средние ожидаемые значения повторяемости групп синоптических процессов
по сезонам в 2014–2016 гг, %**

Сезоны	Группы синоптических процессов						Проценты
	А	Б	В	Г	Д	К	
Зима	9	11	40	9	14	17	100
Весна	6	25	25	12	19	13	100
Лето	10	10	11	16	32	21	100
Осень	22	11	22	11	17	17	100

Анализ данных табл. 1 показывает, что в зимние сезоны 2014–2016 гг. следует ожидать высокой повторяемости процессов группы В, которые характеризуются развитием активной циклонической деятельности над Западной Арктикой. Вторыми по величине повторяемости являются синоптические процессы группы К, для которых характерно формирование антициклона в районе Таймыра.

В весенние сезоны 50 % всех случаев приходится на процессы группы Б и группы В. Аномальным здесь является то, что не ожидается доминирование процессов с обширными арктическим антициклонами в приполюсной области (группа Б). Ожидается повышенная повторяемость процессов с развитием циклонической деятельности над Западной Арктикой (группа В — 25 %), над всей Арктикой (группа А — 6 %), а также над центральным участком трассы Северного морского пути (группа Д — 19 %).

В летние сезоны ожидается развитие синоптических процессов, характеризующихся активной циклонической деятельностью, над центральным участком трассы Северного морского пути, в районе Таймыра (группа Д — 32 %). Вторыми по величине повторяемости являются синоптические процессы группы К (21 %), для которых свойственно развитие антициклонов над центральной частью Северного морского пути, над морями Карским и Лаптевых. Больше, чем в остальных сезонах, летом ожидается и формирование процессов группы Г (16 %), когда полярный антициклон формируется над Западной Арктикой.

Осенью, наряду с повышенной повторяемостью процессов группы В (22 %), ожидается самая высокая повторяемость, по сравнению с другими сезонами, синоптических процессов группы А (22 %), когда циклоническая деятельность охватывает все арктические моря сибирского шельфа. Ожидается повышенная изменчивость барических полей в районе Таймыра, где с одинаковой вероятностью (по 17 %) могут формироваться циклоны (группа Д) и антициклоны (группа К).

Используя значения повторяемости из табл. 1 как весовые коэффициенты по средним групповым полям приземного давления и аномалий температуры воздуха, для периода 2014–2016 гг. построены средние сезонные поля приземного давления и аномалий температуры воздуха, которые представлены на рис. 2.

Из рис. 2а видно, что в зимний сезон возможно формирование активной циклонической деятельности над северо-востоком Атлантики, Западной Арктикой. Над Восточной Арктикой при этом некоторое преобладание получает поле повышенного давления, которое имеет связь с сибирским антициклоном. Вынос в системе атлантической депрессии теплых воздушных масс от Скандинавии, а также воздушных масс из берингоморской депрессии приводит к формированию положительных аномалий температуры воздуха над всем Арктическим бассейном в интервале от 2 до 5 °С. Весомый вклад в формирование прогностической картины зимнего периода внесли

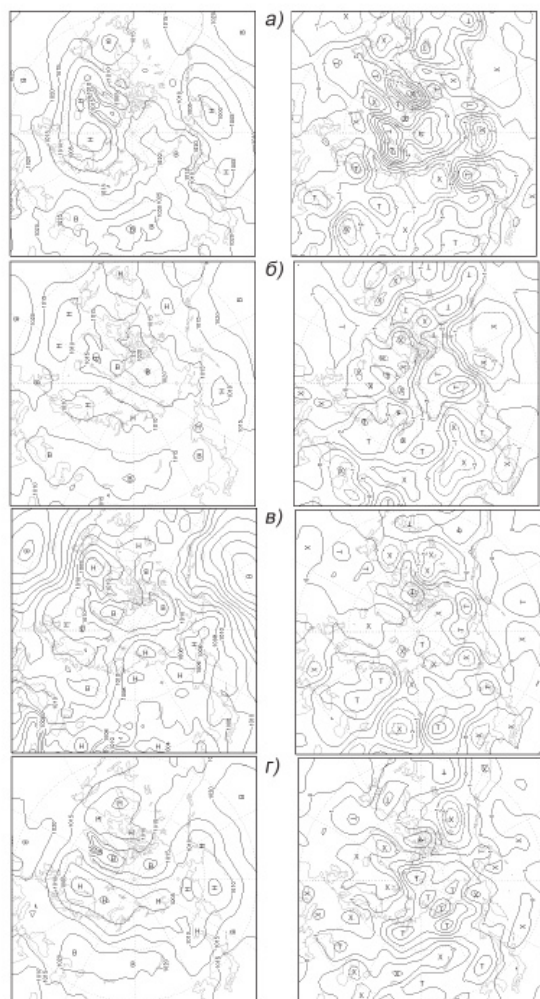


Рис. 2. Сценарии средних сезонных полей приземного давления и аномалий температуры воздуха для зимы (а), весны (б), лета (в) и осени (г) 2014–2016 гг. Левая колонка — поле приземного давления, правая колонка — аномалии приземной температуры воздуха.

процессы группы В, которые, как ожидается, будут доминировать над процессами других групп (табл. 1).

В сезон весны ожидается развитие мало активной циклонической деятельности над Скандинавией, Баренцевым и Карским морями, над Таймыром. Антициклон будет располагаться над восточной частью Арктического бассейна, ожидается развитие его отрога над Чукотским полуостровом (рис. 2б). Вынос воздушных масс по периферии антициклона от Сибири в Арктику обусловит формирование над восточными морями (Лаптевых, Восточно-Сибирским и Чукотским) положительных аномалий температуры воздуха ($2-4^{\circ}\text{C}$). Небольшие положительные аномалии сформируются над Баренцевым морем и западом Карского моря ($1-2^{\circ}\text{C}$). Очаг отрицательных аномалий температуры воздуха может локализоваться в районе к северу от Шпицбергена.

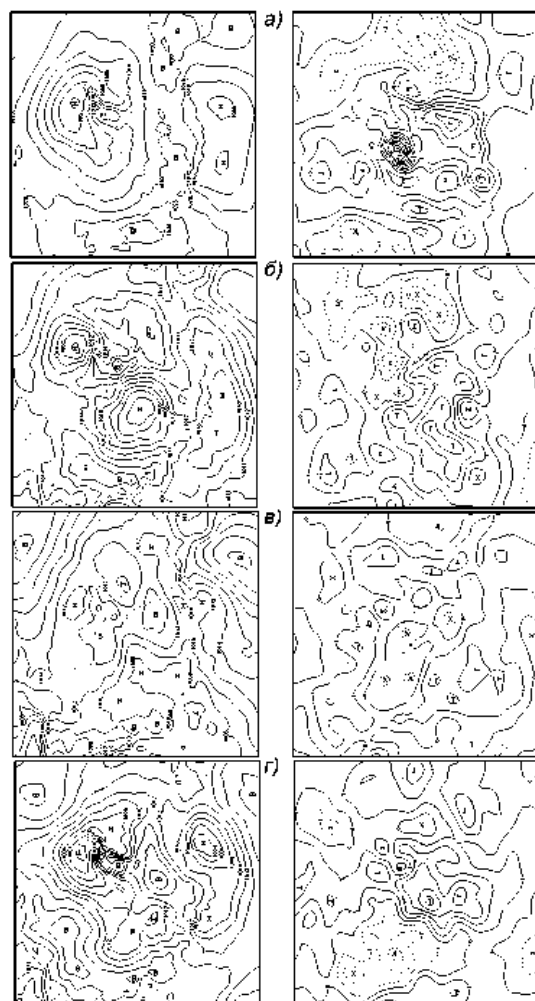


Рис. 3. Фактические средние сезонные поля приземного давления и аномалий температуры воздуха для зимы (а), весны (б), лета (в) и осени (г) 2014 г. Левая колонка — поле приземного давления, правая колонка — аномалии приземной температуры воздуха.

Летом, когда ожидается некоторое доминирование процессов группы Д (табл. 1), циклоническая деятельность будет развиваться над востоком Карского моря и в море Лаптевых. Влияние процессов группы Г скажется на формировании гребня от юга над Баренцевым морем, антициклонического поля над Гренландией, приполюсной областью и в море Бофорта (рис. 2в).

Отсутствие выносов теплых воздушных масс при этих типах групповых атмосферных процессов приведет к формированию над большей частью Арктического бассейна температурного фона, близкого к средним значениям. Только в Чукотском море и в восточной части Восточно-Сибирского температура окажется выше средней на 1–3 °С, что связано с выносом в этот район относительно теплых воздушных масс со стороны юга Аляски.

Осенью, когда ожидается высокая повторяемость процессов групп А и В (табл. 1), циклоническая деятельность будет наблюдаться на всех арктических морях. По всей видимости, как это нередко бывает при процессах группы А (Дыдина 1964), ожидаются выходы атлантических циклонов к Новосибирским островам (рис. 2). Теплые воздушные массы, которые в системе атлантических циклонов будут поступать в Арктику, обусловят формирование над всеми морями сибирского шельфа положительных аномалий температуры воздуха в интервале от 1 до 4 °С.

Таким образом, анализ ожидаемых полей приземного давления и аномалий температуры воздуха показал, что зимой, весной и осенью в 2014–2016 гг. ожидается высокая циклоническая деятельность над Западной Арктикой и формирование над Арктическим бассейном преимущественно положительных аномалий температуры воздуха. Исключение составляет летний период, когда за счет развития антициклонов в районе Баренцева моря, а также в приполюсной области ожидается блокировка выноса теплых воздушных масс с Атлантики и, как следствие, формирование над Арктическим бассейном температур воздуха, близких средним значениям.

Фактические средние сезонные поля приземного давления и аномалий температуры воздуха для зимы за 2013–2014 гг., весны, лета и осени за 2014 г. (рис. 3) подтверждают вывод о том, что в большинстве сезонов сохранится высокая циклоническая активность над Западной Арктикой. При этом большая часть Арктического бассейна находилась под влиянием положительных аномалий температуры воздуха. В то же время в летний период, как и ожидалось, над Западной Арктикой преобладало антициклоническое поле, а фон температуры воздуха в этом регионе оказался ниже среднего многолетнего (рис. 3в).

Отсюда можно сделать вывод о том, что статистический анализ межгодовой изменчивости повторяемости групповых атмосферных процессов в Арктике, использование прогностических составляющих линейных и полиномиальных трендов позволяют с заблаговременностью 1–3 года получить сценарии развития атмосферных процессов в Арктике для всех сезонов.

Полученные выводы носят предварительный характер. Требуется проведение дополнительных исследований по этой, на наш взгляд, важной теме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Атлас Арктики. М.: Главное управление геодезии и картографии при Совете министров СССР, 1985. 204 с.
- Горбунов Ю.А., Крутских Б.А. Основные элементарные гидрологические процессы в арктических морях // Проблемы Арктики и Антарктики, 1972. № 40. С. 5–12.
- Дыдина Л.А. Макроциркуляционный метод прогнозов погоды на 3–10 дней для Арктики. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1964. 391 с.
- Дыдина Л.А. Особенности развития синоптических процессов в Арктике и их использование в прогнозах на средние сроки. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 224 с.
- Крутских Б.А. Основные закономерности изменчивости режима арктических морей в естественных гидрологических периодах. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 91 с.

О ПОДГОТОВКЕ ПРОВЕДЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ПОЛЯРНОЙ ПАРТНЕРСКОЙ ИНИЦИАТИВЫ

канд. физ.-мат. наук А.В. КЛЕПИКОВ¹, д-р физ.-мат. наук В.Э. РЯБИНИН²,
канд. физ.-мат. наук А.И. ДАНИЛОВ¹, канд. тех. наук В.Г. ДМИТРИЕВ¹

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: klep@aari.ru

² — Всемирная метеорологическая организация, г. Женева, e-mail: VRyabinin@wmo.int

В течение Международного полярного года 2007/08 (МПГ) был достигнут значительный прогресс в создании научных основ полярных систем наблюдения и природопользования, а также в социальных науках для Арктики. При проведении МПГ многие страны внесли существенный вклад в научно-исследовательскую работу. В результате появились новые научные данные, научная инфраструктура, включая новые технологии и модели наблюдений, в том числе системы наблюдения и мониторинга на основе участия людей; модели анализа и прогнозирования всех компонентов системы Земли, а также аналогичные улучшения в области социального мониторинга и социологии с концентрацией на народах, обществах и культурах. Помимо научного вклада, успешным результатом МПГ также является укрепление международного сотрудничества и координации исследовательских усилий (Итоги МПГ 2007/08..., 2013; Метеорологические и геофизические исследования, 2011; Наземные и морские экосистемы, 2011; Океанография и морской лед, 2011; Полярная криосфера и воды суши, 2011; Проблемы здравоохранения..., 2011; Саруханян, Клепиков, 2011; Чилингаров и др., 2010; Krupnik et al., 2011; Строение и история развития литосферы, 2010).

Одно из важнейших достижений Международного полярного года 2007/08 состоит в том, что большой объем новых знаний об изменениях природы полярных регионов позволил сделать вывод о возможности прогнозирования процессов в полярных областях (Krupnik, 2011; Kristjansson, 2011; WWRP/PPP Implementation Plan, 2014). Однако, к большому сожалению, важнейший вопрос о том, как внедрить научные достижения МПГ в практику, остался без удовлетворительного ответа. Практические приложения исследований, как правило, не выходят за рамки обязательств национальных научных фондов. Без трансформации результатов исследований в оперативную практику продолжение ряда перспективных разработок стало не так актуально. Поэтому после существенного подъема финансирования научных разработок в 2007–2009 гг. общий уровень поддержки полярных исследований к настоящему времени заметно сократился.

Для практической реализации результатов исследований в полярных областях в оперативной практике требуется скоординированное продолжение долгосрочных наблюдений и работ, начатых в период МПГ. Всемирная метеорологическая организация (ВМО), с удовлетворением отметив успешное осуществление МПГ и

энтузиазм стран, вовлеченных в это мероприятие, предложила рассмотреть вопрос о проведении в недалеком будущем Международного полярного десятилетия (МПД). Так родилась инициатива МПД, которая рассматривалась учеными разных стран на нескольких международных научных форумах.

В апреле 2011 г. Всемирная метеорологическая организация и Росгидромет организовали в ААНИИ совещание для обсуждения механизмов сохранения наследия МПГ. На совещании представители ведущих международных организаций, полярных ассоциаций и институтов поддержали МПД и рекомендовали, чтобы эта инициатива включала согласованные проекты полярных исследований, требующих осуществления в масштабе десятилетия (Клепиков, 2011).

Выводы совещания в Санкт-Петербурге были поддержаны на 16-м Всемирном метеорологическом конгрессе, в котором участвовали делегации 189 стран. Конгресс принял во внимание результаты МПГ, которые подтвердили важную роль полярных регионов в изменении глобальной погоды и климата, в планетарном круговороте углерода и подъеме уровня моря. Конгресс учел существенную выгоду, которая будет получена мировым сообществом из инвестиций, вложенных в осуществление МПД. Это произойдет в результате улучшения гидрометеорологического обслуживания и роста надежности морских перевозок в полярных широтах, обеспечения разведки и разработки природных ресурсов, обеспечения защиты хрупкой полярной окружающей среды и роста благосостояния народов Севера (Саруханян, Клепиков, 2011).

В соответствии с решением конгресса ВМО была сформирована группа экспертов по подготовке концепции Международного полярного десятилетия. В нее вошли представители основных международных полярных организаций и институтов (по одному от организации), таких как: Всемирная метеорологическая организация, Международный совет по науке, Международный арктический научный комитет (МАНК), Научный комитет по антарктическим исследованиям (СКАР), Межправительственная океанографическая комиссия ЮНЕСКО, Программа ООН по окружающей среде, Европейский полярный совет Европейского научного фонда, Международная ассоциация молодых полярных исследователей, Программа арктического мониторинга и оценки Арктического совета, Университет Арктики.

Задачи группы экспертов состояли в анализе ситуации и подготовке предложения о возможной долговременной полярной инициативе. Группа экспертов сделала следующие выводы:

- полярные регионы подвержены исключительно быстрым изменениям;
- процессы в них сильно влияют на весь земной шар;
- полярные системы наблюдений развиты недостаточно;
- несмотря на то, что уровень научного понимания полярных процессов достаточно высок, качество прогнозов для полярных областей ниже, чем для умеренных и тропических широт (Jung, Leutbecher, 2007; Kristjansson, 2011; WWRP/PPP Implementation Plan, 2014).

Эксперты показали, что в настоящее время отсутствует системный подход к решению проблем полярных областей, и обосновали необходимость осуществления МПД как долговременной международной полярной инициативы.

В период 2011–2013 гг. группой проводились консультации с заинтересованными сторонами, представителями международных и национальных организаций, в том числе финансовых. В целом идея МПД встречала поддержку, однако большинство

настаивало на изменении названия, чтобы не ограничиваться десятилетним сроком реализации. Поэтому в подготовленном экспертной группой проекте концепции МПД название было изменено на Международную полярную партнерскую инициативу – МППИ (International Polar Partnership Initiative – IPPI).

Организации, участвующие в МППИ, должны будут разработать план междисциплинарных научных исследований и наблюдений в полярных регионах и сфокусировать его на создании передовых региональных систем природопользования и охраны природы. Демонстрация эффективности инвестиций в научное обоснование подобных систем будет в перспективе способствовать улучшению финансирования полярных исследований.

В целом подготовленный группой проект концепции (Executive Council Sixty-sixth session, 2014) весьма точно описывает сложившуюся ситуацию в исследованиях полярных областей после завершения МПГ и четко обосновывает необходимость координации и международной кооперации на более долгосрочной основе, как в исследованиях Арктики и Антарктики, так и в организации служб мониторинга и совершенствовании системы прогнозов для полярных областей.

Сложность проблем и относительный дефицит ресурсов требуют системного и целенаправленного подхода. В полярных регионах есть много невыполненных долгосрочных задач, которые остаются трудными для разрешения. Совместная работа, координация усилий и распределение ресурсов позволят поставить такие амбициозные для полярной деятельности цели, как создание оперативной системы наблюдений, значительно увеличивающей наши возможности по прогнозированию полярной погоды, климата, гидрологических и экологических условий, предоставление широкого спектра услуг, поддержка соответствующего образования, облегчение адаптации, помощь в смягчении последствий изменения климата, внесение своего вклада в защиту и, где это необходимо, в устойчивое развитие полярных регионов и планеты.

Мероприятия в рамках МПГ были организованы как кампания, проводящаяся по инициативе сообщества ученых, выдвинувших свои проекты. Сбор данных, анализ, синтез, распределение и обмен, а также систематический переход от научных исследований к действиям не были столь целенаправленными и столь экономически выгодными, какими могли бы быть в случае более централизованной, интегрированной и скоординированной инициативы. Нужно, чтобы широкая общественность была лучше осведомлена, а те, кто принимает решения, понимали безотлагательность чрезвычайно важных вопросов, касающихся окружающей среды в полярных регионах, и необходимость их решения скоординированным и последовательным образом. Ни одна из организаций не сможет добиться практического достижения своей цели в полярных регионах без эффективной координации действий и совместного использования ресурсов с другими заинтересованными сторонами и партнерами.

Существующий недостаток ресурсов для постоянных полярных наблюдений и, как следствие, адекватных информационных услуг является огромным препятствием для устойчивого экономического и человеческого развития Севера и для эффективности адаптации этого региона к изменению климата и окружающей среды. Текущие глобальные финансовые трудности отражаются на нехватке ресурсов для полярной деятельности. Это требует повышенной эффективности в использовании существующего финансирования, направленного на высокую рентабельность инвестиций и ориентированного на практическое применение результатов исследований и способность сделать как можно больше с меньшими затратами. Поэтому сотрудничество,

координация, привлечение дополнительных партнеров и заинтересованных сторон и совместное использование ресурсов должны стать основной стратегией для развития полярной деятельности. Перспективным средством для достижения повышения эффективности совместной деятельности нескольких организаций будет общий план мероприятий для развития систем наблюдения, исследований, предоставления услуг и практического применения знаний в полярных регионах. Финансирующие учреждения, международные и государственные организации совместно смогут добиться значительных результатов, которых невозможно будет достичь при разрозненных действиях. Это создаст абсолютно новую ситуацию в полярной деятельности и значительно увеличит ценность полученных результатов.

В целом консолидация ресурсов, детальное планирование полевых работ, исследования и разработки в рамках МППИ будут служить важным дополнением к осуществляемой ВМО и другими организациями полярной деятельности и создаст благоприятные условия для перехода от исследований к обеспечению услуг.

Особенно важно проведение мероприятий Международной полярной партнерской инициативы в Арктике. Дело в том, что негативные последствия изменения климата в Арктике требуют развития стратегий адаптации. Если не принимать мер, то изменения климата могут создать угрозу существования народов Севера. Эффективность стратегий адаптации, устойчивое развитие Арктики, охрана ее природы и поддержка деятельности ее населения зависят не только от эффективности решений руководящих органов и наличия соответствующих ресурсов, но и от возможности предвидеть и заблаговременно реагировать на возникающие риски, а также использовать имеющиеся возможности.

Перспективные темы исследований полярных областей могут послужить плацдармом для обеспечения прогресса в наиболее сложных сферах сотрудничества, таких как пробелы в системе наблюдений и сложности поддержания ее функционирования, свободный доступ к данным и обмен данными в реальном времени, перемещение образцов, проб и приборов через таможенные границы, логистическое сопровождение исследований и некоторые другие сферы.

Финансирование исследований в современной экономической ситуации существенно затруднено. Вместе с тем исследования в направлениях, способствующих устойчивому развитию Арктики, поднимут уровень безопасности людей и степень защиты окружающей среды, а также позволят более эффективно использовать природные ресурсы. То есть затраты на полярные исследования, несомненно, окупятся в будущем.

Предлагаемая к реализации Международная полярная партнерская инициатива ставит перед собой задачу объединить в рамках одного стратегического плана наблюдения, исследования и ряд важных для полярных районов практических задач. Ее концепция нацеливает исследования именно на решение практических задач. Поэтому именно МППИ может послужить основой для прорыва в международном сотрудничестве по полярным вопросам, прежде всего в Арктике. Реализация МППИ будет способствовать достижению высокой степени международной координации исследований, эффективности инвестиций в наблюдательные сети и научные исследования, облегчению доступа к районам исследований и обмена данными наблюдений.

МППИ предполагает, что на определенных направлениях будут возникать консорциумы заинтересованных участников. Основанием для сотрудничества в рамках таких групп будет сходство интересов и желание разрешить конкретные проблемы. У МППИ не будет единого для всех начала и окончания. МППИ рассматривает три

крупные сферы деятельности: Арктику, Антарктику и высокогорные области. Арктические страны могут начать работать в рамках МППИ, не дожидаясь подобных решений стран, занятых исследованиями в Антарктике или в горных областях. Реализация МППИ не отменяет других крупных международных инициатив в Арктике, таких как планирование исследований в рамках организованной МАНК 3-й Международной конференции по планированию арктических исследований (International Conference on Arctic Research Planning III – ICARP 3) или созданной Арктическим советом Системы арктических опорных наблюдений (CAON). В Антарктике такими являются инициатива СКАР «Обсуждение перспектив» (Horizon Scan) и создаваемая Система наблюдений Южного океана (Southern Ocean Observing System — SOOS). Международная полярная партнерская инициатива позволит лучше скоординировать существующие и перспективные программы исследований в Арктике и Антарктике.

Подход к выбору конкретных тем исследований в рамках МППИ предполагается осуществлять с помощью комбинации предложений, идущих «снизу», которые следует запросить у международного сообщества ученых с помощью имеющихся механизмов, таких как МАНК и СКАР, и более централизованного планирования и определения приоритетов «сверху», которые можно осуществить на уровне консультаций со странами — членами Арктического Совета и странами — членами Договора об Антарктике. Оба подхода необходимы, так как только сообщество ученых может сформулировать перспективные научные задачи и только лица, принимающие решения, смогут направить исследования в практическое русло. Отметим, что Арктический совет, координирующий много проектов в Арктике, должен стать важным инструментом для подготовки МППИ.

Международная группа экспертов показала, что МППИ имеет потенциал, чтобы:

- обеспечить научно-исследовательскую инфраструктуру для оперативного обслуживания;

- способствовать переходу от исследований к действиям;
- обеспечить научную поддержку развития полярных регионов;
- дать надежную информацию для управления рисками и политических решений;
- оптимизировать и улучшить координацию имеющихся ресурсов.

Ближайшие основные шаги по подготовке МППИ это:

- вовлечение дополнительно других международных организаций;
- обсуждение МППИ на национальном уровне;
- привлечение финансовых учреждений в формировании программы МППИ на самой ранней стадии подготовки;
- подготовка Рамочного соглашения между основными международными партнерами;
- разработка общего Плана выполнения мероприятий.

66-я сессия Исполнительного совета ВМО в июне 2014 г. подготовила резолюцию для 17-го Конгресса ВМО, который состоится в мае 2015 г., поддерживающую данную инициативу и одобряющую деятельность группы экспертов (Executive Council Sixty-sixth session, 2014). Исполнительный совет ВМО рекомендовал дальнейшую доработку концепции Международной полярной партнерской инициативы с целью четкого определения видов деятельности и формулирования выгод для национальных программ. Проект концепции будет доработан и рассмотрен на 17-м Конгрессе ВМО в мае – июне 2015 г. МППИ получила одобрение на 47-й сессии Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО (июль 2014 г.), ранее эта идея одобрялась Арктическим советом и

МАНК. Предлагается начать разработку предварительного Плана выполнения МППИ. В нем будет показано, как из отдельных проектов складывается цельная научно-обоснованная программа устойчивого развития Арктики и сохранения природы Антарктики.

В настоящее время концепция МППИ обсуждается ведущими международными организациями. Одним из следующих шагов станет обсуждение МППИ и возможных вкладов в нее на национальном уровне. Начало Международной полярной партнерской инициативы, если она будет одобрена, планируется в 2017–2018 гг.

Работа выполнена в рамках темы 1.5.5.5 Плана НИОКР Росгидромета «Научно-методическая поддержка деятельности по подготовке Международной полярной инициативы и информационно-аналитическое обеспечение российской деятельности по линии Арктического совета».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Итоги МПГ 2007/08 и перспективы российских полярных исследований // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. А.Н. Чилингарова, А.И. Бедрицкого, В.Г. Дмитриева. М.: Paulsen, 2013. 224 с.

Клепиков А.В. Обсуждение инициативы по проведению Международного полярного десятилетия // Российские полярные исследования. 2011. № 2 (4). С. 41–43.

Метеорологические и геофизические исследования // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. Г.В. Алексеева. М.: Paulsen, 2011. 350 с.

Наземные и морские экосистемы // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. Г.Г. Матишова и А.А. Тишкова. М.: Paulsen, 2011. 448 с.

Океанография и морской лед // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. И.Е. Фролова. М.: Paulsen, 2011. 432 с.

Полярная криосфера и воды суши // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Paulsen, 2011. 320 с.

Проблемы здравоохранения и социального развития Арктической зоны России // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. Г.Н. Дегтевой. М.: Paulsen, 2011. 472 с.

Саруханян Э.И., Клепиков А.В. Инициатива Международного полярного десятилетия поддержана на международных форумах // Российские полярные исследования. 2011. № 3 (5). С. 32–33.

Строение и история развития литосферы // Вклад России в Международный полярный год 2007/08 / Под ред. Ю.Г. Леонова. М.: Paulsen, 2010. 640 с.

Чилингаров А.Н., Бедрицкий А.И., Фролов И.Е., Данилов А.И., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В. Результаты МПГ 2007/08 и их развитие // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 1 (84). С. 26–41.

Executive Council Sixty-sixth session, Geneva, 18–27 June 2014. Abridged final report with resolutions // WMO. 2014. № 1136. 232 p.

Jung T., Leutbecher M. Performance of the ECMWF forecasting system in the Arctic during winter. // Q. J. R. Meteorol. Soc., 2007. Vol. 133. P. 1327–1340.

Kristjansson J.E., Barstad I., Aspelien T., Førø I., Godøy Ø., Hov Ø., Irvine E., Iversen T., Kolstad E., Nordeng T.E., McInnes H., Randriamampianina R., Reuder J., Saetra Ø., Shapiro M., Spengler T., Ólafsson H. . The Norwegian IPY-THORPEX: Polar Lows and Arctic Fronts during the 2008 Andøya Campaign // Bulletin of the American Meteorological Society. 2011. Vol. 92. № 11. P. 1443–1466.

Krupnik I., Allison I., Bell R., Cutler P., Hik D., Lopez-Martinez J., Rachold V., Sarukhanian E., Summerhayes C. Understanding Earth's polar challenges: International Polar Year 2007–2008 // University of the Arctic Consortium, CCI Press, University of Alberta, Edmonton, Alberta, Canada, 2011.

WWRP Polar Prediction Project Implementation Plan // WMO world weather research programme. WWRP/PPP. 2014. № 2. 72 p.

Значение моллюсков рода *Cyrtodaria* для стратиграфии кайнозойских отложений Арктики. Крылов А.В., Гусев Е.А., Кузнецов А.Б., Зархидзе Д.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 5–23.

В ходе проведенных исследований осуществлено изучение морфологии, филогении и стратиграфического распространения морских кайнозойских моллюсков рода *Cyrtodaria* в Российской Арктике. В результате проведенной ревизии было описано четыре вида моллюсков, один из них является новым: *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov. Доказано стратиграфическое значение комплексов циртодарий для отложений плиоцена, эоплейстоцена, неоплейстоцена и голоцена.

Ключевые слова: двустворчатые моллюски, поздний кайнозой, *Cyrtodaria*, Арктика.

Табл. 2. Ил. 5. Библ. 32.

УДК 550.34

Организация пунктов сейсмических наблюдений в условиях Европейского Севера России на примере функционирования пункта «Земля Франца-Иосифа». Антоновская Г.Н., Данилов А.В. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 24–33.

Представлены рекомендации по организации стационарных пунктов сейсмических наблюдений на территории Европейского Севера России, способы сбора и передачи цифровых данных. Показан вклад сейсмического пункта «Земля Франца-Иосифа» в изучение сейсмической активности арктических территорий.

Ключевые слова: пункт сейсмических наблюдений, сейсмическая аппаратура, Евро-Арктический регион, сейсмические события, передача данных.

Ил. 6. Библ. 17.

УДК 551.510

Особенности изменчивости концентраций аэрозоля и сажи в приземном слое воздуха в Баренцбурге (Шпицберген) в 2011–2013 гг. Чернов Д.Г., Козлов В.С., Панченко М.В., Турчинович Ю.С., Радионов В.Ф., Губин А.В., Прахов А.Н. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 34–44.

В работе анализируются результаты исследований характеристик атмосферного аэрозоля в приземном слое воздуха в весенний и летний сезоны 2011–2013 гг. в ходе экспедиций на архипелаге Шпицберген (п. Баренцбург). Уровень содержания арктического аэрозоля в приземном слое воздуха в целом за все периоды наблюдений в эти годы характеризовался средними значениями массовой концентрации частиц аэрозоля с диаметрами более 0,3 мкм величиной $M_A = 2,14 \pm 2,26 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$ и счетной концентрации частиц – $N_A = 7,73 \pm 7,46 \text{ см}^{-3}$. Средняя массовая концентрация поглощающего вещества (сажа) в частицах составила $0,18 \pm 0,24 \text{ мкг} \cdot \text{м}^{-3}$. При переходе от весеннего к летнему сезону наблюдалось уменьшение общей концентрации аэрозольных частиц, в то время как в 2011 и 2012 гг. происходил рост средних значений концентрации сажевого аэрозоля. Возможной причиной этому были более интенсивный вынос угольной пыли летом с открытой подстилающей поверхности. В сезонной изменчивости распределений частиц по размерам прослеживается уменьшение концентраций мелкодисперсных (до 1 мкм) и увеличение содержания крупнодисперсных (более 1 мкм) частиц. В целом за три года наблюдалось устойчивое увеличение средних значений массовой и счетной концентраций аэрозоля. При этом не наблюдалась тенденция увеличения концентрации сажи.

Ключевые слова: аэрозоль, сажа, массовая и счетная концентрации, распределение частиц по размерам, сезонная и межгодовая динамика, Шпицберген.

Табл. 1. Ил. 6. Библ. 25.

Аномалия концентрации CO_2 на поверхностном горизонте в Арктическом бассейне летом 2007 г. Недашковский А.П., Бондарева Е.П. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 45–49.

Рассмотрена изменчивость парциального давления углекислого газа, $P(\text{CO}_2)$, на поверхностном горизонте акватории Евразийского сектора Северного Ледовитого океана (август 2007 г., НЭС «Академик Федоров»). За исключением области, находящейся под влиянием речного стока, $P(\text{CO}_2)$ ниже атмосферного и с увеличением распреснения падает. Северо-восточнее о. Большевик наблюдается область протяженностью ~ 50 км в меридиональном направлении, в которой поверхностный горизонт распреснен и пересыщен CO_2 . Показано, что повышенное $P(\text{CO}_2)$ в этой области является аномалией, вызванной выпадением кислотных осадков.

Ключевые слова: Северный Ледовитый океан, CO_2 , кислотные осадки.

Ил. 3. Библ. 9.

УДК 004.9:502(985)

Геоинформационное сопровождение зонирования геосистем прибрежных районов Российской Арктики по степени уязвимости. Федорова И.В., Сидорина И.Е., Родиченко М.А., Скороспехова Т.В., Четверова А.А., Дмитриев В.В., Шеповальников В.Н., Шумская Н.К., Боброва О.Н., Паршина Т.В., Власенков Р.Е. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 50–60.

В связи с возрастающим вниманием к исследованию и использованию арктической зоны для развития хозяйственного комплекса России немаловажным является выделение зон уязвимости геосистем к антропогенному воздействию для прибрежных районов Российской Арктики и их разноаспектная визуализация при помощи геоинформационных технологий. В данной работе описываются основные факторы, использованные для выделения зон уязвимости, которые условно можно разделить на три группы: «гидрометеорология», «биоразнообразие» и «здоровье населения». Специально созданная ГИС и БД позволили также провести визуализацию данных для отдельных районов и всего арктического региона в целом в виде набора тематических карт. Таким образом, использование геоинформационных технологий позволило наиболее полно проанализировать весь спектр характеристик и сделать обобщающий вывод в виде описания зон уязвимости геосистем к техногенным и гидрометеорологическим воздействиям. Отдельно выделены районы локального загрязнения и влияния на здоровье населения.

Ключевые слова: Арктика, прибрежные геосистемы, уязвимость, ГИС, загрязнения, здоровье населения, гидрометеорология, зонирование территории.

Ил. 3. Библ. 13.

УДК 551.468

К оценке области возможного обнаружения нефтяного загрязнения при прогнозировании распространения аварийных разливов нефти в море. Проблемы Арктики и Антарктики. Зацепин С.Н., Ивченко А.А., Москвичев А.М., Солбаков В.В., Становой В.В. № 4 (102). 2014. С. 61–70.

В статье рассматривается развитие методики расчета перемещения аварийного нефтяного разлива в море на основе типового гидрометеорологического прогноза. Предлагается ошибки метеорологического прогноза ввести в рассмотрение как искусственное рассеяние (квазидиффузию) траекторий(й) распространения нефти с тем, чтобы традиционный «однотраекторный» подход рассматривать как расчет наиболее вероятного распространения нефтяного разлива с одновременной оценкой зоны вероятного обнаружения нефтяного загрязнения. Предложена параметризация коэффициента «квазидиффузии», основанная на обработке временного ряда отклонений между данными наблюдений скорости ветра на ГМС Варандей и рассчитанных по гидродинамической модели.

Ключевые слова: аварийный разлив нефти, оценка риска распространения нефти в море, моделирование распространения нефтяного загрязнения.

Ил. 7. Библ. 5.

Использование параметра $\delta^{18}\text{O}$ для идентификации источников распределения вод в проливе Фрама и на шельфе Баренцева моря. Семерюк И.А., Намятов А.А. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 71–77.

Поверхностные распределенные воды пролива Фрама и шельфа Баренцева моря с близкими значениями температуры и солености имеют различный состав изотопов кислорода (^{18}O и ^{16}O) как следствие различных причин распределения. В первом случае имеет место поступление вод в результате таяния гренландских ледников во фьордах Индепенденс (Independence fjord) и Денмарк (Denmark fjord), во втором распределение происходит в процессе таяния морского льда. Изотопный метод выделения водных масс позволяет разделить воды с близкой соленостью по типу их образования. В работе получены оценки фракций различных водных масс исследуемого района. Дана детальная характеристика фракционного состава атлантических вод, вод, модифицированных в процессе таяния морского льда, и вод, распределенных речным стоком или таянием ледника. Таким образом, изотопный метод идентификации водных масс дает возможность количественно охарактеризовать главные составляющие пресноводного баланса для ключевого района в формировании термохалинной структуры СЛО.

Ключевые слова: изотоп кислорода, пролив Фрама, речные воды, таяние ледника, таяние морского льда, распределение.

Табл. 2. Ил. 2. Библ. 10.

Пространственная изменчивость характеристик снежного покрова антарктических мегадюн в районе подледникового озера Восток. Екайкин А.А., Липенков В.Я., Попов С.В., Туркеев А.В., Козачек А.В., Владимирова Д.О. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 78–89.

Представлены результаты гляциологических наблюдений в районе мегадюн, расположенных в 30 км к востоку от российской антарктической станции Восток, в сезонный период 58-й и 59-й РАЭ (январь 2013 и январь 2014 г.). Скорость накопления и изотопный состав снега были измерены вдоль двухкилометрового профиля, заложенного поперек гребня мегадюн. На расстоянии менее 1 км оба параметра испытывают существенные пространственные изменения, связанные с рельефом дюны. При этом изотопный состав снега отрицательно коррелирует со скоростью снегонакопления, что объясняется постдепозиционными процессами в снежной толще и/или неравномерным отложением зимних и летних осадков. Используя данные радиолокационного профилирования, мы посчитали горизонтальную скорость перемещения дюн ($5,5 \pm 1,3$ м/год). Эти данные были использованы, чтобы смоделировать вертикальный профиль изотопного состава в отдельно взятой точке, образованный двумя компонентами — климатической изменчивостью и колебаниями, связанными с движением дюны. Полученные результаты обсуждаются с точки зрения интерпретации реальных ледяных кернов.

Ключевые слова: Антарктида, изотопный состав, мегадюны, отношение сигнала к шуму, пространственная изменчивость, снежный покров.

Ил. 4. Библ. 48.

УДК (574.583+591.524.12) (268.45)

Годовой продукционный цикл зоопланктона в южной части Баренцева моря. Дворецкий В.Г., Дворецкий А.Г. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 90–96.

На основе большого массива данных, полученных в южной части Баренцева моря в 1950-х и 2000-х гг., исследован цикл обилия, биомассы и рассчитанной продукции зоопланктонного сообщества. Максимальное количественное развитие зоопланктона отмечено в мае–июне. Основной вклад в биомассу и продукцию вносили копеподы и эвфаузииды. Суммарная биомасса зоопланктона варьировала от 0,4 до 32,4 мг сухой массы/м³, продукция — от 7 до 804 мкг сухой массы/м³ в сутки. Величина годовой продукции была выше, чем в других арктических морях.

Ключевые слова: зоопланктон, биомасса, продукция, цикл, Баренцево море.

Табл. 1. Ил. 2. Библ. 28.

УДК 551.589.1

Межгодовая изменчивость групповых синоптических процессов и сценарий развития атмосферной циркуляции по сезонам в Арктике до 2016 г. Коржиков А.Я., Ильющенко И.А. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 97–103.

В статье приводятся результаты исследования межгодовой сезонной изменчивости групп синоптических процессов в Арктике. С помощью полиномиальной аппроксимации получены прогностические значения повторяемости групп атмосферных процессов, на основе которых рассчитаны сценарии сезонных полей давления и аномалий температуры воздуха для северной полярной области на 2014–2016 гг. Сравнение сценариев и фактических полей в Арктике за 2014 г. показало хорошее совпадение во всех сезонах.

Ключевые слова: группы синоптических процессов, Арктика, сезонная изменчивость, полиномиальная аппроксимация.

Табл. 1. Ил. 3. Библ. 5.

УДК 910.3.(98)(99)(МПГ)

О подготовке проведения Международной полярной партнерской инициативы. Клепиков А.В., Рябинин В.Э., Данилов А.И., Дмитриев В.Г. Проблемы Арктики и Антарктики. № 4 (102). 2014. С. 104–109.

Одно из важнейших достижений Международного полярного года (МПГ 2007/08) состояло в том, что большой объем новых знаний об изменениях в полярных регионах создал благоприятные возможности для перехода от исследований к обеспечению оперативного обслуживания, к улучшению прогнозов разной заблаговременности в Арктике и Антарктике. В рамках наследия МПГ Всемирная метеорологическая организация (ВМО) сформировала международную группу экспертов по разработке концепции Международной полярной партнерской инициативы. Полярная инициатива поддержана Арктическим советом, Международным арктическим научным комитетом, МОК ЮНЕСКО и другими организациями.

Ключевые слова: Арктика, Антарктика, международный, полярный, сотрудничество.

Библ. 12.

The Cenozoic molluscs of genus *Cyrtodaria* from Russian Arctic Problems of Arctic and Antarctic. Krylov A.V., Gusev E.A., Kuznetsov A.B., Zarkhidze D.V. № 4 (102). 2014. P. 5–23.

In result of our investigations were studied morphology, phylogeny and stratigraphical distribution marine Cenozoic molluscs of the genus *Cyrtodaria* from the Russian Arctic. In revision study were described four molluscs species (include one new species — *Cyrtodaria rossica* Krylov et al., sp. nov). The Pliocene deposits have stratigraphic significance four species: *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1843) *C. jensiseae* Sachs, 1951, *C. sachsii* (Merklin et Zarkhidze, 1979), *C. rossica* Krylov et al., sp. nov. Eopleistocene depositis are characterized by four species: *Cyrtodaria angusta* (Nyst et Westendorp, 1843), *C. siliqua* (Spengler, 1793), *C. jensiseae* Sachs, 1951, *C. kurriana* Dunker, 1861. Neopleistocene deposits are characterized by two species: *Cyrtodaria siliqua* (Spengler, 1793) and *C. kurriana* Dunker, 1861. In Oligocene and Miocene deposits were found *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951 which indicate that North Siberia was the center of origin of this species. For species *Cyrtodaria jensiseae* Sachs, 1951 were described the neotype and the diagnosis.

Keywords: bivalves, Late Cenozoic, *Cyrtodaria*, Arctic.

Tab. 2. Fig. 5. Ref. 32.

Recommendations for the seismic points placement on the Northern European Russia and first results. Antonovskaya G.N., Danilov A.V. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 24–33.

The paper presents recommendations on the organization of stationary points of seismic observations in the European North of Russia and ways of preserving and transmitting digital data. The contribution of the seismic point «Franz Josef Land» in the study of the seismic activity of the Arctic territories are presents.

Keywords: seismic points, seismic equipment, Euro-Arctic region, seismic event, transmission of seismic data.

Fig. 6. Ref. 17.

Features of variability of Aerosol and black Carbon concentrations on Barentsburg (Spitsbergen) in 2011–2013. Chernov D.G., Kozlov V.S., Panchenko M.V., Turchinovich Yu.S., Radionov V.F., Gubin A.V., Prakhov A.N. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 34–44.

The results of the monitoring of atmospheric aerosol characteristics in the near-ground air layer in spring and summer 2011–2013 during expeditions to Barentsburg (Spitsbergen) are analyzed. The content of arctic aerosol in the period was characterized by low mean values of aerosol mass concentration (about $2,14 \pm 2,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$), number density of particles ($7,73 \pm 7,46 \text{ cm}^{-3}$ with a diameters of more than $0,3 \mu\text{m}$) and the mass concentration of Black Carbon ($0,18 \pm 0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$). In seasonal behavior from spring to summer decrease of mean concentrations of aerosol was appeared, but for BC content in 2011–2012 the increase of mean concentrations was observed. Possible reason for this was more intense emission of dust particles from the underlying surface during snow free period and influence of meteorological factors that contribute to the accumulation of carbonaceous aerosol in the surface layer. The seasonal variability of particle size distributions is characterized by decrease in concentrations of fine fraction (diameters up to $1 \mu\text{m}$) and increase in the content of coarse fraction (particles large 1 micrometer). In the inter-annual dynamics during 3 years increase in average values of the mass and number concentration of aerosol was observed. But the inter-annual variability of mean BC concentration was more complex.

Keywords: aerosol, black carbon, mass and number concentration, particle size distribution, seasonal and inter-annual dynamics, Spitsbergen.

Tab. 1. Fig. 6. Ref. 25.

The Anomaly of CO₂ concentration on the surface Horizon at the Arctic ocean in Summer 2007. Nedashkovsky A.P., Bondareva E.P. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 45–49.

Variability of CO₂ partial pressure, $P(\text{CO}_2)$, on the surface horizon at the Eurasian part of the Arctic Ocean in August 2007 (R/V «Academik Fedorov») have been considered. Except for the area under the influence of river flow, $P(\text{CO}_2)$ is less than atmospheric, and, with increasing freshening $P(\text{CO}_2)$ falls. There is a region extending about 50 km in the meridional direction, located to northeast from Bolshevik island, in which the surface horizon is freshening due to melting of ice and supersaturated with CO₂. It is shown that the increased $P(\text{CO}_2)$ in this area is an anomaly explained by acid precipitation.

Keywords: Arctic Ocean, CO₂, acid precipitation.

Fig. 3. Ref. 9.

UDC 551.464(268)

Geoinformation maintenance of the Russian Arctic coastal areas geosystems zoning on vulnerability rate. Fedorova I.V., Sidorina I.E., Rodichenko M.A., Skorospekhova T.V., Chetverova A.A., Dmitriev V.V., Shipovalnikov V.N., Shumskaya N.K., Bobrova O.N., Parshina T.V., Vlasenkov R.E. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 50–60.

Due to the increasing attention to research and use of the Arctic zone for development of Russia economic complex, zones allocation of geosystems vulnerability to anthropogenous influence for coastal areas of the Russian Arctic and their multi aspects visualization by means of geoinformation technologies is important. In this article the major factors used for zones allocation of vulnerability, which can conditionally be divided into three groups «hydrometeorology», «biodiversity», and «health of the population», are described. Specially created GIS and DB allow to make data visualization for certain areas and for the Arctic region in general in the form of thematic maps set. Thus, use of geoinformation technologies allowed to analyse most fully all characteristics range and to built the generalizing conclusion in the form of the description of zones of geosystems vulnerability to technogenic and hydrometeorological influences. Areas of local pollution and influence on health have been separately allocated too.

Keywords: Arctic, costal geosystems, vulnerability, GIS, pollutions, health of population, hydrometeorology, zoning.

Tab. 2. Fig. 3. Ref. 23.

UDC 551.468

To assessment of the area of potential detection of oil pollution at prediction of the accidental oil spills spreading in the sea. Zatsapa S.N., Ivchenko A.A., Moskvichev A.M., Solbakov V.V., Stanovoy V.V. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 61–70.

The development of the method of simulation of the accidental oil spill spreading in the sea based on the typical hydrometeorological forecast is discussed. It is proposed to take into account the meteorological forecast errors by the introduction of the artificial scattering (quasidiffusion) of oil spreading trajectories. In this way, the traditional “mono-trajectory” approach is considered as the simulation of the most probable spreading of the oil with simultaneous assessment of the area of probable detection of oil pollution. The parameterization of “quasidiffusion” coefficient based on the analysis of time series of deviations between the observed at HMS Varandey wind speed data and calculated by the hydrodynamic model is proposed.

Keywords: accidental oil spill, risk assessment of oil pollution in the sea, oil pollution simulation.

Fig. 7. Ref. 5.

Application of the oxygen isotope method for identification of fresh water sources in the Fram Strait and on the Barents Sea Shelf. Semeryuk I.A., Namyatov A.A. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 71–77.

Water masses in the Fram Strait and on the self of the Barents Sea have similar temperature and salinity characteristics but different isotope content due to different reasons of salinity decrease.

It could be explained by fresh water input as result of melting Greenland glaciers in the Independence fjord and Denmark fjord, on the other hand surface salinity decrease could happened during the process on sea-ice melting.

The isotope-tracer method allows to distinguish water masses with similar salinity and different origin.

Calculation of fresh water mass balance was carried out.

Detailed description of the calculated fractions for Atlantic water masses, water modified during processes of sea ice melting/formation and fresh water formed due to influence of river runoff or glacier melting was done. Thus due to isotope-tracer method it is possible to make quantity description of the main fresh water members of the water balance for the region playing key role in formation of the Arctic Ocean thermohaline structure.

Keywords: oxygen isotope, Fram Strait, river runoff, glacier melting, melting of sea-ice, salinity decrease.

Tab. 2 . Fig. 2. Ref. 10.

Spatial variability of Antarctic mega-dunes snow characteristics in the vicinity of the subglacial Lake Vostok. Ekaykin A.A., Lipenkov V.Ya., Popov S.V., Turkeev A.V., Kozachek A.V., Vladimirova D.O. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 78–89.

We present the results of glaciological investigations in the mega-dune area located 30 km to the east from Vostok Station (central East Antarctica) implemented during the 58th and 59th Russian Antarctic Expedition (January 2013 and January 2014). Snow accumulation rate and isotope content (δD and $\delta^{18}O$) were measured along the 2-km profile across the mega-dune ridge accompanied by GPR survey. The accumulation rate regularly changes by 1 order of magnitude within the distance < 1 km, with the reduced accumulation at the leeward slope of the dune and increased accumulation in the hollow between the dunes. At the same time, the accumulation rate averaged over the length of a dune wave (25 mm w.e.) corresponds well with the value obtained at Vostok Station, which suggests no additional wind-driven snow sublimation in the mega-dunes comparing to the surrounding plateau. The snow isotope content is in negative correlation with the snow accumulation, which could be explained by post-depositional snow modification and/or by enhanced redistribution by wind of winter precipitation comparing to summer precipitation. Using the GPR data, we estimated the dune drift velocity ($5,5 \pm 1,3$ m yr⁻¹). The full cycle of the dune drift is thus about 340 years. Since the spatial anomalies of snow accumulation and isotope content are supposed to drift with the dune, an ice core drilled in the mega-dune area would exhibit the non-climatic 340-yr cycle of these two parameters. We made an attempt to simulate a vertical profile of isotope content with such a non-climatic variability in a virtual ice core, using the data on the dune size and velocity. The obtained results are discussed in terms of real ice core data interpretation.

Keywords: Antarctica, mega-dunes, signal-to-noise ratio, snow cover, spatial variability, stable water isotopes.

Fig. 4. Ref. 48.

UDC (574.583+591.524.12) (268.45)

Annual cycle of zooplankton production in the southern part of the Barents sea. Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 90–96.

Annual variation of zooplankton abundance, biomass, and estimated production was studied based on a large dataset obtained in the southern Barents Sea in the 1950s and 2000s. Maximum of biomass and abundance was found in May–June. Copepods and euphausiids dominated in terms of the total biomass and production. Total zooplankton biomass varied from 0,4 to 32,4 mg dry mass/m³, production — from 7 to 804 µg dry mass/m³ per day. The total annual production of zooplankton was higher than in other Arctic seas.

Keywords: zooplankton, biomass, production, cycle, Barents Sea.

Tab. 1. Fig. 2. Ref. 28.

UDC 551.589.1

Interannual variability group of synoptic processes and scenarios of the development of atmospheric circulation on the seasons in the Arctic until 2016. Korzhikov A.J., Ilyushenkova I.A. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 97–103.

The article presents the results of a study of inter-annual seasonal variability of groups of SYNOPTIC processes in the Arctic. Using polynomial approximation, obtained the prognostic value of the frequency of occurrence of groups of atmospheric processes on the basis of which the calculated scenarios seasonal pressure field and anomalies of air temperature in the North polar region for 2014–2016. The comparison of scenarios and actual fields in the Arctic for 2014 shows good agreement in all seasons.

Keywords: groups of synoptic processes, Arctic, seasonal variability, polynomial approximation.

Tab. 1. Fig. 3. Ref. 5.

910.3.(98)(99)(МИП)

On the preparation of the International Polar Partnership Initiative. Klepikov A.V., Ryabinin V.E., Danilov A.I., Dmitriev V.G. Problems of Arctic and Antarctic. № 4 (102). 2014. P. 104–109.

One of the most important achievements of the International Polar Year (IPY 2007/08) is that a large amount of new knowledge about the changes in the polar regions has created favorable conditions for the transition from research to services to improve the different forecasts in the Arctic and Antarctic. As part of the legacy of the IPY 2007/08, the World Meteorological Organization (WMO) has formed an international group of experts to develop the concept of the International Polar Partnership Initiative. Polar initiative is supported by the Arctic Council, International Arctic Science Committee, IOC UNESCO and other organizations.

Keywords: Arctic, Antarctic, cooperation, international, polar.

Ref. 12.

Сборник научных статей
ПРОБЛЕМЫ АРКТИКИ И АНТАРКТИКИ
№ 4 (102)

Подписано в печать 27.11.2014
Формат 70×100 1/16
Тираж 200

Печать офсетная
Печ. л. 7,5
Заказ № 0293889

Типография ООО «Эс Пэ Ха»
188681, Ленинградская область, Всеволожский район, пос. Красная Заря, д. 15