



*Российская Академия Наук*

# ТРУДЫ

Кольского научного центра РАН

1/2013 (14)

**ОКЕАНОЛОГИЯ**

выпуск 1

Апатиты  
2013

*Российская Академия Наук*

# ТРУДЫ

**1/2013 (14)**

издается с декабря 2010 г.

УДК 551.46

ISBN 978-5-91137-244-6

**Кольского научного центра РАН**

Главный редактор - академик В.Т. Калинин

Заместители главного редактора  
д.г.-м.н. В.П. Петров  
д.т.н. Б.В.Ефимов

Редакционный совет

академик Г.Г. Матишов,, академик Н.Н. Мельников,  
академик Ф.П. Митрофанов, чл.-корр. В.К.Жиров,  
чл.-корр. А.И. Николаев, д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский,  
д.э.н. Ф.Д. Ларичкин, д.т.н. В.А. Маслобоев,  
д.т.н. В.А. Путилов, д.ф.-м.н. Е.Д. Терещенко,  
к.г.-м.н. А.Н. Виноградов (ответственный секретарь)

## ОКЕАНОЛОГИЯ

выпуск 1

Редколлегия серии "Океанология"

академик Г.Г.Матишов (отв. редактор),  
д.б.н. П.Р.Макаревич (зам. отв. редактора),  
д.г.н. В.В.Денисов, д.г.н. С.Л.Дженюк, д.г.-м.н. Г.А.Тарасов,  
д.б.н. М.В.Макаров, к.б.н. О.В.Карамушко, к.г.н. Г.В.Ильин,  
к.б.н. Д.Г.Ишкулов, к.г.н. Д.В.Моисеев

184209, Мурманская область, г.Апатиты, ул.Ферсмана, д.14  
Кольский научный центр РАН  
Тел. (81555)79226. Факс (81555)76425  
E-mail: admin@admksk.apatity.ru <http://www.kolasc.net.ru>

СОДЕРЖАНИЕ

		Стр.
Хемпель Г.	Шесть этапов немецких полярных исследований. Очерк, ориентированный на морскую биологию .....	5
Матишов Г.Г., Матишов Д.Г.	Основные направления морских экосистемных исследований Мурманского морского биологического института в Арктике .....	25
Лохте К., Хайн С.	Исследования Арктики, проводимые Институтом полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера .....	43
Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Денисов В.В., Жичкин А.П., Моисеев Д.В.	Учет вековой динамики климата Баренцева моря при планировании морской деятельности .....	56
Дружкова Е.И., Макаревич П.Р.	Исследования фитопланктона моря Лаптевых: история и современность .....	71
Тарасов Г.А.	Особенности седиментологических исследований в Арктике .....	79
Макаров М.В., Воскобойников Г.М.	Влияние освещения и температуры на макроводоросли Баренцева моря .....	95
Краснов Ю.В.	Основные направления исследований морских птиц Мурманским морским биологическим институтом КНЦ РАН в северных морях европейской части России .....	111
Карамушко О.В.	Разнообразие и структура ихтиофауны северных морей России .....	127
Матишов Г.Г., Моисеев Д.В., Бердников С.В., Кулыгин В.В., Яицкая Н.А., Шишкина А.В.	Совместные подходы ММБИ, ЮНЦ и Лаборатории климата океана НОАА (США) к организации океанографических и гидробиологических баз данных арктических и южных морей России .....	135
Лебедева Н.В.	Ави-вектор распространения почвенных животных на полярные острова: обзор .....	152
Дворецкий В.Г.	Современные исследования зоопланктона в Баренцевом море .....	161
Дворецкий А.Г.	Исследования камчатского краба в прибрежье Баренцева моря .....	183
Любина О.С., Фролова Е.А., Дикаева Д.Р., Анисимова Н.А., Любин П.А., Фролов А.А., Гарбуль Е.А., Зими́на О.Л., Ахметчина О.Ю., Нехаев И.О.	Предварительные результаты современного мониторинга зообентоса на разрезе "Кольский меридиан" (Баренцево море) .....	208

*Russian Academy of Sciences*  
**transactions**  
**Kola Science Centre**

**1/2013 (14)**

UDK 551.46  
ISBN 978-5-91137-244-6

Editor - Academician V.T.Kalinnikov

Deputy editor in chief:

Doctor of Geology and Mineralogy V.P.Petrov  
Dr. of Sciences B.V.Efimov

Editorial Council:

Academicians:

G.G.Matishov, N.N.Melnikov, F.P.Mitrofanov.

Corresponding Member of RAS:

V.K.Zhirov, A.I.Nikolaev.

Dr. of Sciences:

Yu.L.Voitekhovskiy, F.D.Larichkin, V.A.Masloboev,

V.A.Putilov, E.D.Tereshchenko,

Ph.D. A.N.Vinogradov (executive secretary)

**OCEANOLOGY**  
series 1

Editor-in-Chief of Oceanology Series

Academician G.G.Matishov

Deputy Editor-in-Chief

P.R.Makarevich, Dr. Sci. (Biology)

Editorial board:

V.V.Denisov, Dr. Sci. (Biology),

S.L.Dzhenyuk, Dr. Sci. (Geography),

G.A.Tarasov, Dr. Sci. (Geology and Mineralogy),

M.V.Makarov, Dr. Sci. (Biology),

O.V.Karamushko, PhD (Biology),

G.V.Ilyin, PhD (Geography),

D.G.Ishkulov, PhD (Biology),

D.V.Moiseev, PhD (Geography)

14, Fersman str., Apatity, Murmansk region, 184209, Russia

Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences

Tel.: (81555)79226. Fax: (81555)76425

E-mail: [admin@admksk.apatity.ru](mailto:admin@admksk.apatity.ru) <http://www.kolasc.net.ru>

**CONTENTS**

	Page
Hempel G.	5
Matishov G.G., Matishov D.G.	25
Lochte K., Hain S.	43
Matishov G.G., Dzhenyuk S.L., Denisov V.V., Zhichkin A.P., Moiseev D.V.	56
Druzhkova E.I., Makarevich P.R.	71
Tarasov G.A.	79
Makarov M.V., Voskoboynikov G.M.	95
Krasnov Yu.V.	111
Karamushko O.V.	127
Matishov G.G., Moiseev D.V., Berdnikov S.V., Kulygin V.V., Yaitskaya N.A., Shishkina A.V.	135
Lebedeva N.V.	152
Dvoretzky V.G.	161
Dvoretzky A.G.	183
Lyubina O.S., Frolova E.A., Dikaeva D.P., Anisimova N.A., Lyubin P.A., Frolov A.A., Garbul E.A., Zimina O.L., Akhmetchina O.Y., Nekhaev I.O.	208

**Г.Хемпель**

Институт полярной экологии, Университет им. К.Альбрехта, Германия

## **ШЕСТЬ ЭТАПОВ НЕМЕЦКИХ ПОЛЯРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ. ОЧЕРК, ОРИЕНТИРОВАННЫЙ НА МОРСКУЮ БИОЛОГИЮ\***

### **Аннотация**

Представлен исторический обзор шести этапов исследований немецких полярных ученых (Reinke-Kunze, 1992; Lange, 1996, 2001; Fleischmann, 2005; Hempel, 2002, 2007, 2008): 1) раннее участие немецких ученых в зарубежных экспедициях; 2) исследовательские экспедиции в водах Арктики и Антарктики в период между 1867 и 1914 гг. (Первая мировая война); 3) экспедиции в Гренландию и Западную Антарктиду между Первой и Второй мировыми войнами (1918 и 1939 гг.); 4) участие в зарубежных экспедициях; 5) независимые немецкие полярные научно-исследовательские программы в ФРГ и ГДР начиная с середины 1970-х гг.; 6) объединенные немецкие полярные исследования в рамках Международной полярной сети сотрудничества.

**G.Hempel**

## **SIX PHASES OF GERMAN POLAR RESEARCH. A SKETCH, FOCUSING ON MARINE BIOLOGY**

### **Abstract**

The present article characterises the history of German polar research can be divided into six phases (Reinke-Kunze, 1992; Lange, 1996, 2001; Fleischmann, 2005; Hempel, 2002, 2007, 2008): 1) the early participation of German scientists in foreign expeditions; 2) exploratory expeditions in Arctic and Antarctic waters between 1867 and 1914 (World War I); 3) expeditions to Greenland and West-Antarctica between the World Wars I and II (1918–1939); 4) participation in foreign expeditions; 5) independent German polar research programmes of the FRG and the GDR since the mid 1970's; 6) unified German polar research as a part of the international polar science network.

История немецких полярных исследований насчитывает более двух столетий, и в ней можно выделить шесть этапов.

**Этап 1. Участие немецких исследователей в зарубежных экспедициях.** С XVIII века немецкие ученые принимали участие в полярных исследовательских работах в качестве гостей или сотрудников иностранных научных учреждений и экспедиций. Рейнгольд Форстер со своим сыном Георгом приняли участие во втором плавании Джеймса Кука (1772–1775 гг.), в котором была достигнута зона морского льда в Южном океане. На основании данных экспедиции был составлен научный доклад, содержащий информацию о китах, тюленях и пингвинах, которые вскоре после этого плавания стали желанными объектами промысловых экспедиций.

Еще ранее российские цари нанимали голландских и немецких капитанов для того, чтобы выяснить существует ли Северо-Восточный проход и может ли он быть использован. Они приглашали немецких ученых принять участие в экспедициях в Сибирь и на Камчатку. Из них следует отметить Иоганна Гмелина и Георга Стеллера (в его честь назван вымерший гигантский ламантин). Эти люди

---

\*Перевод: А.Л.Цейтлина, Т.Н.Бурназа, Д.В.Моисеев.

были “движущей силой” Великой Северной экспедиции 1733–1743 гг. Немецкий ботаник и поэт Адальберт фон Шамиссо следовал с российской экспедицией 1815–1818 гг., отчет по которой позже стал достаточно знаменит. В те времена, как и сейчас, научное сообщество в Европе было открытым и всемирным, оно предлагало “свободный рынок” из лучших и наиболее смелых молодых ученых и исследователей. Король Дании использовал силу убеждения немецких протестантских миссионеров, которые от его имени передавали эскимосам учение Иисуса Христа. Миссионеры не только изучали язык и культуру эскимосов, но также исследовали Гренландию, а за ними уже последовали немецкие геологи, подданные датской короны.

### **Этап 2. Национальные экспедиции до Первой мировой войны (1914 г.).**

Немецкие китобойные суда занимались промыслом у берегов Шпицбергена, в XVIII веке постепенно сдвигаясь к Гренландии и Лабрадору. Эти мероприятия вовсе не способствовали развитию общедоступности науки, так как информация, приобретенная во время экспедиций китобойного промысла, была в значительной степени засекреченной. Во второй половине XIX века в Германии возрос национальный, научный и коммерческий интерес к полярным регионам. Журналист Август Петерманн, интересовавшийся географией, был, пожалуй, самым убежденным пропагандистом немецких исследований. Он выступал за необходимость заполнения белых пятен на картах полярных территорий и присвоению исследованным местностям немецких названий. Германия никогда не владела арктическими территориями, но, несмотря на это, она была заинтересована в использовании существующих и в поиске новых морских путей из немецких портов на Дальний Восток. В те времена было широко распространено убеждение о существовании незамерзающего канала через Северный полюс, как было изложено в предписании о мореплавании Петерманна для немецкой северной полярной экспедиции конца 1860-х гг. Он полагал, что морской лед в основном происходил от берегов, и, следовательно, поэтому он окружает континенты, оставляя преимущественно центральную часть Северного Ледовитого океана свободной от льда. Первый краткий исследовательский рейс проходил под руководством Карла Кольдевея в 1868 г. на судне “Грэнланд” (построено в 1867–1868 гг. в Норвегии; с 1973 г. – экспонат Немецкого музея мореплавания в Бремерхафене). Судно “Грэнланд” (рис. 1) по-прежнему на ходу.

Вторая экспедиция состоялась в 1869–1870 гг. с участием двух судов, “Ханса” и “Германия”. Достаточно быстро они попали в ледовую ловушку



в районе Западно-Гренландского течения и их пришлось оставить. Тем не менее, ученым удалось исследовать большую часть северо-восточного побережья Гренландии. В 1871 году немец Карл Вейпрехт и австралиец Юлиус фон Пауэр совершили научный рейс к Шпицбергену и Новой Земле, и в 1872–1874 гг. совместно

Рис. 1. Встреча старейшего и новейшего немецких исследовательских

кораб-лей в устье реки Весер в 1990-х гг.

провели знаменитую Австрийскую экспедицию, с помощью которой была исследована Земля Франца-Иосифа. Результаты их наблюдений помогли Норденшельду на “Веге” в 1879 г. проплыть по Северо-Восточному проходу вдоль берегов Сибири. Большинство таких мероприятий финансировалось частным образом, так как правительства Германии и Австрии неохотно спонсировали полярные экспедиции (Nempel, 2002).

Ни один из немецких полярных исследователей не участвовал в “спортивной” националистической гонке к Северному полюсу. Вейпрехт при поддержке геофизика Георга фон Неймайера (рис. 2), был первым, кто выдвинул лозунг “исследовательские станции вместо научных экспедиций”. Он разработал планы по созданию международной биполярной сети обсерваторий и единой системы протоколов наблюдений. Георг фон Неймайер стал “отцом” первого Международного полярного года (1882/83), руководя двумя немецкими наблюдательными станциями: одной в Северной Канаде, другой на о. Южная Георгия.

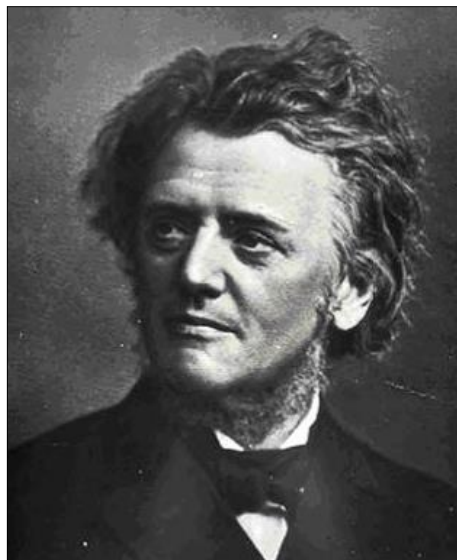


Рис. 2. Георг Бальтазар фон Неймайер (1826–1909), гидрограф Немецкого адмиралтейства. Архив Института полярной экологии (ИРОЕ)



Рис. 3. Эрих фон Дригальский (1865–1949), профессор географии, перезимовавший в Гренландии. Архив Института полярной экологии (ИРОЕ)

Немецкая деятельность в Южном океане и Антарктиде началась с кругосветного плавания на “Газелле” в 1874–1876 гг. с целью проведения геомагнитных, батиметрических, метеорологических и навигационных наблюдений. Во время этой экспедиции на о. Кергелен была установлена астрономическая лаборатория для наблюдений прохождения Венеры. В эти же годы капитан и ловец тюленей Эдуард Даллманн составил карту западного побережья Антарктического полуострова. Сотрудники обсерватории “Полярный год” на о. Южная Георгия изучили и нанесли на карту некоторые детали большого острова. Рьяно и неоднократно Георг фон Неймайер, директор Немецкой морской обсерватории в Гамбурге, агитировал за проведение немецкой антарктической экспедиции для изучения геомагнетизма и исследования Антарктиды “во славу человечества и немецкого



народа”. Геофизик и географ Эрих фон Дригальский (рис. 3) стал лидером Первой немецкой антарктической экспедиции 1901–1903 гг. (Drygalski, 1989). Он посетил Западную Гренландию в 1891 г. и перезимовал в 1892/93 г. Во время антарктической экспедиции его судно “Гаусс” было заблокировано во льдах у побережья земли, названной им Землей Кайзера Вильгельма II, но корабль удалось освободить только летом следующего года. Тем не менее, ученые на борту проводили интенсивные исследования, в частности, с использованием привязных аэростатов. Полвека спустя на том месте Советский Союз построил свою первую антарктическую станцию “Мирный”. Океанографические, геофизические и биологические результаты исследований, проведенных на борту “Гаусса” в индийском секторе Южного океана, заполнили 20 томов. Несмотря на то, что немецкий император в свое время считал, что эта экспедиция потерпит фиаско, научный мир до сих пор превозносит ее как первое комплексное научное исследование тех вод. В 1910–1912 годах Вильгельм Фильхнер, больше исследователь, чем ученый, в полном смысле этого слова, добрался до Антарктиды через море Уэдделла. Его судно “Германия” достигло западного шельфового ледника, который позднее получил его имя, но не смогло причалить к берегу. В течение долгого дрейфа во льдах на борту судна ученые собрали и привезли домой детальную океанографическую информацию о структуре водных масс моря Уэдделла, включая открытие антарктических придонных вод.

**Этап 3. Межвоенный (1918–1939 гг.).** Геофизик Альфред Вегенер (рис. 4) был самым выдающимся немецким полярным исследователем и ученым. Как и Фритьоф Нансен, он был также отличным лыжником и чемпионом мира по путешествиям на аэростате. После его участия в Датской гренландской экспедиции (1906–1908 гг.) под руководством Мулиуса-Эриксона он в первый раз (вместе с датчанином Йоханном Петером Кочем) провел зиму на внутриматериковых льдах Северной Гренландии (1912/13 г.) и пересек самый широкий и высокий участок ледникового покрова. Те ранние экспедиции убедили Вегенера в большом влиянии ледникового покрова Гренландии на погоду в Северной Европе и,



следовательно, в его важности при прогнозировании погоды и дрейфа айсбергов для судоходства и будущего трансполярного движения воздушного транспорта. Как гляциолог, он также стремился узнать больше о толщине и динамике ледового щита. Вскоре после Первой мировой войны Вегенер разработал план масштабной зимней экспедиции, объединяющей гляциологию и метеорологию. Несмотря на большие финансовые трудности, пробная экспедиция состоялась в 1929 г., за ней последовала основная экспедиция 1930–1931 гг. Результатом последней явилось создание на вер-

Рис. 4. Альфред Вегенер (1880–1930), профессор геофизики и метеорологии, “отец” теории континентального дрейфа (1914), изучал ледниковый покров Гренландии, климат и

метеорологию на протяжении трех экспедиций между 1906 и 1930 гг. Архив АВИ шине ледника обсерватории “Айсмитте” (Eismitte), в которой можно было зимовать. А.Вегенер погиб в ноябре 1930 г. во льдах Гренландии. Эти экспедиции имели огромную значимость для полярной метеорологии и понимания динамики Гренландского ледникового покрова.

После Первой мировой войны были организованы только две экспедиции. Экспедиция “Метеора” (1925–1927 гг.) охватывала всю южную часть Атлантического океана, включая незамерзающие части атлантических зон Южного океана, и собрала обширные данные по их топографии, водных массах, системе течений и биоте. Накануне Второй мировой войны немецкие интересы в сфере антарктического китобойного промысла стали причиной организации экспедиции Альфреда Ричера на “Швабенланде”, где изучалась морская биология и аэрофотограмметрия на Земле Королевы Мод.

**Этап 4. Медленное возрождение, немецкие ученые в качестве гостей в зарубежных экспедициях (1950–1975 гг.).** В течение двух десятилетий после Второй мировой войны полярные исследования в Арктике представляли собой лишь незначительные мероприятия в обеих частях разрозненной Германии. Западногерманские гляциологи и картографы были участниками двух гляциологических экспедиций (EGIG I и EGIG II), в ходе которых изучали ледниковый покров Гренландии в 1959 и 1967–1968 гг. соответственно. Проект Международной гренландской гляциологической экспедиции (EGIG) был с научной точки зрения весьма успешным и эффективным. Это было первое совместное мероприятие геологов из Дании и их коллег из Австрии, Федеративной Республики Германии, Швейцарии и Франции (Fleischmann, 2005).

Благодаря своему особому правовому статусу архипелаг Шпицберген свободно посещали группы ученых из Восточной и Западной Германии. Картографы из Германской Демократической Республики под руководством Вольфганга Пиллевицера работали на территории Конгсфьорда на Шпицбергене в 1962 и 1964–1965 гг. Их база до сих пор существует около Нью-Олесунна. Джулиус Будел, западногерманский географ, со своей командой изучал перигляциальные явления на о. Баренца архипелага Шпицберген в ходе трех экспедиций в период между 1959 и 1967 гг. С тех пор архипелаг стал сосредоточением международного сотрудничества и долгосрочных совместных программ. Нью-Олесунн сейчас является преуспевающим международным исследовательским городком, здесь же находится немецкая исследовательская станция “Кольдевей”, которая объединилась с французской станцией и в 2004 г. стала франко-немецкой арктической станцией “AWIPEV”.

Крупный вклад немецких ученых в Международный геофизический год 1958/59 состоял в международной съемке полярного фронта у Восточной Гренландии (International Polar Front Survey off East Greenland). Эта съемка Международного совета по исследованию моря (ICES), включавшая много судов, координировалась Гюнтером Дитрихом, который впоследствии редактировал комплексные данные атласа. Только два океанских западногерманских научно-исследовательских судна тех дней, “Таусс” и “Антон Дорн”, участвовали в двух длительных рейсах. С тех пор стратификация и динамика водных масс, отток арктической воды через пролив Фрама, ее трансформация в Гренландском море и формирование глубинных атлантических вод являются ключевыми темами немецкой океанографии. Изменчивость в распределении водных масс имела большое значение в связи с традиционным немецким тра-  
ловым ловом в северных морях.

В частности, в 1960- и 1970-х гг. западногерманские научно-исследовательские суда часто работали в водах Гренландии, Исландии, Норвегии и Шпицбергена, но лишь пока отсутствовал лед. (Только с 1983 г. в Германии появилось исследовательское ледокольное судно “Полярштерн”, построено в 1981–1982 гг. в Киле и Рендсбурге, Германия; находится в ведении Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера).

Восстановление прежней интенсивности германских арктических исследований заняло довольно большой промежуток времени, особенно в Западной Германии. Только нескольким западногерманским ученым удалось принять участие в исследованиях Антарктики, в частности в экспедициях, организованных США, в ходе Международного геофизического года 1958/59 и др. Немецкие биологи принимали участие в китобойных экспедициях на судне “Олимпик Челленджер” в первой половине 1950-х гг. Академия наук СССР пригласила ученых из братской Академии наук ГДР принять участие в советских антарктических экспедициях уже в 1959 г. Это привело к 35-летнему непрерывному сотрудничеству в наземных и атмосферных геофизических исследованиях, а также других смежных отраслях исследований в Антарктике (Lange, 1996). Для ученых ГДР это стало уникальной возможностью поработать за границей, а советским ученым были небесполезны особые навыки и аппаратура немецких коллег. Советско-германское сотрудничество началось с полевых работ на ледниках Центральной Азии в 1958 г. В следующем году два немецких метеоролога приняли участие в 5-й Советской антарктической экспедиции (САЭ) и перезимовали на станции “Мирный”. С тех пор каждый год группа немецких метеорологов и геофизиков увеличивалась. Исследователи участвовали в САЭ и останавливались сначала на станции “Мирный”, а позднее на станции “Молодежная” и периодически на станции “Восток” в центре Антарктики. Они принимали участие в плановых программах по традиционной и спутниковой метеорологии, наблюдениях за ионосферой, гляциологии и геофизики литосферы. Разработка нового инструментария для геодезии и метеорологии с использованием высокотехнологичной промышленности ГДР (например, оптики Карла Цейса) также стала частью программы. В 1970 году немецкие геологи изучили горный массив Принц Чарльз и горную цепь Шаклтон, используя оборудование советской станции “Дружная”, расположенной на шельфовом леднике Фильхнера. Шаг за шагом и в полном согласии со своими советскими партнерами немецкие программы стали более самостоятельными. В 1974 году, задолго до ФРГ, ГДР стала полноправным членом Договора об Антарктике.

**Этап 5. Пятнадцать лет полярной научно-исследовательской деятельности в разделенной Германии (1975–1990 гг.).** В середине 1970-х гг. политические, научные и экономические интересы в Антарктике значительно выросли в обеих частях Германии. С научной точки зрения полярные регионы стали важны для понимания и моделирования глобальных циркуляций в атмосфере и гидросфере, а также для изучения тектоники плит. В то время как Арктика была в значительной степени закрыта для международного сотрудничества, Южный океан и Антарктика были доступны для всех исследователей. Политические причины для усиления полярных исследований весьма различались в Западной и Восточной Германии. Германская Демократическая Республика стремилась к международному признанию и конкуренции с ФРГ, борясь с политической изоляцией со стороны западных стран. В Западной Германии предупреждения

от Римского клуба и ограничения со стороны новой Конвенции ООН по морскому праву поставили потенциальные ресурсы Южного океана и Антарктики в центр внимания. Некоторые политики считали, что ФРГ может “опоздать на поезд”, как это случилось на конференции при обсуждении Конвенции по морскому праву. Таким образом, целью Западной Германии было получить статус консультативного члена в соответствии с Договором об Антарктике.

**Развитие в Западной Германии** (по: Fleischmann, 2005). В 1975–1976 и 1977–1978 годах проходили совместные научные экспедиции НИС “Вальтер Хервиг” и промыслового траулера, направленные на изучение донных рыб и криля в морях Скотта и Уэдделла. Вскоре последовали геологические и геофизические исследования моря Уэдделла и на севере Земли Виктории. В 1978 году западногерманское правительство решило подать заявку на получение статуса консультативного члена при Договоре об Антарктике и на членство в Научном комитете по антарктическим исследованиям (SCAR). (Заметим, что ГДР в 1981 г. также подало заявку на членство в Научном комитете по антарктическим исследованиям). Как Договор, так и Комитет (SCAR) предусматривали длительные и объемные научные программы по исследованию Антарктики. На протяжении более чем 100 лет немецкие полярные исследования не получали централизованной государственной поддержки. После каждой экспедиции научно-исследовательские суда продавались, а исследователи возвращались к повседневным обязанностям в своих учреждениях. Обработка материалов экспедиций продолжалась десятилетиями и редко когда заканчивалась. Программа антарктических исследований 1979 г. предусматривала создание научно-исследовательского института (Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, см. ниже), научно-исследовательской зимовочной антарктической станции, а также постройку ледокольного и вспомогательного судов. Требования Договора об Антарктике для получения статуса консультативного члена обычно интерпретировалось как требование открытия зимовочной исследовательской станции в Антарктике. Таким образом, установка антарктической базы являлась необходимым первым шагом. Но все сводилось к уклонению от постройки еще одной исследовательской станции в дополнение к “банановому поясу” вдоль Антарктического полуострова. Таким образом, после экспедиции по поиску подходящего места для размещения базы в 1980–1981 гг. была построена станция, названная в честь Георга фон Неймайера (рис. 5). Она была сооружена на шельфовом леднике в восточной части моря Уэдделла. Научный акцент зимовки команды из 9 чел. был сделан на круглогодичные атмосферные и геофизические наблюдения. В летний период станция предоставляла материально-техническую базу для проведения полевых работ гляциологов, геологов и биологов.

В 1970-х годах большинство “старичков” антарктических исследований и членов Научного комитета (SCAR) были геофизиками, принимавшими участие в Международном геофизическом году 1958/59. Морские исследования, включая морскую биологию, не были основными научными интересами, но впоследствии они стали доминирующей частью западногерманских полярных программ. С самого начала программа исследований была действительно биполярной, хотя доступ к арктическим водам в то время был сильно ограничен. Ледокольное научно-исследовательское судно “Полярштерн” (рис. 6), спущенное на воду в 1982 г., предназначалось для круглогодичных исследований в водах, покрытых льдом. Судно имело оборудование для всех видов морских и атмосферных исследований и располагало достаточными площадями для работы и проживания ученых различных морских дисциплин из разных стран (Polarstern ..., 2008).



Рис. 5. Первая станция имени Георга фон Неймайера. Архив АВИ



Рис. 6. Ледокольное научно-исследовательское судно «Полярштерн». Архив АВИ

С помощью «Полярштерна» ФРГ удалось начать перспективную многопрофильную программу полярных морских исследований. Каждый год, начиная с 1983 г., регулярно посещалось море Уэдделла и другие акватории южной части Южного океана, покрытые льдом сезонно или постоянно. Главный акцент делался на исследованиях в области гляциологии и биологии морского льда и его взаимодействии с атмосферой и толщей воды. Основная информация была собрана по микробиологии, до того времени малоизвестной, планктону и бентосу тех регионов (Nempel, Nempel, 1995, 2009). Геологическая история была пред-

ставлена в анализе донных осадков и сейсмических профилях. Все рейсы “Полярштерна” были открыты для ученых из многих стран, особенно во время европейских исследований (Weddell ..., 1993) и экологических исследований зоны антарктического морского льда (Ecological ..., 2002).

Политические и экономические мотивы полярных исследований ФРГ 1980-х гг. не предполагали исследования потенциальных живых и минеральных ресурсов по отношению к глобальному изменению климата и его взаимодействию с полярной экосистемой.

В ходе так называемой “холодной войны” для западногерманских ученых был закрыт доступ в районы Северного Ледовитого океана, которые находились под контролем Советского Союза. Тем не менее, сразу после первого рейса в Антарктику “Полярштерн” направился в Гренландское море и пролив Фрама. Международный проект “Эксперимент в прикромочной зоне” (MIZEX) стал историческим началом серии арктических плаваний с многочисленными иностранными участниками. Для круглогодичного слежения за обменом водных масс и биотой между Северным Ледовитым и Атлантическим океанами были выбраны места станций отбора проб в проливе Фрама.

В 1980 году для обеспечения на постоянной основе работы зимовочной станции в Антарктике и для осуществления фундаментальных научных исследований в полярных областях был создан Институт полярных исследований им. Альфреда Вегенера, с 1986 г. он называется Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (рис. 7). Изначально предполагалось, что в Институте будет работать примерно 100 сотрудников. На данный момент штат служащих составляет около 1000 работников (подробности об АВИ и его деятельности в Арктике см. в статье К.Лохте и С.Хайна в наст. сборнике).



Рис. 7. Первое главное здание Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, открытое в 1986 г. в Бремерхафене. В ходе расширения АВИ было построено или реконструировано несколько дополнительных зданий в различных местах. Архив АВИ

Ученые, занимающиеся исследованиями полярных областей из других институтов, в частности, из г. Кия, также выиграли от материально-технической инфраструктуры АВИ. Несмотря на то, что Институт быстро стал национальным

центром полярных исследований, большинство существующих групп ученых из других учреждений также оставались активными и поддерживались с финансовой стороны федеральным правительством и с материально-технической стороны АВИ. На базе университета в Киле в 1982 г. был основан Институт полярной экологии (ПРОЕ), который стал академической колыбелью для нового поколения биологов. Многие из бывших студентов этого Института стали сотрудниками АВИ или работают в зарубежных научно-исследовательских институтах. В 1987 году в Киле был создан ГЕОМАР (GEOMAR) – исследовательский центр морских геологических наук, а его директор Йорн Тиде сформировал сильную группу для геологических исследований в полярных водах, в частности, в Арктике.

**Развитие в Восточной Германии** (по: Lange, 1996, 2001). Растущий интерес ГДР к Антарктике в середине 1970-х гг. проявился в создании станции имени Георга Форстера недалеко от советской станции “Новолазаревская” в оазисе Ширмахера на Берегу Принцессы Астрид Земли Королевы Мод (Восточная Антарктика). Наблюдения за ионосферой, проводимые в этих районах, зафиксировали развитие озоновой дыры над Антарктикой. Сведения об атмосферном химическом составе тропосферных аэрозолей и наличии стратосферного следа газов стали важным вкладом в дискуссию о глобальном изменении климата. Комплексные исследования позволили сделать всеобъемлющее описание оазиса Ширмахера и окружающих его ледников и гор, которые ранее изучались экспедицией “Швабен-ланд”. Станция имени Георга Форстера (рис. 8) стала первой германской зимовочной станцией в Антарктике (за 5 лет до запуска западногерманской станции имени Георга фон Неймайера). В то же время восточногерманские геологи использовали советскую станцию “Дружная”, а биологи осуществляли проекты по изучению птиц, тюленей и мелководного морского бентоса на советской станции “Беллинс-гаузен” на о. Ватерлоо (Кинг-Джордж). В 1980-х годах участие в семинарах СКАР (SCAR) открыло двери на Запад. Растущая научная деятельность и международные контракты усилили роль Полярного секретариата в Потсдаме, но по экономическим причинам не завершились созданием национального полярного института в ГДР. Немецкие полярники все еще работали в разных институтах, в основном в Академии наук и Метеорологической службе ГДР.



Рис. 8. Станция имени Георга Форстера (ГДР). Фото Гернандт

**Этап 6. Объединенные и международно-интегрированные германские полярные исследования с 1990 г.** Основное внимание ГДР было направлено на наземные проекты в основном в области геофизики в широком смысле, что являлось существенным дополнением к морским полярным исследованиям Западной Германии. Поэтому ГДР и ФРГ довольно легко объединили полярные исследования. Большинство полярных исследователей ГДР присоединились к АВИ в 1991 г. В Потсдаме был создан исследовательский отдел АВИ, ориентированный на перигляциальные исследования, физику и химию атмосферы. Геологи получили работу в Федеральном институте геологии и природных ресурсов в Ганновере. По финансовым причинам АВИ пришлось прекратить работу и демонтировать станцию Георга Форстера. Результаты многопрофильного исследования оазиса Ширмахера были опубликованы в двухтомном издании (Vorman, Fritzsche, 1995). Программа исследований ионосферы и некоторые другие мероприятия, проводимые на станции Георга Форстера, продолжились на станции Неймайера.

Впоследствии антарктические станции устанавливались для временного или только летнего использования на шельфовом леднике Фильхнера (для изучения геодезии и гляциологии), на Ватерлоо (биология мелководья) и во внутренней части Земли Королевы Мод (для бурения льда). Широкое использование в арктических областях получили вертолеты, базировавшиеся на “Полярштерне”. Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера также использует два самолета для проведения атмосферных, гляциологических и геодезических наблюдений.

**Российско-германское сотрудничество в Арктике с 1990 г.** В 1987 году М.С.Горбачев во время известного выступления в Мурманске предложил северным соседям научное сотрудничество. Незамедлительно АВИ и ГЕОМАР устремились к развитию прямых двусторонних связей с институтами СССР, в первую очередь с Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (ААНИИ), Зоологическим институтом АН СССР, Ленинградским государственным университетом, а также с Мурманским морским биологическим институтом (ММБИ) и Полярным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО). В августе 1990 г. был основан Международный арктический научный комитет (IASC), в который Советский Союз вошел как один из сильных партнеров. Советские ученые побывали в немецких институтах в Бремерхафене и Киле, а также приняли участие в арктических экспедициях на “Полярштерне”. В то же время российские партнеры помогали своим немецким коллегам получить разрешение на работу в сибирских водах. Это стало возможным благодаря включению морских и полярных исследований в правительственное соглашение по научному и техническому сотрудничеству между Российской Федерацией и Германией. В итоге “Полярштерн” был допущен к исследованиям в российской исключительной экономической зоне в восточной части моря Лаптевых в 1993 г. Это стало важной вехой в долгой и успешной серии совместных мероприятий российских и немецких ученых. Проекты включали работы на борту исследовательского судна “Полярштерн” и на борту российских судов, иногда сопровождаемых атомными ледоколами. С точки зрения морских наук, АВИ и “Полярштерн” сосредоточились на изучении акватории открытого моря, часто покрытой льдом, в то время как основная активность ГЕОМАР приходилась на мелководные шельфовые моря. Институт полярной



экологии работал в обоих районах исследования, а также имел масштабную программу исследования польней у берегов Гренландии. Научно-исследовательское судно “Полярштерн” три раза достигло Северного полюса и трижды обошло Северный Ледовитый океан через Северо-Западный и Северо-Восточный проходы летом 2008 г.

Лаборатория полярных и морских исследований им. Отто Шмидта (OSL) при Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ААНИИ) в Санкт-Петербурге представляет собой постоянное совместное предприятие российских и немецких ученых, работающих в области седиментологии, биологии, геохимии полярных районов. При финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ и Министерства образования и исследований Германии лаборатория функционирует с 2000 г., являясь центральной базой сотрудничества обеих стран. Основной целью хорошо оборудованных современных лабораторий является подготовка молодых ученых российскими и немецкими профессорами и консультантами. Магистры, научные сотрудники, постдокторанты из 280 научно-исследовательских подразделений Российской Федерации принимали участие в программах Лаборатории полярных и морских исследований им. Отто Шмидта. ААНИИ, АВИ и ГЕОМАР совместно выполняют исследовательские программы Лаборатории.

Магистерская программа “ПОМОР” (POMOR) предлагает новый интересный подход при обучении студентов экологических специальностей двух стран в области изучения морских полярных районов. Она проводится совместно Санкт-Петербургским государственным университетом и различными университетами Северной Германии, а также АВИ, ГЕОМАР и Институтом исследований Балтийского моря Варнемюнде (IOW). Лаборатория им. Отто Шмидта также принимает участие в программе “ПОМОР” и способствует практической подготовке в области научно-исследовательской работы. За последние девять лет “ПОМОР” успешно окончили 62 студента.

“Российско-германское сотрудничество в области исследований окружающей среды Арктики” – название недавней публикации Е.И.Поляковой с соавторами (Russian-German ..., 2011). Работы по проекту в море Лаптевых и другие мероприятия российских и немецких команд отражены в нескольких книгах на английском и русском языках (Land-Ocean ..., 1999; Система ..., 2009 и др.). Совместные лимногеологические исследования и исследования вечной мерзлоты для анализа палеоклимата Сибири имеют давнюю историю, в которую ученые ГДР также внесли свой вклад. Потсдамский филиал АВИ координирует различные немецкие исследования в этих областях. С 1998 года немецкие команды ученых для работы используют станцию “Самойлов” в дельте Лены.

**Тенденции развития полярной морской биологии в Германии.** Данный сборник посвящен последним работам ММБИ в области биологии Баренцева моря и прилегающих вод. Таким образом, этот подраздел дает общее представление об основных направлениях полярных морских биологических исследований в Германии. Цитируемая литература является просто выборочными примерами соответствующих последних изданий. Более подробная информация по немецкой деятельности в области полярной морской биологии изложена в обзорных статьях (Nempel, Nempel, 1995, 2009; Faszination ..., 2006). О дальнейших планах в этой области также можно прочитать в статье К.Лохте и С.Хайна в настоящем сборнике.

Период немецких исследований по биологии моря до Первой мировой войны (этапы 1 и 2) включал в основном исследования в области систематики, морфологии и биогеографии морских организмов. Ранние описания диатомовых водорослей в морском льду, составленные Эренбергом и Гукером, датируются 1840-ми гг. (Werner et al., 2009). Работы Виктора Гензена и Карла Куна во время экспедиции по изучению планктона на научно-исследовательском судне “Национал” (1889 г.) и глубоководной экспедиции на “Вальдивии” (1898–1899 гг.) определили структуру, курс и направления развития морской биологии в Германии на десятилетия вперед. В. Гензен отбирал пробы планктона на 100 станциях между Гренландией и устьем Амазонки, отмечая на карте продуктивность Атлантического океана. Ганс Ломан и его студенты проводили анализ проб планктона из антарктической экспедиции фон Дригальского (1901–1903 гг.). Они впервые обнаружили нанопланктон в оболочках аппендикулярий. При этом экспедиция Дригальского в Южном океане практически не собрала образцов бентоса.

В период между войнами (этап 3) в ходе работ на борту “Метеора” в южной части трансатлантического разреза ученые обнаружили представителей полярного планктона, которые в совокупности с данными о биогенах дополнили общую картину распределения планктона в южной части Атлантики, описанную Эрнстом Хенчелом. В экспедиции “Швабенланд” в 1938–1939 гг. в море Лазарева изучался фитопланктон и криль, но публикаций в военные и послевоенные годы было сравнительно мало. То же самое относится и к экспедициям китобойного промысла в довоенные и послевоенные годы.

В 1930-е годы немецкие ихтиологи работали в Баренцевом море. В течение первых трех десятилетий после Второй мировой войны (этап 4) исследования

в области биологии и океанографии в арктических и субарктических водах Гренландии, Исландии и Северной Норвегии были прямо или косвенно связаны с рыбой и рыболовством. Исследования первичной продуктивности, биомассы фитопланктона и баланса биоенов были на повестке дня биологической океанографии в целом. Они медленно продвигались к полярным водам обоих полушарий. Для Антарктики оценки продуктивности криля и его потенциальной урожайности основывались на данных о первичной продукции и предполагаемом потреблении криля китами еще до начала китобойного промысла (Nempel, 1971).

Как уже упоминалось выше, всего несколько западногерманских морских биологов принимали участие в китобойных антарктических экспедициях в начале 1950-х гг., а затем в рейсах исследовательского судна “Элтанин” для изучения первичной продуктивности. Наконец, в 1975 г. в центре внимания оказывается экология Южного океана. Западногерманские научно-промысловые рейсы, упомянутые выше, были использованы для разнообразных биологических и океанографических исследований. Ученые из Федерального института морского рыбного хозяйства и студенты Института морских наук участвовали в исследованиях ихтиофауны, криля и другого зоопланктона, а также в океанографических съемках (Antarctic ..., 1988). Районами исследования были море Скотта, пролив Брансфилд и северная часть моря Уэдделла. В дополнение к крупному промышленному разноглубинному тралу для исследования распределения биомассы, размерного состава и плодовитости криля применялся прямоугольный разноглубинный трал (RMT) (Siegel, 1986). Поведение, миграции и питание криля в естественной среде и лабораторных экспериментах были в сфере наблюдений У. Килса (Kils, 1981). На базе масштабных донных тралений была составлена

комплексная картина размеров и возрастной структуры нетронутых запасов демерсальной ихтиофауны, которые вскоре стали эксплуатироваться удаленными рыболовными флотами, особенно флотом СССР (Коск, 1992).

Широко распространенный коммерческий интерес к антарктическому крилю и рыболовству подтолкнул ученых в США и других странах к разработке планов о проведении крупномасштабной “переписи” морских ресурсов Антарктики. Программа биологических исследований морских систем и запасов Антарктики (BIOMASS) в течение десяти лет координировала совместные усилия в теоретических и прикладных исследованиях по морской биологии в этом районе (Antarctic ..., 1988; Southern ..., 1994). Первый (FIBEX, 1980–1981 гг.) и второй (SIBEX, 1983–1985 гг.) международные этапы данного проекта были хорошо спланированными исследованиями, в которых использовалось несколько судов. Федеративная Республика Германии принимала активное участие в этой программе на своих исследовательских судах “Вальтер Хервиг” и “Метеор”. Также была проведена совместная англо-немецкая экспедиция на борту исследовательского судна “Джон Биско” в море Скотта в 1982 г. Крупномасштабные программы тех дней привлекли – по крайней мере временно – нескольких немецких океанографов и морских биологов и способствовали появлению нового поколения морских биологов в Германии.

Первый рейс НИЛ “Полярштерн” в 1983 г. в восточную часть моря Уэдделла и прилегающие воды, а затем в Гренландское море был прорывом в полном смысле этого слова. Он открыл ранее недоступные, покрытые льдом, части Южного и Северного Ледовитого океанов для исследователей биоты морских льдов, водных слоев и морского дна, а также полыней. С тех пор каждый год немецкое национальное судно посещало воды Арктики и Антарктики для проведения исследовательских работ по различным направлениям, в том числе морской биологии. Были охвачены все сезоны, включая зиму с мощным ледовым покровом и практически постоянной темнотой. Круглогодичный сбор данных и проб заякоренными приборами давал информацию о годовых циклах первичной продуктивности и седиментогенеза. Это были предшественники крупномасштабной комплексной обсерватории “Хаусгартен”, установленной в проливе Фрама (см.: К.Лохте и С.Хайн, наст. сборник).

Районами исследований в Южном океане были моря Уэдделла, Лазарева, Беллинсгаузена и Скотта с проливом Баренсфилд. В ряде зоогеографических и экологических работ были описаны распределение и состав макрозообентоса, зоо- и фитопланктона, а также рыб (Voß, 1988; Zooplankton ..., 1991; Hubold, 1992 и др.). Некоторые группы бентоса привлекли внимание ведущих систематиков и их учеников (Synopses ..., 1994). Различные адаптивные стратегии веслоногих ракообразных к резким сезонным изменениям пищевых ресурсов в полярных водах стали темой как для обширных круглогодичных полевых работ, так и для экспериментальных исследований и анализа циклов воспроизводства и энергетических запасов посредством изучения липидного состава (Winter ..., 1993; Schnack-Schiel, Hagen, 1994; Breaking ..., 1998; Hagen, Auel, 2001). Другие экофизиологические исследования были связаны с адаптацией рыб и беспозвоночных к температурам, близким к замерзанию (Pörtner, 2006).

Углеродный цикл и биологические ритмы во взаимосвязи с первичной продукцией изучались различными группами биогеохимиков, фитопланктологов и микробиологов (см.: Hempel, Hempel, 1995). Позднее эти исследования

привели к организации комплексной дополнительной программы в области экологии для изучения роли железа в продуктивности планктона (Bathmann, 2005; Smetacek, Naqvi, 2008 и др.). Эти эксперименты проводились для проверки гипотезы о лимитирующей роли железа в продуктивности фитопланктона в Южном океане. Окисление полярных поверхностных вод и его влияние на морские организмы является предметом продолжающихся экспериментов в лабораториях и мезокосмах во фьордах Шпицбергена. Из-за потенциального воздействия повышенной ультрафиолетовой радиации, вызванного озоновыми дырами, проводились исследования эффектов излучения ультрафиолета-В на макроводоросли, фито- и зоопланктон.

Гренландское море и пролив Фрама оставались основными районами в изучении биологии Арктики. Тем не менее, постройка исследовательского судна “Полярштерн” и разрешение на работу в Северном Ледовитом океане позволили расширить географию немецкой научно-исследовательской деятельности в большей части океана. Акцент был сделан на Западную Арктику и российские шельфовые моря, в частности на море Лаптевых. Большое количество исследований немецких морских биологов проводилось в Арктике также на российских, канадских и американских судах.

Морские биологические работы охватывали весь спектр: описание фауны и флоры планктонных и бентосных сообществ, синэкология, аутэкология, экофизиология и генетика ключевых видов. Особый научный интерес вызывало вертикальное и горизонтальное распределение зоопланктона в зависимости от стратификации водных масс и структуры систем течений, в частности, притока атлантических вод через пролив Фрама и Баренцево море. Программы отбора проб и последующий анализ сообществ позволили обнаружить градиенты в составе и численности планктона и бентоса, прежде всего, иглокожих и донных рыб, простирающиеся как от мелководного шельфа до материкового склона и далее до глубоких морских бассейнов, так и от пролива Фрама и Баренцева моря до Арктического бассейна Северного Ледовитого океана (Piepenburg, 2005; Hirche, Kosobokova, 2007). Подробный анализ сезонных изменений планктона был проведен в сочетании с биохимическими исследованиями липидного состава и антифризных свойств планктона и рыб (Hagen, Auel, 2001).

Станция “Кольдевей” (рис. 9) в Нью-Олесунне (Шпицберген) предоставила возможность для круглогодичного наблюдения за биотой Конгсфьорда и проведения сложных экспериментов по реакции полярных морских организмов на различные стрессы, вызванные окружающей средой. Лаборатория Даллманна на станции “Джубани” (о. Ватерлоо) вела аналогичные работы с фауной и макроводорослями Антарктики (Life ..., 2005). Северо-Восточная полынья у Гренландии была районом проведения совместных физических, химических и биологических исследований в 1991–1992 гг. Ее высокая продуктивность поддерживала существенное разнообразие пелагических и донных организмов, а также охоту и рыболовство эскимосов.

Работы, касающиеся бентоса, в обоих полушариях заметно продвинулись благодаря постоянному развитию фото- и видеокамер, установленных на дистанционно управляемых аппаратах (ROV) и других платформах. Они дали возможность систематического изучения донного разнообразия Антарктики (Greu, 1994). Особое внимание уделялось эрозионным эффектам айсбергов и реколонизации нарушенного морского дна (Gutt et al., 1996). Подобные направления про-

слеживаются в исследованиях и сегодня. Так изучается донная фауна участков, которые ранее были покрыты плавающим шельфовым ледником до откола крупных частей шельфового ледника Ларсена в 1995 и 2002 гг. Эволюция донной фауны Арктики и Антарктики все еще слабо изучена. В. Арнц и его немецкие и южноамериканские коллеги приложили дополнительные усилия к сравнению бентической фауны пролива Магеллана и фауны Шетландских островов (The Antarctic ..., 2005), в то время как А. Брандт с коллегами начали крупный проект по исследованию глубоководного бентоса Антарктики в рамках Переписи морской жизни (Brandt, Hilbig, 2004; First ..., 2007).



Рис. 9. Голубой дом станции “Колдевей” в Нью-Олесунне (Конгсфьорд). Архив АВИ

Полярные тюлени и птицы не были объектами внимания немецких исследований. Однако отдельные работы по нырянию (плаванию) и добыванию пищи антарктическими тюленями, пингвинами и поморниками были все же проведены (см.: Hempel, Hempel, 1995). Возобновление прежней дискуссии о восходящем и нисходящем контроле продуктивности экосистем произошло из-за появления “гипотезы китов” (Smetacek, 2008), которая утверждает, что уменьшение количества китов и прочих крупных хищников, включая рыб, влияет на снижение запасов криля: чем меньше китов, тем меньше фекалий как удобрения для роста водорослей и, следовательно, меньше фитопланктона как пищи для криля и веслоногих ракообразных.

Исследования по сравнению структуры морского льда Арктики и Антарктики послужили основой для обширной программы круглогодичных исследований распределения и истории жизни водорослей во льдах и в широком спектре микро-, мейо- и макрофауны внутри льда и в подледном пространстве, а также в слое между льдом и снежным покровом (Spindler, 1990; Schunemann, Werner, 2005; Living ..., 2008). Реакция на стресс, вызванный крайне низкой температурой и высокой соленостью в желобах с рассолом, стала темой для различных экспериментов. Значение морского льда для зимовки криля, в частности его личиночной стадии, было детально изучено погружениями аквалангистов и взаимосвязано с экспериментами по экофизиологии (Marschall, 1988; Smetacek et al., 1990; Meyer, 2012). Морской лед является “висячим садом” высокой первичной продуктивности и служит пастбищем и приютом для большинства гетеротрофов от бактерий и одноклеточных до беспозвоночных и рыб. Он играет ключевую роль в функционировании арктических и антарктических экосистем.

С конца 1980-х гг. немецкие морские биологи стремились понять возможные последствия любых долгосрочных изменений в структуре и сезонном распространении морского ледового покрова на полярные экосистемы Арктики и Антарктики (Smetacek, Nicol, 2005). Дистанционное зондирование, наблюдения *in situ* и математическое моделирование являются дополнительными инструментами в изучении морского льда, цветения у кромки льда и распределения фитопланктона в свободных от льда водах. Фактические, а что еще важнее, потенциальные последствия повышения температуры и поглощения океаном углекислого газа приводят к его окислению и в настоящее время являются основными мотивами для национального и международного финансирования проектов в области морской биологии, биологической океанографии и биогеохимии полярных регионов. Вопрос оценки и защиты морского биологического разнообразия стоит на втором месте. Правительство, однако, не уменьшает финансирование немецких ученых и дает достаточно средств для поддержания широкого спектра исследований в области морской биологии и смежных областях (Bathmann, 2011). Трансдисциплинарное мышление и междисциплинарное сотрудничество значительно усилилось, также возросло количество международных исследовательских проектов. На самом деле большинство рецензируемых публикаций немецких ученых в данных областях создано в соавторстве с зарубежными коллегами.

\* \*  
\*

Английское резюме статьи на немецком языке (Nempel, 2008) может служить краткой сводкой основных направлений прошлых и настоящих немецких полярных исследований, описанных в настоящем обзоре.

*“Планирование первой крупной немецкой арктической экспедиции 1870 г. строилось на ошибочном предположении о существовании свободного от льда прохода из Европы в Восточную Азию через Северный полюс. Суда застревали во льдах у Восточной Гренландии. Также ни Эрих фон Дригальский (1901–1903 гг.), ни Вильгельм Фильхнер (1912–1913 гг.) не смогли достичь Антарктиды, но их экспедиции внесли большой вклад в изучение океанографии и биологии Южного океана. Карл Вайпрехт провозгласил первый Международный полярный год. Германия приняла участие в геофизических наблюдениях в Восточной Гренландии и Южной Георгии. Наиболее важный вклад между Первой и Второй мировыми войнами внесли работы по геофизике Альфреда Вегенера на ледниках Гренландии.*

*С 1945 по 1990 годы полярные исследования в обеих частях разрозненной Германии развивались независимо, но все же по сходному сценарию. На протяжении около 30 лет исследования проводились в основном отдельными учеными, работающими по зарубежным приглашениям (главным образом США и СССР). Участие ФРГ в крупных совместных проектах, таких как программы EGIG I и EGIG II в Гренландии были ограничены. Команды ученых Восточной и Западной Германии в экспедициях на Шпицберген были разделены. В 1970-е годы правительственный интерес к участию в полярных исследованиях возрос в обеих частях Германии. Западная Германия приступила к полярным программам с акцентом на Южный океан и его ресурсы, включая геологические работы в районе Северной Земли Виктории, Восточной Антарктиде и гляциологические исследования в районе моря Узделла. Ученые ГДР осуществляли главным образом геодезические проекты на различных советских станциях в Антарктиде. В начале 1980-х гг.*

в ФРГ был создан Институт полярных исследований имени Альфреда Вегенера в Бремерхафене и построена зимовочная станция “Георг фон Неймайер” у северо-восточного входа в море Уэдделла, недалеко от станции имени Георга Форстера (ГДР) в оазисе Ширмахера. Научно-исследовательский ледокол “Полярштерн” предназначался для исследований в покрытых льдом морях и стал важной базой для международного сотрудничества в водах Арктики и Антарктики.

В 1990 году восточная и западная ветви немецких полярных исследований объединились в основном под крышей Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, который построил новые лаборатории в Потсдаме. С тех пор приоритетом стали исследования Сибири и сибирских вод. За последние 15 лет немецкие полярные исследования ведутся в основном вокруг влияния глобального изменения климата на полярные регионы и их экосистемы. Программа способствует развитию междисциплинарного и международного сотрудничества, а также развитию тесных связей между различными институтами Германии, занимающимися полярными исследованиями”.

Полтора века немецких полярных исследований были вызваны научным любопытством, а также политическими и коммерческими интересами. С первых исследований под иностранными флагами стала проследиваться последовательность политических парадигм. Во второй половине XX века центр внимания был направлен на живые и минеральные ресурсы Антарктики, а затем, с конца 1980-х гг., сместился на растущую обеспокоенность по поводу возможных последствий глобального изменения климата и утраты биологического разнообразия. В последние годы вновь возрос коммерческий интерес к Арктике, включая неживые ресурсы, рыб и судоходные пути. На историю полярных исследований всегда влияли политические настроения, которые в одних случаях способствовали исследованиям и международному сотрудничеству, в других случаях национальные интересы мешали свободе исследований.

С открытия первого Международного полярного года немецкие ученые выступали сторонниками в создании международной сети наблюдений и координировали исследования в обоих полярных регионах. Также существовал интерес в двустороннем сотрудничестве с Советским Союзом, что доказывают долгосрочные отношения советских и российских полярных исследователей в Антарктиде с ГДР. Последние 20 лет немецкие полярные научно-исследовательские институты, занимающиеся изучением Арктики, тесно сотрудничают с российскими полярными научно-исследовательскими учреждениями Санкт-Петербурга и Мурманска.

## Л и т е р а т у р а

*Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики. Современное состояние и история развития / Отв. ред. Х.Кассенс, А.П.Лисицын, Й.Тиде и др. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 608 с.*

*Antarctic Ocean and resources variability / D.Sahrhage (Ed.). Heidelberg: Springer, 1988. 304 p.*

*Bathmann U. Ecological and biogeochemical response of Antarctic ecosystem to iron fertilization and implications on global carbon cycle // Ocean Polar Res. 2005. V. 27. P. 231–235.*

*Bathmann U. Biosciences at the Alfred Wegener Institute – Polar ecosystems in a changing climate. Bremerhaven: AWI, 2011. 48 p.*

- Brandt A., Hilbig B.* ANDEEP (Antarctic Deep-Sea Biodiversity): Colonisation history and recent community patterns // *Deep-Sea Res.* 2004. V. 51. P. 1457–1491.
- Breaking the ice: large-scale distribution of mesozooplankton after a decade of Arctic and transpolar cruises / N.Mumm, H.Auel, H.Hanssen et al.* // *Polar Biol.* 1998. V. 20. P. 189–197.
- Brey T.* Antarctic benthic diversity // *Nature.* 1994. V. 368. P. 297.
- Bormann P., Fritzsche D.* The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica and its surroundings. Gotha: Justus Perthes, 1995. V. 2. 448 p.
- Drygalski E.* The southern ice-continent: The German South Polar Expedition aboard the Gauss, 1901–1903. Bluntisham, Alburgh: Bluntisham Books and the Erskine Press, 1989. 373 p.
- Ecological studies of the Antarctic sea ice zone / W.E.Arntz, A.Clarke (Eds.).* Berlin, Heidelberg: Springer, 2002. 277 p.
- Faszination Meeresforschung: Ein ökologisches Lesebuch / G.Hempel, I.Hempel, S.Schiel (Eds.).* Bremen: Hauschild, 2006. 462 s.
- First insights into the biodiversity and biogeography of the Southern Ocean deep sea / A.Brandt et al.* // *Nature.* 2007. V. 447. P. 307–311.
- Fleischmann K.* Zu den Kältepolen der Erde. Bielefeld: Delius Klasing, 2005. 344 s.
- Gutt J., Starmans A., Dieckmann G.* Impact of iceberg scouring on polar benthic habitats // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1996. V. 137. P. 311–316.
- Hagen W., Auel H.* Seasonal adaptations and the role of lipids in oceanic zooplankton // *Zoology.* 2001. V. 104. P. 313–326.
- Hempel G.* Antarctic // *The fish resources of the World Ocean.* West Byfleet: Fishing News (Books) Ltd, 1971. P. 161–168.
- Hempel G.* Bremen–Bremerhaven – ein Zentrum der Meeresforschung // *Jahrbuch 2001–2002 der Wittheit zu Bremen.* 2002. S. 9–20.
- Hempel G.* Antarctic marine biology – two centuries of research // *Antarct. Sci.* 2007. V. 19. P. 195–203.
- Hempel G.* Der Fluss der deutschen Polarforschung // *Meer und Museum.* 2008. V. 20. S. 35–47.
- Hempel G., Hempel I.* Biological studies in Polar Oceans. Bremerhaven: NW Verlag, 2009. 352 p.
- Hempel I., Hempel G.* Biologie der Polarmeere. Jena: Fischer, 1995. 366 s.
- Hirche H.J., Kosobokova K.N.* Distribution of *Calanus finmarchicus* in the Northern North Atlantic and Arctic Ocean – expatriation and potential colonisation // *Deep-Sea Res.* 2007. V. 54. P. 2729–2747.
- Hubold G.* Ecology of Weddell Sea fishes // *Rep. Polar Res.* 1992. V. 103. P. 1–157.
- Kils U.* Swimming behaviour, swimming performance and energy balance of Antarctic krill *Euphausia superba* // *BIOMASS Sci.* 1981. Ser. 3. P. 1–233.
- Kock K.H.* Antarctic fish and fisheries. Cambridge: Cambridge University Press, 1992. 359 p.
- Land-ocean systems in the Siberian Arctic. Dynamics and History / H.Kassens, H.A.Bauch, I.A.Dmitrenko, H.Eicken, H.W.Hubbertain, M.Melles, J.Thiede, I.A.Timokhov (Eds.).* Berlin: Springer, 1999. 711 p.
- Lange G.* Sonne, Sturm und weiße Finsternis – die Chronik der ostdeutschen Antarktisforschung. Hamburg: Ernst Kabel, 1996. 296 s.
- Lange G.* Eiskalte Entdeckungen – Forschungsreisen zwischen Nord- und Südpol. Bielefeld: Delius Klasing, 2001. 350 s.
- Life strategy, ecophysiology and ecology of seaweeds in polar waters / C.Wiencke, M.N.Clayton, I.Gomez et al.* // *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.* 2005. V. 6. P. 141–166.



*Living conditions, abundance and composition of the metazoan fauna in surface and sub-ice layers in pack ice of the Western Weddell Sea during late spring / R.Kiko, J.Michels, E.Misdalski et al. // Deep-Sea Res. 2008. V. 55. P. 1000–1014.*

*Marschall H.P. The overwintering strategy of Antarctic krill under the pack ice of the Weddell Sea // Polar Biol. 1988. P. 129–135.*

*Meyer B. The overwintering of Antarctic krill *Euphausia superba* from an eco-physiological perspective – A review // Polar Biol. 2012. V. 35(1). P. 15–37.*

*Piepenburg D. Recent research on Arctic benthos: common notions need to be revised // Polar Biol. 2005. V. 28. P. 733–755.*

*Polarstern – 25 Jahre Forschung in Arktis und Antarktis / D.Fütterer, E.Fahrback (Eds.). Bielefeld: Delius Klasing, 2008. 294 s.*

*Pörtner H.O. Climate dependent evolution of Antarctic ectotherms: an integrative analysis // Deep Sea Res. 2006. V. 53. P. 1071–1104.*

*Reinke-Kunze C. Aufbruch in die weiße Wildnis – die Geschichte der deutschen Polarforschung. Hamburg: Ernst Kabel, 1992. 480 s.*

*Russian-German collaboration in the arctic environmental research / Y.I.Polyakova, H.Kassens, J.Thiede et al. // Geography. Environment. Sustainability. 2011. V. 4(3). P. 85–113.*

*Schnack-Schiel S.B., Hagen W. Life cycle strategies and seasonal variations in distribution and population structure of four dominant calanoid copepod species in the Eastern Weddell Sea, Antarctica // J. Plankton Res. 1994. V. 16. P. 1543–1566.*

*Schunemann H., Werner I. Seasonal variations in distribution patterns of sympagic meiofauna in Arctic pack ice // Mar. Biol. 2005. V. 146. P. 1091–1102.*

*Siegel V. Untersuchungen zur Biologie des antarktischen Krill *Euphausia superba* im Bereich der Bransfield Strasse und angrenzender Gebiete // Mitt. Inst. Seefisch Hamburg. 1986. V. 38. S. 1–244.*

*Smetacek V. Are declining Antarctic krill stocks a result of global warming or of the decimation of whales? // Impacts of global warming on polar ecosystems. Barcelona: Fundacion BBVA, 2008. P. 45–81.*

*Smetacek V., Nicol S. Polar ocean ecosystems in a changing world // Nature. 2005. V. 437(7057). P. 362–368.*

*Smetacek V., Naqvi S.W.A. The next generation of iron fertilization experiments in the Southern Ocean // Phil. Trans. R. Soc. A. 2008. V. 366. P. 3947–3967.*

*Smetacek V.R., Scharek R., Noethig E.M. Seasonal and regional variations in the pelagic and its relationship to the life history cycle of krill // Antarctic Ecosystems. Heidelberg: Springer, 1990. P. 1034–1114.*

*Southern Ocean ecology: The BIOMASS perspective / S.Z.E.El-Sayed (Ed.). Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 399 p.*

*Spindler M. A comparison of Arctic and Antarctic sea ice and the effects of different properties on sea ice biota // Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic. Leiden: Kluwer Academic Publ., 1990. P. 173–186.*

*Synopses of the Antarctic benthos / J.W.Wägele, J.Sieg (Eds.). Koenigstein: Koeltz Sci. Books, 1994. 155 p.*

*The Antarctic – Magellan connection: macrobenthos ecology on the shelf and upper slope, a progress report / W.E.Arnitz, S.Thatje, D.Gerdes et al. // Sci Mar. 2005. V. 69(2). P. 237–269.*

*Voß J. Zoogeographie und Gemeinschaftsanalyse des Makrozoobenthos des Weddellmeeres (Antarktis) // Berichte zur Polarforschung. 1988. V. 45. 145 s.*

*Weddell Sea ecology. Results of EPOS European “Polarstern” study / G.Hempel (Ed.). Heidelberg: Springer, 1993. 333 p.*

*Werner I., Kiko R., Meiners K. Sea ice communities – life in a freezer // Biological studies in Polar Oceans. Bremerhaven: NW Verlag, 2009. P. 55–61.*

*Winter distribution and overwintering strategies of the Antarctic copepod species Calanoides acutus, Rhincalanus gigas and Calanus propinquus (Crustacea, Calanoida) in the Weddell Sea / U.V.Bathmann, R.R.Makarov, V.A.Spiridonov, G.Rohardt // Polar Biol. 1993. V. 13. P. 333–346.*

*Zooplankton biomass in the ice-covered Weddell Sea, Antarctica / E.Boysen-Ennen, W.Hagen, G.Hubold, U.Piatkowski // Mar. Biol. 1991. V. 111. P. 227–235.*

УДК 574.5

**Г.Г.Матишов<sup>1</sup>, Д.Г.Матишов<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Институт аридных зон ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МОРСКИХ ЭКОСИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ МУРМАНСКОГО МОРСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В АРКТИКЕ**

### **Аннотация**

Представлены основные направления исследований ММБИ, а также список публикаций по материалам совместных рейсов с Институтом полярных и морских исследований имени Альфреда Вегенера в международных журналах за последние 15 лет. Статья может рассматриваться как введение и резюме статей российских авторов, собранных в данном сборнике.

**G.G.Matishov, D.G.Matishov**

## **MAIN PROBLEMS OF ARCTIC MARINE ECOSYSTEM STUDIES OF MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE**

### **Abstract**

The present review paper characterises the main research directions of the Murmansk Marine Biological Institute and introduces a detailed list of MMBI references in international journals for the last 15 years. The paper can be considered as an introduction and a summary of the Russian contributions collected in this issue.

Мурманский морской биологический институт со дня своего основания в 1935 г. приступил к комплексным исследованиям среды и биоты Баренцева моря, побережья полярных архипелагов Западной Арктики. Морские экспериментальные работы Института были сосредоточены в губе Дальнезеленецкая в 200 км к востоку от Кольского залива (Scientific ..., 1937). С 1990 года основная часть института с морской аквариальной, океанариумом и научным флотом (НИС “Дальние Зеленцы” и НТС “Помор”) находится в Мурманске.

Мурманский морской биологический институт регулярно проводит экосистемный мониторинг акватории от Гренландии до моря Лаптевых, но в фокусе исследований – Баренцево и Карское моря (рис. 1). Приоритетом являются зимние съемки по трассе Севморпути, выполняемые на атомных ледоколах. Их количество уже более 40. За 20 лет собрана уникальная информация о жизни полярной фауны и флоры в зимний и весенний периоды. Сотрудники участвовали во многих рейсах на “Полярштерне”, “Аранде”, “Ян-Майене” и других научных судах иностранных институтов.

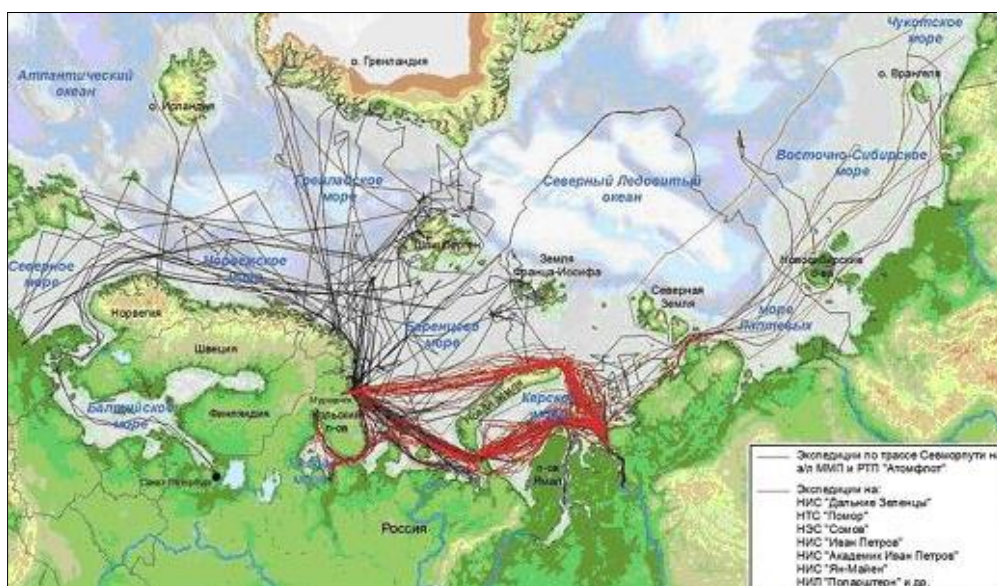


Рис. 1. Экосистемный мониторинг морей Арктики (2000–2010 гг.)

Особое место в сотрудничестве с Институтом полярных и морских исследований им. А.Вегенера занимают экспедиции на судне “Полярштерн” в 1991–2004 гг.:

Район	Участники от ММБИ	Начальник рейса
Арктический океан, Баренцево и Гренландское моря	ARK-VIII/2–1991 Д.Матишов, В.Петров, Н.Чернова, В.Рыжов, А.Шабан, С.Тимофеев	А.Рахор (E.Rachor)
	ARK-VIII/3–1991	
Арктический океан	Г.Тарасов	Д.Фюттерер (D.Fütterer)
Арктический океан, море Лаптевых	ARK-IX/4–1993 С.Тимофеев, Г.Ильин, Н.Дружков	Д.Фюттерер (D.Fütterer)
	ARK-XI/1–1995	
Море Лаптевых	С.Тимофеев, М.Митяев Н.Анисимова	А.Рахор (E.Rachor)
	ARK-XIII/2–1997	
Плато Ермака	С.Денисенко, М.Митяев	Р.Штайн (R.Stein)
Арктический океан	ARK-XIV/1–1998 Н.Кукина	В.Йокат (W.Jokat)
	ARK-XV/2–1999	
Арктический океан, пролив Фрама	Н.Кукина	В.Йокат (W.Jokat)
	ARK-XVI/1,2–2000	
Северные моря	Н.Кукина, В.Ларионов	Г.Краузе (G.Krause)
	ARK-XIX/1,2–2003	
Арктический океан, Северное и Баренцево моря	Н.Кукина	У.Шауер (U.Schauer, Г.Каттнер (G.Kattner)
	ARK-XIX/3–2003	
Северные моря, Атлантический океан	Н.Кукина	М.Клагес (M.Klages)
	ARK-XX/3–2004	
Плато Ермака, пролив Фрама	Н.Кукина, Ю.Янина	Р.Штайн (R.Stein).

В морях Лаптевых, Карском, Баренцевом, Гренландском и других собран био-океанографический материал, анализ которого изложен в совместных трудах:

*Biomass of large foraminifera in the St. Anna trough* / S.Korsun, M.Hald, N.Panteleeva, M.Gerasimova // *Berichte zur Polarforschung: Modern and late quaternary depositional environment of the St. Anna trough area, northern Kara Sea*. 1999. V. 342. P. 77–93.

*Clay-mineral distributions in surface sediments from the Central Arctic Ocean and the Eurasian continental margin as indicator for source areas and transport pathway: A synthesis* / M.Wahsner, C.Müller, R.Stein, G.Ivanov, M.Levitan, E.Shelekhova, G.Tarasov // *Boreas*. 1999. V. 28. P. 215–233.

*Current state of zoobenthos in two estuarine bays of the Barents and Kara Seas* / S.Denisenko, H.Sandler, N.Denisenko, E.Rachor // *ICES J. Mar. Sci.* 1999. V. 56 (Suppl.). P. 187–193.

*Fransz H.G., Hirche H.-J., Timofeev S.F. Zooplankton around Svalbard* // *European week for scientific culture 1994: Polar research – still a challenge*. Bremerhaven: AWI, 1994. P. 10–11.

*Geological sampling* / H.C.Hass, D.Birgel, C.Didie, M.Forwick, N.Gussone, N.Kukina, N.Lensch, M.Pirring // *Berichte zur Polarforschung*. 2000. V. 368. P. 40–45.

*Hanssen H., Timofeev S. Distribution of zooplankton and community structure* // *Berichte zur Polarforschung*. 1994. № 149. P. 84–90.

*High-resolution reconstructions of Holocene warm water inflow into the Eastern Arctic Ocean* / D.Birgel, J.Matthiessen, S.Daschner, C.Kierdorf, N.Kukina, U.Langrock, J.Vernaleken // *Berichte zur Polarforschung*. 2001. № 389. P. 26.

*Khusid T.A., Korsun S.A. Modern benthic foraminiferal assemblages in the Kara Sea* // *Berichte zur Polarforschung: Reports on polar research*. 1996. V. 212. P. 308–315.

*Lithostratigraphy* / R.Stein, N.Kukina, J.Matthiessen, C.Muller, N.Norgaard-Petersen, R.Usbeck // *Berichte zur Polarforschung: Arctic'98: The Expedition ARK-XIV/1a of RV "Polarstern"*. 1999. V. 308. P. 60–74.

*Lubin P., Eckert C. Macrofauna of the Yenisei and inner Kara Sea* // *Berichte zur Polarforschung: Scientific cruise report of the Kara Sea expedition "SIRRO 2000" of RV "Akademik Boris Petrov" and first results*. 2001. V. 393. P. 72–75.

*Marine geological investigations* / R.Stein, S.Drachev, K.Fahl, J.Herter, H.Kassens, N.Kukina, J.Matthiessen, C.Muller, E.Musatov et al. // *Berichte zur Polarforschung: Arctic'98: The Expedition ARK-XIV/1a of RV "Polarstern"*. 1999. V. 308. P. 30–32.

*Marine Geology* / H.C.Hass, D.Birgel, C.Didie, M.Forwick, N.Gussone, N.Kukina, N.Lensch, M.Pirring // *Berichte zur Polarforschung*. 2000. V. 368. P. 27–29.

*Material fluxes from the Russian rivers Ob and Yenisey* / J.Carroll, V.Savinov, G.Christensen, P.Blakely, L.Pettersen, K.Sørensen, B.Kjelstad, H.Köhler, A.Spitszy, D.Hessen // *Berichte zur Polarforschung: Interactions with climate and effects on arctic seas (MAREAS)*. 2004. V. 479. P. 103–117.

*Past, modern and future state of the Pechora Sea* / H.A.Bauch, Yu.A.Pavlidis, E.I.Polyakova, G.G.Matishov, N.Koç // *Berichte zur Polarforschung*. 2005. V. 501. P. 1–6.

*Pechora Sea environments: Past, present and future* / H.A.Bauch, Y.A.Pavlidis, Y.I.Polyakova, G.G.Matishov, N.Koc (Eds.) // *Berichte zur Polarforschung*. 2005. V. 501. 247 p.

*Peculiarities of modern sedimentation in the north-east Barents Sea and south-west Kara Sea* / G.A.Tarasov, R.Stein, M.Wahsner, D.Nürnberg, M.V.Mityaev, N.A.Kukina // *Berichte zur Polarforschung: Reports on polar research*. 1998. V. 287. P. 55–69.

*Rachor E., Denisenko S. Macrofauna: Quantitative assessment* // *Berichte zur Polarforschung*. 1997. V. 255. P. 67–77.

*Sampling program* / J.Matthiessen, D.Birgel, S.Daschner, C.Kierdorf, N.Kukina, U.Langrock, J.Vernaleken // *Berichte zur Polarforschung*. 2001. V. 389. P. 20.

*Sea floor sediment sampling and description* / K.Fahl, J.Herter, H.Kassens, N.Kukina, J.Matthiessen, C.Muller, E.Musatov et al. // *Berichte zur Polarforschung: Arctic'98: The expedition ARK-XIV/1a of RV "Polarstern"*. 1999. V. 308. P. 47–49.

*Sedimentological investigations in the outer estuaries of the rivers Ob and Yenisey* / J.Matthiessen, B.Boucein, B.Raun, B.Finkenberger, S.Korsun, C.Muller, K.Neumann, F.Schoster, M.Siebold // *Berichte zur Polarforschung: Scientific cruise report of the Kara Sea expedition of RV "Akademik Boris Petrov" in 1997*. 1998. V. 266. P. 40–42.

*Subbottom profiling using PARASOUND* / H.C.Hass, D.Birgel, C.Didie, M.Forwick, N.Gussone, N.Kukina, M.Pirrung // *Berichte zur Polarforschung*. 2000. V. 368. P. 29–39.

*The bottom sediments* / G.Tarasov, D.Nürnberg, E.Groth, N.Khasankaev // *Reports on the international multi-disciplinary cruise to high-latitude archipelagoes of the Barents Sea (Frantz Josef Land and Novaya Zemlya, August–September, 1992 (RV "Dalnie Zelentsy", cruise № 68): Prepr. Apatity, 1993*. P. 22–26.

*The late pleistocene history of the Pechora Sea* / G.A.Tarasov, I.A.Pogodina, G.G.Matishov, H.A.Bauch, N.A.Kukina // *Berichte zur Polarforschung*. 2005. V. 501. P. 167–176.

*Wahsner M., Ivanov G., Tarasov G. Marine Geological investigation of surface sediments in the Franz Josef Land area and the St. Anna trough* // *Berichte zur Polarforschung*. 1996. V. 212. P. 35–49.

*Winter expedition to the southern Kara Sea – investigations on formation and transport of turbid Sea-Ice* / D.Detheleff, P.Loewe, D.Weiel, H.Nies, G.Kuhlmann, C.Bahe, G.Tarasov // *Berichte zur Polarforschung*. 1998. V. 271. 40 p.

На основе полученных экосистемных знаний в 1991 г. впервые представлен комплексный подход к проблеме Баренцева моря (Barents ..., 1991; Ecology ..., 1992). Как и многие крупные морские институты, мы имеем полный арсенал средств и технологий для изучения больших морских экосистем (БМЭ – LME).

Крайне важно разместить по ранжиру основные силы воздействия на экосистемы и биоресурсы (рис. 2): от климата, добычи рыбы до аквакультуры и социэкономии. Это специальная задача, над которой постоянно работают ученые ММБИ.



Рис. 2. Факторы воздействия на морские экосистемы и биоресурсы

**Климат и океанология.** Климат – определяющий фактор. Для понимания его динамики производились реконструкции палеоклимата. Еще относительно недавно (18–20 тыс. лет назад) Северная Атлантика, Арктика, Баренцево море были заполнены глыбами материкового льда, что соответствует нынешнему состоянию Антарктиды. Для того чтобы растаял древний Скандинавский ледник понадобилось 5 тыс. лет (Postglacial ..., 1999, 2000; Radiocarbon ..., 2000; History ..., 2010). В первых отчетах о наблюдениях за льдами Арктики вдоль русского побережья в XV веке не было никаких указаний на быстрое таяние ледников в крупных масштабах. По нашим наблюдениям и реализованным исследованиям последних десятилетий, нет никаких оснований полагать, что льды могут резко отступить к полюсу. Мы считаем, что необходимо расширение комплексных исследований. Само собой разумеется, что льды Антарктики следует также принимать во внимание при разработке любой климатической модели или сценария. Мы еще недостаточно знаем о динамике антарктического ледникового щита, где сконцентрирована основная масса мировых запасов льда, что также является источником антарктической нижней воды во многих глубинных недрах.

В плейстоцене в периоды дегляциации при таянии ледниковых щитов Скандинавии, Гренландии, Исландии, Канады зарождались мутьевые потоки, которые густой сетью растекались под водой на абиссальных равнинах. За пределами гляциальных шельфов развивался океанический перигляциал (Матишов, 1984; Matishov, 1999). Для современных арктических шельфов характерен морской перигляциал (рис. 3). Прямо или косвенно перигляциальные процессы оказывают воздействие на эволюцию экосистем.

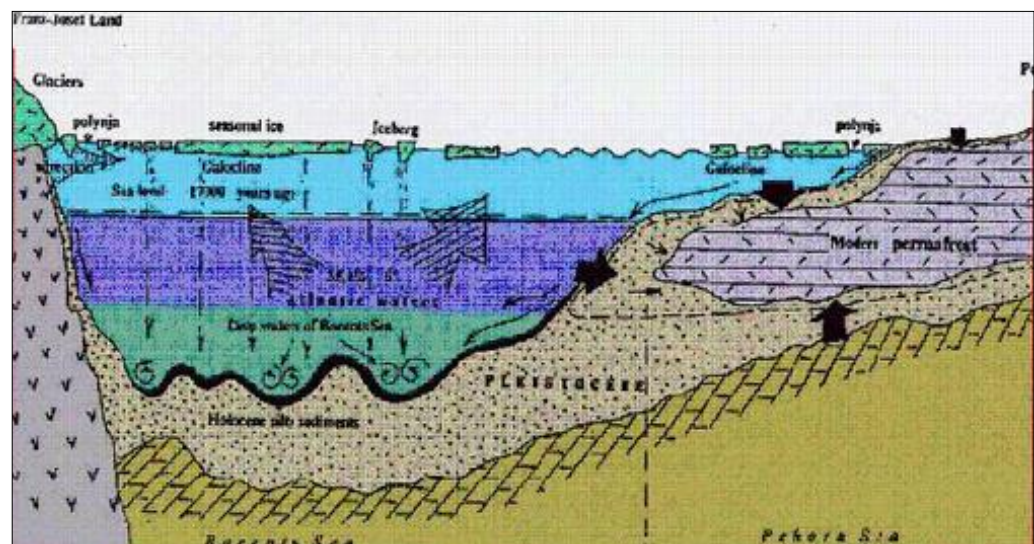


Рис. 3. Современный морской перигляциал в Баренцевом море

Степень изученности Арктики такова, что чем больше мы узнаем, тем больше вопросов и условностей. Термохалинный режим Баренцева моря, как по квадратам акватории, так и по месяцам, изучен неравномерно, а на севере – очень слабо. Вместе с тем, все требуют достоверные прогнозы погоды и климата, модели циркуляции и гидродинамики морских бассейнов.

Для решения этой задачи вместе с американским Агентством по атмосфере и океану (NOAA) уже двадцать лет создается электронный архив климата. В нашей базе данных по арктическим морям накоплено около 1 млн измерений температуры (T) и солёности (S) за 150 лет (Climatic ..., 1998, 2004; Biological ..., 2000a).

Для климата Арктики характерна внутривековая цикличность с периодом 30 лет (рис. 4). Раз в 30 лет замерзает Кольский залив (Smolyar, Adrov, 2003; Varents ..., 2009; Matishov et al., 2009). Важную роль в развитии морских экосистем Арктики играет адвекция атлантических вод Гольфстрима (рисунки 3, 4). Данное явление наглядно прослеживается на вековом разрезе “Кольский меридиан” (рисунки 4, 5).

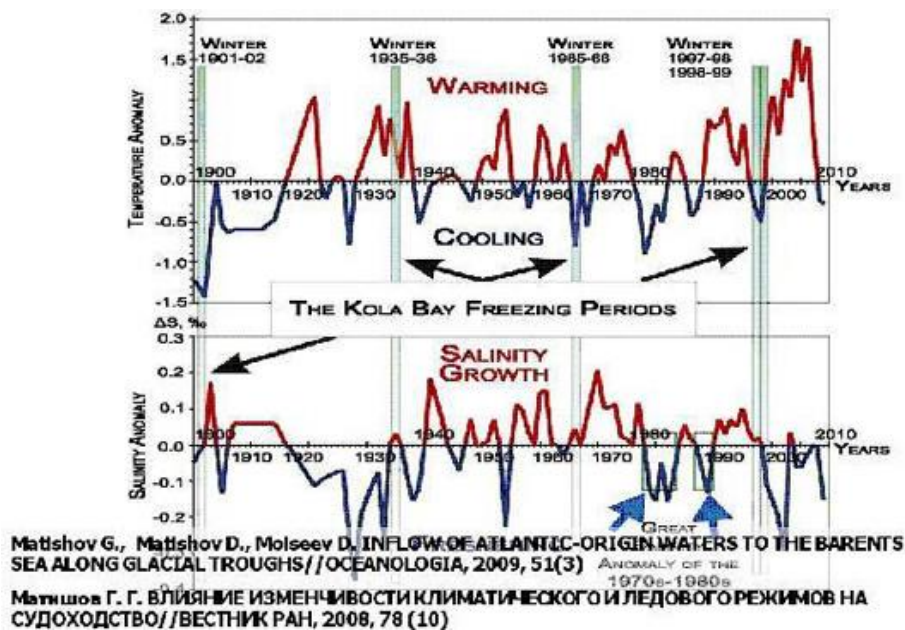


Рис. 4. Внутривековая цикличность климата

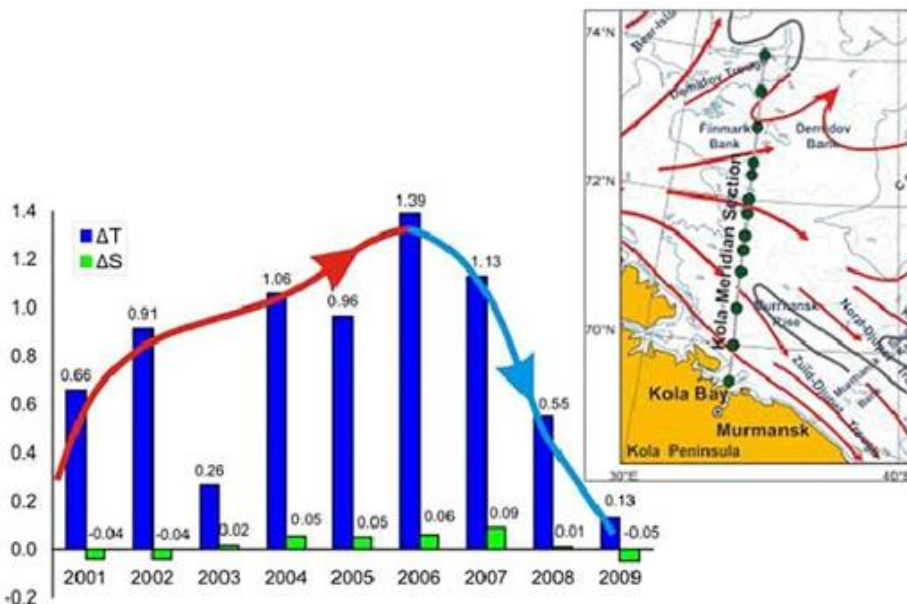


Рис. 5. Возвращение к нормальным (средним долгосрочным) климатическим условиям в 2007–2009 гг. Термохалинные аномалии на разрезе “Кольский меридиан” (слой 0–200 м) летом 2001–2009 гг.

В начале XXI века, как и в 1930-е годы, в Арктике наблюдалось потепление. Оно обусловлено мощной адвекцией тепла из Атлантики. Это породило разговоры о скором таянии арктических льдов. Однако начиная с 2007 г. климатический вектор изменился (рис. 5).

Термохалинная картина приобрела характеристики нормального года. Далее вероятен очередной цикл холодных лет. Положение, границы дрейфующих морских льдов – важный признак динамики климата. В 2009–2011 годах кромка льда и ледовитость (площадь замерзания) Баренцева моря вернулись в обычное местоположение с тенденцией к разрастанию.

Для сравнения отметим, что зимы начала XXI века в регионе Азовского, Черного и Каспийского морей были холодными. Климат развивался в противофазе с потеплением Баренцева моря. Январь 2006 г. оказался одним из самых суровых за 100 лет наблюдения. Зима 2011 г. в Азовском море, как и в Финском заливе, считается суровой. На Балтике аналогичная картина была в 2002–2003 гг.

Важным результатом анализа термохалинных особенностей Баренцева моря стала выработка критериев для градации климатических условий за 150 лет. Пятиступенчатая шкала морского климата включает: аномально холодные, холодные, нормальные, теплые, аномально теплые годы. В научной практике сложилось так, что все используют по традиции схему течений Танцюры 1960-х годов. Наша новая модель (рис. 6) более реально отражает циркуляцию всех струй теплого атлантического течения с учетом топографии на гляциальном шельфе (Bathymetric ..., 1995). Это важно для понимания миграций фауны, дрейфа разливов нефти и т. д.

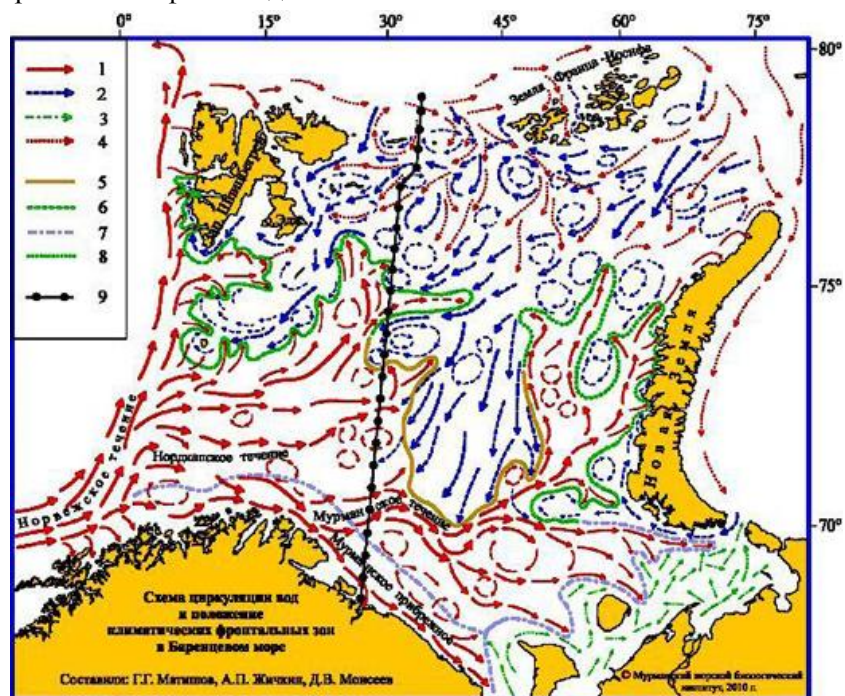


Рис. 6. Схема циркуляции вод Баренцева моря и локализация климатических фронтальных зон:

1 – теплые, 2 – холодные, 3 – местные прибрежные течения; 4 – распространение глубинных атлантических вод; 5 – термические, 6 – термохалинные, 7 – халинные, 8 – слабовыраженные, неустойчивые климатические фронтальные зоны; 9 – разрез “Кольский меридиан”



Прогноз климата необходим для эффективного рыболовства и судоходства, для понимания механизмов и явлений в больших морских экосистемах. Многие виды зообентоса являются прекрасными индикаторами климата и загрязнения моря (Environmental ..., 1999; Macrobenitic..., 2009). В этой связи определение видового состава фауны требует очень высокой квалификации.

Для периода потепления в XXI веке проведена ревизия зообентоса. По изменению биомассы полихет, моллюсков и некоторых других видов наши специалисты установили, что донная фауна не сразу реагирует на вектор температурной аномалии. Происходит запаздывание на 3–8 лет.

В зависимости от аномально холодного или аномально теплого годов принципиально меняется схема миграции трески и других промысловых рыб. В теплые годы треска закономерно устремляется на 2 тыс. км от Лофотен на восток, к Новой Земле. И, напротив, в холодные годы треска мигрирует на север, к Шпицбергену.

**Биологическая продуктивность.** Синтез первичных органических веществ с фитопланктоном как основным продуцентом формирует основу экосистемной пирамиды. Согласно наиболее распространенной оценке первичной продукции, большие морские экосистемы Норвежского моря и шельфа Исландии называют высокопродуктивными зонами Арктического шельфа (более 300 г С/м<sup>2</sup> в год); Чукотское море, Берингово море, акватория Фарерского плато и южная часть Баренцева моря определяются как районы умеренно-высокой продуктивности (150–300 г С/м<sup>2</sup> в год). Остальная часть вод арктических районов и Арктического бассейна считается низкопродуктивной.

На основе результатов более чем 40 экспедиций ММБИ на борту атомных ледоколов изучалось функционирование детритной пищевой цепочки прибрежных зон Баренцева и Карского морей во время полярной ночи. Планктонные бактериоценозы сохраняют свою устойчивую структуру и высокую продуктивность под сплошным ледовым покровом с температурами, близкими к точке замерзания морской воды. Бактериопланктон в зимний период является только пищевым субстратом для зоопланктона до момента, когда криофлора начинает активно продуцировать.

Наблюдается снижение продуктивности планктонного компонента трофической цепи от Баренцева, Белого, Карского и моря Лаптевых к Восточно-Сибирскому (рис. 7). По нашим данным, продуктивность зообентоса изменяется в зависимости от климатических колебаний и стадий сукцессии придонных сообществ. В среднем бентос мягких и смешанных грунтов производит примерно 70 % общей усредненной биомассы в год ( $P/V = 0.7$ ), в то время как сообщества твердых грунтов имеют более низкую продуктивность ( $P/V = 0.6$ ). На открытом шельфе Баренцева моря продуктивность бентоса гораздо ниже, с варьированием коэффициента  $P/V$  в пределах 0.25–0.30 (Березина, 1963; Константинов, 1967). В целом уровни продуктивности придонных биоценозов Баренцева моря уступают аналогичным значениям boreальных морей, таких как Охотское и Северное, где коэффициенты соответственно 1.2 (Дулепова, 2002) и 1.5 (An esopath ..., 2001), но близки к значению данного показателя в Беринговом море ( $P/V = 0.9$ ; Дулепова, 2002).

При изучении больших морских экосистем Арктики важно количественно оценивать роль каждого вида ихтиофауны в цикле вещества и энергии в экосистемах северных морей. До недавнего времени считалось, что показатели продуктивности для рыб Баренцева моря ( $P/V$ -коэффициент) не превышают 0.125–

0.170 (Зенкевич, 1947). Наши исследования показывают, что эти значения выше и колеблются от 0.3 до 1.0 (треска, сайка, окунь-клювач; Расхожева, Карамушко, 2009; Расхожева, 2010, 2011).

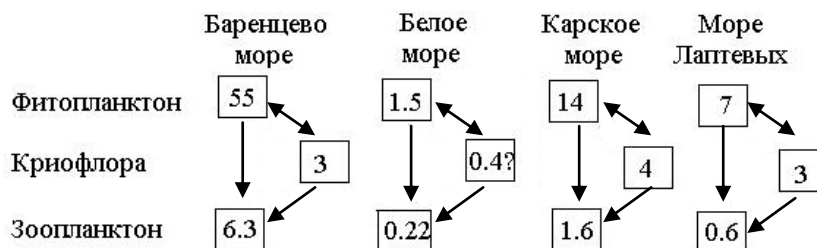


Рис. 7. Продукция (млн т  $C_{орг}$ /год) отдельных звеньев трофической цепи в экосистемах Баренцева, Белого, Карского морей и моря Лаптевых

**Биологические исследования западных арктических вод.** Основные научные силы ММБИ сконцентрированы на изучении вопросов морской биологии Арктики и Субарктики (Biological ..., 2000b; Christiansen et al., 2010; Cod ..., 2006; Druzhkov, Druzhkova, 2000; Druzhkov et al., 2000, 2001a,b; Dvoretzky A., Dvoretzky V., 2008, 2009a,b,c,d, 2010a,b,c; Dvoretzky V., Dvoretzky A., 2009a,b,c,d,e,f,g,h, 2010a,b; Gudimov, Gudimova, 2002; Karamushko, Christiansen, 2002; Makarov, Voskoboinikov, 2001; Makarevich, 2008, 2009; Matishov, Ognetrov, 2011; Mishin et al., 2001; Timofeev, 2000, 2002, 2006; Timofeev, Sklyar, 2001; The southern ..., 2003; Timofeev et al., 2004; Timofeev, Selifonova, 2005; Sukhotin et al., 2008; Zhuravleva, Minchenok, 2004). Наличие в ММБИ морской аквариальной и гидробиологических полигонов на арктическом побережье позволяло успешно вести экспериментальные работы по физиологии животных, таких как киты, тюлени, рыбы, ракообразные, моллюски. Изучение фокусировалось на электро- и хеморецепции, биоритмах, процессах адаптации к арктической среде. Принципиально новые для арктической биологии результаты были получены в результате экспедиций на атомных ледоколах в условиях зимы и полярной ночи.

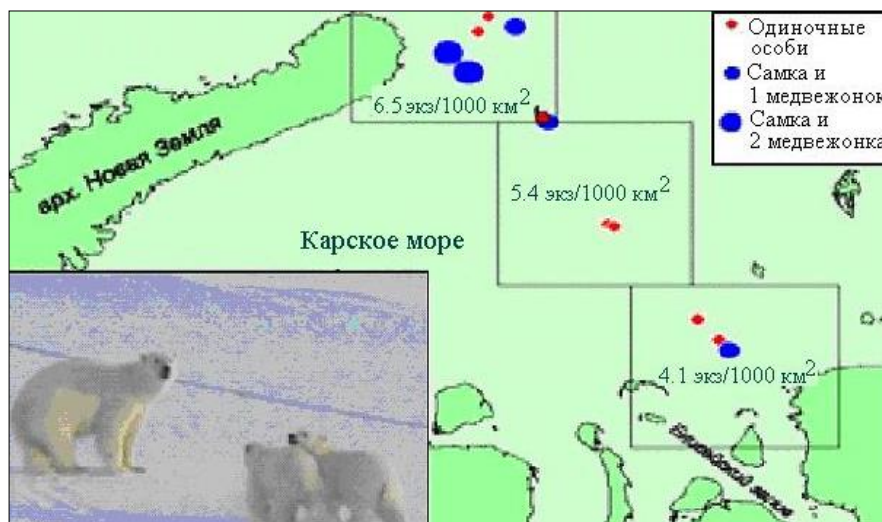


Рис. 8. Белый медведь в полынях Карского моря

Многолетние наблюдения во льдах Карского моря показали, что зоогеографическая граница тюленя-хохлача находится не по меридиану Белого моря, как считалось ранее, а на траверзе Енисейского залива. Вектор движения белых медведей (рис. 8) направлен в сторону возникновения новых трещин и полыней в Карском море. Эти знания необходимы при прогнозе их местоположения и миграций. Схемы миграций морских млекопитающих, построенные на базе данных аэрофотосъемки, промысловых и зверобойных судов известны всем. Однако современный ежедневный космический мониторинг (рис. 9) принципиально изменил сложившиеся представления о жизни в Баренцевом море серых и гренландских тюленей со дня рождения до первой линьки.

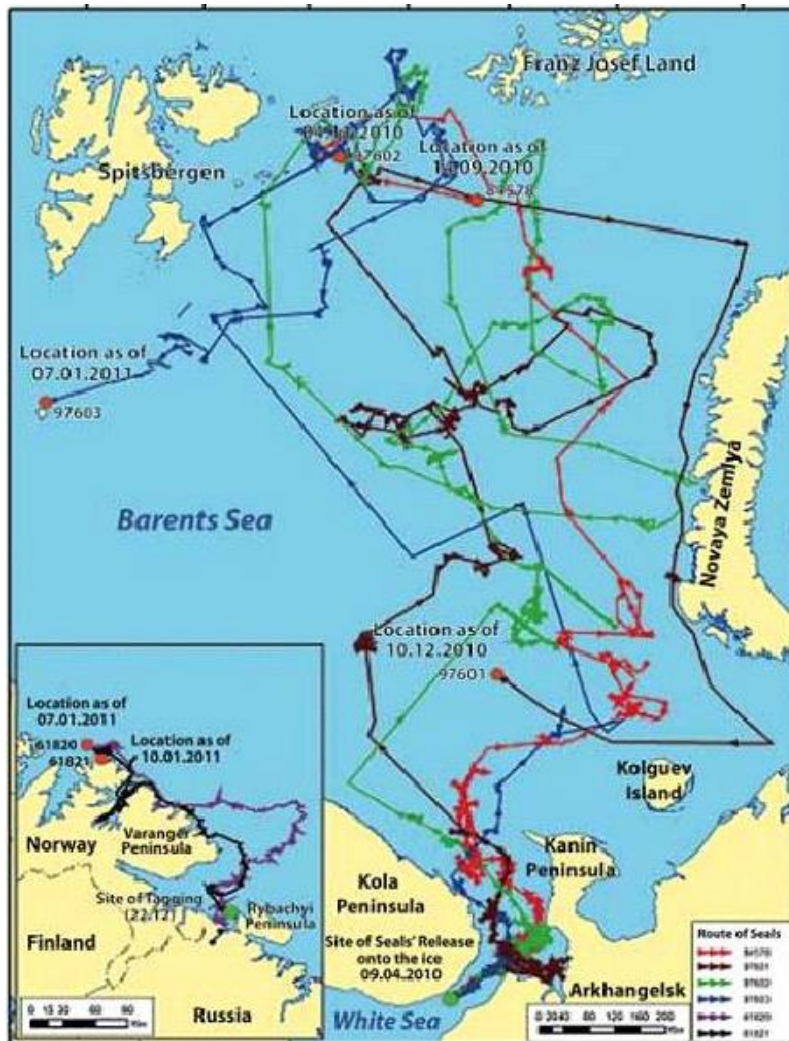


Рис. 9. Карта-схема перемещений гренландских тюленей в Белом и Баренцевом морях (апрель 2010 г.–январь 2011 г.) по данным спутниковой телеметрии

В Арктике важно изучать как самих птиц (Krasnov et al., 2007; Biometrics ..., 2008), так и ту биоту, которую они переносят в оперении. На примере панцирных клещей наглядно показано, какими путями в голоцене почвенная биота попала на птичьи базары архипелагов (Lebedeva, Lebedev, 2008).

В арктических морях структура и разнообразие ихтиофауны во многом определяется придонной температурой. Так по 70° с. ш. температура колеблется от –2 до 10 °С. С учетом этих закономерностей новый список видов расширен до 182, а прежний включал 144 вида рыб (The impact ..., 2004; Records ..., 2009).

**Антропогенное воздействие.** Проблема видов-вселенцев постоянно находится в поле внимания ММБИ. Вся инородную фауну относим к биологическому загрязнению и подразделяем ее по происхождению на естественных (климатических) мигрантов, чужеродную биоту балластных вод, интродуцентов – плановую акклиматизацию видов, генетически измененные виды, в том числе гибриды из аквакультуры.

Самым опасным является интродукция биоты, в частности, с Дальнего Востока в советский период. В начале 1960-х гг. был завезен камчатский краб. Пик его численности в 30 млн экз. совпал с потеплением климата в начале XXI века (Кузьмин, Гудимова, 2002; Studies ..., 2010).

Дальневосточная горбуша сейчас обитает от побережья Британии до Обской губы. Завоз данного вида в бассейн Баренцева моря без прогноза экосистемных последствий принес больше вреда, чем пользы. Так и дальневосточный пиленгас *Liza haematocheilus* (*Mugil soiyu* Basilewsky, 1855) в Азовском море в 1960–1970-х гг. занял места обитания осетровых и других ценных рыб. Камчатский краб, горбуша так же, как и пиленгас, с позиций социально-экономических – фактор позитивный. А с точки зрения здоровья экосистемы – это явный вред.

Не меньшую опасность для биогеоценозов представляет загрязнение органикой фьордов и прибрежных вод при аквакультуре. Лососеводство – экономическое благо. Но, кроме потока органики, существует еще одно негативное последствие. На норвежских водных фермах ежегодно содержится до 300–400 млн особей лососевых. Годовая продукция аквакультуры – до 800 тыс. т. Во время штормов и аварий рыба “убегает” в Баренцево море. В 2001 году на Мурмане уже были первые поимки рыбы с норвежских ферм (рис. 10). Ежегодный поток инвазийных видов достигает многих тысяч экземпляров. Модифицированная рыба вытесняет дикого лосося на естественных нерестилищах в реках на Кольском полуострове.

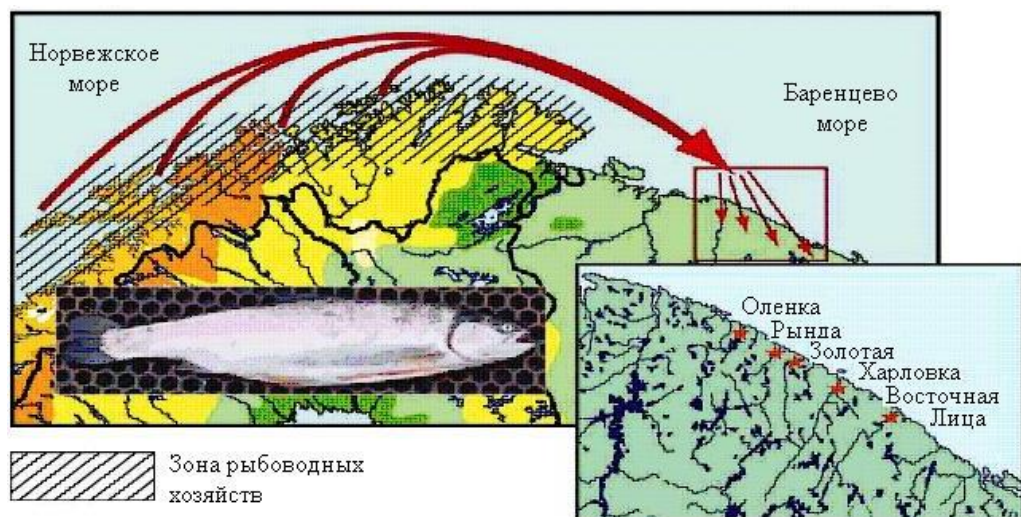


Рис. 10. Модифицированный лосось – “побеги” с норвежских рыбоводных хозяйств

Химическое и радиоактивное загрязнение морской среды Арктики является приоритетной проблемой в исследованиях ММБИ (Polycyclic ..., 2000, 2003a,b; 2006; Bioaccumulation ..., 2003; Savinov et al., 2003; Skotvold, Savinov, 2003; Temporal ..., 2004; Persistent ..., 2009).

С точки зрения химического загрязнения Баренцевоморский шельф один из самых чистых среди северных морей (рис. 11). За многие годы исследований ММБИ доказал, что существующие фоновые уровни загрязнителей не наносят никакого ущерба морским биоресурсам.

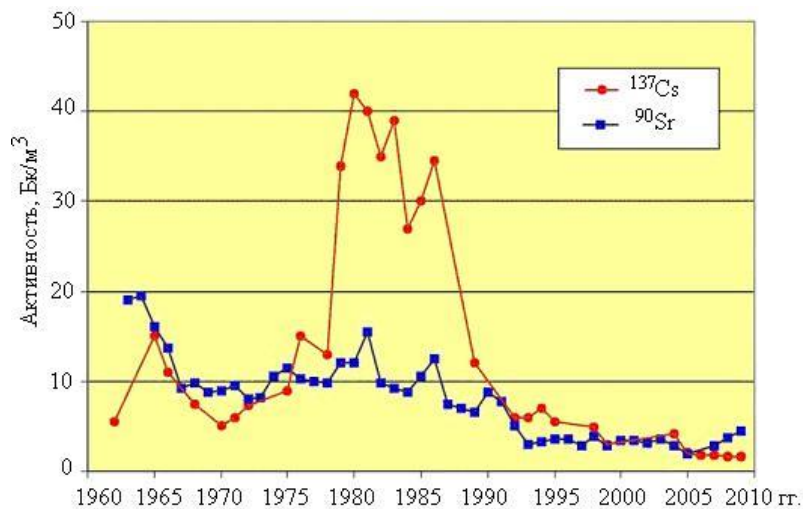


Рис. 11. Динамика содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в водной массе Баренцева моря (1963–2009 гг.)

В начале XXI века сохраняется тенденция снижения радиационного уровня. Максимальные сбросы с заводов Селлафилда пришлись на 1980–1985 гг. Резкое сокращение за последние 25 лет этих радиоактивных отходов привело к тому, что в Баренцевом море адвекция загрязнения с заводов Селлафилда почти не ощущается (Уровни ..., 1994; Discharges ..., 2000; Polycyclic ..., 2000; Radioactivity ..., 2002; Golubeva et al., 2003; Heavy ..., 2003; Matishov D., Matishov G., 2004). В Баренцевом море практически не содержится  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ . Также практически не ощущается влияние стоков с атомных баз Кольского полуострова.

В связи со стремительным развитием нефтегазодобычи на Норвежском шельфе, а также танкерной перевозки нефтепродуктов по Севморпути нельзя исключать возможных аварий на добычных платформах и разливов нефти. Поэтому необходим мониторинг загрязнения и изучение вероятных траекторий переноса загрязнителей.

Социально-экономический прогресс во многом определяется результатами исследования и прогнозирования климата, ледовитости, биоресурсов, а также рационального природопользования. Жизнь и экономика Крайнего Севера непосредственным образом зависят от масштабов грузоперевозок по Севморпути. Следует отметить, что в постсоветский период очевиден спад перевозок в 4 раза (рис. 12). Сейчас нисходящая динамика останавливается. Но ощутимый подъем пока только планируется.

Уже четверть века жители Мурманска и Архангельска связывают свое будущее с разработкой Штокмановского месторождения. Под проект века выстраивалась вся социально-экономическая инфраструктура. Сегодня никто не может гарантировать, что в 2017 г. будет начата добыча газоконденсата. Следовательно, надо искать новые сферы занятости людей Крайнего Севера.

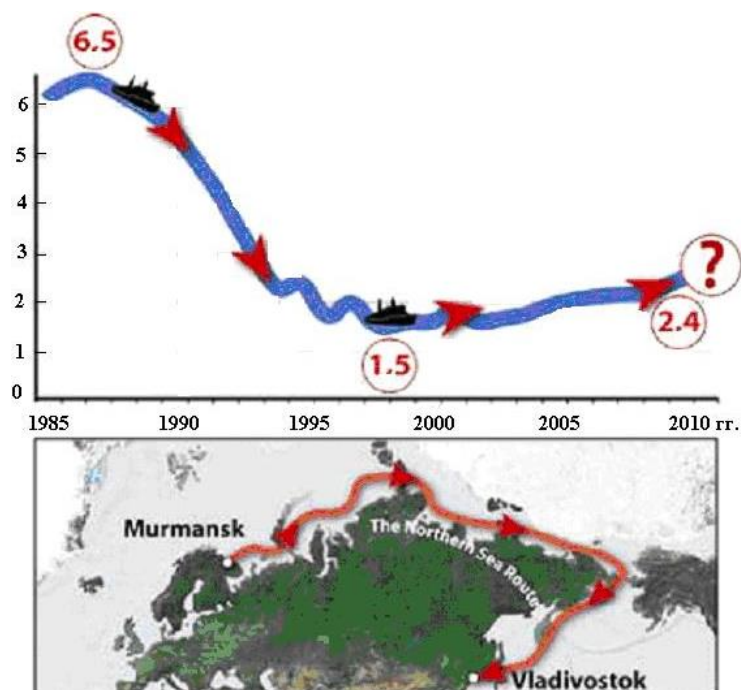


Рис. 12. Динамика перевозки грузов по Северному морскому пути (млн т) в 1985–2010 гг.

**Большие морские экосистемы.** Сегодня биологическая и промысловая океанография во многом базируется на теории больших морских экосистем. В Арктике к России прилегают семь больших морских экосистем. Их границы четко определены (Matishov et al., 2003; Denisov, Shavikin, 2005; Makarevich, Krasnov, 2005; A global ..., 2005).

Концепция больших морских экосистем базируется на пяти модулях (“ки-тах”). Она сложилась в результате признания учеными и практиками (К.Шерман, Г.Хемпель, Г.Матишов и др.) фактов переэксплуатации биоресурсов практически повсеместно в промысловых районах Мирового океана. Из-за перелова рыбы уже неоднократно возникал вопрос о запрете промысла в Баренцевом море.

Со многими странами, как, например, с Норвегией, у нас общий шельф, общие струи теплого Гольфстрима, общие мигрирующие виды рыб – объекты промысла. В 2011 году установлена новая политическая граница между Россией и Норвегией. Желаемый раздел серой зоны на шельфе побудил некоторых норвежских ученых (Х.-Р.Скьелдал и др.) пойти дальше в научное перекраивание Арктики, в частности, предложено пересмотреть границы больших морских экосистем. Новые подходы ликвидируют большую морскую экосистему Восточно-Сибирского моря, часть Баренцева присоединится к Карскому и т. д. Безусловно, данный вопрос требует дополнительной научной проработки и обсуждения в Российской академии наук.

\* \*  
\*

В феврале 2011 г. исполнилось двадцать лет научной кооперации АВИ и ММБИ в Арктике. Взаимовыгодное сотрудничество возникло в атмосфере пере-

стройки и гласности. Мурманский морской биологический институт заинтересован в работах в рейсах на “Полярштерне”, наблюдениях на Гельголандской станции, в море Лаптевых и дельте Лены. Целесообразно провести сравнительный анализ колебаний климата на разрезах “Кольский меридиан” (Баренцево море) и Гельгоlanda (Северное море).

В тематическом плане научно-исследовательских работ ММБИ на ближайшие годы утверждены такие научные направления, как: климат и палеогеография плейстоцена, биоразнообразие, экспериментальная физиология, криопелагиаль и жизнь в полыньях по трассе Северного морского пути, моделирование и прогнозирование экосистемных процессов, рациональное природопользование и биотехнологии аквакультуры, социальная и экономическая география (социоэкономика), большие морские экосистемы, подготовка молодых ученых.

## Л и т е р а т у р а

Березина Н.А. Гидробиология. 2-е изд. М.: Высшая школа, 1963. 439 с.

Дулепова Е.Р. Сравнительная биопродуктивность макроэкосистем дальневосточных морей. Владивосток: Изд. ТИНРО, 2002. 273 с.

Зенкевич Л.А. Фауна и биологическая продуктивность моря. М.: Сов. наука, 1947. 588 с.

Константинов А.С. Общая гидробиология. М.: Высшая школа, 1967. 431 с.

Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н. Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 236 с.

Матишов Г.Г. Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.

Расхожева Е.В. Закономерности формирования продукции в популяциях атлантической трески *Gadus morhua* Linnaeus, 1758 и *Gadus morhua marisalbi* Derjugin, 1920 Баренцева и Белого морей // Современные проблемы гидробиологии: Тез. докл. 4-й Междунар. науч. конф., посвященной памяти проф. Г.Г.Винберга (11–15 октября 2010 г., Россия, Санкт-Петербург). СПб.: Русская коллекция, 2010. С. 148.

Расхожева Е.В. Климатические изменения, промысел и продукционные процессы в популяции сайки *Boreogadus saida* (Lepetchin, 1773) Баренцева моря // Глобальные климатические процессы и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов: Тез. докл. Междунар. науч. конф., г. Мурманск, 9–11 ноября 2011 г. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 162–164.

Расхожева Е.В., Карамушко О.В. Продукционные характеристики окуня-клювача *Sebastes mentella* Travin, 1951 (Scorpaeniformes, Sebastidae) в Баренцевом море и сопредельных водах // Вопросы ихтиологии. 2009. Т. 49. № 6. С. 781–785.

Уровни и основные направления переноса радионуклидов в Баренцевом и Карском морях. Масштаб 1:4704075 / Г.Г.Матишов, Д.Г.Матишов, В.В.Назимов. Рованиеми (Финляндия), 1994.

A global movement toward an ecosystem approach to management of marine resources / K.Sherman, M.Sissenwine, V.Christensen et al. // Mar. Ecol. Progr. Ser. 2005. V. 300. P. 241–296.

An *ecopath* model for the Norwegian Sea and Barents Sea / A.Dommasnes, V.Christensen, B.Ellersen et al. // Fisheries impacts on north Atlantic ecosystems: Models and analyses. Part III. Northeast Atlantic Fisheries Centre Research Report 9(4), UBC Fisheries Centre, Vancouver, BC, 2001. P. 213–240.

Barents Sea biological resources and human impact. Map Scale 1:3000000 / G.Matishov, S.Weslawski. Oslo: Norwegian Polar Inst., 1991.

Barents Sea multidecadal variability / S.Levitus, G.Matishov, D.Seidov, I.Smolyar // Geophysical Res. Letters. 2009. V. 36. P. 1–13.

*Bathymetric map of the Franz Josef Land area. Geological Society of America Map and Chart Series. MCHO80. Map Scale 1:500000 / G.Matishov, N.Cherkin, M.Vermillion, S.Forman. Colorado, USA, 1995.*

*Bioaccumulation of PCBs and chlorinated pesticides in seals, fishes and invertebrates from the White Sea, Russia / D.Muir, T.Savinova, V.Savinov et al. // The Science of the Total Environment. 2003. V. 306. № 1–3. P. 111–131.*

*Biological atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas / G.G.Matishov, P.Makarevich, S.Timofeev et al. NOAA Atlas NESDIS 39. U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2000a. 348 p.*

*Biological atlas of the Barents and Kara Seas / I.Smolyar, P.Makarevich, S.Timofeev, A.Zuyev // Earth System Monitor. 2000b. V. 11. № 2. P. 1–10.*

*Biometrics as a determinant of the origins of seabirds killed in oil spills and other incidents / R.T.Barrett, T.Anker-Nilssen, V.Bakken et al. // Bird Conservation International. 2008. V. 18. P. 229–241.*

*Christiansen J.S., Karamushko L.I., Nahrgang J. Sub-lethal levels of waterborn petroleum may depress routine metabolism in polar cod *Boreogadus saida* (Lepechin, 1774) // Polar Biol. 2010. V. 33. P. 1049–1055.*

*Climatic atlas of the Barents Sea 1998: Temperature, salinity, oxygen / G.Matishov, A.Zyev, V.Golubev et al. NOAA Atlas NESDIS 26. U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 1998. 144 p.*

*Climatic atlas of the Arctic Seas 2004 / G.Matishov, D.A.Zuyev, V.Golubev et al. NOAA Atlas NESDIS 58, World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, V. 9, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2004. 148 p. CD-ROM.*

*Cod fry project is truly international / N.G.Zhuravleva, O.H.Ottesen, J.Treasurer et al. // Fish farmer. 2006. V. 29. № 4. P. 24–27.*

*Denisov V.V., Shavikin A.V. Water quality assessment and the problem of marine ecosystem stability // Dynamics of the White Sea ecosystems. Amsterdam: Springer, 2005. P. 325–340.*

*Discharges of nuclear waste into the Kola Bay and its impact on human radiological doses / G.G.Matishov, D.G.Matishov, A.A.Namjatov et al. // J. Environ. Radioactivity. 2000. V. 48. P. 5–21.*

*Druzhkov N.V., Druzhkova E.I. The dynamics of the nanophytoplankton community in the coastal ecosystem of the Southern Bight (North Sea) during the winter-spring period // J. Sea Res. 2000. V. 43. № 2. P. 105–111.*

*Druzhkov N.V., Marasaeva E.F., Druzhkova E.I. New records of the carnivorous pelagic polychaete, *Phalacrophorus pictus borealis* Riebisch, 1895 in the Arctic Ocean // Sarsia. 2000. V. 85. Iss. 5–6. P. 467–469.*

*Druzhkov N.V., Druzhkova E.I., Kuznetsov L.L. The sea-ice algal community of seasonal pack ice in the southwestern Kara Sea in late winter // Polar Biol. 2001a. V. 24. № 1. P. 70–72.*

*Druzhkov N.V., Makarevich P.R., Druzhkova E.I. Phytoplankton in the southwestern Kara Sea: composition and distribution // Polar Res. 2001b. V. 20(1). P. 95–108.*

*Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Epifauna associated with the northern stone crab *Lithodes maia* in the Barents Sea // Polar Biol. 2008. V. 31(9). P. 1149–1152.*

*Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Distribution of amphipods *Ischyrocerus* on the red king crab, *Paralithodes camtschaticus*: Possible interactions with the host in the Barents Sea // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2009a. V. 82. Iss. 3. P. 390–396.*

*Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Fouling community of the red king crab, *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), in a subarctic fjord of the Barents Sea // Polar Biol. 2009b. V. 32(6). P. 1047–1054.*



- Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Limb autotomy patterns in *Paralithodes camtchaticus* (Tilesius, 1815), an invasive crab, in the coastal Barents Sea // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2009c. V. 377. Iss. 1. P. 20–27.
- Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Some aspects of the biology of the amphipods *Ischyrocerus anguipes* associated with the red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, in the Barents Sea // Polar Biol. 2009d. V. 32(3). P. 463–469.
- Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Epifauna associated with an introduced crab in the Barents Sea: a 5-year study // ICES. J. Mar. Sci. 2010a. V. 67. P. 204–214.
- Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. The amphipod *Ischyrocerus commensalis* on the eggs of the red king crab *Paralithodes camtschaticus* egg predator or scavenger? // Aquaculture. 2010b. V. 298. Iss. 3–4. P. 185–189.
- Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Hemolymph molting hormone concentrations in red king crabs from the Barents Sea // Polar Biol. 2010c. V. 33. P. 1293–1298.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Distribution of the under-ice mesozooplankton in the Kara Sea in February 2002 // Polar Biol. 2009a. V. 32. P. 1227–1231.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Life cycle of *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in Kola Bay (Barents Sea) // Mar. Biol. 2009b. V. 156. P. 1433–1446.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Morphological plasticity in the small copepod *Oithona similis* in the Barents and White Seas // Mar. Ecol. Progr. Ser. 2009c. V. 389. P. 165–178.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Summer mesozooplankton distribution near Novaya Zemlya (eastern Barents Sea) // Polar Biol. 2009d. V. 32. P. 719–731.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Spatial variations in reproductive characteristics of the small copepod *Oithona similis* in the Barents Sea // Mar. Ecol. Progr. Ser. 2009e. V. 386. P. 133–146.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Summer mesozooplankton structure in the Pechora Sea (south-eastern Barents Sea) // Estuarine, Coastal and Shelf Science. 2009f. V. 84. Iss. 1. P. 11–20.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Checklist of fauna found in zooplankton samples from the Barents Sea // Polar Biol. 2010a. V. 33. P. 911–1005.
- Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Mesozooplankton structure in Dolgaya Bay (Barents Sea) // Polar Biol. 2010b. V. 33. P. 703–708.
- Ecology of Novaya Zemlya Region. Map Scale 1:2000000 / G.Matishov, A.Sachadinov, S.Weslawski. Sopot: Polish Academy of Sciences, 1992.
- Environmental influences on benthic fauna associations of the Kara Sea (Arctic Russia) / L.L.Jorgensen, T.H.Pearson, N.A.Anisimova et al. // Polar Biol. 1999. V. 22. P. 395–416.
- Golubeva N., Burtseva L., Matishov G. Measurements of mercury in the near-surface layer of the atmosphere of the Russian Arctic // The Science of the Total Environment. 2003. V. 306. № 1–3. P. 3–9.
- Gudimov A.V., Gudimova E.N. Behavioural and physiological responses of two benthic invertebrates in bioassay of the sublethal effects of coastal pollution // Natural Wetlands for Wastewater Treatment in Cold Climates. WITPRESS Southampton, Boston. Series: Advances in ecological sciences, 2002. V. 12. P. 225–248.
- Heavy metals of inshore benthic invertebrates from the Barents Sea / G.-P.Zauke, B.Clason, V.M.Savinov, T.Savinova // The Science of the Total Environment. 2003. V. 306. № 1–3. P. 99–110.
- History of ice-rafting and water mass evolution at the northern Siberian continental margin (Laptev Sea) during Late Glacial and Holocene times / E.Taldenkova, H.A.Bauch, J.Gottschalk et al. // Quaternary Sci. Rev. 2010 V. 29. P. 3919–3935.
- Karamushko L.I., Christiansen J.S. Aerobic scaling and resting metabolism in oviferous and post-spawning Barents Sea capelin *Mallotus villosus villosus* (Müller, 1776) // J. Exp. Mar. Biol. Ecol. 2002. V. 269. P. 1–8.

- Krasnov Y.V., Barrett R.T., Nikolaeva N.G. Status of black-legged kittiwakes (*Rissa tridactyla*), common guillemots (*Uria aalge*) and brünnich's guillemots (*U. lomvia*) in Murman, north-west Russia, and Varanger, north-east Norway // *Polar Res.* 2007. V. 26. P. 113–117.
- Lebedeva N.V., Lebedev V.D. Transport of Oribatid mites to the Polar areas by birds // *Integrative Acarology.* 2008. № 7. P. 359–367.
- Macrobenthic fauna of the Franz Josef Land archipelago / S.Dahle, N.A.Anisimova, R.Palerud et al. // *Polar Biol.* 2009. V. 32. P. 169–180.
- Makarevich P.R. Annual succession cycle of planktonic algal cenoses of estuarine ecosystems of northern seas of Russia // *Algologia.* 2008. V. 18. № 4. P. 386–392.
- Makarevich P.R. Annual succession cycle of pelagic phytocenoses in estuary ecosystems of northern seas of Russia // *Intern. J. Algae.* 2009. V. 11. № 1. P. 57–63.
- Makarevich P.R., Krasnov Ju.V. Aquatic ecosystem profile // *Dynamics of the White Sea ecosystems.* Amsterdam: Springer, 2005. P. 155–178.
- Makarov M.V., Voskoboynikov G.M. The influence of ultraviolet-B radiation on spore release and growth of the kelp *Laminaria saccharina* // *Bot. Mar.* 2001. V. 44. P. 89–94.
- Matishov D.G., Matishov G.G. Radioecology in Northern European Seas. Amsterdam: Springer, 2004. 335 p.
- Matishov G.G. Oceanic periglacial in the evolution of the Arctic marine ecosystems // *World Resource Review.* 1999. V. 11. № 2. P. 190–195.
- Matishov G.G., Ogetov G.N. White whale (*Delphinapterus leucas*) of the Russian Arctic Seas: biology, ecology, protection and exploitation of resources. Madrid, 2011. 302 p.
- Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L. Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea large marine ecosystem // *Large marine ecosystem of world: Trends in exploration, protection, and research.* Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 41–74.
- Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // *Oceanologia.* 2009. V. 51. № 3. P. 293–312.
- Mishin V.L., Zyryanov S.V., Goryaev Yu.I. Preliminary insight into the harbour seal population of the East Murman coast of the Barents Sea // *Mammalia.* 2001. V. 65. № 3. P. 295–300.
- Persistent organic pollutants, heavy metals and parasites in the glaucous gull (*Larus hyperboreus*) on Spitsbergen / K.Sagerup, V.Savinov, T.Savinova et al. // *Environmental Pollution.* 2009. V. 157. P. 2282–2290.
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in sediments of the White Sea, Russia / V.M.Savinov, T.N.Savinova, J.L.Carroll et al. // *Mar. Poll. Bull.* 2000. V. 40. P. 807–818.
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in bottom sediments of the Kara Sea shelf, Gulf of Ob and Yenisei Bay / S.Dahle, V.M.Savinov, G.G.Matishov et al. // *The Science of the Total Environment.* 2003a. V. 306. № 1–3. P. 57–71.
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorines (OCs) in bottom sediments of the Guba Pechenga, Barents Sea, Russia / V.M.Savinov, T.N.Savinova, G.G.Matishov et al. // *The Science of the Total Environment.* 2003b. V. 306. № 1–3. P. 39–56.
- Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: concentrations, geographical distribution and sources / S.Dahle, V.Savinov, V.Petrova et al. // *Norwegian J. Geol.* 2006. V. 86. P. 41–50.
- Postglacial emergence and Late Quaternary glaciation on northern Novaya Zemlya, Arctic Russia / S.L.Forman, D.G.Lubinski, J.J.Zeeberg et al. // *Boreas.* 1999. V. 28. № 1. P. 133–145.
- Postglacial climate and vegetation history, north-central Kola Peninsula, Russia: pollen and diatom records from lake Varnychnoe-3 / J.A.Snyder, G.M.MacDonald, S.Forman et al. // *Boreas.* 2000. V. 30. P. 102–112.
- Radioactivity near the sunken submarine “Kursk” in the southern Barents Sea / G.Matishov, D.Matishov, A.Namjatov et al. // *Environment. Sci. Technol.* 2002. V. 36. № 9. P. 1919–1922.

*Radiocarbon* dated *Pinus sylvestris* L. wood from beyond treeline on the Kola Peninsula, Russia / G.M.MacDonald, B.R.Gervais, J.A.Snyder et al. // *The Holocene*. 2000. V. 10. P. 143–147.

*Records* of the gadoid fish *Arctogadus glacialis* (Peters, 1874) in the European Arctic / M.Aschan, O.V.Karamushko, I.Byrkjedal et al. // *Polar Biol*. 2009. V. 32. P. 963–970.

*Savinov V.M., Gabrielsen G.W., Savinova T.N.* Cadmium, zinc, copper, arsenic, selenium and mercury in seabirds from the Barents Sea: levels, inter-specific and geographical differences // *The Science of the Total Environment*. 2003. V. 306. № 1–3. P. 133–158.

*Scientific events: The biological station at Barents Sea* // *Science*. 1937. V. 85. № 2814. P. 536–539.

*Skotvold T., Savinov V.* Regional distribution of PCBs and presence of technical PCB mixtures in sediments from Norwegian and Russian Arctic lakes // *The Science of the Total Environment*. 2003. V. 306. № 1–3. P. 85–97.

*Smolyar I., Adrov N.* The quantitative definition of the Barents Sea atlantic water: marring of the annual climatic cycle and interannual variability // *J. Mar. Sci*. 2003. V. 60. P. 836–845.

*Studies* on impact of the alien red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) on the shallow water benthic communities of the Barents Sea / T.A.Britayev, A.V.Rzhavsky, L.V.Pavlova, A.G.Dvoretckij // *J. Appl. Ichthyol*. 2010. V. 26 (Suppl. 2). P. 66–73.

*Sukhotin A., Krasnov Yu., Galaktionov K.* Subtidal populations of the blue mussel *Mytilus edulis* as a key determinant of waterfowl flocks in the southeastern Barents Sea // *Polar Biol*. 2008. V. 31. P. 1357–1363.

*Temporal* changes of PCBs, PCDD/PCDFs and chlorinated pesticides in human milk from Murmansk, Russia, and Tromsø, Norway / A.Polder, T.Savinova, G.Becher, J.Skaare // *Organohalogen Compounds*. 2004. V. 66. P. 2795–2799.

*The impact* of fisheries on the dynamics of commercial fish species in Barents Sea and the Sea of Azov, Russia: a historical perspective / G.G.Matishov, V.V.Denisov, S.L.Dzhenyuk et al. // *AMBIO. J. Human Environ*. 2004. V. 33. № 1–2. P. 63–67.

*The southern* Kara Sea ecosystem: Phytoplankton, zooplankton and benthos communities influenced by river run-off / H.Deubel, M.Engel, I.Fetzer et al. // *Proceedings in Marine Sciences*. 2003. V. 6. P. 237–265.

*Timofeev S.F.* Discovery of eggs and larvae of *Thysanoessa raschii* (M.Sars, 1846) (Euphausiacea) in the Laptev Sea: proof of euphausiids spawning on the shelf of the Arctic Ocean // *Crustaceana*. 2000. V. 73(9). P. 1089–1094.

*Timofeev S.F.* Sex rations in the population of *Thysanoessa raschii* (M.Sars, 1864) (Euphausiacea) // *Crustaceana*. 2002. V. 75. № 8. P. 937–956.

*Timofeev S.F.* Euphausiid biomass in the Arctic Ocean // *Crustaceana*. 2006. V. 79. № 2. P. 157–165.

*Timofeev S.F., Sklyar V.V.* Egg size in the euphausiid, *Thysanoessa raschii* (M.Sars, 1864) (Euphausiacea) in the Barents Sea // *Crustaceana*. 2001. V. 74. № 11. P. 1201–1211.

*Timofeev S.F., Selifonova Zh.P.* Euphausiid larvae in the ballast waters of commercial ships; evidence for a possibility for biological invasion // *Crustaceana*. 2005. V. 78. № 11. P. 1395–1398.

*Timofeev S.F., Sklyar V.V., Savinov M.V.* Stabilizing selection on egg size in the euphausiid, *Thysanoessa raschii* (M.Sars, 1864) (Euphausiacea) in the Barents Sea // *Crustaceana*. 2004. V. 77(3). P. 265–275.

*Zhuravleva N.G., Minchenok E.E.* Immunological reactions in the early ontogenesis of atlantic salmon and humpback salmon // *Phytochemistry Rev*. 2004. V. 3. P. 431–439.

**К.Лохте, С.Хайн**

Институт полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера, г. Бремерхафен, Германия

## **ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИКИ, ПРОВОДИМЫЕ ИНСТИТУТОМ ПОЛЯРНЫХ И МОРСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИМ. АЛЬФРЕДА ВЕГЕНЕРА\***

### **Аннотация**

Дан детальный обзор деятельности АВИ, в частности, исследований в Арктике. Представлены основные направления изучения Арктики с учетом развития инфраструктуры и внедрения новых исследовательских платформ. Показаны перспективы развития будущих исследований и международного сотрудничества.

**K.Lochte, S.Hain**

## **ARCTIC RESEARCH AT THE ALFRED WEGENER INSTITUTE FOR POLAR AND MARINE RESEARCH**

### **Abstract**

The article gives an overview of AWI, particularly of its Arctic research. Main figures and characteristics of the Institute are given. Arctic studies foci are listed, taking into account development of infrastructure and introduction of new research platforms. Prospects of future research and international collaboration are shown.

**Обзор деятельности Института.** Институт был основан как публично-правовое образование в Бремерхафене в 1980 г. Уже в 1986 г. Институт морских исследований Бремерхафена стал частью АВИ. Он занимался экологией и проблемами загрязнения в Северном море, и несколько его ученых заинтересовались морскими исследованиями Арктики. В 1992 году к АВИ присоединились полярные исследователи бывшей ГДР, и в Потсдаме, недалеко от Берлина, был открыт новый филиал, где основное место занимали атмосферные и перигляциальные исследования. В 1998 году старейшее учреждение морских исследований Германии – Биологический институт Гельголанда (Biologische Anstalt Helgoland) – стал частью АВИ. Он был основан в 1892 г., расположен на островах Гельголанд и Зюльт и занимается экологией побережья Северного моря, а также исследованиями в Арктике. В результате этих преобразований в настоящее время АВИ расположен в четырех населенных пунктах Германии с головным офисом в Бремерхафене (рис. 1). Научная сфера интересов включает в себя, прежде всего, исследования в обоих полярных районах, Арктическом и Антарктическом, и в Северном море. Институт полярных и морских исследований является членом Ассоциации Гельмгольца и получает 90 % своего финансирования от Федерального правительства Германии (Министерство образования и науки) и 10 % от федеральных земель (Бремен, Шлезвиг-Гольштейн и Бранденбург), в которых расположены исследовательские центры АВИ (рис. 1).

В 2010–2011 годах в Институте работало более 970 сотрудников, примерно половина из которых – ученые, а годовой бюджет составил примерно 120 млн

---

\*Перевод: В.В.Захаренко, Д.В.Моисеев.

евро, включая около 20 млн евро внешнего финансирования. Приблизительно 30 % бюджета необходимо для работы основных исследовательских платформ и инфраструктуры, управляемой АВИ (рис. 2).



Рис. 1. Расположение Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера в Германии (Бремерхафен, Потсдам, Гельголанд и Зюльт)

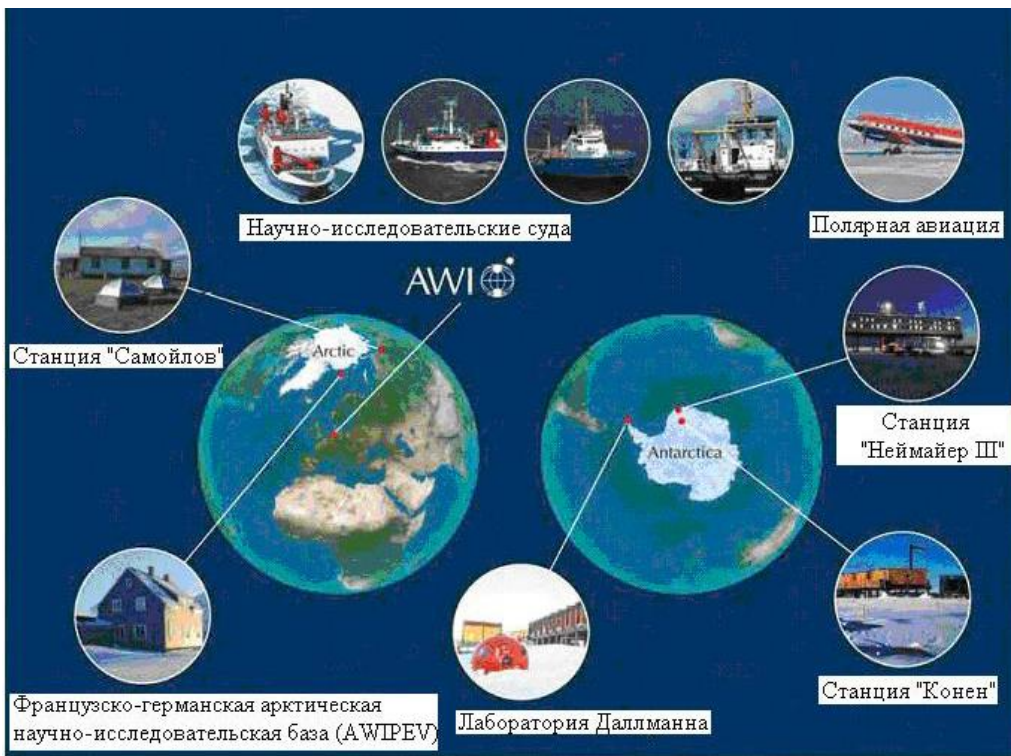


Рис. 2. Главные исследовательские базы и инфраструктура под управлением АВИ: арктические (AWIPEV, “Самойлов”) и антарктические (“Неймайер III”, “Конен”, лаборатория Даллмана) станции, научно-исследовательский ледокол “Полярштерн”, три небольших корабля и два самолета

Три отделения АВИ (биологии, климата и наук о Земле) охватывают широкий спектр тем и областей исследования. Одним из достоинств АВИ является высокий уровень специалистов в большинстве аспектов полярных и морских исследований в рамках одного учреждения, что обеспечивает отличную междисциплинарную работу и новые трансдисциплинарные идеи. Исследовательские группы различных отделений и секций объединяют усилия на темах, представляющих особый интерес. Например, исследования полярных ледяных щитов и повышения уровня моря осуществляются мультидисциплинарной командой геофизиков, океанографов, климатологов, палеоокеанографов и разработчиков моделей. Изучение морских льдов объединяет специалистов по океанографии, атмосферным и биологическим наукам, а также построению моделей. Исследования в АВИ включают целый спектр действий: от полевых наблюдений и изучения процессов до анализа данных и моделирования. Комплексные исследования и анализ полярных экосистем в Арктике и Антарктике – отличительная черта научной деятельности АВИ. Долгосрочные наблюдения и временная последовательность служат основой понимания и выделения кратковременных колебаний и долгосрочных тенденций в полярных и умеренных экосистемах.

Ученые работают в тесной кооперации с отделом логистики и администрацией. Для выполнения полярных исследований создана прекрасная инфраструктура (рис. 2). Институт бесплатно предоставляет эту инфраструктуру всему немецкому научному обществу и международным партнерам. Многие из совместных мероприятий являются частью крупных проектов, осуществляемых при содействии и финансовой поддержке Европейского союза и различных учреждений. Все совместные исследовательские проекты подлежат независимой международной экспертной оценке для обеспечения высокого научного качества и актуальности.

Наиболее значимой единицей инфраструктуры является научно-исследовательский ледокол “Полярштерн”, на котором могут одновременно работать 50 ученых до 310 сут. в Арктике и Антарктике (Polarstern ..., 2007). Это одно из наиболее востребованных исследовательских судов в мире. НИЛ “Полярштерн” преодолел более 1.4 млн морских миль со дня спуска на воду в 1982 г. Транзитные рейсы в полярные районы и обратно используются для попутных исследований океана. Судно обеспечивает постоянную немецкую антарктическую исследовательскую станцию “Неймайер”, оно оборудовано для любых научных исследований в области гляциологии, физической и биологической океанографии, наук об атмосфере, морской седиментологии, геофизики, химии и экспериментальной морской биологии, включая микробиологию. Для прибрежных работ в Северном море и морях Европейского шельфа АВИ располагает небольшими научно-исследовательскими судами. Ученые Института также имеют доступ к другим крупным немецким научно-исследовательским судам (в частности НИС “Метеор”) для проведения работ вне полярных районов. Институт является членом европейской базы научно-исследовательских судов: многие зарубежные исследователи используют возможности, предоставляемые экспедициями на НИЛ “Полярштерн” (до сих пор более 50 % времени было использовано сторонними учеными и 22 % – международными партнерами), а ученые АВИ пользуются гостеприимством зарубежных судов.

Для изучения атмосферы и льдов используются два модернизированных самолета DC-3 типа Basler Bt 67 (Polar-5 и Polar-6). В зависимости от задач они

могут взять на борт ледовый радар, магнитные и альтиметрические приборы для исследования структуры, толщины и поверхностных характеристик льда, а также специальные приборы и датчики для анализа химического состава атмосферы.

Направление региональных исследований определяется месторасположением полярных станций, управляемых АВИ. В Арктике базу для круглогодичных атмосферных, геофизических и биологических исследований обеспечивает исследовательская станция в Нью-Олесунне (AWIPeV, Шпицберген), управляемая совместно с Французским полярным институтом Поля-Эмиля Виктора (IPEV). Совместная немецко-российская станция находится в дельте р. Лены (о. Самойлов, Сибирь), вблизи моря Лаптевых. Она служит для летних полевых исследований вечной мерзлоты и долгосрочных наблюдений за изменениями береговой среды Арктики.

Центральная исследовательская база АВИ в Антарктике – станция “Неймайер III” на Земле Королевы Мод. Первая станция “Неймайер” появилась в 1981 г. (см.: статью Г.Хемпеля в наст. сборнике); теперь функционирует третья станция, которая была официально открыта в феврале 2009 г. Первые две станции представляли собой цилиндрические структуры внутри ледяного шельфа. Срок их эксплуатации составил 11 и 17 лет соответственно, когда давление на стены, вызванное ежегодным прибавлением льда и снега на крыше станции, сделало невозможным дальнейшее безопасное функционирование. Новая станция “Неймайер III” построена на гидравлическом основании и регулярно поднимается, чтобы препятствовать накоплению снега. Ожидается, что эта станция выдержит суровые условия Антарктики более 30 лет, т. е. прослужит примерно в 3 раза дольше, чем предыдущие станции. Примерно в 560 км к юго-востоку от станции “Неймайер III” находится станция “Конен”. Здесь в период южного лета проводятся геофизические, гляциологические и атмосферные исследования. Эта станция снабжается через станцию “Неймайер III”. Она предоставляет хорошие возможности при бурении ледяных кернов для палеоклиматических исследований. На о. Ватерлоо (Кинг-Джордж) в Антарктике находится лаборатория Даллмана, которая управляется совместно с аргентинскими партнерами станции “Джубани”. Ее используют для биологических исследований в основном в летний период.

Две станции АВИ на островах Гельголанд и Зюльт в Северном море являются центрами прибрежных полевых работ и долгосрочных наблюдений за экосистемой побережья (German Bight). Сбор данных по температуре и солености начался на Гельголанде в 1873 г., а регулярный сбор и анализ фито- и зоопланктона – в 1962 и 1974 гг. соответственно. Уникальные базы данных, собранные в ходе этих долгосрочных наблюдений, являются важной основой для анализа экосистемных изменений и их причин и невероятно ценны для сравнения климатических изменений в полярных регионах (особенно в Арктике) с изменениями в умеренных водах Северного моря (Helgoland ..., 2010; Data ..., 2010).

Координация и материально-техническое обеспечение, научная поддержка мероприятий по полярным исследованиям немецких и зарубежных учреждений – одна из первоочередных задач АВИ. Поэтому Институт является частью мощной сети национальных и международных исследовательских центров. Совместные проекты, которые АВИ (часто вместе с другими немецкими институтами, например Центром им. Гельмгольца по исследованию океана, GEOMAR, г. Киль) осуществляет в Арктике в сотрудничестве с ММБИ и другими российскими институтами, являются результатом открытой политики двух стран.

С начала создания АВИ участвует в преподавательской деятельности. Большинство старших научных сотрудников преподают в Университете Бремена и других, а сотни магистров защитили свои работы в АВИ. На начало октября 2011 г. в Институте работало 188 магистров.

Рассмотрим только наши арктические исследования, хотя полная программа АВИ включает изучение Антарктики и береговые исследования.

**Арктические исследования.** Арктика – важный двигатель эволюции и изменения климата (Observation ..., 2007; Simulating ..., 2008). На протяжении прошлого века в Арктике стало в 2 раза теплее, чем обычно, что может быть расценено как сигнал-предупреждение будущих климатических изменений (Changes ..., 2010). Из-за резкого повышения температуры морские льды и ледниковый покров Арктики за последние десятилетия существенно уменьшились в объеме и толщине (Adjoint ..., 2009), также меняется химический состав (“окисление”) Северного Ледовитого океана. В случае сохранения этих температурных тенденций исследования АВИ и других (Potential ..., 2011) прогнозируют, что высокопродуктивные поверхностные слои Арктического океана будут испытывать недостаток карбонатных минералов к 2032 г. и могут стать свободными от льда в летний период к 2070 г. Поскольку полярная экосистема характеризуется высокоспециализированными и адаптированными видами и пищевыми цепями, ожидаемые будущие изменения окажут сильное влияние не только на физическую среду, но и на ее обитателей.

Процессы и изменения в Арктике имеют не только локальное значение, они влияют на климат и уровень морей во всем мире. Поэтому целью АВИ является обеспечение высококачественных научных наблюдений, усовершенствование анализа данных и построения моделей и уменьшение погрешностей прогнозов арктических процессов и их глобальных последствий. При анализе будущих изменений важно понимать относительную роль природной изменчивости и антропогенных влияний. Поэтому исследования Института вносят вклад в оценку последствий текущих изменений в Арктике, которые варьируют от локальных до глобальных.

Нынешняя программа исследований “Полярные регионы и побережье в изменяющейся системе Земли” (PACES, 2009–2013 гг.), которая осуществляется АВИ в сотрудничестве с Центром им. Гельмгольца (HZG) в Гестахте, включает 4 научные темы:

- 1) изменения Арктики и Антарктики;
- 2) береговые изменения;
- 3) уроки прошлого;
- 4) синтез – система Земля в аспекте полярных исследований.

Исследования Арктики проводятся преимущественно в рамках тем 1 и 4, но проблемы Арктики присутствуют и в остальных темах.

Одним из важнейших предметов исследований АВИ является объем и изменение ледяного щита Гренландии в прошлом, настоящем и будущем и влияние этих изменений на уровень Мирового океана. Научный анализ включает как прямые измерения ледового покрова, которые исследуют структуру ледников и позволяют сделать детальную палеоклиматическую реконструкцию, так и измерения с самолета и спутников (альтиметрия), позволяющие оценить соотношение масс и динамику ледникового покрова (Surface ..., 2009).

Также ученые АВИ наблюдают и моделируют изменения арктического морского льда и его влияние на обмен между океаном–льдом–атмосферой (рис. 3).





Рис. 3. Влияние изменений морского льда на полярный климат и экосистемы (R.Gerdes, личное сообщ.)

Например, в 2009 г. самолетами Polar-5 была проведена крупная международная кампания PAM-ARCMIP, действовавшая с воздушных арктических баз Гренландии, Канады и США. Изучались толщина морского льда и состав атмосферы обширного района Западной Арктики (рис. 4). Эти данные являются первостепенными для усовершенствования моделей морского льда и атмосферы (Supportic ..., 2010; A three-dimensional ..., 2010). Они также важны при учете влияния отступления морского льда на биогеохимические потоки и морские экосистемы.

Атмосферные исследования, проводимые АВИ, включают анализ динамики и моделей атмосферной циркуляции, а также химического состава атмосферы. Важными аспектами являются, в частности, долгосрочные серии наблюдений аэрозолей и концентрации озона в Арктике. Недавно впервые было проведено наблюдение арктической озоновой дыры. Ее происхождение удалось объяснить повышением стратификации атмосферы из-за потепления нижних атмосферных слоев (Unprecedented ..., 2011). Такого рода исследования являются частью международной работы ученых и требуют хорошо скоординированной сети атмосферных наблюдений в Арктике. Ученые из АВИ (Потсдам) объединяются для таких наблюдений, в частности, с российскими коллегами на северных полярных дрейфующих станциях.

Изучаются перигляциальные области в Сибири и Канаде (рис. 5), включая подводную вечную мерзлоту моря Лаптевых – остаток многолетней мерзлоты наземных районов, которые были затоплены в результате повышения уровня моря в период голоцена. На протяжении тысячелетий вечная мерзлота сохраняла большое количество органического углерода. С повышением температуры важной проблемой становится высвобождение этих запасов органического углерода

и парниковых газов, таких как метан, в результате таяния вечной мерзлоты. Микробиологическое изучение окисления метана показывает, что в соответствующих условиях этот биологический фильтр может преобразовать большую часть освобожденного метана в диоксид углерода (Methane ..., 2011). Высвобождение и преобразование углерода из разрушающейся вечной мерзлоты оказывает существенное влияние на глобальный углеродный цикл, но судьба этой органики и ее отложение в прибрежных районах океана остаются нерешенными вопросами.

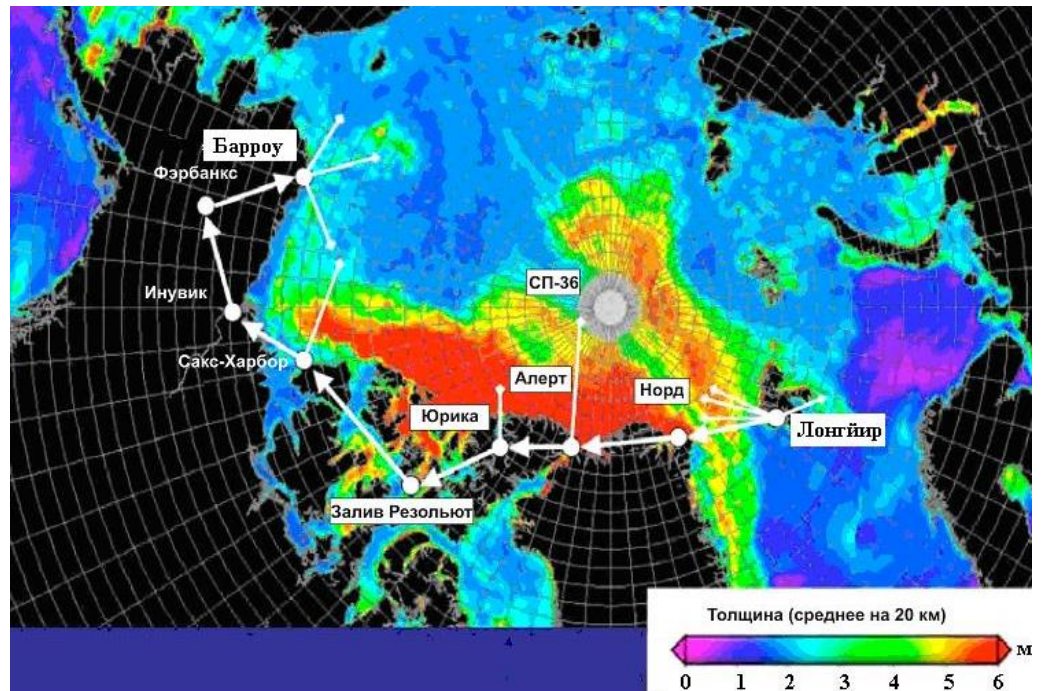


Рис. 4. Траектория полета Polar-5 для исследования толщины морского льда и химии атмосферы

Пролив Фрама между Шпицбергенем и Гренландией – единственный глубоководный проход между Атлантическим и Северным Ледовитым океанами. Количество арктической воды и льда во многом определяет образование плотной, глубокой воды, которая создает термохалинную циркуляцию Мирового океана. От 80 до 90 % водообмена между Северным Ледовитым и Атлантическим океанами происходит через пролив Фрама шириной 460 км. В восточной части теплые атлантические воды (Западно-Шпицбергенское течение) перемещаются вдоль побережья Шпицбергена в Северный Ледовитый океан, а холодные арктические воды (Восточно-Гренландское течение) возвращаются по западную часть пролива Фрама. Для изучения процессов, происходящих в этом регионе, АВИ установил постоянный пункт наблюдений “Хаусгартен” с океанографическими приборами и точками биологических и химических исследований на дне и в глубинных слоях пролива Фрама (Soltwedel, Klages, 2009). Система включает 15 станций отбора проб в слое от 1000 до 5500 м (рис. 6). Ежегодный отбор проб и измерения, проводимые учеными АВИ с 1999 г., выявили постоянный, постепенный рост температуры с 0.06 до 0.08 °C на горизонте 2500 м с 2000 по 2009 гг. (Temporal ..., 2010), и эта тенденция продолжилась в 2010 и 2011 гг. (рис. 7).

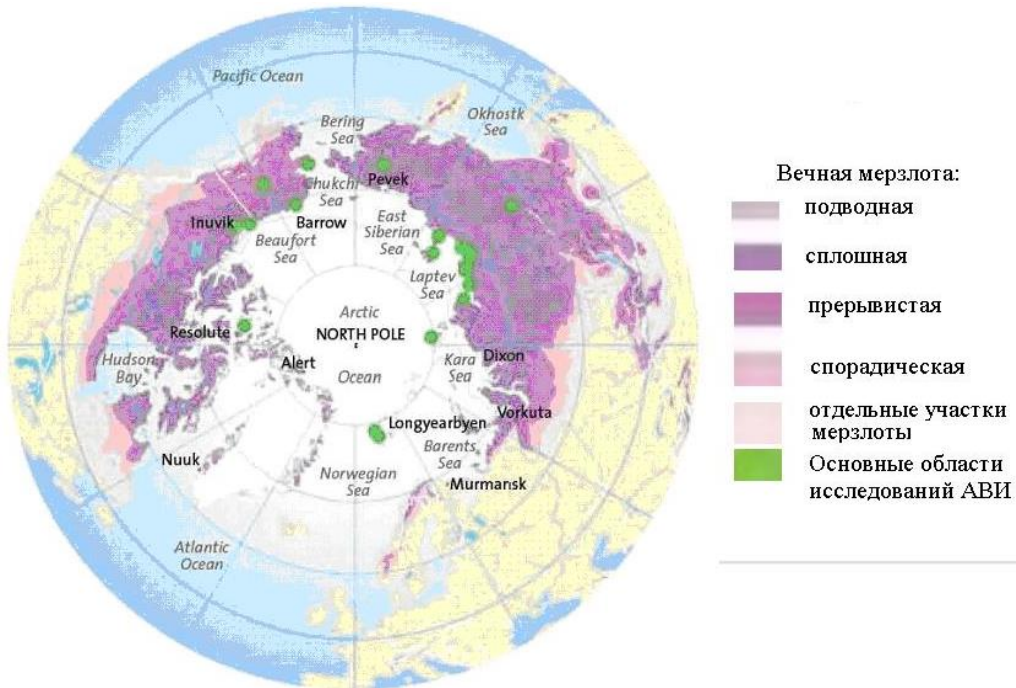


Рис. 5. Распределение вечной мерзлоты в Северном полушарии и основные районы исследований АВИ (карта: Hugues Lantuit, AWI; см.: International Permafrost Association)

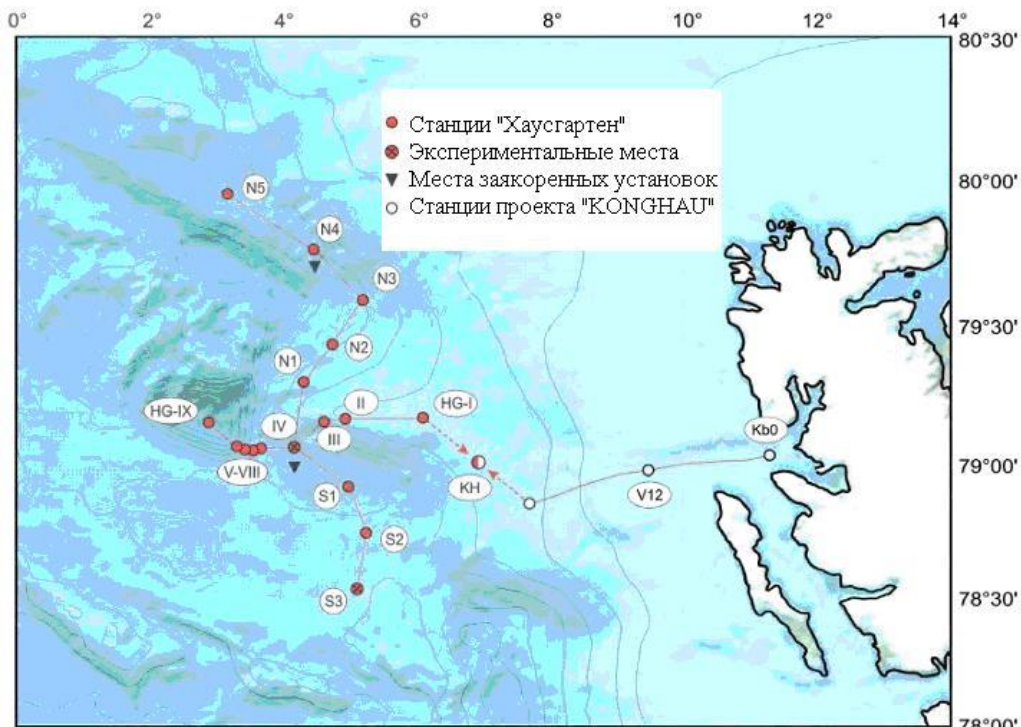


Рис. 6. Постоянные места сбора образцов (HG-I–HG-IX, N1–N5 и S1–S3) в пункте наблюдений “Хаусгартен” в проливе Фрама между Шпицбергом и Гренландией

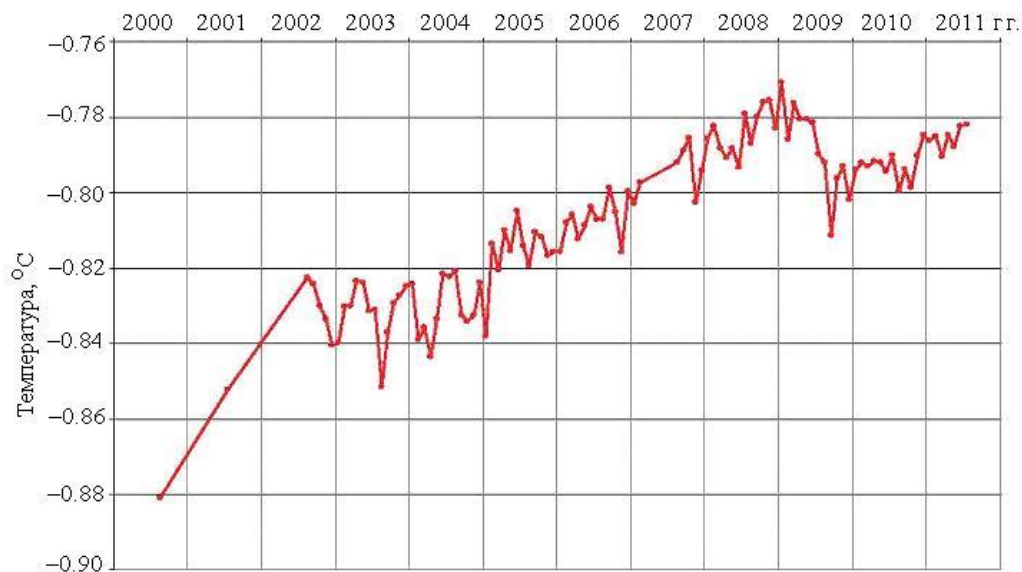


Рис. 7. Температура воды на станции “Хаусгартен” (HG-IV) на глубине 2500 м в 2000–2011 гг. (Т.Soltwedel, личное сообщ.)

Обсерватория функционирует с 1999 г. и является самой северной глубоководной станцией для долгосрочных биологических и физико-химических наблюдений. Она занимает площадь 110x70 км. С 2007 года на станциях KH, V12 и Kb0 регулярно отбирают пробы в рамках немецко-норвежского проекта KONGHAU.

Схожий рост температуры наблюдался на глубоководной станции в Норвежском море (Osterhus, Gammelsrod, 1999). Хотя это повышение небольшое, оно является значительным для невероятно стабильного глубоководного температурного режима и указывает на сдвиги в процессах водообмена между Атлантикой и Северным Ледовитым океаном. В этот же период морской лед постоянно отступал дальше к северу. Это движение вызвало снижение взвешенного органического вещества (Lalande et al., 2011) и повлияло на состав планктонного сообщества. Так атлантические виды заменили традиционные полярные арктические (Hirche, Kosobokova, 2007; Relationships ..., 2010). На дне моря с течением времени наблюдались сопутствующие изменения в численности и составе донных сообществ (Carbon ..., 2011). Станция “Хаусгартен” будет расширена до статуса центральной международной исследовательской базы, чтобы наблюдать также влияние изменений физической среды на биологические процессы и биоразнообразие. Процессы, которые изучаются в этом ключевом районе, могут служить индикаторами или примерами будущих преобразований в арктической системе. Планируется установить новые автоматические системы наблюдения и, в случае получения финансирования, соединить различные участки станции со Шпицбергом посредством глубоководного кабеля связи. Помимо обеспечения энергией развернутой системы датчиков, такое кабельное соединение позволит осуществлять постоянную передачу данных в лаборатории, даст ученым и операторам возможность впервые наблюдать и реагировать на важные изменения среды в реальном времени.

**Разработка исследовательских баз и инфраструктуры.** Несмотря на технологические достижения прошлых десятилетий, удаленность, обширность и

суровые условия Арктики все еще представляют серьезные трудности для проведения исследований. Влияние изменений климата на среду Арктики существенно различается во времени и пространстве. Это необходимо учитывать при планировании дальнейших исследовательских программ и разработке подходящих исследовательских баз и инфраструктуры. Наблюдения в ключевых районах Арктики, таких как вышеупомянутый пролив Фрама, должны проводиться непрерывно, чтобы фиксировать случайные явления и отслеживать изменчивость

и тенденции природных условий и биоты во времени. Это требует разработки нового, инновационного оборудования и датчиков, подходящих для надежного использования при очень низких температурах. Особой проблемой в полярных регионах является недостаток круглогодичных исследований морских и океанических процессов – зачастую исследование в море ограничивается летними месяцами из-за нехватки научно-исследовательских судов, способных работать в условиях Арктики зимой. Таким образом, одна из главных задач полярных исследований – развитие международного сотрудничества для координации и согласования стратегий наблюдения, усовершенствования обмена данными и повышения возможностей судов, развитие инфраструктуры для проведения совместных научных исследований.

**Будущие направления и программы исследований Арктики.** Изменение климата в Арктике ставит много вопросов. Исследования АВИ вносят вклад в создание базы данных арктических экосистем, изучаются изменения биологических и биогеохимических процессов, контролирующих биоразнообразие, пищевые цепи и продуктивность морских экосистем Арктики. Предвидимые будущие изменения являются ответом не только на изменения в природной среде. Ожидается также увеличение антропогенного влияния из-за потенциального использования арктических ресурсов и усиления судоходства.

В 2009 году правительство Германии приняло новую всеобъемлющую исследовательскую программу “Исследования в целях устойчивого развития”. Эта программа, в частности, определяет Арктику как ключевой регион для усиления исследований и развития инфраструктуры как на национальном уровне, так и в контексте участия Германии в проектах и программах Европейского союза. Чтобы наметить и осуществить дальнейшие действия недавно была разработана новая стратегия исследований Арктики (Schnelle Veränderungen in der Arktis: Polarforschung in Globaler Verantwortung) – “Стремительные изменения в Арктике: глобальная ответственность полярных исследований” (доступен только на немецком языке), проект был подготовлен под руководством АВИ с участием главных членов Арктического научного сообщества в Германии. Он опубликован Министерством образования и научных исследований Германии (BMBWF ..., 2011). Документ обобщает основные направления исследований Арктики в ближайшие годы, а именно: 1) прошлые, нынешние и будущие климатические изменения в Арктике; 2) влияние ледникового покрова Гренландии на повышение уровня моря; 3) сокращение плавучих льдов Арктики; 4) вечная мерзлота и газогидраты как “неизвестные” в климатической системе; 5) адаптация полярных организмов к изменениям в арктической среде; 6) возможности и риски, связанные с повышенным экономическим использованием Арктики. Для каждого из этих направлений стратегия указывает главные цели и основные вопросы, которые станут решающими при будущих научных исследованиях. Стратегия определяет районы немецких исследований в Арктике, например, пролив Фрама для глубоководных наблюдений и Шпицберген со станцией AWIPEV для атмосферных и метеороло-

гических исследований. Море Лаптевых и дельта Лены со станцией “Самойлов” остаются главными исследовательскими пунктами для изучения формирования и дрейфа морского льда, а также вечной мерзлоты. Крупномасштабные исследования в Северном Ледовитом океане проводятся при исследовании геологической эволюции Арктического бассейна или при междисциплинарном изучении морского льда. Помимо определения ключевых тем и вопросов для будущих научных исследований в Арктике, стратегия также подчеркивает необходимость более качественных научных наблюдений, синтеза, анализа и прогнозов в отношении вероятных рисков, связанных с изменениями в Арктике. Стратегия признает, что разработки в Арктике могут иметь эффект далеко за пределами региона, поэтому научная поддержка необходима для рационального похода, передачи знаний общественности, передачи технологий и поддержки молодых ученых.

Изучение и понимание сложности системы Арктики, того, как она развивалась и как на ней скажутся глобальные изменения, по-прежнему будет играть важнейшую роль в научной работе АВИ. В рамках подготовки новой пятилетней научно-исследовательской программы, которая станет продолжением нынешней программы PACES с 2014 по 2018 гг., Институт уже определил необходимость дальнейших исследований таких вопросов, как: динамика ледяных щитов, баланс масс и повышение уровня моря; изменение морского льда и его взаимодействие с атмосферой, океаном и экосистемами; деградация зон вечной мерзлоты; цикл углерода и газовый обмен с атмосферой. Новая программа также будет нацелена на изучение гидродинамики Северного Ледовитого океана, биоразнообразия в его глубинах и влияния изменений в экосистемах Арктики на биогеохимические потоки. Адаптация экосистем, ключевых видов и моделей поведения к изменениям окружающей среды будет важной областью исследований в прибрежных и шельфовых районах.

Отделения биологических, климатических наук и наук о Земле в АВИ с их междисциплинарными связями с государственными и международными партнерами хорошо подходят для изучения этих проблем. Чтобы распространить результаты этой работы и усилить их влияние, предполагается, что новая программа также будет предусматривать исследования взаимодействия науки и заинтересованных сторон. Одним из аспектов, к примеру, будет развитие инновационной информационной системы и системы управления знаниями и платформами для эффективной передачи результатов научных исследований политикам, обществу и тем, кто подвержен непосредственному влиянию изменений в Арктическом регионе. Этот аспект будет разрабатываться совместно с партнерами в арктических странах и в контексте международных организаций (Международный Арктический совет – IASC), как вклад в международную систему взглядов на политику и науку Арктики.

**Международное сотрудничество.** Новая стратегия исследований Арктики также подчеркивает необходимость совместных действий, особенно на международном уровне. Различные международные проекты и программы, реализованные в рамках Международного полярного года 2007/08, показали преимущества совместного использования опыта и данных многих партнеров при анализе изменений окружающей среды, происходящих в Арктике, их региональных и глобальных последствий.

Научное сотрудничество между Россией и Германией имеет долгую историю (см.: Г.Хемпель, наст. сборник). В 1987 году правительства стран подписали

первое соглашение о научно-техническом сотрудничестве, а в 1995 г. последовало особое соглашение, предусматривающее сотрудничество в морских и полярных исследованиях. В 1990-х годах это сотрудничество укреплялось усилиями прежних директоров АВИ Готтхильфа Хемпеля и Йорна Тиде и коллег в АВИ и ГЕОМАР. Сегодня АВИ имеет двусторонние соглашения о сотрудничестве со всеми ведущими российскими научно-исследовательскими институтами для поддержки совместных научных исследований и логистических операций в полярных регионах.

В связи с этим Лаборатория им. Отто Шмидта в Санкт-Петербурге (OSL, основана в 2000 г., режим доступа: <http://www.otto-schmidt-laboratory.de/>) и магистерская программа прикладных полярных и морских наук (“ПОМОП”, основана в 2002 г., режим доступа: <http://www.pomop.de/>) являются главными примерами успешного немецко-российского сотрудничества. Лаборатория находится в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте и поддерживается Министерством образования и научных исследований Германии, Российским министерством образования и науки, Российской федеральной службой метеорологии и мониторинга окружающей среды, а также ААНИИ, АВИ и ГЕОМАР. Это обеспечивает использование современного лабораторного оборудования для полярных и морских исследований и материально-технической базы для совместных научно-исследовательских проектов российских и немецких ученых. Магистерская программа “ПОМОП” читается совместно немецкими и российскими преподавателями в области полярных и морских наук на базе Санкт-Петербургского государственного университета и Лаборатории им. Отто Шмидта.

Сотрудничество дополняется рамочными соглашениями и совместными программами между Ассоциацией Гельмгольца и российскими коллегами (Российской академией наук и Российским фондом фундаментальных исследований). Молодые исследователи поддерживаются “Совместными исследовательскими группами Гельмголец–Россия” (HRJRG), финансируемыми Германией и Россией. В рамках Германо-Российского Года образования, науки и инноваций 2011/2012 много новых идей и инициатив привносятся научными и исследовательскими организациями, университетами и компаниями в обеих странах для укрепления существующих связей и определения новых тем и вопросов дальнейшего сотрудничества.

Текущие проекты, новые подходы и инициативы, описанные выше, основаны на свободе исследования, взаимном гостеприимстве на исследовательских станциях и на борту научно-исследовательских судов, обмене данными и научно-техническим персоналом, тесном сотрудничестве при публикации результатов и другой информации. В будущем эти вопросы приобретут еще большую значимость, особенно в свете возрастающего интереса к Арктическому региону и притязаний на обширные зоны континентального шельфа. Для проведения исследований в арктических водах АВИ необходимо разрешение соответствующего прибрежного государства, под национальной юрисдикцией которого находится эта акватория. Поэтому будущие исследования должны быть еще более международно-ориентированными и активно вовлекающими партнеров из России и других арктических стран на всех стадиях проекта (экспедиции) от начала до окончательного анализа и публикации результатов. Совместные встречи (семинары), обмен персоналом и идеями – это способы ближе познакомиться и поучиться друг у друга. Мурманский семинар 2011 г. и данная публикация – всего два шага в этом направлении. В качестве следующего шага ММБИ и АВИ пла-

нируют совместно проанализировать, сравнить и обменяться данными долгосрочного биологического мониторинга, полученными более чем за 50 лет институтами в ходе исследований вдоль разреза “Кольский меридиан” и станции “Хельголанд” соответственно. Мы надеемся по-новому взглянуть на долгосрочные экосистемные изменения в этих регионах и на потенциальную связь между арктическими и умеренными океаническими процессами. Это хороший пример совместного анализа данных и совмещения взаимодополняющего опыта двух организаций.

## Л и т е р а т у р а

*Adjoint analysis of the 2007 all time Arctic sea-ice minimum* / F.Kauker, T.Kaminski, M.Karcher et al. // *Geophys. Res. Lett.* 2009. V. 36. L03707. doi: 10.1029/2008GL036323.

*A three-dimensional characterization of Arctic aerosols from airborne Sun photometer observations: PAM-ARCMIP, April 2009* / R.S.Stone, A.Herber, V.Vitale et al. // *J. Geophys. Res.* 2010. V. 115(d13203). P. 18.

*BMBF. Schnelle Veränderungen in der Arktis: Polarforschung in globaler Verantwortung.* Bonn, Berlin, 2011. 32 s.

*Carbon flows in the benthic food web at the deep-sea observatory Hausgarten (Fram Strait)* / D. van Oevelen, M.Bergmann, K.Soetaert et al. // *Deep-Sea Res. (1 Oceanogr. Res. Pap.)*. 2011. V. 58(11). P. 1069–1083.

*Changes of the climate system in the polar regions* / K.Lochte, R.Gerdes, H.W.Hubberten, P.Lemke // *Nova Acta Leopoldina*. 2010. V. 112(384). P. 131–144.

*Data integration for European marine biodiversity research: creating a database on benthos and plankton to study large-scale patterns and long-term changes* / L.Vandepitte, B.Vanhoorne, A.Kraberg et al. // *Hydrobiologia*. 2010. V. 644. P. 1–13.

*Helgoland Roads, North Sea: 45 Years of Change* / K.H.Wiltshire, A.Kraberg, I.Bartsch et al. // *Estuar Coast*. 2010. V. 33. P. 295–310.

*Hirche H., Kosobokova K. Distribution of *Calanus finmarchicus* in the northern North Atlantic and Arctic Ocean – expatriation and potential colonization* // *Deep-Sea Res. (2 Top Stud in Oceanogr.)*. 2007. V. 54(23–26). P. 2729–2747.

*Lalande C., Bauerfeind E., Nothig E. Downward particulate organic carbon export at high temporal resolution in the Eastern Fram Strait: Influence of Atlantic water on flux composition* // *Mar. Ecol. Prog.* 2011. Ser. 440. P. 127–136.

*Methane oxidation associated with submerged brown mosses reduces methane emissions from Siberian polygonal tundra* / S.Liebner, J.Zeyer, D.Wagner et al. // *J. Ecol.* 2011. V. 99. P. 914–922.

*Observations: Changes in snow, ice and frozen ground* / P.Lemke, J.Ren, R.Alley et al. // *Climate change 2007: the physical science basis; summary for policymakers, technical summary and frequently asked questions. Part of the Working Group I contribution to the Fourth Assessment: Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2007.

*Osterhus S., Gammelsrod T. The abyss of the Nordic Seas is warming* // *J. Clim.* 1999. V. 12(11). P. 3297–3304.

*Polarstern – 25 Jahre Forschung in Arktis und Antarktis* / D.Fütterer, E.Fahrbach (Eds.). Bielefeld: Delius Klasing, 2007. 293 s.

*Potential impacts of future ocean acidification on marine ecosystems and fisheries: current knowledge and recommendations for future research* / K.Denman, J.R.Christian, N.Steiner et al. // *ICES J. Mar. Sci.* 2011. V. 68. P. 1019–1029.



*Relationships between primary production and vertical particle export at the Atlantic-Arctic boundary (Fram Strait, 79° N, 4° E) / A.Forest, P.Wassmann, D.Slagstadt et al. // Polar Biol. 2010. V. 33(12). P. 1733–1746.*

*Simulating the long term variability of liquid freshwater export from the Arctic Ocean / R.Gerdes, M.Karcher, C.Koberle, K.Fieg // Arctic-Subarctic Ocean Fluxes: Defining the role of the Northern Seas in climate. Berlin: Springer, 2008. P. 405–425.*

*Soltwedel T., Klages M. The Hausgarten – from snap-shots to time-series // Biological studies in Polar Oceans: Exploration of life in icy waters; 35 research reports and reviews. Bremerhaven: Wirtschaftsverl NW, 2009. 352 p.*

*Surface massbalance changes of the Greenland ice sheet since 1866 / L.Wake, P.Huybrechts, J.Box et al. // Ann. Glaciol. 2009. V. 50. P. 178–184.*

*Synoptic airborne thickness surveys reveal state of Arctic sea ice cover / C.Haas, S.Hendricks, H.Eicken, A.Herber // Geophys. Res. Lett. 2010. 37(L09501):5. doi: 10.1029/2010GL042652.*

*Temporal Change in deep-sea benthic ecosystems: A review of the evidence from recent time-series studies / A.Glover, A.Gooday, D.Baily et al. // Adv. Mar. Biol. 2010. V. 58. P. 1–95.*

*Unprecedented Arctic ozone loss in 2011 / G.Manney, M.Santee, M.Rex et al. // Nature. 2011. V. 478(7370). P. 469–475.*

УДК 551.465 (268.4)

**Г.Г.Матишов, С.Л.Дженюк, В.В.Денисов, А.П.Жичкин, Д.В.Моисеев**  
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск, Россия

#### **УЧЕТ ВЕКОВОЙ ДИНАМИКИ КЛИМАТА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ МОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

##### **Аннотация**

Приведены результаты исследований состояния климатической системы Баренцева моря в XX–начале XXI веков. Дана характеристика современных климатических трендов температуры воды и ледового покрова в Баренцевом море как основных индикаторов состояния морских экосистем Западной Арктики. Сделан вывод о близком завершении теплой фазы климатических колебаний и возвращении функционирования экосистемы Баренцева моря к среднему многолетнему состоянию. Выдвинуто предположение, что дальнейшие изменения климатической системы будут носить циклический характер с периодом, близким к 30 годам. Рассмотрено потенциальное воздействие климатических изменений на ведущие отрасли морского хозяйства – рыболовство, морской транспорт, добычу нефти и газа на шельфе.

**G.G.Matishov, S.L.Dzhenyuk, V.V.Denisov, A.P.Zhichkin, D.V.Moiseev**

#### **TAKING INTO ACCOUNT OF THE BARENTS SEA CLIMATE SECULAR DYNAMICS IN COURSE OF MARINE ACTIVITY PLANNING**

##### **Abstract**

Results of the Barents Sea climate system studies in the 20<sup>th</sup>–early 21<sup>st</sup> centuries are introduced. Characteristics of current climate trends of water temperature and ice cover anomalies in the Barents Sea are given. They serve as the main indicators of the European Arctic marine ecosystems' state. A conclusion is made on the near end of the present warm phase and return of the Barents Sea ecosystem functioning to the mean long-term state. It has been suggested that fur

ther changes in climate system will be of cyclic character, with a period close to 30 years. Potential influence of climatic changes on main branches of marine economy: fishery, transportation, oil and gas shelf production is considered.

## **Введение**

Климатические изменения морских экосистем – одна из важнейших проблем современной океанологии. Среди внешних факторов воздействия ведущее место занимают климатические аномалии, которые непосредственно влияют на биологическую продуктивность и биоресурсы морей, а связанная с ними изменчивость ледового покрова определяет условия жизнедеятельности морских организмов на всех трофических уровнях. Вместе с тем, в условиях расширяющейся экономической деятельности в морях Западной Арктики возрастает важность комплексных природных исследований, среди которых особое значение имеет изучение региональных особенностей термохалинных и ледовых условий и их климатической изменчивости.

Одним из важнейших районов мониторинга климатических изменений в Западной Арктике в течение XX–начала XXI веков является Баренцево море. Этот крайний северо-восточный участок системы Гольфстрима отличается значительной пространственно-временной изменчивостью термохалинных и ледовых характеристик (Гидрометеорология ..., 1990). Для корректной оценки этой изменчивости используется уникальная система наблюдений на стандартных гидрологических разрезах, в первую очередь, на разрезе “Кольский меридиан” по 33°30’ в. д. Относительная регулярность этих наблюдений позволяет выполнять необходимые оценки систематически и в различных временных масштабах.

В данной статье рассматриваются особенности климатической изменчивости термохалинных и ледовых условий, наблюдавшихся в Баренцевом море в XX–начале XXI веков и их воздействие на морскую деятельность.

## **Материал и методы**

Исследование климатической динамики Баренцева моря проведено на основе базы океанологических данных ММБИ, полученных в собственных экспедициях более чем за 75 лет и по результатам международного обмена. Массивы термохалинных данных по стандартным разрезам Баренцева моря насчитывают более 220 тыс. гидрологических станций с 1900 по 2011 гг. (Climatic ..., 2004; The impact ..., 2004; Мегабаза ..., 2005; Matishov et al., 2009; Климат ..., 2011; Гидробиологические ..., 2011). По ним были рассчитаны среднемноголетние значения (нормы) и аномалии температуры воды. Океанографические наблюдения в летний период 2001–2011 гг. выполнялись в рамках ежегодных комплексных экспедиций ММБИ на НИС “Дальние Зеленцы”. Всего за указанный период на акватории исследований с помощью СТД-зонда SEACAT SBE 19plus было выполнено более 750 станций.

Анализ динамики общей ледовитости Баренцева моря в настоящей работе проводился на основе электронной базы данных, сформированной в ММБИ. База содержит временные ряды ежемесячных значений площади льда за 1960–2011 гг., а также 420 ежемесячных ледовых карт за 1977–2011 гг. Расчеты площадей

ледового покрова за 1977–2011 гг. выполнены в лаборатории океанографии и радиоэкологии ММБИ с помощью ГИС-программы MapViewer. Для построения ежемесячных карт использованы данные дистанционного зондирования Центра ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ (Обзорные ..., 2000–2012).

## Результаты и обсуждение

Среди факторов, определяющих климат морей Западной Арктики, ведущую роль играет адвекция тепла Северо-Атлантическим течением. Благодаря распространению атлантических вод в Баренцевом море существует устойчивая фронтальная зона, отделяющая его незамерзающую юго-западную часть от остальной акватории с трансформированной водной массой и сезонным ледовым покровом (рис. 1). Распространение атлантических вод вдоль подводных желобов, выпаянных в геологическом прошлом материковым льдом, приводит к значительной пространственно-временной изменчивости температуры воды, поэтому для объективного суждения о климатических тенденциях необходимо использовать осредненные характеристики (Матишов и др., 1998; Matishov et al., 2009).

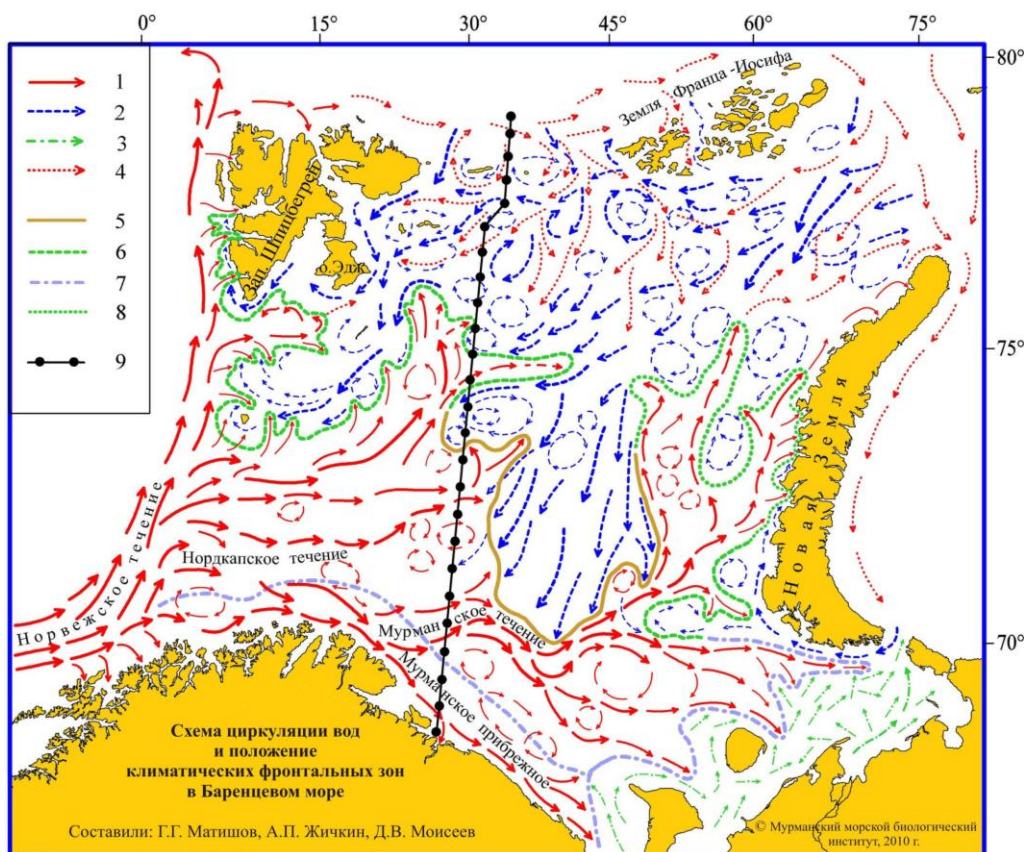


Рис. 1. Схема циркуляции вод, фронтальных зон Баренцева моря и положение разреза “Кольский меридиан”:

1 – теплые, 2 – холодные, 3 – местные прибрежные течения; 4 – распространение глубинных атлантических вод; 5 – термические, 6 – термохалинные, 7 – халинные, 8 – слабовыраженные, неустойчивые климатические фронтальные зоны; 9 – разрез “Кольский меридиан”

Мощность потока атлантических вод, его пространственно-временные изменения, положение полярного фронта лучше всего определяются в ходе анализа температуры и солености на стандартных (вековых) разрезах. Это связано с трудоемкостью измерений скорости и направления течений *in situ* и с тем, что для вековых разрезов собрана наибольшая база данных именно по температуре и солености (Матишов и др., 1998; Varents ..., 2009). При этом термохалинную структуру водных масс на стандартных разрезах обязательно необходимо рассматривать с учетом геоморфологии гляциального дна (Матишов, 1984; Matishov et al., 2009).

Разрез “Кольский меридиан” (рис. 1) уникален по длительности периода наблюдений, которые были начаты в 1900 г., прерывались в 1907–1920 и 1942–1944 гг., а с 1945 г. по настоящее время образуют непрерывный ряд. Как правило, регулярно исследуется только участок разреза до 74° с. ш. (Карсаков, 2010). Однако гораздо больший интерес представляет исследование термохалинной структуры севернее 74° с. ш., что позволяет исследовать все струи атлантических вод, затекающих в Баренцево море, а также полярный фронт. В океанологии общепринятым показателем климатической изменчивости морей Северо-Европейского бассейна остается средняя температура атлантических вод в слоях 0–50 и 0–200 м, что соответственно отражает процессы в деятельном слое моря и во всей водной толще (Матишов и др., 2007).

В вековой динамике климата теплые циклы отмечались неоднократно. Наиболее ярко выраженной была теплая климатическая фаза в 1920–1930-е гг. (рис. 2). Она была связана с климатическим феноменом первой половины XX века, известным как “потепление Арктики”, которое проявилось в повышении температуры на побережьях и островах, сокращении сезонного ледового покрова в арктических морях (Зубов, 1945; Vinje, 2001). На разрезе “Кольский меридиан” были отмечены две волны потепления с аномалиями температуры до +1.0 °С в начале 1920-х гг. и на протяжении большей части следующего десятилетия.

По результатам анализа данных, полученных в экспедициях ММБИ, расчета и оценки термохалинных аномалий на разрезе “Кольский меридиан” выявляется аналогичный период потепления, начавшийся в конце 1980-х гг. и продолжающийся по настоящее время. Это свидетельствует о явном усилении адвекции теплых вод из Атлантики по системе гляциальных желобов Баренцева моря. На фоне длительного потепления отмечалось кратковременное похолодание 1997–1998 гг. (Биоокеанографические ..., 1999; Похолодание ..., 2001).

В начале XXI века теплая аномалия вод Баренцева моря в слое 0–50 м достигла пика с 2001 по 2007 гг. В 2008–2010 годах она сменилась тенденцией к похолоданию (рис. 3). Таким образом, в многолетней динамике аномалий теплового состояния вод направленность тренда после 2007 г. реализуется как тенденция возврата к норме. В ближайшие годы можно ожидать возвращения режима функционирования экосистемы Баренцева моря к среднему многолетнему состоянию. В дальнейшем не исключен переход к периоду похолодания. Наши данные относятся к летним месяцам, но их можно с полным основанием распространить на все сезоны года, поскольку летний термический режим наиболее изменчив. Так, по данным научно-справочного пособия (Гидрометеорология ..., 1990), стандартное отклонение средней месячной температуры поверхностного слоя летом в разных районах Баренцева моря изменяется от 1 до 3 °С, тогда как зимой – от 0.5 до 1.0 °С.

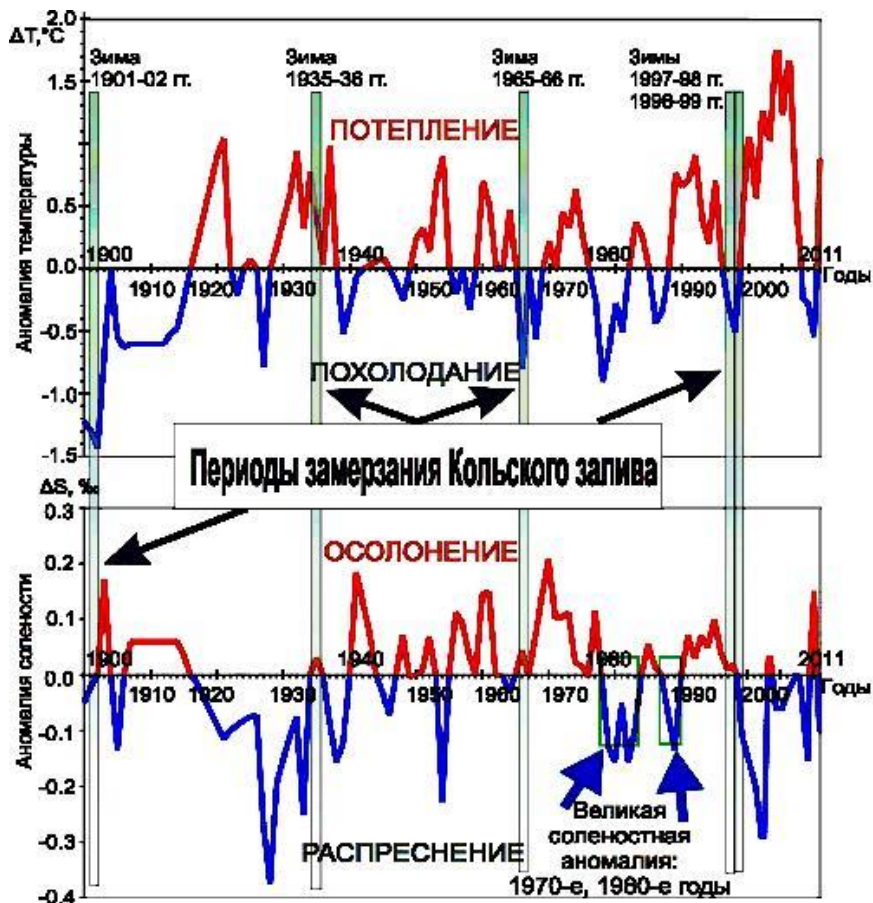


Рис. 2. Средневзвешенные аномалии температуры и солёности воды на разрезе “Кольский меридиан” в слое 0–50 м с 1900 по 2011 гг. по данным ММБИ (выделен период “Великой соленостной аномалии”; по: Great ..., 1998)

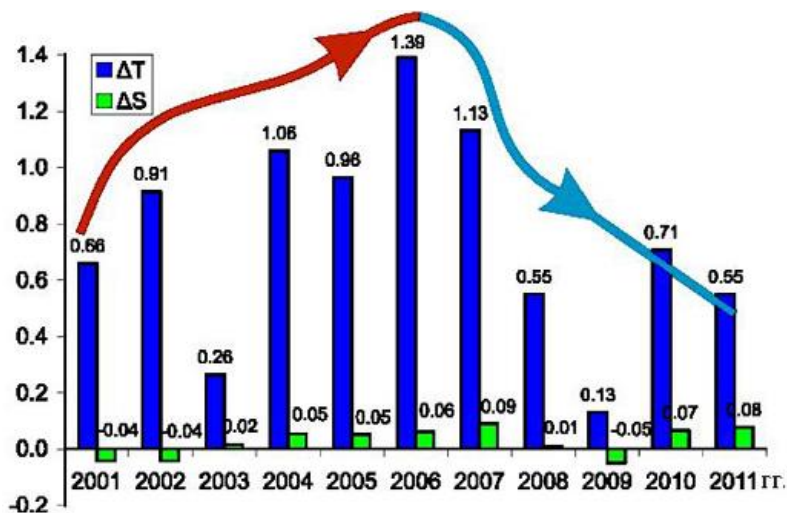


Рис. 3. Динамика аномалий температуры (°C) и солёности (‰) воды в слое 0–200 м на разрезе “Кольский меридиан” в летний период 2001–2011 гг. по данным экспедиций на НИС “Дальние Зеленцы”

Изменения температуры воздуха на побережьях морей Западной Арктики во второй половине XX–начале XXI веков следуют тем же закономерностям, хотя межгодовая изменчивость среднегодовой температуры воздуха значительно выше (аномалии разного знака чередуются с интервалами 1–2 года). В публикациях последних лет приведены результаты анализа рядов средней годовой температуры воздуха, выполненных по сходной методике для станций “Мурманск” (Кольский ..., 2009) и “Малые Кармакулы” на Южном острове Новой Земли (Зубакин, Бузин, 2008). В обоих случаях выявленные тренды значительно различаются в зависимости от интервала времени: если для 50–60-летнего ряда тренд близок к нулю, то в 1980–2005 гг. он составлял в обоих случаях порядка  $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ .

Проведенная нами выборка аномалий ежемесячных значений температуры воздуха в Мурманске начиная с 1919 г. показала, что хронологическое распределение аномалий близко к равномерному, в том числе и за последние два десятилетия, когда во многих районах мира прослеживался хорошо выраженный тренд потепления. Только в 2003–2008 гг. можно отметить явное преобладание положительных аномалий.

Одним из наиболее репрезентативных показателей состояния морских экосистем Западной Арктики является ледовитость Баренцева моря, рассчитанная при годовом или помесечном осреднении. В отличие от Норвежско-Гренландского бассейна, где ледовая обстановка от года к году меняется мало, и Карского моря, где вся изменчивость приходится на короткий летне-осенний период, для Баренцева моря характерны значительные межгодовые и внутригодовые колебания ледовитости в любые месяцы (Зубакин, 1987; Vinje, 2001; Sea ..., 2009). Ледовитость тесно связана с температурой морских вод. Так, для Баренцева моря коэффициент корреляции между ледовитостью в августе и температурой воды на разрезе “Кольский меридиан” в том же месяце составляет  $-0.83\pm 0.03$  (Гидрометеорология ..., 1990). Вместе с тем, ряды как ледовитости, так и температуры не свободны от пропусков во времени и методических погрешностей, поэтому для объективной оценки климатических трендов следует использовать оба вида информации.

Анализ многолетней и сезонной изменчивости ледового режима морей Западной Арктики ранее был проведен Г.К.Зубакиным (1987) и Е.У.Мироновым (2004). Новые данные о ледовитости Баренцева моря и его отдельных районов приведены также в работах (Бузин, 2008; Зубакин, Бузин, 2008), а о современных изменениях ледового покрова Северного Ледовитого океана в целом в работе (Алексеев и др., 2007). Для выполнения собственных оценок климатической тенденции нами была использована электронная база ММБИ по ледовитости Баренцева моря за 1960–2011 гг., упомянутая ранее. По этим материалам были рассчитаны ежемесячные и среднегодовые нормы и аномалии ледовитости Баренцева моря за указанный период.

По изменениям среднегодовой ледовитости все рассматриваемое пятидесятилетие делится на два больших интервала: до начала 1990-х годов – период с преобладанием тяжелых ледовых условий, с начала 1990-х и до наших дней – период с благоприятными условиями (Жичкин, 2010). При этом на протяжении рассматриваемого промежутка времени происходило постепенное уменьшение площади льда до минимальных значений в 2006–2007 гг. Однако в 2008–2010 гг. наметилась тенденция к увеличению ледовитости (рис. 4).

Наибольшая положительная аномалия (высокая ледовитость) за последние полвека наблюдалась в 1969 г. (+18 %), а наибольшая отрицательная (низкая ледовитость) – в 2006 г. (–21 %).

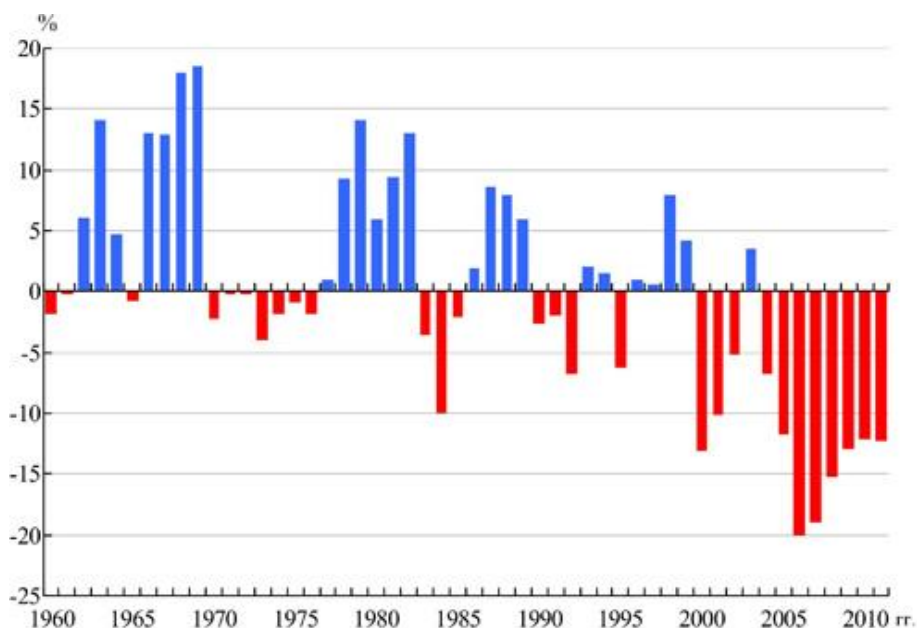


Рис. 4. Средние годовые аномалии ледовитости Баренцева моря в 1960–2011 гг.

В многолетнем ходе аномалии ледовитости отличаются высокой инерционностью. По нашим данным выделяются следующие периоды повышенной ледовитости (не ниже нормы в любом из месяцев) продолжительностью более одного года: январь 1963 г.–октябрь 1964 г. (22 мес.), январь 1966 г.–январь 1968 г. (25 мес.), март 1968 г.–декабрь 1969 г. (22 мес.), ноябрь 1979 г.–август 1981 г. (22 мес.), декабрь 1981 г.–декабрь 1982 г. (13 мес.), декабрь 1986 г.–март 1989 г. (26 мес.). После 1990 г. длительность периодов повышенной ледовитости не превышала 6 мес., а после 2000 г. только в одном случае достигла 5 мес. (ноябрь 2002 г.–март 2003 г.). Примечательно, что после исключения незначительной аномалии противоположного знака в феврале 1968 г. выделяется рекордно длительный период тяжелых ледовых условий, уложившийся строго в календарные рамки – с начала 1966 до конца 1969 гг.

Продолжительность периодов аномально легких условий в 1960-х гг. не превышала 7 мес., позже имели место периоды более одного года: август 1972 г.–сентябрь 1973 г. (14 мес.), январь 1984 г.–март 1985 г. (15 мес.). Между 1985 и 2000 гг. понижения ледовитости были частыми, но относительно непродолжительными. С декабря 1999 г. по октябрь 2001 г. пониженная ледовитость сохранялась 23 мес. Далее после некоторой стабилизации (средний показатель за 2003 г. превысил норму на 2 %) наступил беспрецедентный период пониженной ледовитости (с февраля 2004 г. по декабрь 2008 г.). В ряду средних многолетних значений 2006, 2007 и 2008 гг. оказались наименее ледовитыми (соответственно 17, 18 и 22 %).

Полное очищение Баренцева моря от льда продолжительностью 1 мес. и более за рассмотренный период имели место 10 раз, все эти случаи произошли в августе–октябре. В 1972, 1984 и 2000 годах безледный период длился до 3 мес., тогда как в аномально теплые 2004 и последующие годы его продолжительность не превышала 2 мес.

Показатели, осредненные в гидрографических границах морей, не всегда дают полное представление об особенностях ледового режима, важных для функционирования морских экосистем. Для морей Западной Арктики большое значение имеют ледовые условия прибрежных зон. Здесь выделяются три типа побережий: 1) прибрежная зона незамерзающей части Баренцева моря, где, тем не менее, возможно образование льда в изолированных бухтах и на приливных осушках, а также его вынос с речным стоком; 2) побережье юго-востока Баренцева моря, включая баренцевоморский берег Новой Земли, где существует регулярное чередование ледовых и безледных периодов; 3) архипелаги Земля Франца-Иосифа и Шпицберген (кроме его относительно теплого юго-западного берега), где ледовый покров возможен в любом месяце.

В юго-западной части Баренцева моря наиболее важны при проведении морской деятельности ледовые условия Кольского залива, на который приходится не менее 90 % населения прибрежной зоны и практически все гражданское судоходство. Со стороны открытого моря дрейфующие льды не подходили к Кольскому заливу ни разу за всю историю наблюдений. Непосредственно в заливе возможно образование льда вследствие более суровых зимних условий (по сравнению с открытым побережьем) и обильного речного стока. В зимы близкие к норме в заливе наблюдается только плавучий лед, который постоянно выносится в море приливными и стоковыми течениями. В аномально холодные зимы 1901/1902, 1935/1936, 1965/1966, 1997/1998 и 1998/1999 гг. акватория залива до среднего колена (о. Сальный) покрывалась припайным льдом, который сохранялся более месяца (Матишов, 2008; Кольский ..., 2009). Все эти случаи совпадали со значительными отрицательными аномалиями температуры воздуха при отсутствии ярко выраженных аномалий температуры, солености и ледового покрова в открытых районах моря.

На юго-востоке Баренцева моря сезонный ледовый покров отличается наибольшей стабильностью. Его формирование начинается обычно в ноябре в Печорской и Хайпудырской губах, после чего ледовый покров в короткий срок распространяется на всю береговую линию от мыса Канин Нос на западе района до пролива Карские Ворота на востоке и далее вдоль всего Баренцевоморского побережья Новой Земли. С января по апрель вся эта прибрежная зона стабильно покрыта льдом, кромка которого медленно смещается в центральную часть Баренцева моря, достигая максимального западного положения (до 40° в. д.), как правило, в апреле. Сокращение и разрушение льда обычно приходится на июнь. С 1960 по 2011 годы ледовый период на юго-востоке Баренцева моря длился не менее 4 мес. (январь–июнь), и только в аномальные сезоны 2007/2008 и 2008/2009 гг. сплошной ледяной покров здесь устанавливался в феврале. Однако в конце 2009 г. сроки его формирования приблизились к норме.

Арктические архипелаги постоянно окружены льдом с октября по июнь, однако в короткий теплый период ледовая обстановка в их прибрежных водах чрезвычайно изменчива. Так, для Земли Франца-Иосифа в августе–сентябре возможен набор ситуаций от полного закрытия льдом всех островов до полного очищения прибрежной зоны. В июне–июле (как исключение, в мае) могут возникать устойчивые заприпайные полыньи на южном и на северном побережьях Земли Франца-Иосифа (Среда ..., 1994). Такие ситуации резко участились с 1997 г.

Частичное освобождение прибрежной зоны Земли Франца-Иосифа от льда обычно длится 2–3 мес., с июля или августа по сентябрь. Примечательным исключением был период с 1993 по 1999 гг. В 1993, 1996 и 1999 годах такие условия наблюдались только в сентябре, в 1994 г. прибрежная зона была полностью закрыта льдом во все месяцы. Вместе с тем, в 1997 и 1998 гг. те или иные участки были свободны от льда с мая по сентябрь.



Полное очищение прибрежных вод Земли Франца-Иосифа случалось лишь в виде исключения: в сентябре 1984 и 1985 гг., в августе и сентябре 2000 г., в сентябре 2005 и 2008 гг. Резко аномальным был октябрь 2009 г., когда кромка льда почти везде устойчиво проходила севернее Земли Франца-Иосифа. В ноябре–декабре 2009 г. ледовые условия Земли Франца-Иосифа вернулись к норме, но в целом на Баренцевом море сохранялись аномально легкие условия.

За этим единственным исключением полное замерзание прибрежных вод Земли Франца-Иосифа всегда отмечалось в сентябре или октябре. Сроки разрушения льда были более изменчивы и на протяжении рассмотренного периода сместились к более ранним. Если в 1987–1997 гг. разрушение начиналось не раньше июня, то начиная с 2000 г. оно систематически отмечается в мае–июне (правда, это может объясняться и более полным выявлением полыней на спутниковых картах).

Таким образом, ледовые условия Баренцева моря во второй половине XX века в целом оставались стабильными. Крупная положительная аномалия температуры воды в первом десятилетии XXI века сопровождалась столь же ярко выраженным уменьшением общей ледовитости Баренцева моря. Однако закономерности изменчивости ледовых условий и, следовательно, среды обитания в разных прибрежных зонах были не столь однозначными. Наиболее продуктивные и чувствительные к разного рода воздействиям участки побережий подвержены более частым и разнонаправленным ледовым аномалиям.

При отсутствии надежных прогнозов глобального климата необходимо быть готовыми к следующим вариантам развития процессов в морской Арктике: 1) продолжению потепления в соответствии с тенденцией двух последних десятилетий; 2) стабилизации на уровне, достигнутом к середине последнего десятилетия; 3) возврату к норме, за которую приняты условия второй половины XX века; 4) смене знака аномалии в сторону понижения температуры и ухудшения ледовых условий.

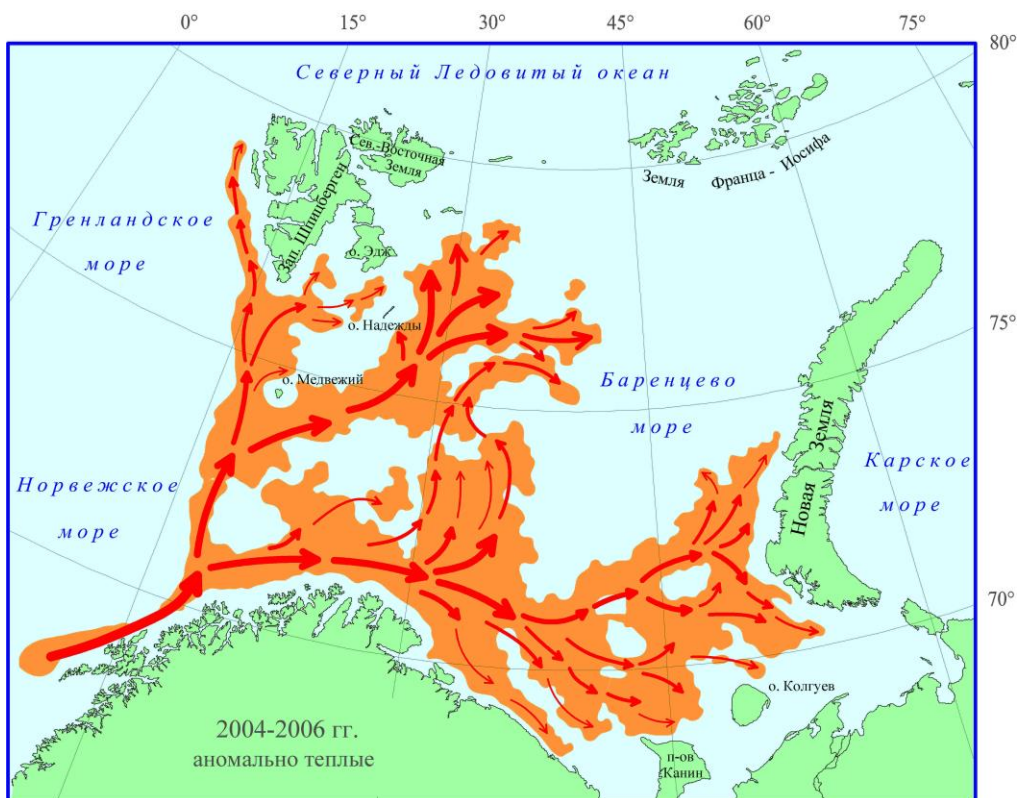
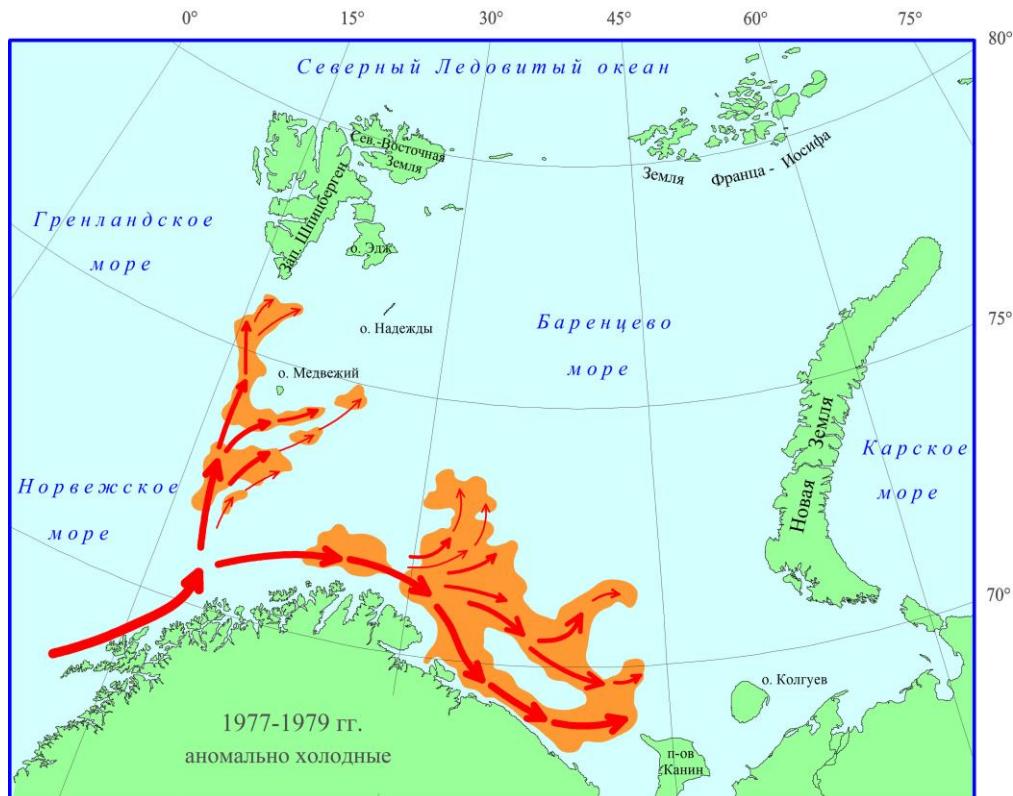
Современное морское хозяйство в целом адаптировано к сохранению климатической нормы. Это означает стабильность природных условий для рыбного промысла, транспортных операций и береговой деятельности. Существующая морская инфраструктура в этом случае будет использоваться наиболее эффективно, все научно-технические наработки прошлых лет сохраняют актуальность. Затяжное потепление уже повлияло на стратегию использования ледокольного флота, поставило под сомнение многие оценки гидрометеорологического и ледового режимов, полученные к концу прошлого столетия.

Наименее благоприятный сценарий похолодания в условиях рыночной экономики приведет к снижению всех показателей хозяйственной деятельности в Арктике, различной может быть только степень этого снижения. Сократятся запасы основных биоресурсов, часть современных районов промысла будет закрыта льдом. Снизится интенсивность морских перевозок, будут пересмотрены проекты освоения шельфа. Усилится отток населения из арктических регионов.

Сохранение или, тем более, усиление “потепления Арктики” повлечет за собой целый ряд геополитических, экономических и экологических следствий. В частности это скажется на рыбном хозяйстве, о чем свидетельствуют обобщенные данные о промысле трески в Баренцевом море (Жичкин, 2009). Так, в аномально холодные 1977–1979 гг. районы промысла были ограничены незамерзающей частью моря в области атлантических вод (к югу от 73° с. ш. и к западу от 40° в. д.), тогда как в теплый период 2004–2006 гг. они распространялись на северо-западе Баренцева моря до 79° с. ш., а на юго-востоке – до побережья Новой Земли (рис. 5).

---

Рис. 5. Пути миграций промысловых скоплений трески и положение районов промысла в аномально холодные и аномально теплые годы (Жичкин, 2009)



С экосистемной точки зрения современное расширение ареала промысловых скоплений трески, стабилизация ее регулируемого вылова в последнее десятилетие и повышенные экономические издержки более рассредоточенного и удаленного промысла расширяют возможности ведения рационального промысла трески в экосистеме Баренцева моря в результате однонаправленных, в целом положительных для сохранения вида тенденций в биологических, экономических и управленческих процессах.

Как было показано в ряде наших работ (Матишов, 2004; Climatic ..., 2004; The impact ..., 2004), ситуация в рыбной отрасли зависит прежде всего от объемов добычи и перелова ценных рыб, а также законодательного регулирования промысла. Климатический фактор играет важную, но не решающую роль. Поэтому ниже мы остановимся на секторах экономики, для которых зависимость от климата и ледового режима является критической: морском транспорте и добыче нефти и газа на шельфе.

Для морского судоходства в Арктике главным лимитирующим фактором был и остается морской лед. Для его преодоления был построен не имеющий аналогов в мире атомный ледокольный флот, создана система гидрографического и гидрометеорологического обеспечения. Это позволило организовать круглогодичную навигацию по западному участку Севморпути от Мурманска до Енисейского залива, а на его восточном участке – максимально использовать возможности летнего сезона для северного завоза.

Экономический кризис 1990-х гг. привел к оттоку населения из арктической зоны и резкому снижению экономической активности, что отразилось и на морских перевозках. По сравнению с максимальными показателями, достигнутыми в конце 1980-х гг., к 2000 г. завоз грузов в пункты Арктического побережья с запада снизился втрое, а с востока – более чем в 10 раз (Истомин, 2005). Полностью прекратились транзитные рейсы по Севморпути. Занятость ледокольного флота обеспечивалась главным образом круглогодичными перевозками медно-никелевого концентрата из Норильска (порт Дудинка) на предприятия Кольской горно-металлургической компании в Мурманской области, а также круизными рейсами к арктическим островам и на Северный полюс. Между тем в западных странах (США, Германии, Норвегии) сохранялся интерес к эксплуатации Севморпути как кратчайшего пути из Северной Атлантики в Азиатско-Тихоокеанский регион, разрабатывались соответствующие технико-экономические обоснования. Так, в 1990-е гг. под руководством норвежского Института Фритьофа Нансена выполнялся международный проект INSROP (International Northern Sea Route Project) по комплексной оценке природных, инфраструктурных и экономических условий навигации по Севморпути.

Аномальные ледовые условия последних лет резко изменили ситуацию на Севморпути. Если в недавнем прошлом даже в теплые летние сезоны лед перекрывал отдельные участки трассы, и ее сквозной проход без сопровождения ледоколов был невозможен, то в 2007–2011 гг. полное освобождение Севморпути от льда наблюдалось неоднократно. В прошлом аналогичная ситуация отмечалась в период “потепления Арктики” в 1936 г. (Зубов, 1945).

Рынок быстро отреагировал на изменившуюся ситуацию. Самым впечатляющим достижением 2011 г. стал ускоренный рост транзита по Севморпути. Так, в течение лета и осени несколько раз обновлялись рекорды грузоподъемности судов и скорости прохождения Севморпути в свободном плавании. По данным

ФГУП “Атомфлот”, учитывающим только рейсы под ледокольной проводкой, всего за летнюю навигацию 2011 г. транзитом по Севморпути прошли 34 судна, перевезено 820 тыс. т грузов. Общий объем перевозок по Севморпути, по экспертным оценкам, в 2011 г. составил 3–5 млн т (Интервью ..., 2011).

Дальнейшее развитие климатических процессов будет во многом определять стратегию обновления атомного ледокольного флота (Матишов, 2008). Уже выведены из эксплуатации атомные ледоколы “Арктика” и “Сибирь”. После 2014 г. из действующих 6 атомных ледоколов в эксплуатации останутся 1–2. Вместе с тем, очевидно, что даже на фоне многолетнего потепления в отдельные годы возможны ледовые аномалии противоположного знака. При отсутствии резервных мощностей ледокольного флота это приведет к дезорганизации морских перевозок, повышению природных и технологических рисков. Руководители и специалисты ФГУП “Атомфлот” полагают, что даже в условиях растущей ледокольной независимости перевозчиков потребность в атомных ледоколах на долгосрочную перспективу (2025–2040 гг.) составит 4–5 ед. (Атомный ..., 2011).

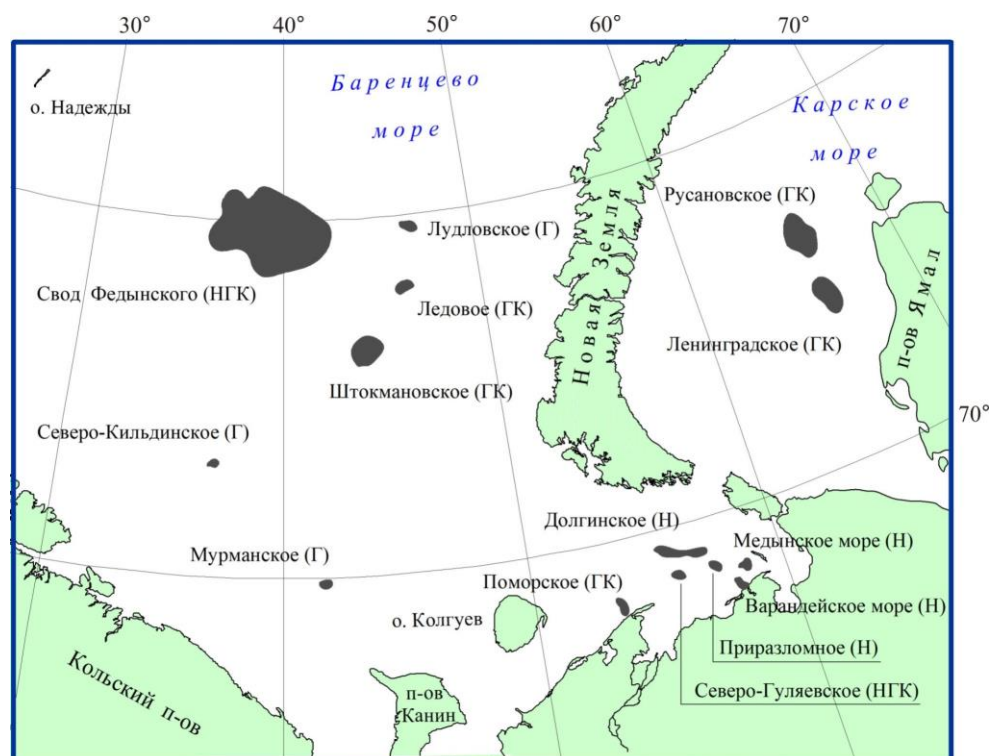


Рис. 6. Основные месторождения углеводородного сырья на шельфе Западной Арктики: Н – нефтяные, Г – газовые, ГК – газоконденсатные, НГК – нефтегазоконденсатные

Для морской нефтегазодобычи также характерна чрезвычайно высокая зависимость от условий среды. Положение нефтегазовых месторождений, разведанных в морях Западной Арктики, показано на рис. 6. Главными лимитирующими факторами на всех этапах разведки и эксплуатации месторождений являются морской лед и ветровое волнение, учитываемыми – метеорологические условия, обледенение судов и стационарных сооружений, течения, уровень моря. В арктических морях все они действуют в разных сочетаниях и в определенной мере

взаимозависимы. Так, в условиях потепления и сокращения ледового покрова усиливается циклоническая активность в атмосфере, возрастают разгоны волн и увеличивается продолжительность штормового сезона. Поэтому при наличии четко выраженных климатических тенденций технико-экономические и экологические обоснования проектов освоения шельфа должны постоянно корректироваться.

Эти соображения непосредственно относятся к двум важнейшим проектам, осуществляемым на Баренцевом море – освоению Штокмановского газоконденсатного и Приразломного нефтяного месторождений. Оба они находятся на подготовительной стадии уже более 20 лет. Сведения об истории этих проектов и их экологическом сопровождении приведены в работе (Матишов и др., 2009).

В ходе разработки Штокмановского проекта несколько раз менялся состав операторов, пересматривались сроки начала добычи газоконденсата, схемы его транспортировки, размещения береговых терминалов и завода по сжижению газа. По состоянию на начало 2012 г. еще не было принято окончательное решение о сроках строительства и ввода добычного комплекса. Такая неопределенность связана прежде всего с изменениями экономической ситуации: скачкообразными изменениями цен на нефть, освоением в США нового сырья – сланцевого газа, что ведет к снижению спроса на сжиженный природный газ.

Почти таким же затяжным стало освоение Приразломного месторождения, открытого в 1989 г. Основным объектом его обустройства является морская ледостойкая нефтедобывающая платформа “Приразломная”, с которой будет пробурено 40 наклонно-направленных скважин. В августе 2011 г. она была отбуксирована из Мурманска в район добычи, в марте 2012 г. началось бурение первой скважины.

За прошедший период в Баренцевом море изменялась не только экономическая, но и природная обстановка. Штокмановский район отличается высокой изменчивостью ледовых условий. Так, в работе (Научно-методические ..., 1997) отмечено, что за 1934–1989 гг. в 43 % случаев дрейфующие льды здесь не наблюдались в течение года, т. е. вероятность появления льда хотя бы в одном из месяцев превышала 50 %. Вместе с тем, по имеющимся у нас данным о ледовом покрове Баренцева моря, за период с 1977 г., освещенный непрерывными спутниковыми наблюдениями, эта вероятность снизилась до 30 % (10 лет из 35). Одновременно возрастает опасность айсбергов, так как при потеплении климата ускоряется разрушение береговых ледников арктических архипелагов. По многолетним данным, айсберги в центральной части Баренцева моря распространяются к югу до параллели 72°, т. е. значительно южнее Штокмановского района (Abramov, 1992).

Приразломное месторождение, в отличие от Штокмановского, находится в районе с тяжелыми, но более стабильными ледовыми условиями. Здесь, как правило, с ноября по июнь формируется сезонный ледовый покров, параметры которого хорошо изучены по результатам многолетних изысканий (Изменчивость ..., 2004). Потепление в этой части моря может привести к сокращению ледового периода, уменьшению толщины льдов, взломам припая с образованием мощных торосов, усилению штормовой активности на открытой воде, преимущественно осенью и в начале зимы.

В целом же положительная климатическая аномалия способствует более эффективному проведению всех работ на шельфе – поиску и разведке, установке и эксплуатации стационарных платформ, транспортным операциям, прокладке трубопроводов. Если потепление будет развиваться, то станут доступными

шельфовые месторождения Карского моря. В дальнейшем речь может идти о ресурсах континентального склона Северного Ледовитого океана. Именно поэтому в последние годы обострились проблемы разграничения экономических зон между прибрежными государствами и допуска других стран в Арктический бассейн.

## **Заключение**

Анализ данных наблюдений, расчет и оценка аномалий температуры и ледовитости позволяют констатировать сохранение начавшегося в конце 1980-х гг. “теплого” периода в климатическом состоянии водной среды, соответственно, и “теплого” периода в функционировании баренцевоморской экосистемы (Matishov et al., 2009). Баренцево море является транзитным регионом, через который примерно 50 % атлантических вод поступает в Арктический бассейн. Следовательно, отражая состояние единой термодинамической системы Арктика–Северная Атлантика, спектр изменчивости характеристик атлантических вод в Баренцевом море должен охватывать все масштабы (от синоптического к междекадному долгопериодному), из которых 50–60-летние являются наиболее существенными (Variability ..., 2004). На их фоне развиваются более мелкомасштабные процессы (2–8 лет), проявляющиеся в виде известной череды “теплых” и “холодных” лет (например, похолодание 1997–1998 гг.), связанные с особенностями межгодовой изменчивости атмосферной и океанической адвекции и локальными атмосферными процессами непосредственно в шельфовом Баренцевом море.

Потепление Баренцева моря, отмеченное на рубеже XX и XXI веков, по интенсивности и продолжительности сопоставимо с потеплением 1920–1930-х гг. В последние годы (2008–2011) этот процесс сменился противоположным, и океанологические показатели начали приближаться к норме. Есть основания полагать, что дальнейшие изменения климатической системы будут носить циклический характер с периодом, близким к 30 годам.

В последнее десятилетие благодаря теплой климатической аномалии сложились благоприятные условия для арктической навигации, реализации проектов освоения шельфа, научно-экспедиционной деятельности. В арктических морях, по сравнению, например, с дальневосточными, значительно реже отмечались чрезвычайные ситуации, и их последствия были менее тяжелыми. Однако сохранение таких условий не гарантировано.

В современной неоднозначной ситуации, как никогда раньше, необходим комплексный климатический мониторинг, включающий дистанционное зондирование, традиционные океанологические съемки, попутные судовые наблюдения, размещение автоматических метеостанций и океанологических буев. Без этого будет бесполезен арсенал климатических моделей, которые уже разработаны в большом количестве и продолжают развиваться.

Россия, как известно, уступает другим ведущим государствам мира по абсолютной величине расходов на науку и их доле в государственном бюджете. Но если во многих областях знания (например, в математике, гуманитарных науках) это не препятствует получению выдающихся результатов, то успешность полярных исследований и, как следствие, защиты интересов России в Арктике, всецело зависит от создания инфраструктуры, отвечающей современному мировому уровню. Эти вопросы должны быть постоянно в поле зрения Госсовета, Морской коллегии и других органов, ответственных за государственную политику в Арктике.

## Л и т е р а т у р а

*Алексеев Г.В., Захаров В.Ф., Иванов Н.Е.* Изменения современного климата Арктики // Тр. ААНИИ. 2007. Т. 447. С. 7–17.

*Атомный ледокольный флот России и перспективы развития Северного морского пути / В.В.Рукша, А.А.Смирнов, М.М.Кашка, Н.Г.Бабич* // Арктика: экология и экономика. 2011. № 1. С. 52–61.

*Биоокеанографические признаки похолодания в Западной Арктике / Г.Г.Матишов, Е.Г.Берестовский, Д.Г.Матишов и др.* // Докл. РАН. 1999. Т. 368. № 2. С. 254–258.

*Бузин И.В.* Оценки отдельных элементов ледового режима северо-восточной части Баренцева моря и шельфа Новой Земли // Тр. ААНИИ. 2008. Т. 450. С. 111–131.

*Гидробиологические индикаторы циклических изменений климата Западной Арктики в XX–XXI веках / Г.Г.Матишов, Д.В.Моисеев, О.С.Любина и др.* // Вестн. Южного науч. центра РАН. 2011. Т. 7. № 2. С. 54–68.

*Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / Под ред. Ф.С.Терзиева и др.* Л.: Гидрометеиздат, 1990. 280 с.

*Жичкин А.П.* Атлас российского промысла трески в Баренцевом море. Мурманск: Радица, 2009. 212 с.

*Жичкин А.П.* Климатические аномалии ледовитости Баренцева моря // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. науч. конф. (Мурманск, 27–30 октября 2010 г.). Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 133–137.

*Зубакин Г.К.* Крупномасштабная изменчивость состояния ледяного покрова Северо-Европейского бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1987. 160 с.

*Зубакин Г.К., Бузин И.В.* Характеристика многолетних изменений параметров климатической системы Баренцево-морского региона и возможный механизм ее развития // Тр. ААНИИ. 2008. Т. 450. С. 59–80.

*Зубов Н.Н.* Льды Арктики. М.: Главсевморпуть, 1945. 360 с.

*Изменчивость природных условий в шельфовой зоне Баренцева и Карского морей.* СПб.: Изд. ААНИИ, 2004. 432 с.

*Интервью секретаря Совета безопасности РФ Н.Патрушева* // Российская газета. 2011. 8 августа.

*Истомин А.В.* Северный морской путь: организационно-экономические перспективы возрождения и развития // Формирование основ современной стратегии природопользования в Евро-Арктическом регионе. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 471–481.

*Карсаков А.Л.* Закономерности и особенности режима вод Баренцева моря (по наблюдениям на вековом разрезе “Кольский меридиан”): Дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск, 2010. 199 с.

*Климат морей Западной Арктики в начале XXI века / Г.Г.Матишов, С.Л.Дженюк, А.П.Жичкин, Д.В.Моисеев* // Изв. РАН. Сер. географ. 2011. № 3. С. 17–32.

*Кольский залив: освоение и рациональное природопользование.* М.: Наука, 2009. 381 с.

*Матишов Г.Г.* Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.

*Матишов Г.Г.* Что воздействует на величину морских рыбных ресурсов // Вестн. РАН. 2004. Т. 74. № 8. С. 690–695.

*Матишов Г.Г.* Влияние изменчивости климатического и ледового режимов на судоходство в арктических и южных морях // Вестн. РАН. 2008. Т. 78. № 10. С. 896–902.

*Матишов Г.Г., Волков В.А., Денисов В.В.* О структуре циркуляции теплых атлантических вод в северной части Баренцева моря // Докл. РАН. 1998. Т. 362. № 4. С. 553–556.

*Матишов Г.Г., Голубев В.А., Жичкин А.П.* Температурные аномалии вод Баренцева моря в летний период 2001–2005 гг. // Докл. РАН. 2007. Т. 412. № 1. С. 112–114.

Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Денисов В.В. Рациональное природопользование в связи с перспективой нефтегазодобычи в Арктике // Вестн. РАН. 2009. Т. 79. № 8. С. 696–700.

Мегабаза данных по океанографии и биологии морей Западной Арктики / Г.Г.Матишов, А.Н.Зуев, В.А.Голубев и др. // Докл. РАН. 2005. Т. 401. № 2. С. 252–255.

Миронов Е.У. Ледовые условия в Баренцевом и Гренландском морях и их долгосрочный прогноз. СПб.: Изд. ААНИИ, 2004. 320 с.

Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Под ред. Г.Г.Матишова и Б.А.Никитина. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 394 с.

Обзорные ледовые карты Северного Ледовитого океана [Электронный ресурс] / ГУ “Арктический и антарктический научно-исследовательский институт” (ГУ ААНИИ) – Электрон. дан. [2000–2012]. Режим доступа: <http://www.aari.ru>.

Похолодание Баренцева моря в период Эль-Ниньо 1997–1998 гг. / В.И.Бышев, Л.И.Галеркин, Н.Л.Галеркина и др. // Докл. РАН. 2001. Т. 376. № 3. С. 397–400.

Среда обитания и экосистемы Земли Франца-Иосифа (архипелаг и шельф) / Отв. ред. Г.Г.Матишов. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. 256 с.

Abramov V.A. Russian iceberg observations in the Barents Sea, 1933–1990 // Polar Res. 1992. V. 11(2). P. 93–97.

Barents Sea multidecadal variability / S.Levitus, G.Matishov, D.Seidov, I.Smolyar // Geophys. Res. Lett. 2009. V. 14. P. 1–13.

Climatic atlas of the Arctic Seas 2004 / G.Matishov, D.A.Zuyev, V.Golubev et al. NOAA Atlas NESDIS 58, World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, V. 9, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2004. 148 p. CD-ROM.

Great Salinity Anomalies in the North Atlantic / I.M.Belkin, S.Levitus, J.I.Antonov, S.-A.Malmberg // Prog. Oceanogr. 1998. V. 41. № 1. P. 1–68.

Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along Glacial Troughs // Oceanologia. 2009. V. 51. № 3. P. 293–312.

Sea ice in the Barents Sea: seasonal to interannual variability and climate feedbacks in a global coupled model / T.Koenigk, U.Mikolajewicz, J.H.Jungclauss, A.Kroll // Climate Dynamics. 2009. V. 32. P. 1119–1138.

The impact of fisheries on the dynamics of commercial fish species in Barents Sea and the Sea of Azov, Russia: a historical perspective / G.G.Matishov, V.V.Denisov, S.L.Dzhenyuk et al. // Ambio. 2004. V. 33. № 1–2. P. 63–67.

Variability of the intermediate Atlantic water of the Arctic Ocean over the last 100 years / I.V.Polyakov, G.V.Alekseev, L.A.Timokhov et al. // J. Climate. 2004. V. 17. № 23. P. 4485–4497.

Vinje T. Anomalies and trends of sea-ice extent and atmospheric circulation in the Nordic Seas during the period 1864–1998 // J. Climate. 2001. V. 14(3). P. 255–267.

УДК 581.526.325 (268.53)

**Е.И.Дружкова, П.Р.Макаревич**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЯ ФИТОПЛАНКТОНА МОРЯ ЛАПТЕВЫХ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ**

### **Аннотация**

Работа посвящена вопросам изучения фитопланктона моря Лаптевых в историческом аспекте и на современном этапе. В области образования припайных льдов и в заприпайных полыньях сообщество планктонных микроводорослей резко различается по количествен-



ным показателям, структурной организации и годовой динамике. В целом, в составе сообщества доминируют неритические формы морских диатомовых. В статье приводятся также результаты исследования фитопланктона на акватории бухты Буор-Хая в августе 2010 г.

E.I.Druzhkova, P.R.Makarevich

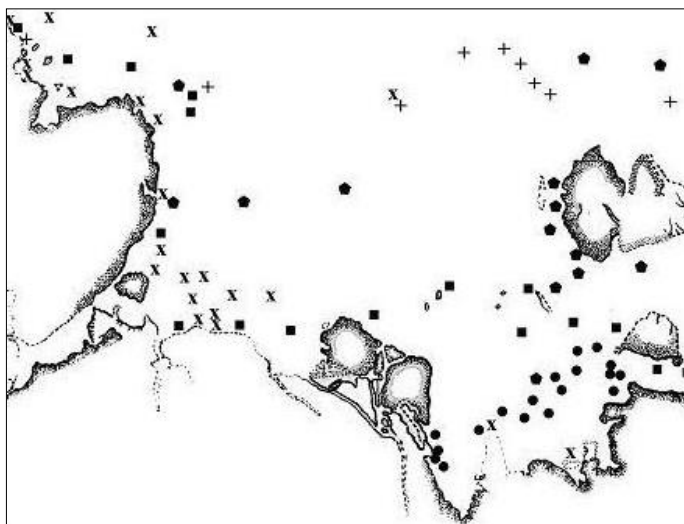
## THE LAPTEV SEA PHYTOPLANKTON STUDIES: PAST AND PRESENT

### Abstract

This article is devoted to the historical aspects and modern state of the phytoplankton investigations in the Laptev Sea. The phytoplankton community in the fast-ice zones and flaw polynyas is greatly differs by quantitative measures, annual dynamics and structural organization. In a whole the neritic forms of marine diatoms are dominating in the community. The results of phytoplankton investigations in august 2010 in Buor-Hai Bay are represented.

История изучения моря Лаптевых насчитывает более 100 лет, начиная с экспедиций Нильса Адольфа Эрика Норденшельда на судне “Вега” в 1878–1879 гг. и Фристьофа Нансена на судне “Фрам” в 1898–1899 гг. (рис. 1). Основной целью этих экспедиций было совершить сквозное плавание по Северному Ледовитому океану из Атлантического в Тихий, вдоль берегов Европы и Азии, т. е. открыть тщетно разыскиваемый в течение трех столетий Северо-Восточный проход. Попутно были собраны материалы о малоизученных в ту пору берегах Сибири и омывающих их водах, в частности, впервые были отобраны пробы воды для изучения водных микроорганизмов. В 1900–1903 годах состоялась Русская полярная экспедиция на шхуне “Заря” под руководством барона Эдуарда Толля для отыскания Земли Санникова, в 1910–1914 гг. – российская комплексная гидрографическая экспедиция под руководством Бориса Андреевича Вилькицкого на ледокольных судах “Таймыр” и “Вайгач”. Основной целью этих исследований также были попытки пройти по Севморпути. Первый систематический материал по изучению биоты моря Лаптевых, в частности, планктонных водорослей, был отобран в ходе экспедиций на шхуне “Полярная Звезда”, организованных Российской академией наук в 1926 и 1927 гг. Результаты этих исследований изложены И.А.Киселевым

в монографии “Исследования морей СССР” (1932).



ская (морского гидрологического отряда) 1927 г. на судне “Полярная Звезда”

Рис. 1. Карта-схема расположения гидробиологических станций в море Лаптевых (по: Киселев, 1932):

Экспедиции: ■ – шведская 1878–1879 гг. на судне “Vega”; ● – русская полярная 1900–1903 гг. на судне “Заря”; x – гидрографические станции 1912–1913 гг.; + – 1914 г. на судах “Таймыр” и “Вайгач”; ● – якут-

Особую интенсивность и результативность исследования приобрели с начала 1990-х гг. в рамках различных международных программ, в частности, совместного российско-германского проекта “Система моря Лаптевых”. Научно-исследовательские работы в рамках этого проекта направлены на исследование причин и механизмов климатических колебаний, которые происходили и происходят в природной среде системы моря Лаптевых в течение последних 10 тыс. лет. Эти исследования, необходимые для понимания современных и прогнозирования будущих природных изменений, ведутся по следующим основным направлениям:

- состояние и развитие современной криосферы;
- оценка пресноводного и энергетического баланса тундры;
- геоморфологические исследования дельты р. Лены;
- исследования эрозии береговой черты;
- эмиссия и потоки парниковых газов;
- почвенные исследования;
- объем и распределение речного стока и наносов;
- гидрологические и гидробиологические исследования моря Лаптевых.

Необходимо отметить, что, несмотря на масштабность прилагаемых усилий, в изучении моря Лаптевых до сих пор остается много белых пятен. Это объясняется, в первую очередь, очень суровыми климатическими условиями региона. Среди всех окраинных арктических морей море Лаптевых испытывает наиболее минимальное влияние теплых тихоокеанских и атлантических течений. Полярная ночь продолжается примерно 3 мес. на юге и около 4 мес. на севере. Отрицательные температуры воздуха сохраняются в северной части моря Лаптевых примерно 11 мес., в южной – 9 мес. Средняя температура воздуха самого холодного месяца (января) от  $-26$  до  $-28$  °C на юге и от  $-31$  до  $-34$  °C на севере. Абсолютный отмеченный минимум температуры  $-61$  °C. Средняя температура самого теплого месяца (августа) не превышает  $5-7$  °C на юге и  $1$  °C на севере. Наряду с типичными для всех сибирских шельфовых морей низкими зимними температурами море Лаптевых отличается обширным шельфом и обильным стоком речных вод, и, в первую очередь, реки Лены (примерно  $700$  км<sup>3</sup> в год).

В конце сентября на акватории моря начинается льдообразование и проходит одновременно на всей площади. Большую часть года (с октября по май) море Лаптевых покрыто льдами. Зимой в его мелководной восточной части до изобаты 25 м развивается обширный припайный лед толщиной до 2 м. При этом к северу от кромки припая располагается стабильная зона дрейфующих льдов. Постоянно двигаясь под действием отжимных ветров и течений, льды удаляются от припая, образуя обширные пространства открытой воды – заприпайные полыньи – уникальное явление в условиях суровой полярной зимы. Заприпайные полыньи в настоящее время выделяются в отдельный тип полярного морского ландшафта со своими характерными особенностями организации планктонных сообществ. Активность вертикальной циркуляции вод в полыньях, высокие концентрации биогенов и отсутствие ледового покрова определяют высокую продуктивность фитоценозов в этих районах. В море Лаптевых образуется целая система полыней, обычно выделяют Восточно-Североземельскую, Таймырскую, Ленскую и Новосибирскую.

Таким образом, все вышеперечисленные особенности определяют структуру и особенности функционирования фитопланктонных сообществ на акватории моря Лаптевых.

За весь период исследований на акватории моря Лаптевых работали более 100 научных экспедиций. В основном это комплексные экспедиции, которые проводились на судах “Академик Федоров”, “Капитан Драницын”, “Капитан Данилкин”, научно-исследовательском судне “Полярштерн”, а также (сотрудниками ММБИ) на атомных ледоколах, осуществляющих проводку по трассе Севморпути.

Необходимо отметить, что до настоящего времени по фитопланктону моря Лаптевых имеются немногочисленные, часто только таксономические, исследования в летний и осенний период. Это, во-первых, работа Н.Грана (Gran, 1904), в которой дана характеристика диатомовых водорослей по результатам анализа проб, отобранных в экспедиции Норденшельда. В работе И.А.Киселева (1932) приведены результаты исследования сообщества микроводорослей южной части акватории моря Лаптевых. Согласно полученным данным, весь исследованный участок был разделен на два района. Первый – прибрежный, сильно опресненный район бухты Буор-Хая, в планктоне которого исключительная руководящая роль принадлежала типичным пресноводным формам, наиболее характерными из которых являлись *Aphanizomenon flos aquae*, виды рода *Anabaena*, *Melosira italica*, *M. islandica*, *M. granulata*, *Asterionella gracillima* и др. Второй – по разрезу Тикси–Святой Нос, где сообщество микроводорослей было сформировано лишь единичными представителями морских форм фитопланктона – *Dinophysis arctica*, *Peridinium breve*, *P. pellucidum*, *Thalassiosira baltica* (Киселев, 1932).

Среди исследований современных авторов необходимо в первую очередь упомянуть работы К.Тюшлинг (Tuschling, 2000; Composition ..., 2000), посвященные изучению сезонной динамики микрофитопланктона в юго-восточном секторе моря Лаптевых – зоне образования припайных льдов. Кроме того, Ю.И.Сорокиным с соавторами описаны особенности пространственного распределения хлорофилла *a* и первичной продукции (Сорокин и др., 1993; Sorokin, Sorokin, 1996). Результаты натурных измерения хлорофилла, первичной продукции и органического углерода дополнены данными спутникового зондирования (Ветров и др., 2008).

Согласно этим исследованиям, на акватории зарегистрировано 94 вида планктонных и ледовых водорослей, из которых 59 – диатомовые, 24 – динофлагелляты, 5 – зеленые, 3 – золотистые и по одному виду относятся к классам Ebridiphyceae (*Ebria tripartita*), Prasinophyceae (*Pyramimonas* sp.) и Prymnesiophyceae (*Phaeocystis poitchetii*). Большинство (46 %) идентифицированных таксонов описываются как неритические, имеющие арктобореальную область распространения (49 %). Типично пресноводных таксонов (зеленые и некоторые диатомовые водоросли) отмечено всего 8 (9 %). По другим данным (Тимофеев, 1998), фитопланктон шельфа моря Лаптевых насчитывает 119 видов, из которых 82 представлены диатомовыми водорослями. Планктонная флора на большей части акватории типично морская (73 таксона – морские и солоноватоводные формы), с преобладанием неритических форм, обычных для арктических морей. В глубоководной северной части моря Лаптевых вследствие влияния атлантических вод обычным компонентом пелагического альгоценоза являются бореальные виды микроводорослей. Высокое обилие криопелагических форм регистрируется в полыньях и разводьях (Тимофеев, 1998).

Весенний период начинается с апреля и характеризуется формированием весеннего максимума развития планктонных микроводорослей (численность до  $1.6 \cdot 10^6$  кл/л при биомассе до 85 мкг С/л), причем в зоне припайных льдов цве-

тение начинается в части акватории, наиболее удаленной от дельты Лены под сплошным ледовым покровом толщиной более 2 м (рис. 2а). Интересно отметить, что феномен подледного цветения был описан сотрудниками ММБИ для акваторий Баренцева (район Печорского моря) и Карского (Обь-Енисейское мелководье) морей (Макаревич, 1998).

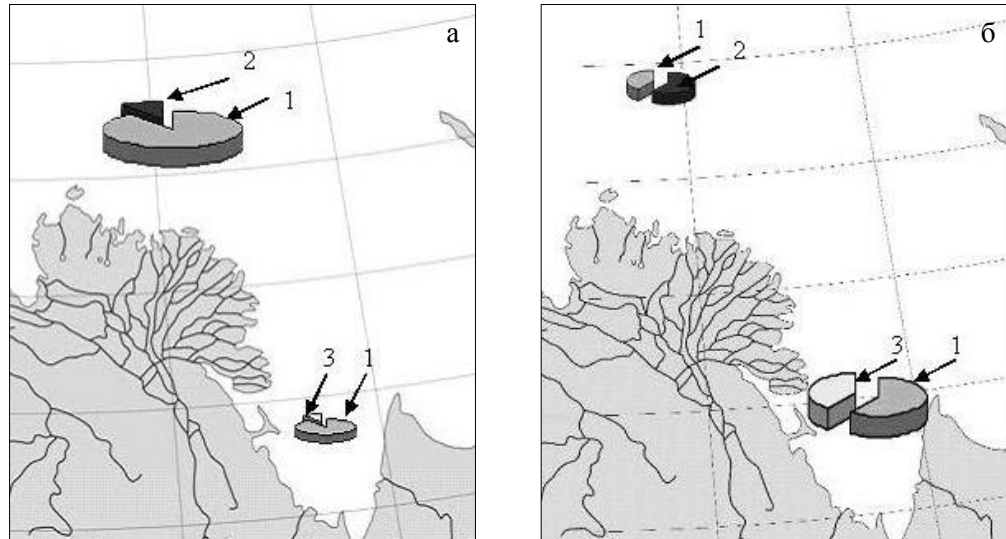


Рис. 2. Структура фитопланктонных сообществ в весенний (а) и летний (б) периоды: 1 – диатомовые, 2 – динофлагелляты, 3 – зеленые и золотистые водоросли

Минимальные значения биомассы (0.8 мкг С/л) в тот же период отмечаются в прибрежных районах, в частности, в бухте Буор-Хая. Весенний пик цветения микрофитопланктона сформирован диатомовыми водорослями, на долю которых приходится до 90 % совокупной биомассы сообщества. Доминирование диатомовых в весенний период в целом характерно для всех арктических морей. При этом структурная организация пелагического фитоценоза качественно различается на отдельных участках юго-восточного сектора моря Лаптевых. В зоне припая остальная часть сообщества представлена динофлагеллятами, в то время как в бухте – зелеными и золотистыми водорослями, что свидетельствует о постоянном влиянии речного стока. Более того, в составе диатомовых также лидируют пресноводные и эвригалинные формы. Уровни биомасс фитопланктона, которые регистрируются во время подледного цветения, вполне сопоставимы с летними биомассами фитопланктона открытой воды. Максимальные годовые значения регистрируются в весенний период во время вскрытия от льда сибирских рек и максимума речного стока.

В летний период (рис. 2б) в зоне влияния пресного стока устанавливается жесткая плотностная стратификация, толщина поверхностного распресненного слоя достигает 15–20 м. В то же время на северо-восточном участке акватории верхние 30–50 м заняты холодными, несколько распресненными водными массами, которые формируются в результате таяния ледового покрова. Максимальные биомассы (более 200 мкг С/л) отмечаются на прибрежных участках, где сообщество микроводорослей сформировано пресноводными диатомовыми со значительной долей зеленых и синезеленых водорослей. С удалением от берега биомасса фитопланктона падает на фоне относительного возрастания доли автотрофных динофлагеллят в сообществе (Tuschling, 2000).

Осенью биомассы микрофитопланктона невысоки (от менее 0.1 до 5.7 мкг С/л), максимальные значения зарегистрированы в прибрежной зоне дельты р. Лена. Для осеннего периода характерно резкое снижение освещенности и начало образования ледового покрова. Качественный состав сообщества в этот период весьма пестрый: в северных районах в поверхностном горизонте доминируют диатомовые, в подповерхностных слоях – динофлагелляты (включая гетеротрофные и миксотрофные формы), зеленые водоросли – в области влияния речного стока, синезеленые приурочены к формирующемуся льду (Tuschling et al., 2000).

Структура микрофитопланктонного сообщества заприпайных полыней резко отличается от вышеописанной (Гуков, 1999). В районе Сибирской полыни зарегистрировано 243 вида планктонных водорослей, в их числе диатомовых 172 вида (143 пеннатных и 29 центрических), зеленых – 32, синезеленых – 25, жгутиковых – 14 (Гуков, 1999). Ранневесенняя активизация фитопланктонного сообщества начинается в конце февраля–марте. Если в конце зимнего периода общая численность фитопланктона на участках открытой воды составляет примерно 1 тыс. кл/л (что, согласно данным А.Ю.Гукова (1999), на порядок ниже соответствующего значения для ледового биотопа), то к началу апреля численность достигает 65 тыс. кл/л при биомассе примерно 50 мкг С/л. Следует отметить, что в области заприпайных полыней и в вышеописанной зоне формирования припайных льдов весенняя активизация фитопланктонного сообщества начинается одновременно по всей акватории независимо от наличия ледового покрова. Ранневесенний пик микрофитопланктона в полынях очень непродолжителен и заканчивается до начала массового цветения в зонах припая. В таксономическом отношении планктонный альгоценоз заприпайных полыней в период весеннего “цветения” сформирован в основном пеннатными (роды *Fragillaria*, *Nitzschia*) и на отдельных участках акватории центрическими диатомовыми (роды *Melosira*, *Thalassiosira*, *Chaetoceros*), причем, в отличие от зоны припая, диатомовые сохраняют доминирующее положение в течение всего года, формируя два пика развития: в июне–июле и в августе–сентябре при средней численности 1.2 млн кл/л и биомассе более 300 мкг С/л (Гуков, 1999).

Биомасса фитопланктона подвержена значительной межгодовой изменчивости, что в первую очередь связано с изменениями условий среды. Так, в период 1985–1990 гг., согласно проведенным расчетам С.Ф.Тимофеева (1998), в динамике биомассы фитопланктона в Ленской полыне моря Лаптевых отчетливо наблюдалась тенденция уменьшения обилия. Это явление автор связал с глобальным фактором изменения климата, повлекшего за собой изменение в гидрологическом режиме Северного Ледовитого океана. Реакция на климатические изменения в 1980–1990 гг. проявилась в крупномасштабных аномальных снижениях солености, вызванных усилением интенсивности пресноводного стока; в эти же годы наблюдалось повышение частоты встречаемости положительных аномалий температуры (Alekseev, 1994; Surprisingly ..., 1997). Так, непрерывное возрастание пресноводного стока сибирских рек, в том числе и р. Лена в 1980-е годы (Alekseev, 1994), неизбежно привело к снижению солености в южной части моря Лаптевых. Поэтому уменьшение биомассы фитопланктона в течение 1985–1990 гг., вероятно, также связано с опреснением южной части моря Лаптевых, так как с этим процессом было связано значительное уменьшение концентраций биогенных веществ, таких как азота и фосфора (Гуков, 1995). По материалам конференции по созданию программы международного полярного десятилетия

(4–7 октября 2010 г., г. Сочи), потепление в Арктике усилилось с середины 1990-х годов и достигло максимального развития к 2007 г. В этот период произошло резкое сокращение площади, занимаемой морскими льдами в конце летнего периода. В Арктическом бассейне распространилась обширная положительная аномалия температуры в подповерхностном слое воды атлантического происхождения и изменилось распределение пресной воды в верхнем слое. При оценке влияния потепления на водные ресурсы России по результатам анализа годового, сезонного и месячного стоков 300 рек с естественным водным режимом за 50-летний период выявлены положительные тренды зимнего и летне-осеннего стока в бассейне р. Лена (на 10–30 % за последние 20–25 лет) (Оценочный ..., 2008). Однако при анализе изменения продукции фитопланктона в арктических морях за период с 1998 по 2007 гг. (спутниковые и натурные данные) был выявлен положительный тренд, годовая продукция возросла от 3.7 до 18 % (Vetrov, Romankevich, 2009). Причиной этого может быть уменьшение площади ледового покрова и соответствующее постепенное увеличение вегетационного периода микроводорослей.

Нужно отметить, что описанная картина организации фитопланктонных сообществ моря Лаптевых носит самый общий характер. До сих пор данных по фитопланктону крайне недостаточно.

Тем более важен для нас тот факт, что летом 2010 г. ММБИ принял участие в экспедиционных исследованиях в рамках проекта “Лена 2010” (с 28 июля по 10 августа). Основной целью данного этапа было выяснение своеобразия планктонных сообществ и динамики пищевых цепей в районе дельты р. Лена. Эта цель включала следующие задачи:

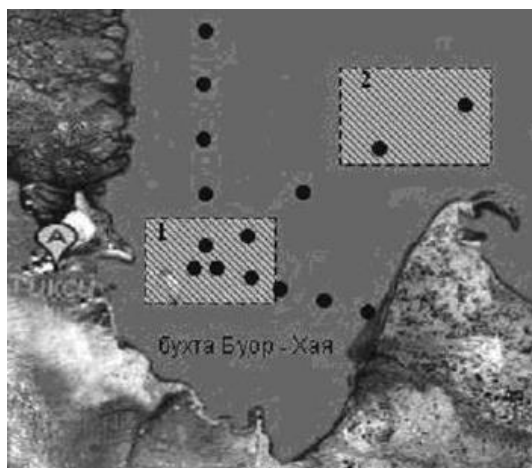
характеристика фитопланктона, микро-, мезозoopланктона вдоль градиента солености в речной, эстуарной и морской зонах в районе дельты Лены;

анализ биотических (флуоресценция, хлорофилл *a*, пигменты и т. д.) и абиотических параметров (биогены, температура и т. д.) вдоль градиента солености;

анализ влияния эмиссии метана из вечной мерзлоты на различные компоненты бентосных и планктонных пищевых цепей;

анализ цист и покоящихся стадий планктонных водорослей для определения роли наносов в жизненном цикле водорослей.

В период исследований были отобраны 45 проб фитопланктона на 15 станциях в бухте Буор-Хая (рис. 3).



мористый участок акватории

Наиболее характерными чертами гидрологического режима данного участка акватории в этот период были умеренный прогрев (до 8–10 °С) поверхностного слоя на фоне его значительного распреснения (от 2 ‰ в кутовой части до 5 ‰ на выходе из бухты).

Несмотря на такую однородность прост-

Рис. 3. Карта-схема расположения станций отбора проб в море Лаптевых в августе 2010 г.:

1 – кутовой участок акватории, 2 –

ранственного распределения гидрологических показателей, структурного единобразия в организации пелагического альгоценоза отмечено не было. При примерно равных численностях (около 260 и 270 тыс. кл/л) биомасса микроводорослей в кутовой части бухты (рис. 3, участок 1) в 2 раза превышает таковую более мористого участка (рис. 3, участок 2): 350 мкг/л (70 мкг С/л) против 150 мкг/л (33 мкг С/л) соответственно. Причиной этого являются различия в таксономическом составе микрофитопланктона, численность которого в наиболее распресненной области акватории бухты сформирована динофитовыми (в основном рода *Glenodinium*), криптофитовыми (преимущественно рода *Plagioselmis*) и зелеными (в основном роды *Monoraphidium*, *Koliella*) водорослями практически в равных соотношениях: 33, 27 и 25 % соответственно. Несколько меньший вклад в общую численность сообщества вносят синезеленые – 13 %. На долю диатомовых приходится только 2 % общего обилия и 1 % совокупной биомассы микропланктона. Последняя на 85 % сформирована динофлагеллятами (рис. 4а).

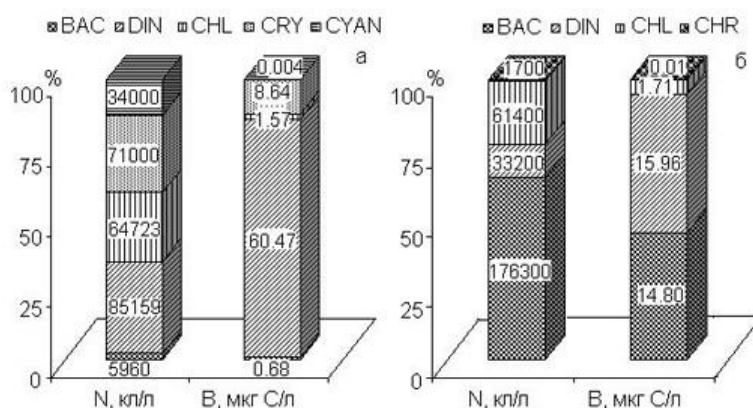


Рис. 4. Численность (N) и биомасса (B) различных отделов микроводорослей в кутовой (а) и мористом (б) участках акватории бухты Буор-Хая в августе 2010 г.:

BAC – Bacillariophyta, DIN – Dinophyta, CHL – Chlorophyta, CRY – Cryptophyta, CYAN – Cyanophyta, CHR – Cryptophyta

На более “мористом” участке акватории бухты диатомовые водоросли преобладают по численности (62 %). В их составе доминируют виды *Melosira granulata* и *Asterionella formosa*. При рассмотрении относительной биомассы сообщества микроводорослей диатомеи, вклад которых составляет 42 %, отходят на второй план, несколько уступая динофитовым, чья доля достигает 52 % (рис. 4б).

В заключение авторы хотели бы выразить надежду, что вопросы, затронутые в этой краткой обзорной работе, послужат стимулом для дальнейшего развития сотрудничества между ММБИ и АВИ в области изучения современного состояния фитопланктонного сообщества моря Лаптевых.

## Л и т е р а т у р а

Ветров А.А., Романкевич Е.А., Беляев Н.А. Хлорофилл, первичная продукция, потоки и баланс органического углерода в море Лаптевых // Геохимия. 2008. № 10. С. 1122–1130.

Гуков А.Ю. Экологический мониторинг в районе Ленской полыньи // Природа. 1995. № 4. С. 25–30.

Гуков А.Ю. Экосистема Сибирской полыньи. М.: Научный мир, 1999. 334 с.

Киселев И.А. Материалы по микрофлоре юго-восточной части моря Лаптевых // Исследования морей СССР. Л.: Изд. Гидролог. ин-та, 1932. Вып. 15. С. 67–103.

Макаревич П.Р. Весеннее состояние микрофитопланктонного сообщества юго-восточной части Баренцева и юго-западной части Карского морей на акваториях, покрытых льдами // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. С. 138–149.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II Последствия изменений климата // Водные ресурсы. М.: Росгидромет, 2008. С. 77–85.

Сорокин Ю.И., Сорокин П.Ю., Проткова Ю.В. Первичная продукция и распределение планктона в эстуарии реки Лены и прилегающем районе моря Лаптевых // Докл. РАН. 1993. Т. 335, № 4. С. 522–525.

Тимофеев С.Ф. Пелагическая экосистема моря Лаптевых // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. С. 75–88.

Alekseev G.V. The Arctic seas in the Arctic climate system. Russian-German cooperation in the Siberian Shelf seas: Geo-System Laptev-Sea // Berichte zur Polarforschung. 1994. № 144. P. 3–8.

Composition and distribution of the pelagic and sympagic algal assemblages in the Laptev Sea during autumnal freeze up / K.Tuschling, K.V.Jutzerzanka, Y.B. Okolodkov, A.Anoshkin // J. Plankton Res. 2000. V. 22, Iss. 5. P. 843–864.

Gran H.H. Diatomaceae from the Ice-floes and plankton of the Arctic ocean // The Norwegian North-Polar Expedition. 1893–1896. Sci. Results. 1904. V. IV(11). P. 3–74.

Sorokin Yu.I., Sorokin P.Yu. Plankton and primary production in the Lena Delta estuary and in the south-eastern Laptev Sea // Estuarine Coastal and Shelf Sci. 1996. V. 43. P. 399–418.

Surprisingly rapid spreading of newly formed intermediate water across the North Atlantic ocean / A.Sy, M.Rheyn, J.R.N.Lazier et al. // Nature. 1997. V. 386. P. 675–679.

Tuschling K. Phytoplankton ecology in the arctic Laptev Sea – a comparison of three seasons // Berichte zur Polarforschung. 2000. 347 p.

Vetrov A.A., Romankevich E.A. Production of phytoplankton in the Arctic seas and the recent warming / J.C.J.Nihoul and A.G.Kostianoy (Eds.) // Influence of climate change on the changing Arctic and Sub-Arctic conditions. 2009. P. 95–108.

УДК 551.35

**Г.А. Тарасов**

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

## **ОСОБЕННОСТИ СЕДИМЕНТОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В АРКТИКЕ**

### **Аннотация**

Представлены результаты совместной работы российских (ММБИ) и немецких (АВИ и ГЕОМАР) ученых по исследованию донных отложений арктических морей. Первая часть посвящена достижениям сотрудничества ММБИ и АВИ, вторая – ММБИ и ГЕОМАР.



G.A.Tarasov

## FEATURES OF SEDIMENTOLOGICAL STUDIES IN THE ARCTIC

### Abstract

This report is dealing with the results of joint Russian (MMBI) and German (AWI and GEOMAR) studies on Arctic Ocean sediments. In the first part accomplishments of the MMBI/AWI cooperation are introduced, whereas in the second part outcomes of the MMBI and the GEOMAR studies are presented.

Установление палеогеографической картины морской природной среды Западно-Арктической окраины и бассейна Северного Ледовитого океана в четвертичном периоде невозможно без изучения подстилающих дно рыхлых отложений. Шельфу западно-арктических морей свойственны специфические природные особенности: нахождение под покровом льда более 10 мес. в году; близость расположения современных горных ледников, покрывающих архипелаги; относительно большие глубины; контрастность рельефа дна; наличие протяженных глубоковрезанных желобов. Последние, как показано (Матишов и др., 1993), определяют характер распределения водных масс и основных физико-химических компонентов. Принимая во внимание, что все эти обстоятельства непосредственно оказывают влияние на общий ход современного осадконакопления, принципиально важным становится определение главнейших природных признаков, критерии которых можно было бы положить в основу при генетической типизации донных осадков. В силу тяжелых ледовых условий в этих районах проведение экспедиционных работ не всегда возможно. Тем не менее, совместными усилиями был получен уникальный седиментологический материал, который является важным свидетельством геологической истории развития региона. В силу литологических особенностей поверхностные донные отложения содержат исчерпывающую информацию о природной обстановке, при которой происходило накопление тех или иных осадочных массивов. Соответственно, нами с коллегами из Института полярных и морских исследований им. А.Вегенера (АВИ, Германия) было согласовано проведение как совместных седиментологических исследований в морских экспедициях на судах АВИ и ММБИ, так и камеральной (лабораторной) обработки полученных в экспедициях материалов.

**Морские экспедиционные исследования.** В морских экспедиционных работах, проводимых по плану АВИ на НИЛ "Полярштерн", привлекались специалисты ММБИ, а в рейсах, организованных ММБИ, принимали участие седиментологи АВИ:

Район работ	ММБИ	АВИ
Северный Ледовитый океан	ARK-V111/3-1991, НИЛ "Полярштерн"	Д.Фюттерер
	Г.А.Тарасов	
Море Лаптевых	ARK-X1/1-1995, НИЛ "Полярштерн"	Е.Рахор
	М.В.Митяев	
Район плато Ермака	ARK-X111/2-1997, НИЛ "Полярштерн"	Р.Штайн
	Н.В.Денисенко, М.В.Митяев	
Северный Ледовитый океан	ARK-X1V/1-1998, НИЛ "Полярштерн"	В.Йокат
	Н.А.Кукина	
	ARK-XV/2-1999, НИЛ "Полярштерн"	

Район плато Ермака	Н.А.Кукина ARK-XX/3-2004, НИЛ “Полярштерн”	Р.Штайн
Район плато Ермака	Н.А.Кукина, Я.Н.Янина НИС “Дальние Зеленцы”, 1992 г.	Р.Штайн
Земля Франца-Иосифа и Новая Земля	Г.А.Тарасов, С.А.Корсун НИС “Академик Голицын”, 1994 г.	Д.Нюренберг, Е.Грот
Земля Франца-Иосифа и Новая Земля	Г.А.Тарасов, С.А.Корсун	М.Вашнер, М.Полтерман.

Такая кооперация научного труда позволяла решать сложные организационные вопросы получения кернового материала в морских экспедициях и оперативной лабораторной обработки проб донных отложений с использованием аналитической базы АВИ и ММВИ.

Основные работы выполнялись на НИЛ “Полярштерн” в районе Северного полюса (СЛО) (рис. 1), на севере Гренландского моря (плато Ермак и пролив Фрама), в море Лаптевых, а на российских судах (НИС “Дальние Зеленцы” и НИС “Академик Голицын”) – на севере Карского моря, в желобе Святой Анны и проливах архипелага Земля Франца-Иосифа, а также в прибрежной зоне архипелага Новая Земля.

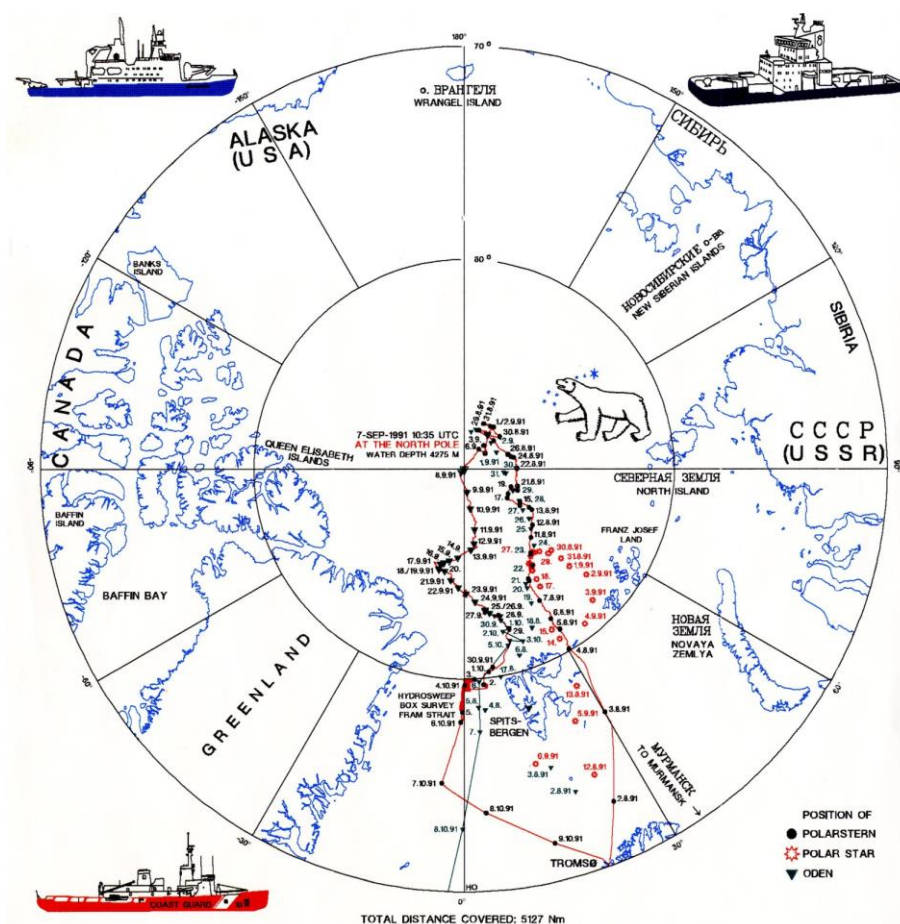


Рис. 1. Маршрут рейса ARK-V111/3 НИЛ “Полярштерн” (1991 г.)



Рис. 2. Отбор донных отложений с коробчатой грунтовой трубкой (KAL; кастенлот)

С целью получения материала, т. е. проб донных отложений, на научно-исследовательских судах использовались различные виды пробоотборников:

большой коробчатый грунтоотборник (GKG), 50x50x50 см (рис. 2);

коробчатая грунтовая трубка (KAL; кастенлот) с сечением 30x30 см и длиной 10 м;

гравитационная ударная грунтовая трубка (SL) с диаметром трубы 120 мм и длиной 20 м;

12-трубчатый пробоотборник (MUC, multi-corer) для отбора поверхностного слоя донных отложений до глубины 60 см при диаметре труб 6 см.

В ходе экспедиций непосредственно на судне выполняли отбор проб донных отложений и их первичную обработку, которая включала в себя литологическое

описание колонки (рис. 3), фотодокументирование, отбор образцов на различные виды вещественно-литологических, геохимических и микрофаунистических анализов и их упаковку для транспортировки на берег и хранения в особых лабораторных условиях. Дальнейший литологический анализ проб проводился в лабораториях обоих институтов по Договору о сотрудничестве № 03F08GUS между ММБИ (руководитель Г.Тарасов) и АВИ (координатор проекта Р.Штайн).

Экспресс-информация по каждой из вышеприведенных экспедиций в максимально короткие сроки публиковалась в журнале "Berichte zur Polar- und Meeresforschung" (107/1992, 120/1993, 176/1995, 212/1996, 255/1997, 271/1998, 287/1998, 342/1999), а также в препринтах ММБИ по экспедициям, проведенным на российских судах (рисунки 4, 5). Основные результаты седиментологических исследований представлены в статьях как отечественных, так и зарубежных изданий (Tarasov et al., 1992; Nürnberg, Groth, 1993; Regularities ..., 1995; Wahsner et al., 1996; Тарасов, Матишов, 1998; Granulometric ..., 1999; Kukina et al., 1999; Минеральный ..., 1999; The Granulometrical ..., 1999; Stein, 1999; Stein, Knies, 1999; Cleu ...; Левитан и др., 2000; Pogodina, Tarasov, 2000; Quaternary ..., 2000; Погодина, Матишов, 2001; Матишов, Кукина, 2002; Тарасов, Погодина, 2002; Янина, 2005а,б и др.).

Проведенные работы по изучению поверхностных донных отложений района показали, что преимущественное распространение имеют мелкоалевритовые и глинистые илы зеленовато-желтых, светло-коричневых и светло-серых тонов. По типу распределения и основным вещественным признакам осадков в исследованном районе Баренцево-Карского региона можно выделить две области: прибрежно-островную и открытого моря.

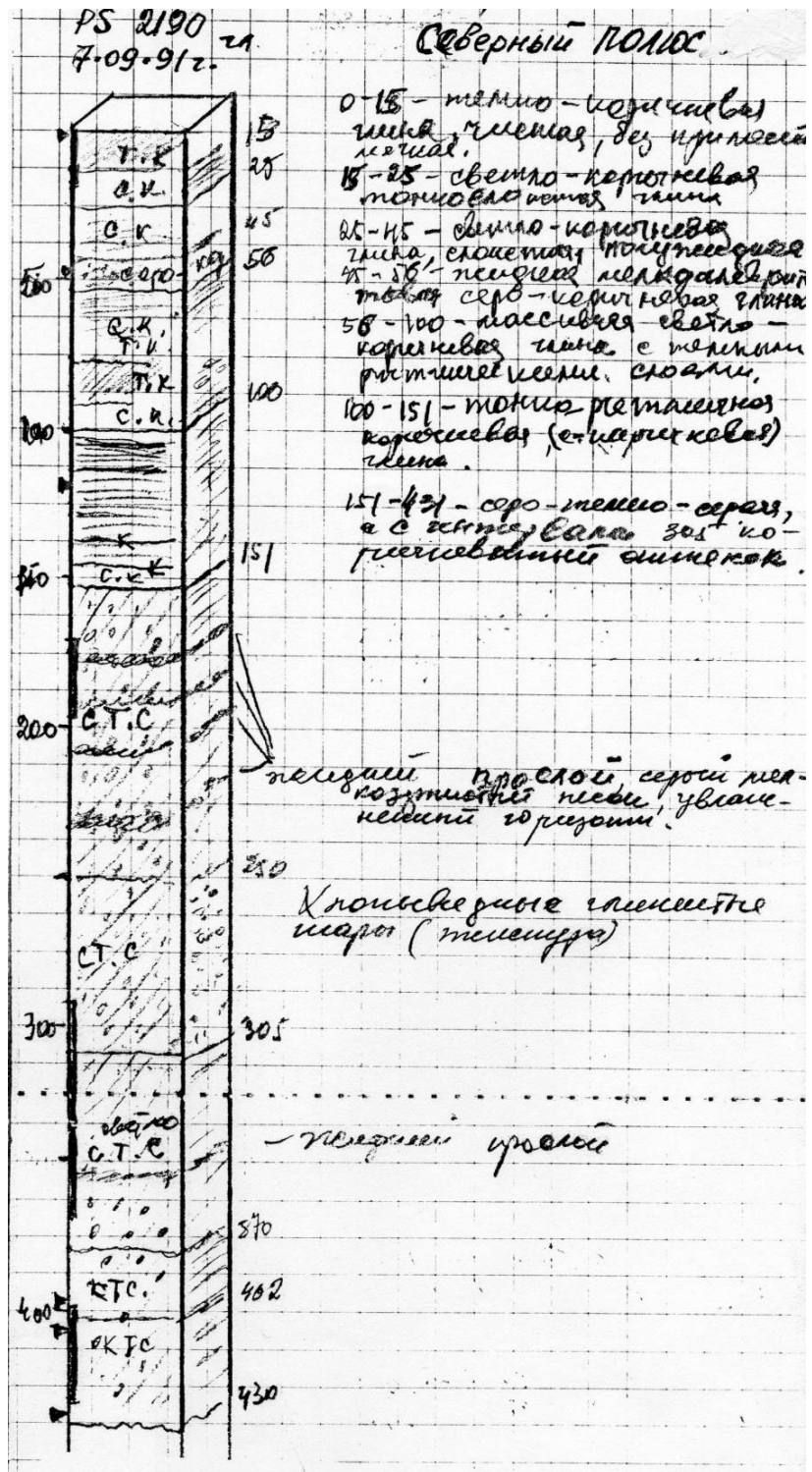


Рис. 3. Литологическая структура колонки RS 2190. Географическая точка – Северный полюс (зарисовка Г.А.Тарасова)

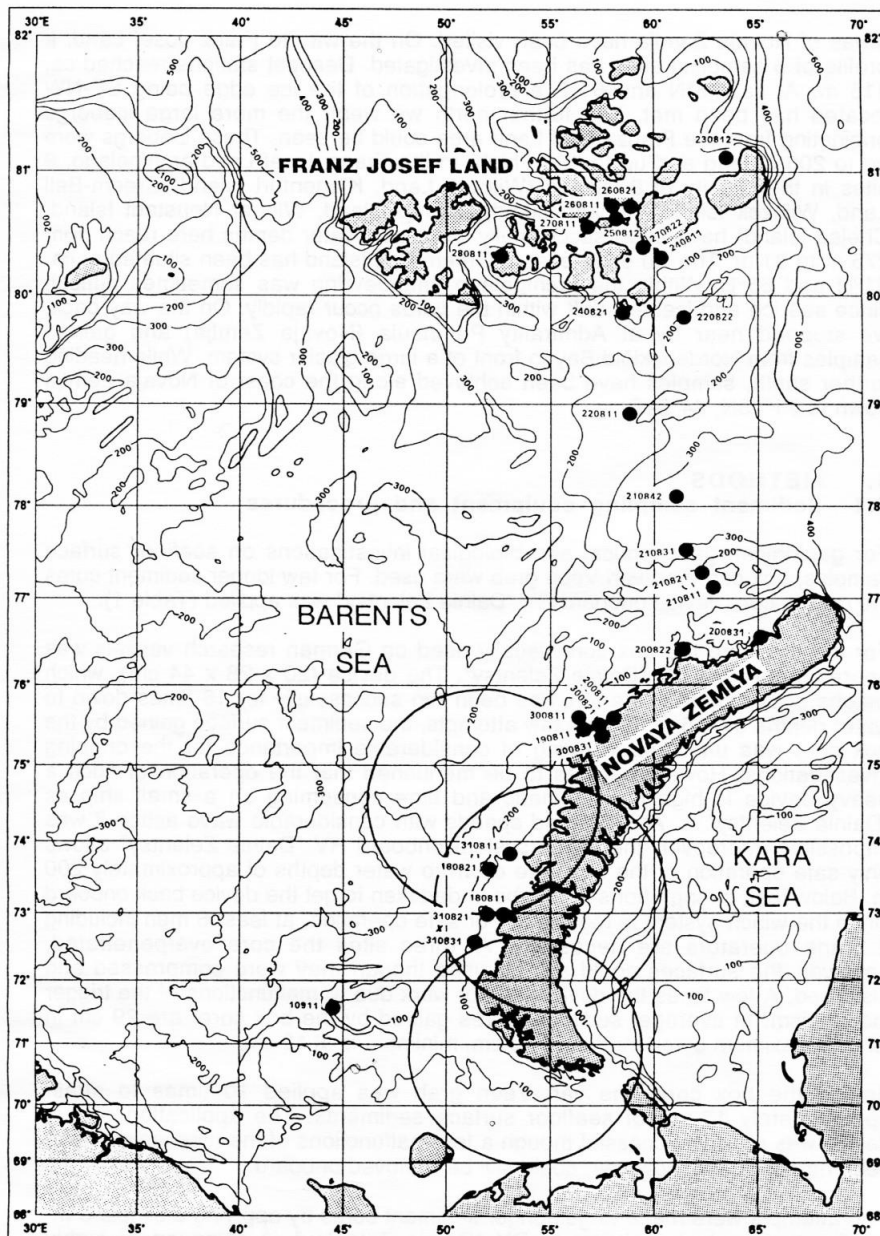


Рис. 4. Расположение геологических станций в районах архипелагов Новая Земля и Земля Франца-Иосифа (68-й рейс НИС "Дальние Зеленцы"; 14.08–05.09.1992 г.)

**Прибрежно-островная область.** Современные донные осадки на первый взгляд практически не отличаются от таковых из районов открытого моря. Вещественно-структурный состав их одного и того же порядка, а разница лишь в упаковке зерен и темпах накопления осадка. Наблюдением установлено, что в фьордах и заливах со спокойной гидродинамической обстановкой происходит интенсивное отложение несортированного терригенного материала ближнего транспорта без видимой переработки частиц. Как правило, это продукты разрушения скальных пород береговой зоны современными экзогенными процессами.

Особо преобладающее значение имеет эффект выноса осадочного материала ручейками и реками, берущими начало под современными выводными ледниками. Этот талый водный поток сильно насыщен моренной минеральной взвесью. Например, в заливе Норденшельда на западном берегу Северного острова Новой Земли в разгар лета (Reports ..., 1993) поток талых вод, насыщенный терригенной взвесью, вытекающий из-под выводного ледника, распространялся на выходе из залива в открытое море на расстояние более 20–30 км. По данным В.С.Медведева и Е.М.Потехиной (1990), в кутовой части залива Норденшельда концентрация взвеси составляла 304.2 мг/л, перед выходом в море – 49.0 мг/л, в открытом море на расстоянии 10 км от берега – 6.1 мг/л. Соответственно, основная масса минеральной взвеси осаждается в пределах залива и лишь небольшая часть выносится в открытое море. При этом объем выносимого терригенного материала и расстояние транспортировки от фронта выводного ледника в море зависит от интенсивности процесса таяния ледников и, в свою очередь, от температурного режима лета. В теплое лето выносится гораздо больше минерального седиментационного материала, чем в холодное.

Изучение проб донных отложений в колонках разрезов показало, что приповерхностные осадки представлены мелкоалевритовыми илами зеленовато-серого, бурого или коричневого цвета, пронизанными многочисленными трубками полихет. Отличительным признаком разреза донных осадков вблизи тающих ледников является наличие монотонного слоя серых и зеленовато-серых, пластичных, весьма бедных фаунистически мелкоалевритовых илов, являющихся продуктом осаждения “ледникового молока”. В 1–3-метровых колонках, полученных в заливе Норденшельда (станции ДЗ-32, ДЗ-33, ДЗ-34), осадки верхнего слоя разреза (0–5 см) представлены мягкими, темно-серыми, оливково-серыми практически однородными мелкоалевритовыми илами. Во всех колонках плотность осадка увеличивается сверху вниз.



Под верхним полужидким слоем прослеживаются горизонтально слоистые мелкоалевритовые илы. При этом изменение гранулометрического состава не наблюдается. Толщина светлых (серых и оливковых) слоев колеблется от 1 до 10 см, а темных – от 1 до 5 мм. Светлые слои являются накоплениями в летний сезон, а темные – в зимний период (Reports ..., 1993). Толщина слоя зависит от скорости осадконакопления за год, и чем толще слой, тем интенсивнее идет таяние ледников и вынос талыми потоками взвешенного терригенного вещества. Осев-

Рис. 5. Ледовый транспорт обломков горных пород в районе архипелага Земля Франца-Иосифа

ший за лето седиментационный материал в первый год еще находится в полужидковзвешенном состоянии. В зимний период с установлением ледового покрова в заливе приток осадочного вещества резко сокращается. Фактически на дно переходит только взвесь, содержащаяся в водной толще и не успевшая осесть за летне-осенний сезон, а также мертвая органика, генерируемая в виде взвеси после весенней вспышки организмов, которые также находились в водной толще. За зиму в поверхностном полужидком слое за счет молекулярной связи между терригенными частицами идет процесс уплотнения. Уже на следующее лето с усилением притока седиментационного материала осадки прошлого года из полужидкого горизонта переходят в нижележащий, в собственно мелкоалевритовый ил. Процесс уплотнения осадка и утоньшение слоя продолжается в каждый последующий год.

В сравнительном аспекте процесс современного осадконакопления в заливах Новой Земли протекает как и на Западном Шпицбергене, например, во фьорде Хорнсунн с выводными ледниками. Совсем иную картину мы наблюдаем в заливах и проливах архипелага Земля Франца-Иосифа. Здесь более суровый климат, существенно короче лето (июль–август) и более “холодные” ледники. Указанные признаки с учетом геолого-геоморфологических особенностей архипелага Земля Франца-Иосифа и геоморфологии дна прилегающей акватории шельфа определяют основные черты современного осадконакопления и способствуют формированию нетипичных мелкозернистых осадков, таких же как и в открытом море. Максимальные по длине колонки получены в заливах и проливах, защищенных от придонной динамики вод (станции Gol-12, Gol-13, Gol-14; ДЗ-14, ДЗ-19, ДЗ-20, ДЗ-29). Они представлены серыми, темно-серыми однородными мелкоалевритовыми илами с обилием примазок гидротроилита. В гранулометрическом составе наблюдается явное преобладание фракции алеврита. Так, на ст. Gol-13, расположенной на глубине 234 м в Австрийском проливе Земли Франца-Иосифа, в метровой толще разреза содержание алеврита колеблется от 41.8 до 73.6 %, в среднем – 50.1 %. При этом доминирует фракция среднего алеврита.

Содержание гравийно-галечного материала, представленного из неокатанных обломков пород обрамляющей суши и берегов, сравнительно невелико. В отдельных колонках их количество составляет до 10 %. Они рассеяны более или менее равномерно по длине колонки. Такое распределение гравийно-галечного материала в разрезе донных отложений указывает на постоянство рассева их льдом в летний период в результате дрейфа и таяния льдов.

**Зона открытого моря.** Из анализа распределения размерного состава осадков в поверхностном слое дна выявляется четкая зависимость их от батиметрического положения и геоморфологии дна. Так, песчаные отложения, представленные средне- и мелкозернистыми песками, распространены до глубины 120 м. Как правило, это шельфовые отложения, тяготеющие к прибрежному мелководью или к поднятиям дна. В мокром состоянии они имеют серую или зеленовато-серую окраску, а при высыхании становятся сыпучими, приобретают болотно-серый и серовато-зеленый цвет. Характерной особенностью вещественного состава песчаных отложений является постоянное присутствие до 8 % раковинного материала. Пескам свойственна средняя степень сортированности. Коэффициент сортировки колеблется в пределах 1.7–3.2.

В более глубоководной части района распространены тонкозернистые осадки – мелкоалевритовые и алеврито-глинистые илы. Во влажном состоянии

поверхностный слой осадка имеет полужидкую консистенцию, при высыхании приобретая большую прочность. Цвет осадка зеленовато-серый с охристыми включениями. Наблюдаются также светло-коричневые и коричневые разновидности. Глинистые илы сложены однородной тонкозернистой массой с примесью алевритового и мелкопесчаного материала. Обычно они бескорбанатны, содержат незначительное количество органических остатков. Терригенные частицы осадка представлены угловатыми зернами кварца, содержание которого составляет до 40 %, плагиоклазами – до 20 %, обломками горных пород – 11–22 %. Отмечается высокое содержание окислов железа и марганца ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 5.6–5.8 %;  $\text{FeO}$  – 3.7–4.1 %;  $\text{MnO}$  – 0.2–1.5). Окислы и гидроокислы железа представлены гетитом, лимонитом и иногда мартитом. Встречаются они в виде округлых зерен, коллоидных и землистых агрегатов желтого и охристого цвета. На поверхности дна встречаются редкие обломки горных пород от гравийно-щебнистой размерности до крупной гальки.

В разрезе донных отложений, вскрытых грунтовыми трубками (мощностью до 3 м), наблюдается однородное строение. Представлены они мягкими алеврито-глинистыми осадками без видимого изменения гранулометрического состава. Цвет осадка изменяется от светло-коричневых до темно-коричневых оттенков.

Для подводных склонов архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (1992 г. – станции ДЗ-12, ДЗ-13, ДЗ-16; 1994 г. – станции Gol-1, Gol-2, Gol-3 (1994 г.); 1996 г. – ДЗ-4, ДЗ-6) характерны слоистые осадки. Верхний слой преимущественно коричневый, зеленовато-желтый, мягкий, иногда полужидкий и представлен мелкоалевритовым или алеврито-глинистым илом. Переход на нижележащий слой четкий, с уплотнением осадка. Затем идет темно-серый, темно-зеленый мало-мощный слой (15–40 см) мелкоалевритового ила с большим количеством гравийного материала. Самый нижний слой представлен темно-серыми уплотненными диамиктоноподобными осадками.

Изучение минералогического состава легкой фракции показало, что основными минералами являются кварц, калиевый полевой шпат, плагиоклаз, мусковит. Также наблюдается присутствие хлорита, глауконита, опала, вулканического стекла. Часто встречаются обломки горных пород (серицит-хлоритовые породы) и железненные глинистые агрегаты, которые подчас являются лидирующими породами в образце.

Основным минералом легкой фракции является кварц, его среднее содержание 40.4 %. Наибольшая концентрация кварца наблюдается на ст. PL-94-08 – до 80 %. На станциях PL-94-60 и PL-94-64 по мере увеличения интервала отбора пробы содержание кварца уменьшается и примерно в интервале 200–320 см лидирующими компонентами становятся глинистые агрегаты.

Полевые шпаты представлены плагиоклазами и калиевыми полевыми шпатами. Плагиоклазы часто молочно-белого цвета, форма приближена к пластинчатой призматической. Содержание их неравномерно – от 3 до 19 %. Калиевые полевые шпаты интенсивно пелитизированы и имеют многочисленные включения основного плагиоклаза, кварца, биотита, среднее содержание 2.5–8.5 % (Kukina et al., 1999).

Определение Н.Кукиной показывает, что мусковит в смерслайде (smear-slide) имеет форму неправильных чешуек слабо желтоватого цвета. Скорее всего, он эпимагматический, развивающийся по плагиоклазу. Встречается мусковит



редко, составляя всего 0.2–2 %. Наиболее распространенным минералом группы слюд является хлорит, содержание которого колеблется от фактического 0 (ст. PL-94-60) до 17 % (ст. PL-94-08). Форма зерен вытянутая шестоватая, цвет светло-зеленоватый, серо-зеленоватый, высокий рельеф и средняя шагреневая поверхность. Особенностью легкой фракции крупного алеврита ст. PL-94-08 является преобладание хлорита над мусковитом, а также повышенное его содержание.

Органические остатки встречены в большом количестве в виде обломков и прекрасно сохранившихся раковин фораминифер *Neogloboquadrina pachyderma*, частицами красных водорослей.

Изучение окатанности кварцевых частиц показало присутствие во фракции 0.5–0.25 мм большого количества зерен угловатой формы с баллом окатанности 1–2 по шкале Хабакова. Идеально окатанные зерна с гладкой поверхностью (4 балла) встречаются редко, чем и вызван столь низкий коэффициент окатанности, изменяющийся в пределах 1.6–2.2 баллов. Отличительным является то, что кварц практически без включений и налетов рыжего цвета, прозрачный и чистый.

Таким образом, данные изучения разрезов колонок донных отложений показывают периодическую изменчивость процесса осадконакопления в прошлом. В первую очередь это связано с колебаниями климата: повторение теплых и холодных периодов как в годовом цикле (короткопериодные колебания климата), так и долгопериодные колебания, охватывающие циклы изменения климата в десятки и сотни лет. Ледники и льды, насыщенные терригенно-обломочными составляющими, являются основными поставщиками в море осадочного материала.

На севере Баренцево-Карского региона в летний период айсберги, льды берегового припая, нередко и паковые льды Арктики, находясь в постоянном дрейфе, быстро тают, просеивая на дно содержащийся в них осадочный материал. Места растаявших льдов заполняют льды все новых поступлений. Этот процесс наблюдается в продолжение всего короткого арктического лета и замедляется с образованием новых льдов в октябре. В зоне дрейфа льдов формируется толща рыхлых осадков преимущественно мелкозернистого состава с примесью гравийно-галечного материала. Не исключено попадание в море крупных обломков горных пород. Так, во время экспедиции НИС “Академик Голицын” на выходе из Австрийского пролива архипелага Земля Франца-Иосифа нами встречены ледяные поля и айсберги, нагруженные каменно-глыбовым материалом, отдельные обломки которых весят до 100 кг (рис. 5). Донные осадки ледового транспорта не всегда отличаются слоистостью. Поскольку в зимний период под ледовым покровом приостанавливается приток осадочного материала, то на дне формируется полужидкий (придонный) слой за счет взвешенного вещества. Очередная порция осадочного материала ледового транспорта следующего года легко проходит через зимний полужидкий слой и плотно прилегает к старому образованию. В таких случаях слоистость практически не проявляется. Такая картина наблюдается в данном районе повсеместно и зависит от многих факторов. Локально обнаружены тонкослоистые осадки с четкими годовыми наслоениями. В некоторых колонках толщина слоев выдерживается ровно, а в иных заметно неравномерное чередование толстых и тонких слоев. Вероятно, так формируются осадки, когда из года в год объем и скорость поступления осадочного материала резко меняются. Следовательно, в теплое лето таяние льдов и сокращение ледников происходит более интенсивно, чем в холодное. В целом, последовательность слоев в толще разреза и выдержанность их по мощности и составу определяются устойчивостью и постоянством климатических условий.

В районах распространения современных ледников на осадкообразование существенное влияние оказывают подледниковые потоки талых вод, насыщенные терригенным материалом. Вблизи выводящих ледников данный фактор является определяющим, придавая лавинный характер осадконакоплению. Воздействие потоков талых вод на общий ход осадконакопления уменьшается с удалением от берегов. Тем не менее, этот фактор в современном седиментогенезе оказывает определяющее значение.

**Исследования по проекту ИНТАС “Палеогеография позднего плейстоцена, современное состояние и прогноз развития Печорского моря в XXI веке (2000–2002 гг.)”** (координатор проекта от АВИ – доктор Г.А.Баух; участники от ММБИ: академик РАН Г.Г.Матишов – научный руководитель; д.г.-м.н. Г.А.Тарасов, к.г.-м.н. И.А.Погодина, к.г.-м.н. Н.А.Кукина, к.б.н. Н.В.Денисенко).

Проведенный нами анализ данных вещественного состава разрезов скважин морского бурения (рис. 6), архивного и литературного материала, а также полученные новые радиоуглеродные датировки отложений позволяют по-новому объяснить особенности строения рыхлой толщи шельфа и рассматривать ее как позднечетвертичную картину развития этого региона.

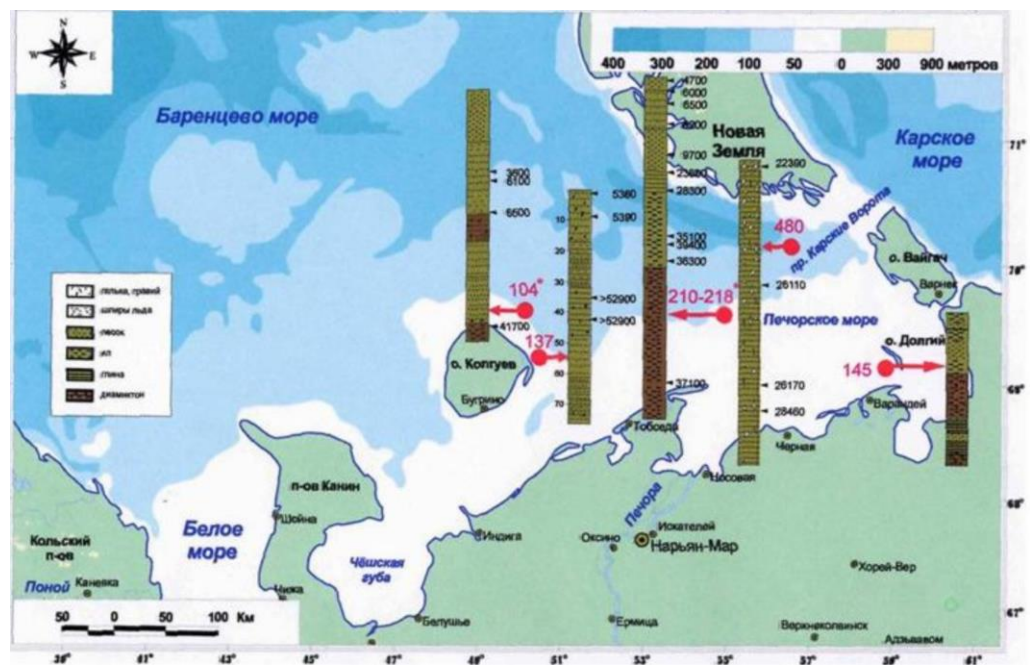


Рис. 6. Расположение изученных скважин морского бурения (ОАО “АМИГЭ”) в Печорском море

Четвертичные отложения шельфа Печорского моря были сформированы в процессе неоднократных гляциоэвстатических колебаний уровня Мирового океана в условиях смены морских обстановок континентальными, сопровождавшимися развитием мощных ледниковых покровов. В результате на шельфе сформировалась чрезвычайно сложно построенная плейстоценовая толща, состоящая из перемежающихся моренных и межледниковых осадков, перекрываемая морскими голоценовыми отложениями. Определение возраста морен представляется довольно сложным, но факт присутствия на шельфе Печорского моря

ледников в раннем–среднем плейстоцене беспорен, поскольку рядом скважин вскрыты моренные отложения, перекрывающиеся морскими микулинскими осадками (Процессы ..., 2000).

Проникновение пра-Гольфстрима на восток Баренцева и в Печорское моря в микулинское время было, очевидно, более мощным, чем нынешнее. На это указывает видовой состав фораминифер в микулинском горизонте донных отложений, вскрытых скв. 145, пробуренной на Варандейской площади в центральной части Медынского вала (рис. 7). В темно-серых глинистых толщах, содержащих редкие включения гальки, с прослоями мелкозернистого хорошо сортированного песка обнаружен комплекс фораминифер, не имеющий аналогов в современной фауне Печорского моря (Погодина, Тарасов, 2001, 2002). Высокое видовое разнообразие при высоком проценте бореальных видов, отсутствие следов растворения на раковинах свидетельствуют о водах нормальной морской солености, гидрохимическом режиме придонных и иловых вод, благоприятном для захоронения раковин. Палинокомплекс этих отложений отражает межледниковые условия. Основу спорово-пыльцевых комплексов составляет пыльца древесных растений (Шарапова, 1996).

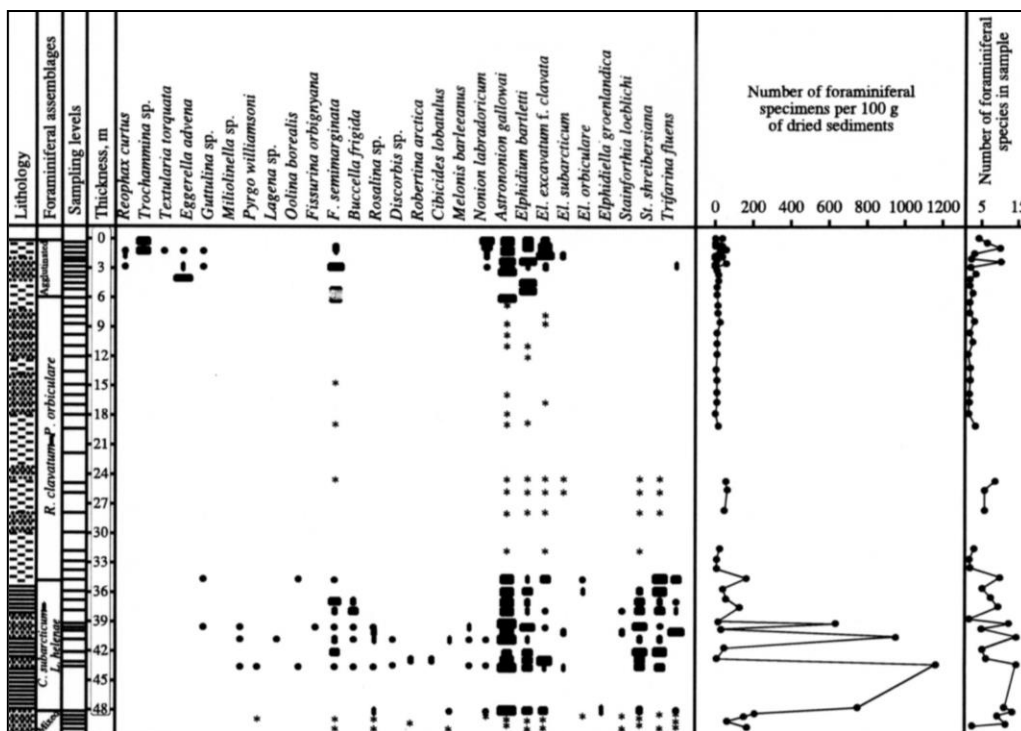


Рис. 7. Микропалеонтологическая характеристика скв. 145 (Погодина, 2002)

Ранневалдайское похолодание привело к образованию мощных ледниковых щитов, покрывавших территорию Печорского моря и спускавшихся на Печорскую низменность. Ледниковыми потоками была переработана значительная часть морских осадков микулинского возраста. Отложения этого периода представлены плотными темно-серыми суглинками с включениями грубообломочного материала и единичными фаунистическими остатками явно автохтонного происхождения, не содержат четвертичных спор и пыльцы.

Ревизия материалов бурения и сейсмопрофилирования с использованием современных хроностратиграфических методов показала, что плейстоценовые суглинистые отложения юго-восточной части Печорского моря перекрываются неотчетливо слоистым темно-серым алевритом, нижние 10 м которого содержат большое количество фораминифер, моллюсков, остракод – индикаторов открытых морских интерстадиальных условий. В палинологических спектрах этих осадков значительный процент составляет пыльца деревьев. Возраст данных отложений по результатам радиоуглеродного анализа – 39–35 тыс. лет. Нам представляется (Тарасов, Погодина, 2002), что полная дегляциация шельфа Печорского моря наступила в среднем валдае. Эти данные совпадают с результатами датирования послеледниковых отложений на Печорской равнине и п-ове Ямал радиоуглеродным и термолюминесцентным методами (Mangerud et al., 1999; Postglacial ..., 1999). В каргинское время (40–35 и 30.7–24.1 тыс. лет назад), по данным микропалеонтологических исследований разрезов плейстоценовых отложений Кольского полуострова, регистрируется значительная трансгрессия моря. Каргинская трансгрессия вторгалась в прибрежные приморские низменности и проникала в приустьевые части рек. При этом размеры каргинского бассейна были значительно меньше, чем микулинского и, возможно, менее нынешнего. Мы полагаем, что юго-восточная область шельфа могла представлять собой сушу (Процессы ..., 2000; Погодина, Тарасов, 2001). В скважине 145, расположенной на крайнем юго-востоке, морских слоев, обогащенных фаунистическими остатками, не вскрыто. Отмечается различный характер морской фауны в каргинском и микулинском горизонтах. Каргинские палеофаунистические комплексы носят арктический характер, что свидетельствует о более холодном бассейне, аналогичном современному.

После короткого интерстадиального периода с нормальными морскими условиями произошло падение уровня моря и установились континентальные условия. Плейстоценовые суглинистые отложения в южной области моря перекрываются серыми ритмично-слоистыми алевритами, практически не содержащими фаунистических остатков. В спорово-пыльцевых комплексах этих отложений доминирует пыльца травянистых растений, главным образом, полынь горькая (*Artemisia*). Отсутствие микрофауны и повышение содержания пыльцы трав свидетельствует о переходе к мелководным морским, продельтовым условиям, падении уровня моря и близости береговой линии. Значительная часть Печорского моря в этот период представляла собой сушу в виде низких морских, аллювиально-морских и аллювиально-озерных равнин, где формировались многолетнемерзлые породы и активно протекали разнообразные криогенные процессы. Вероятно, поздневалдайский новоземельский ледниковый щит занимал лишь северную часть Печорского моря, не достигая Печорской низменности.

В дальнейшем в ходе голоценовой трансгрессии шельф подвергся интенсивной переработке – абразии в условиях наступающего моря. Голоценовые осадки на шельфе Печорского моря распространены повсеместно. Они залегают на размытой поверхности плейстоценовых отложений, контакт с которыми часто маркируется гравийно-галечным горизонтом. Мощность голоценовых осадков на описываемой территории изменяется от первых метров до 50 м. Увеличение мощности приурочено к неотектоническим депрессиям. Скважиной 104 морского бурения вблизи восточного побережья о. Колгуев вскрыт разрез голоцена мощностью 44.2 м, представленный в верхней части песками, а в нижней – алевритами

и глинами. Аналогичные отложения вскрыты и близко расположенной скв. 137, где мощная песчано-глинистая толща была сформирована за очень короткий промежуток времени. Так, возраст моллюсков *Montacuta maltzani* на глубине 9.4–9.5 м составил  $5390 \pm 30$  тыс. лет (КИА 16841), а на глубине 1.4–1.5 м –  $5360 \pm 30$  тыс. лет (КИА 16840). Таким образом, скорость осадконакопления в этом районе для среднего голоцена соответствует лавинной.

В литодинамическом отношении интересна область повышенной мощности голоценовых осадков, ориентированная в субширотном направлении между  $52^\circ$  и  $58^\circ$  в.д. Здесь мощность голоцена превышает 5 м, а на двух участках – 10 м. В сторону увеличения и уменьшения глубин моря, соответственно, она постепенно уменьшается. Следует отметить, что эта область ориентирована вкрест простирания известных неотектонических структур. Представляется, что повышенная мощность голоцена в этом районе, расположенном на глубинах моря от 35 до 55 м, вызвана уменьшением энергии волнового воздействия на осадки и их массовым осаждением. Энергии же преобладающих течений хватает лишь на дальнейший транспорт более мелких частиц во взвеси. Таким образом, здесь формируется крупное, однако слабо выраженное в рельефе аккумулятивное тело, по механизму образования во многом аналогичное подводному валу.

Отложение относительно тонких осадков с богатой фауной в южной части Печорского моря началось 9–8.5 тыс. лет назад. Комплексный анализ органических остатков и особенностей строения разреза донных осадков свидетельствует о седиментации в условиях мелководного моря при значительном влиянии речного стока.

Подразделяются разрезы голоценовых отложений на три толщи: трансгрессивные пески, сформированные приблизительно 10–8 тыс. лет назад; морская илистая глина, содержащая микрофоссилии, отложившаяся приблизительно 8–5 тыс. лет назад; и морские пески, обогащенные малакофауной, формирование которых началось приблизительно 5 тыс. лет назад. По комплексу микрофауны выделяется пачка осадков, которая относится к оптимуму голоцена.

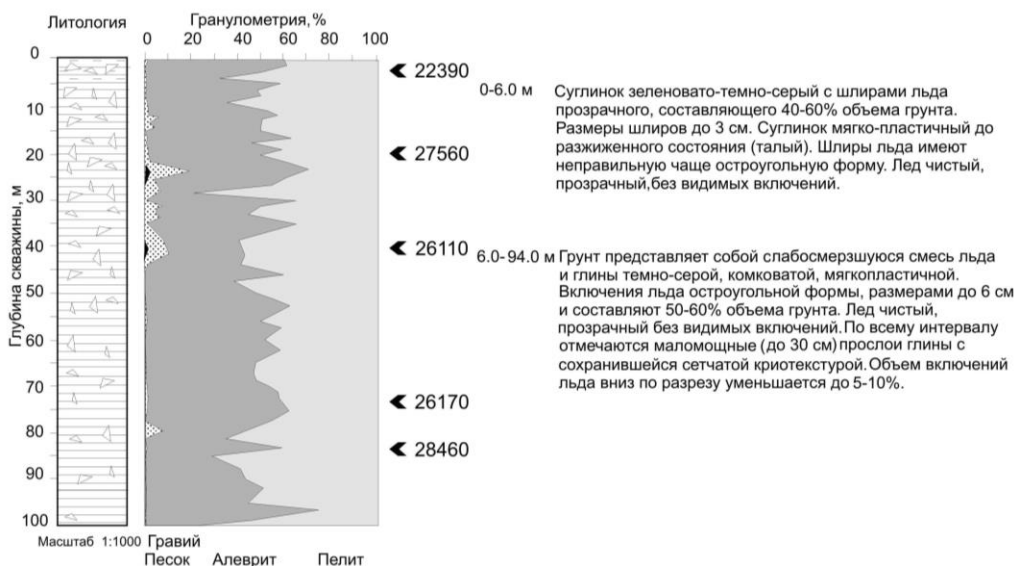


Рис. 8. Литологическое строение разреза скв. 480

Исключительный интерес представляет скв. 480, расположенная вблизи пролива Карские Ворота, которая вскрыла толщу мощностью 100 м пластично-мерзлых глинистых пород темно-серого цвета без видимых литологических границ (рис. 8). Температура отложений имеет безградиентный характер и составляет около  $-1.0...1.5$  °С. Льдистость пород максимальна в верхней части разреза (до 60 %) и уменьшается вниз по разрезу (до 5–10 %). Шлиры льда имеют неправильную, чаще остроугольную форму размером до 3 см. Лед чистый, прозрачный без видимых включений. По всему разрезу отмечены маломощные (до 30 см) прослои глины с сохранившейся сетчатой криоструктурой. Проведенный микропалеонтологический анализ отложений показал наличие по всему разрезу значительного количества растительного детрита. Из фаунистических остатков по всему разрезу встречены единичные микросклеры четырехлучевых губок (Погодина, 2002). Данные абсолютного возраста свидетельствуют о доледниковой природе формирования толщи скважины (Тарасов, Матишов, 2005).

Таким образом, максимальное потепление в регионе Печорского моря во время четвертичного периода регистрируется в микулинском межледниковье. По своим параметрам этот период существенно отличается от голоцена. Во время микулинского межледниковья отмечается значительное продвижение древесной растительности на север, существенное изменение гидрологических характеристик водных масс. Ранневалдайское похолодание привело к образованию мощных ледниковых щитов, покрывавших территорию Печорского моря и спускавшихся на Печорскую низменность. Полная дегляциация Печорского моря завершилась в среднем валдае, приблизительно 35–40 тыс. лет назад. Каргинское потепление отличалось ровным умеренно холодным климатом, близким современному. После короткого интерстадиального периода произошло падение уровня моря, и установились континентальные условия. Печороморский шельф представлял собой низкие морские, аллювиально-морские и аллювиально-озерные равнины, где формировались многолетнемерзлые породы и активно протекали разнообразные криогенные процессы. Поздневалдайский баренцевоморский ледниковый щит, возможно, занимал лишь северную часть Печорского моря, не достигая Печорской низменности. В дальнейшем в ходе голоценовой трансгрессии шельф подвергся абразии. Современные литодинамические условия в Печорском море в большинстве своем определяют формирование песчано-алевритовых осадков.

Вероятнее всего, в поздневалдайское время ледники Южного острова Новой Земли, Вайгача и Пай-Хоя имели малые размеры и не проявляли большую активность. Надо полагать, что вечная мерзлота на шельфе получила развитие в позднеплейстоценовую регрессию моря, когда вся шельфовая равнина Печорского моря была осушена до 120–130 м. Соответственно, юго-восточная часть Баренцева моря в позднем валдае развивалась в условиях перигляциала при активизации криогенных процессов.

## Л и т е р а т у р а

*Левитан М.А., Митяев М.М., Иванов В.В.* Фациальная изменчивость голоценовых отложений плато Ермак по данным изучения фракций более 0.063 мм // Литология и полезные ископаемые. 2000. № 3. С. 235–245.

*Матишов Г.Г., Кукина Н.А.* К вопросу формирования позднечетвертичных отложений плато Ермак // Докл. РАН. 2002. Т. 385, № 1. С. 83–86.

*Матишов Г.Г., Хрусталеv Ю.П., Тарасов Г.А.* Седиментогенез на шельфе Новой Земли и Земли Франца-Иосифа: Препр. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1993. 45 с.

*Медведев В.С., Потехина Е.М.* Вынос современными ледниками Новой Земли терригенного взвешенного материала в Баренцево море // Современные процессы осадконакопления на шельфе Мирового океана. М.: Наука, 1990. С. 103–110.

*Минеральный состав поверхностного слоя донных осадков желоба Святой Анны / М.А.Левитан, Г.А.Тарасов, Н.А.Кукина, М.В.Буртман // Океанология. 1999. Т. 38, № 6. С. 903–911.*

*Погодина И.А.* Современные фораминиферы Печорского моря // Современные проблемы океанографии шельфовых морей России: Тез. докл. Междунар. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13–15 июня 2002 г.). Мурманск: Изд. КНЦ РАН, 2002. С. 189–192.

*Погодина И.А., Матишов Г.Г.* Фораминиферы как индикаторы климатического ритма в Арктике // Докл. РАН. 2001. Т. 378, № 1. С. 95–97.

*Погодина И.А., Тарасов Г.А.* Некоторые особенности плейстоцен-голоценового седиментогенеза в Печорском море // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. Вып. 2. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. С. 13–19.

*Погодина И.А., Тарасов Г.А.* Процессы седиментации и эволюции фораминифер во время дегляциации последнего оледенения в Баренцевом море // Океанология. 2002. Т. 42, № 1. С. 156–160.

*Процессы седиментации на гляциальных шельфах / Г.А.Тарасов, М.В.Герасимова, С.А.Корсун и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2000. 473 с.*

*Тарасов Г.А., Матишов Г.Г.* Особенности ледового седиментогенеза на шельфе западно-арктических морей // Докл. РАН. 1998. Т. 360, № 6. С. 799–802.

*Тарасов Г.А., Матишов Г.Г.* К истории развития южного обрамления Баренцева моря в позднем плейстоцене // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 2. С. 250–254.

*Тарасов Г.А., Погодина И.А.* К палеографии Печорского моря в позднем плейстоцене–голоцене // Современные проблемы океанографии шельфовых морей России: Тез. докл. Междунар. конф. (г. Ростов-на-Дону, 13–15 июня 2002 г.). Мурманск: Изд. КНЦ РАН, 2002. С. 239–241.

*Шарапова А.Ю.* Палеоэкологический анализ четвертичных палинокомплексов из донных отложений Баренцева моря: Препр. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. 42 с.

*Янина Я.Н.* Гранулометрический состав поверхностного слоя донных отложений плато Ермак // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 5. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005а. С. 279–286.

*Янина Я.Н.* Некоторые особенности современных процессов осадконакопления в различных частях плато Ермак // Материалы XXIII конференции молодых ученых, посвященной 70-летию МБС-ММБИ (май 2005 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005б. С. 147–152.

*Cley mineral distributions in surface sediments from the Central and Eastern Arctic Ocean as indicator for source areas and transport pathways of sediments / M.Wahsner, C.Müller, G.Ivanov et al. // Boreas. 1999. V. 28. P. 215–234.*

*Granulometric composition of upper quaternary sediments in the St. Anna Trough: Modern and late quaternary depositional environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea / I.A.Andreeva, G.A.Tarasov, N.A.Kukina, V.V.Krupskaya // Berichte zur Polarforschung. 1999. V. 342. P. 205–214.*

*Mangerud J., Svendsen J.I., Astakhov V.* Age and extent of the Barents and Kara ice sheets in Northern Russia // Boreas. 1999. V. 28(1). P. 46–80.

*Kukina N.A., Levitan M.A., Tarasov G.A.* Distribution of light minerals in surface sediments of the St. Anna Trough: Modern and late quaternary depositional environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea // Berichte zur Polarforschung. 1999. V. 342. P. 134–139.

*Nürnberg D., Groth E.* Expedition to Novaja Zemlja and Franz Josef Land with RV "Dal'nie Zelentsy" // *Berichte zur Polarforschung*. 1993. V. 120. P. 45–74.

*Pogodina I.A., Tarasov G.A.* Processes of sedimentation and foraminifera during the deglaciation period of the last glaciation in the Barents Sea // *XXVII Polar Symposium*. Torun, 2000. P. 105–112.

*Postglacial emergence and Late Quaternary glaciation on northern Novaya Zemlya, Arctic Russia / S.Forman, D.Lubmski, J.Zeeberg et al.* // *Boreas*. 1999. V. 28(1). P. 133–145.

*Quaternary paleo-valleys and plough channels in the Barents, Pechora and Kara Seas / G.Tarasov, V.Bondarev, D.Kostin et al.* // *XXVII Polar Symposium*. Torun, 2000. P. 297–301.

*Regularities of modern sedimentogenesis in the coastal zone of the high-latitude archipelagoes of the Barents Sea and in the Saint Anna Trench / G.A.Tarasov, M.V.Gerasimova, S.A.Korsun et al.* // *Wyprawy Geograficzne na Spitsbergen*. Lublin: UMCS, 1995. P. 199–200.

*Reports on the International multidisciplinary Gruise to high-latitude Archipelagoes of the Barents Sea (Franz Josef Land and Novaya Zemlya) / G.A.Tarasov, S.A.Korsun, V.V.Alekseev et al.* Apatity: Publ. KSC RAS, 1993. 37 p.

*Stein R.* The Joint Russian-German Kara Sea Project (1995–1998): Modern and late quaternary depositional environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea // *Berichte zur Polarforschung*. 1999. V. 342. P. 1–5.

*Stein R., Knies J.* Late quaternary organic carbon records in the St. Anna Trough (Kara Sea): Modern and late quaternary depositional environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea // *Berichte zur Polarforschung*. 1999. V. 342. P. 228–234.

*Tarasov G., Spielhagen R., Grobe H.* Features of terrigenous material transport by ice in polar sedimentation // *Polar session: Arctic natural environment problems (Lublin, Poland – June 1992)*. Spitsbergen Geographical Expeditions. Lublin, 1992. P. 81–88.

*The granulometrical structure of surface sediments in the St. Anna Trough Area: Modern and late quaternary depositional environment of the St. Anna Trough Area, Northern Kara Sea / G.A.Tarasov, G.I.Ivanov, N.A.Kukina, G.G.Matishov* // *Berichte zur Polarforschung*. 1999. V. 342. P. 124–134.

*Wahsner M., Tarasov G., Ivanov G.* Marine geological investigations of surface sediments in the Franz Josef Land Area and the St. Anna Trough // *Berichte zur Polarforschung*. 1996. № 212. P. 35–49.

УДК 58.02 (268.45)

**М.В.Макаров, Г.М.Воскобойников**

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

## **ВЛИЯНИЕ ОСВЕЩЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ НА МАКРОВОДОРОСЛИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

### **Аннотация**

Представлен обзор исследований, проведенных за последние 20 лет в лаборатории альгологии ММБИ. Основное направление исследований – раскрытие механизмов адаптации водорослей к условиям арктических морей. Показано влияние фотопериода, интенсивности и спектрального состава освещения на морфофизиологические параметры водорослей, находящихся на разной стадии онтогенетического развития. Выявлены механизмы, позволяющие водорослям-макрофитам существовать в условиях полярной ночи при отсутствии освещения и низких температурах. Результаты исследований позволяют сделать вывод, что адаптация к длительному отсутствию освещения и низкой температуре способствовала распространению водорослей за пределы полярного круга.



## INFLUENCE OF LIGHT AND TEMPERATURE ON BARENTS SEA SEAWEED

### Abstract

The review of the last 20-years investigations carried out in laboratory of algology of Murmansk Marine Biological Institute is presented. The main direction of presented investigations is disclosing of mechanisms of seaweed adaptation to Arctic seas conditions. Influence of photoperiod, intensity and spectral composition of light on morphological and physiological parameters of seaweed at different stages of ontogenetic development is shown. The mechanisms allowing seaweed to exist in the conditions of polar night in the absence of illumination and low temperatures are revealed. Results of investigations allow drawing a conclusion, that adaptation to a long period absence of illumination and low temperature promoted distribution of seaweed behind a polar circle.

Водоросли-макрофиты являются одними из основных источников органического вещества и кислорода в прибрежной зоне морей и в значительной степени определяют состояние морских экосистем. Выступая в качестве одного из средообразующих природных компонентов, они взаимодействуют со многими видами животных и растительных организмов.

Большинство окраинных морей России находятся за пределом полярного круга. Поэтому обитающие здесь водоросли оказываются под воздействием не только низких температур, но и условий освещения (от полярного дня до полярной ночи). В течение года значительно меняется доза дневной солнечной радиации, интенсивность освещения и спектральный состав света вследствие различной высоты поднятия солнца над уровнем горизонта, высоты прилива, наличия ледового покрова, количества планктонных организмов, растворенного органического и взвешенного вещества и т. д.

Помимо экзогенного воздействия факторов среды, у водорослей имеется и эндогенная регуляция физиологических процессов. И если одни ее проявления хорошо заметны, например, начало роста некоторых видов в середине полярной ночи (Makarov et al., 1999), то другие могут перекрываться действием внешних короткопериодических (суточная смена освещения, приливоотливные циклы) и продолжительных (полярный день–полярная ночь) воздействий (Lüning, 1990).

Несмотря на более чем двухвековой период исследований, многие физиологические особенности водорослей арктических морей, позволяющие им существовать в суровых условиях, остаются малоизученными. Также остаются актуальными проблемы биоразнообразия и возможности распространения водорослей в высокие широты. При наличии большого количества теорий, описывающих основы биоразнообразия и распределения наземных и морских организмов (Willig et al., 2003), лишь единицы из них рассматривают механизмы, обеспечившие возможность распространения водорослей и приведшие к образованию новых видов в процессе эволюционного развития (Перестенко, 1998; Howe, Brunner, 2005). Проведенные нами многолетние натурные наблюдения и эксперименты, краткий обзор которых представлен в настоящей статье, позволяют утверждать, что приспособленность водорослей к смене освещения от полярного дня до полярной ночи также оказывала влияние на их распространение. Это подтверждает выдвинутую в последние годы гипотезу о комплексном барьере, контролирующем биогеографическое распространение водорослей (Drivers ..., 2009; Light ..., 2009; Biodiversity ..., 2009; The abiotic ..., 2009).

**Влияние интенсивности освещения.** Диапазон интенсивности освещения, необходимый для эффективной работы фотосинтетического аппарата, ограничивается нижним лимитирующим пределом и верхним, при котором происходят процессы деструкции фотосинтетического аппарата. Ранние стадии развития обычно приспособлены к более низкому уровню освещения по сравнению с взрослыми растениями.

У зеленых водорослей наличие фототаксиса у спор и гамет способствует их движению по направлению к зоне с оптимальными условиями освещения. У зооспор бурых ламинариевых водорослей фототаксис отсутствует, однако имеется хемотаксис (Макаров, 1987), определяющий их движение по направлению к взрослым растениям, прорастание под пологом которых способствует выживанию растений на ранних стадиях развития. В этом случае хемотаксис аналогичен фототаксису.

Поэтому для понимания процессов адаптации водорослей к условиям внешней среды необходимо исследовать ответные реакции и физиологическое состояние организма на всех стадиях онтогенеза.

**Влияние интенсивности освещения на ранние стадии онтогенеза *Saccharina latissima* (= *Laminaria saccharina*).** Изучение процессов развития гаметофита и раннего спорофита ламинариевых водорослей продолжается уже более века. Большой вклад в данное направление исследований внес сотрудник ММБИ В.Н.Макаров, чьи работы легли в основу плантационного выращивания данного вида на Белом и Баренцевом морях.

Нами было проведено исследование влияния интенсивности освещения на скорость оседания, прорастание и развитие спор, гаметофитов и ранних спорофитов ламинарии сахаристой Баренцева моря. Диапазон освещения составлял от 0.5 до 100 Вт/м<sup>2</sup>, что соответствует природным условиям в период выхода спор.

Результаты экспериментов с движущимися зооспорами показали, что характер движения и скорость их оседания не зависят от интенсивности освещения. Устойчивость зооспор может быть связана с тем, что фотосинтетический аппарат у них еще не сформирован окончательно. Воздействие высокой интенсивности освещения (75 Вт/м<sup>2</sup> и выше) на последующие стадии раннего развития ламинарий с уже сформированным фотосинтетическим аппаратом вызывало их гибель. Устойчивость зависела от длительности освещения: эмбриоспоры выдерживали до 2 сут., ранние спорофиты – до 10 сут.

Диапазон толерантности и зона оптимума освещенности отличаются для ламинарии различных видов или произрастающих в разных условиях. Для развития гаметофитов дальневосточной ламинарии японской оптимальной является интенсивность освещения 30 Вт/м<sup>2</sup> и более (Yabu, 1964), хотя другие данные указывают на диапазон 120–250 Вт/м<sup>2</sup> (Мальцев, 1978). Для беломорской ламинарии оптимальным является освещение 5–30 Вт/м<sup>2</sup> (Макаров, 1987). Результаты наших исследований показали, что для баренцевоморской ламинарии сахаристой оптимум находится в диапазоне освещения 10–50 Вт/м<sup>2</sup>. По-видимому, отличия объясняются световыми условиями в местах естественного произрастания данных видов.

**Сезонные изменения фотосинтетического аппарата водорослей.** Возможность произрастания водорослей в высокоширотных районах с меняющимися условиями освещения от полярного дня до полярной ночи зависит от адаптационных возможностей их фотосинтетического аппарата. Наши исследования по-

казали, что адаптация происходит на разных уровнях организации и проявляется в изменении площади фотосинтетических мембран, содержания и соотношения фотосинтетических пигментов, размера светособирающих комплексов (ССК), содержания экранирующих и абсорбирующих веществ (Макаров, 2010).

Исследование ультраструктуры хлоропластов зеленой водоросли *Ulvaria obscura* показало, что в зимний период, по сравнению с летом, значительно увеличивается парциальный объем мембран тилакоидов на единицу площади стромы хлоропласта. Тилакоиды в зимнее время выглядят более плотно упакованными, отмечается уменьшение числа рибосом в строме. Сходные изменения наблюдаются и у других видов водорослей. Например, у *Fucus vesiculosus* соотношение площади среза хлоропласта и длины фотосинтетических мембран в летний период в 6 раз выше, чем в зимний. Весной большая площадь фотосинтетических мембран и высокая активность фотосинтетического аппарата связана с активным ростом водорослей.

Максимальное содержание фотосинтетических пигментов (рис. 1) и наибольший размер светособирающего комплекса у всех видов водорослей также наблюдается в апреле и ноябре–декабре, минимальное – в июле–августе.

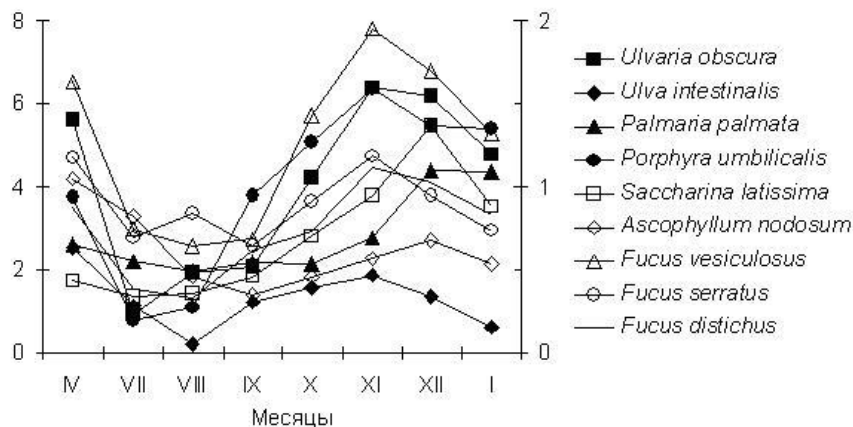


Рис. 1. Содержание фотосинтетических пигментов водорослей (сумма хлорофиллов и каротиноидов) в течение года, мкг/г сырой массы. Левая ось ординат – зеленые водоросли *Ulvaria obscura* и *Ulva intestinalis*, правая – остальные виды

Анализ размеров ССК в течение года (табл. 1) показал, что наибольшим изменениям подвержен фотосинтетический аппарат красных водорослей за счет разрушения фикобилиновых пигментов в летний период, у бурых водорослей он наиболее стабилен. Кроме этого, размер ССК зависит от глубины произрастания водорослей: наименьшие изменения наблюдаются у сублиторальных видов.

Анализ каротиноидных пигментов показал достаточно большое их содержание у всех исследованных видов водорослей. По изменению соотношения Хл:Кар (хлорофиллы:каротиноиды) водоросли четко разделяются по систематическим группам. У зеленых водорослей данный показатель достаточно стабилен в течение года, соотношение составляет примерно 2, увеличение соотношения до 3.5 наблюдается в январе. У красных водорослей в течение лета он постоянен, составляет примерно 2 и значительно (до 5) повышается в зимне-весенний период. У бурых водорослей в течение года соотношение хлорофиллов и каротиноидов достаточно стабильное – около 2.

Таблица 1

Изменение относительных размеров ССК водорослей в течение года

Отдел	Вид	Показатель изменения, %
Красные	<i>Porphyra umbilicalis</i>	68.2
	<i>Palmaria palmata</i>	67.4
Зеленые	<i>Ulva intestinalis</i>	66.0
	<i>Ulvaria obscura</i>	43.2
Бурые	<i>Ascophyllum nodosum</i>	38.6

ПРИМЕЧАНИЕ. Изменение относительных размеров рассчитывали как  $\frac{\max - \min}{\max} \cdot 100\%$ .

Проведенные нами исследования позволили выявить структурные и функциональные перестройки фотосинтетического аппарата, позволяющие водорослям Баренцева моря эффективно функционировать в течение всего года при значительных изменениях интенсивности освещения. У разных видов водорослей выявлены одинаковые ответные реакции, что может быть связано с их приспособленностью к существованию в высоких широтах.

**Механизмы существования водорослей в период полярной ночи и при отсутствии освещения.** На Мурманском побережье Баренцева моря полярная ночь длится около 1 мес., средняя интенсивность фотосинтетически активной радиации (ФАР) в середине декабря в полдень составляет 3 Вт/м<sup>2</sup>. На широте Шпицбергена полярная ночь длится около 4 мес., из них 2 мес. освещение полностью отсутствует.

Наши исследования показали наличие физиологической активности водорослей в период полярной ночи (The photosynthetic ..., 2001; Тропин, Макаров, 2004; Матишов, Макаров, 2004; Воскобойников и др., 2006; Дифференциация ..., 2006). На Мурманском побережье интенсивность фотосинтеза у большинства видов водорослей в дневное время в несколько раз превышает дыхание (хотя при пересчете на суточную продукцию дыхание превалирует).

Для исследования функционального состояния водорослей в период полярной ночи на более высоких широтах, где наблюдается отсутствие освещения, был разработан специальный светонепроницаемый контейнер, который помещали в море. Были выявлены различные механизмы, позволяющие водорослям переживать неблагоприятный период, и показано, что продолжительность их существования при отсутствии освещения зависит от структуры таллома и типа меристематической зоны.

Однолетние водоросли при недостатке освещения находятся в покоящейся стадии. Большинство видов зимний период переживают в виде микроскопических стадий (гаметофитов или спор) (Breeman, 1988; tom Dieck, 1993).

Многолетние красные и зеленые макроводоросли, имеющие тонкопластинчатую организацию таллома и диффузный рост (отсутствие дифференцированной зоны роста), наиболее чувствительны к недостатку освещения. Продолжительность их существования ограничена количеством внутриклеточных запасных веществ и составляет около 30 сут.

У более высокоорганизованных бурых водорослей кроме потребления запасных веществ имеются дополнительные механизмы, обеспечивающие

их существование при отсутствии освещения, обусловленные физиологической дифференциацией различных участков таллома. Структура их таллома определяет гетеротрофный способ питания внутренних слоев клеток, лишенных возможности фотосинтетической ассимиляции углерода.

У *Saccharina latissima* (= *Laminaria saccharina*) при длительном отсутствии освещения (до 60 сут.) фотосинтетический аппарат и клетки внешнего фототрофного слоя остаются в интактном состоянии. При недостатке освещения сохранение зоны роста происходит за счет ближнего транспорта запасных веществ из гетеротрофных слоев клеток центральной части и дальнего транспорта ассимилятов от разрушающихся клеток волана и дистальной части пластины. Данный механизм даже позволяет запускать ростовые процессы в период полярной ночи (Dunton, Schell, 1986; Makarov et al., 1999).

У фукусовых водорослей зона роста апикальная, и они не могут, подобно ламинариевым водорослям, активно использовать органические вещества, образующиеся при автолизе таллома. Однако нами было показано, что *F. vesiculosus* способен до 9 мес. сохранять жизнеспособность при нахождении в условиях отсутствия освещения. Через 6 мес. нахождения водорослей в темноте их фотосинтетический аппарат сохранялся в интактном состоянии, количество и соотношение фотосинтетических пигментов оставалось неизменным. Интенсивность фотосинтеза и дыхания менялись незначительно, уровень фотосинтеза был в 6–8 раз выше, чем дыхания. На ультраструктурном уровне наблюдали уменьшение размеров и снижение электронной плотности гранул полисахаридной природы, увеличение удельной доли митохондрий и крист в митохондриях.

Возможность длительного существования фукоидов в условиях отсутствия освещения связана с их способностью к поглощению растворенных органических веществ (Хайлов, 1971; Хайлов, Фирсов, 1976; Хайлов, Моница, 1977). По всей вероятности, органические вещества используются макрофитами для поддержания энергетического обмена, поскольку нами было показано поглощение карбонат-ионов при отсутствии световой фиксации CO<sub>2</sub> (Тропин, Макаров, 2004), что было также отмечено и для других видов водорослей (Титлянов и др., 1972; Быков, 2003; Колмаков, 2005; Трусова, 2009).

Исследования ультраструктуры клеток и тканей *Fucus vesiculosus* выявили, что в летний период на поверхности водорослей присутствуют единичные бактерии (рис. 2а). В апикальной части таллома обнаруживается большое число делящихся клеток, ядра которых, в зависимости от стадии деления, различаются по ультраструктуре. Хроматин находится в различной степени конденсации: от дисперсного до собранного в глыбки. В цитоплазме присутствует большое количество рибосом, как свободных, так и прикрепленных к мембранам ретикулума. Хорошо выражены мембраны шероховатого ретикулума. Эти признаки свидетельствуют об активных процессах синтеза белка.

В периферических рядах клеток содержится большое число электронноплотных гранул, по-видимому, физоидов, которые занимают до 30 % площади среза клеток. Хлоропласты овальной формы, длиной до 12 мкм, их расположение в основном пристеночное. Внешняя мембрана многих хлоропластов контактирует с мембранами гладкого ретикулума. Фотосинтетические мембраны хлоропластов хорошо выражены: комплексы из трех тилакоидов тянутся параллельными рядами через весь хлоропласт. В строме выявляется большое число рибосом.

После 3-месячного пребывания в темноте наружная поверхность водорослей покрыта слоем бактерий (рис. 2б). Проникновения бактерий в межклеточники и внутрь клеток не отмечается. Делящиеся клетки отсутствуют. Вместе с тем, отмечается сегрегация хроматина в ядрах большинства клеток, уменьшение числа рибосом в цитоплазме, преобладание мембран гладкого ретикулума над шероховатым. В ряде клеток периферии апекса до 50 % объема занято физодами. Хлоропласты не отличаются по форме, размерам, локализации в клетке от хлоропластов водорослей в летний период, однако зимой количество фотосинтетических мембран значительно увеличивается (рис. 3). В клетках не отмечено признаков деградации каких-либо структур.

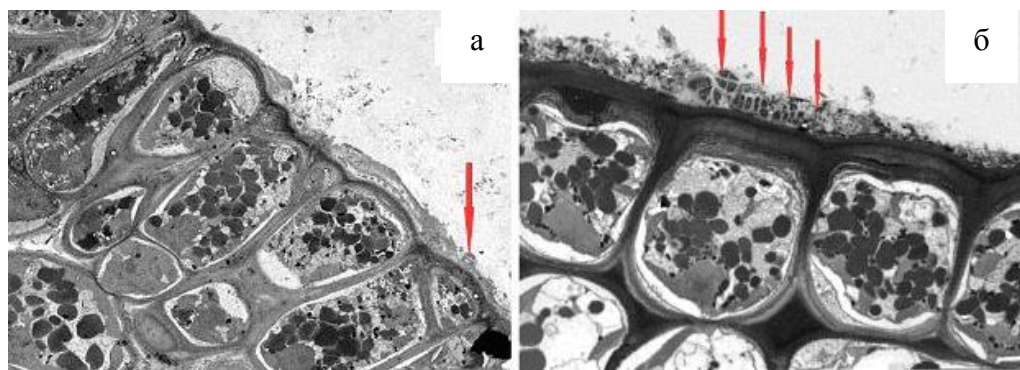


Рис. 2. Коровый слой клеток *F. vesiculosus* летом (а) и зимой (б). Стрелками показаны бактерии на поверхности водорослей

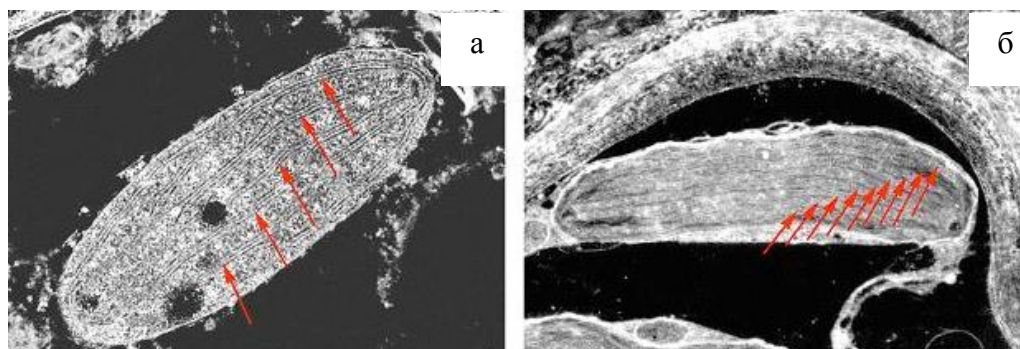


Рис. 3. Хлоропласты *F. vesiculosus* летом (а) и зимой (б). Стрелками показаны фотосинтетические мембраны

Таким образом, после 3-месячного пребывания в темноте (как в природных, возле Шпицбергена, так и в экспериментальных условиях) *F. vesiculosus* сохранил жизнеспособность, признаки повреждения клеток отсутствуют.

Проведенные нами исследования показали, что на Мурманском побережье возможность существования водорослей в период полярной ночи обеспечивается адаптацией фотосинтетического аппарата к низкому уровню освещения. Для водорослей более высоких широт переживание периода отсутствия освещения обеспечивается потреблением запасных веществ, продуктов автолиза таллома и внешних растворенных органических веществ, что может являться важным условием распространения водорослей в высокие широты.

**Спектральный состав освещения. Влияние спектрального состава освещения на светособирающий комплекс *Fucus vesiculosus*.** Существует большое количество исследований, посвященных эффекту хроматической адаптации водорослей. Однако большой объем противоречивых данных и сложности с их интерпретацией затрудняют понимание происходящих процессов. Достаточно подробно сравнение специфической и неспецифической световой и хроматической адаптаций проводится в статье Ф.Ф.Литвина и В.И.Звалинского (1983).

Проведенные нами исследования показали перестройки светособирающего комплекса бурой литоральной водоросли *Fucus vesiculosus* в ответ на изменение спектрального состава освещения при увеличении глубины произрастания.

У бурых водорослей светособирающий комплекс назван FCPA (Fucoxanthin-Chlorophyll-Protein Assembly) или “ксантосомой”. Комплекс состоит из семи идентичных белковых субъединиц по 54 кДа, каждая из которых содержит 13 молекул Хл *a*, 3 – Хл *c*, 10 – фукоксантина и 1 – виолаксантина. Миграция поглощенной энергии в ксантосомах происходит по двум независимым путям, различающимся по скорости, но не по эффективности: от фукоксантина на Хл *a* и от Хл *c* на Хл *a* (Light-harvesting ..., 1981; Katoh et al., 1989; Mimuro et al., 1990). Однако соотношение пигментов может варьировать в зависимости от видовой принадлежности (Barrett, Anderson, 1980; Katoh et al., 1989, 1993; Mimuro et al., 1990; Light-harvesting ..., 1991; Douady et al., 1993).

У высших растений и зеленых водорослей содержание хлорофилла в ССК рассчитывают по соотношению Хл *a*:Хл *b* (Lichtenthaler, 1987). Поскольку у бурых водорослей соотношение пигментов в ССК неизвестно, то распределение Хл *a* по пулам ССК или фотосистемы (ФС) можно условно определить по соотношению Хл *a*:Хл *c*+фукоксантин. По аналогии с зелеными водорослями наименьшее значение данного показателя будет указывать на максимальный размер ССК.

В состав ССК высших растений и зеленых водорослей в качестве основного светособирающего пигмента, кроме Хл *a*, входит только Хл *b*. Поэтому при изменении спектрального состава освещения у данной группы организмов можно выявить лишь изменение размера ССК, но не перестройку его структуры. В состав ССК красных водорослей (фикобилисома), кроме Хл *a*, входит 2 пигмент-белковых комплекса: фикоэритрин и фикоцианин с максимумами поглощения в различных областях спектра. И все исследования хроматической адаптации красных водорослей указывают на факт изменения соотношения именно данных пигментов. Таким образом, здесь выявляется перестройка структуры фикобилисомы. У бурых водорослей в состав ксантосомы, кроме Хл *a*, также входит 2 светособирающих пигмента, Хл *c* и фукоксантин, с различными спектрами поглощения. И изменение соотношения данных пигментов также будет указывать на перестройку структуры ксантосомы как на адаптацию к изменению спектрального состава освещения.

Проведенные нами исследования показали, что на побережье Баренцева моря (губа Зеленецкая) в летний период примерно 80 % ФАР задерживается первым метровым слоем воды. Глубины 5 м достигает примерно 6 % ФАР, глубины 15 м – примерно 0.4 %. В сентябре прозрачность воды увеличивается, и 1 % ФАР достигает глубины свыше 30 м. Ультрафиолетовая радиация поглощается верхними слоями воды, интенсивность освещения в красной (700 нм) и синей (400 нм) областях спектра также значительно снижаются. На максимальную глубину проникает зеленый (545 нм), желтый (580 нм) и в меньшей степени оранжевый (620 нм) свет.

Для определения адаптационных перестроек ФСА талломы *F. vesiculosus*, собранные с литорали, помещали на глубину от 0 до 15 м, где они находились в течение месяца. Адаптация ФСА растений к снижению интенсивности освещения происходила путем увеличения размеров ксантосомы. Максимальный ее размер (минимальное соотношение Хл а:Хл с+фукоксантин) наблюдался при нахождении растений на глубине 2 м и снижался с дальнейшим увеличением глубины (рис. 4). При этом накопление фотосинтетических пигментов продолжалось до глубины 5–10 м (Влияние ..., 2010).

Изменение размеров ксантосомы сопровождалось перестройкой ее структуры: изменялось соотношение Хл а:Хл с и Хл а:фукоксантин, причем изменения происходили в противофазе (рис. 4). В основном менялось содержание Хл с, а содержание фукоксантина оставалось более стабильным. Возможно, что имеет место функциональная специализация данных пигментов: энергия квантов света с фукоксантина в большей степени передается на ФС I, а с хлорофилла с – на ФС II, что подтверждается результатами исследований фотосинтетического аппарата и функционирования фотосистем *F. vesiculosus* Балтийского и Норвежского морей (Fluorescence ..., 2011).

При адаптации к интенсивности освещения, которое меняется в течение года, изменение размеров ксантосомы у *F. vesiculosus* происходит без перестройки ее структуры: соотношение Хл а:фукоксантин и Хл а:Хл с изменяются синхронно (рис. 5).

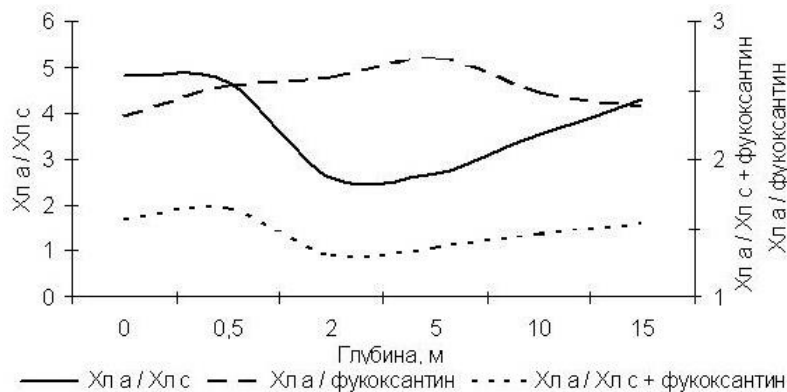


Рис. 4. Соотношение пигментов, входящих в состав ксантосомы *F. vesiculosus* в зависимости от глубины произрастания

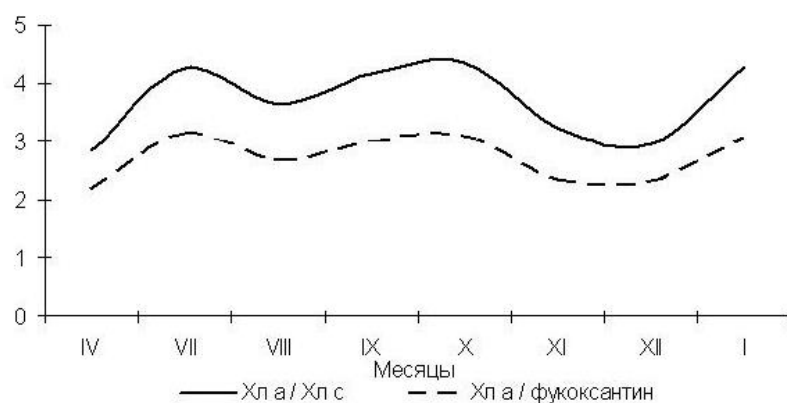


Рис. 5. Сезонные изменения соотношения пигментов, входящих в состав ксантосомы *F. vesiculosus*



Исследование показало, что светособирающий комплекс бурых водорослей адаптируется не только к интенсивности, но и спектральному составу освещения. Структурная перестройка ксантосомы происходит, в основном, за счет изменения содержания Хл *c*, что может быть связано с приоритетным обеспечением функционирования ФС II в стрессовых условиях.

**Влияние ультрафиолетовой радиации.** Ультрафиолетовая часть спектра задерживается верхними слоями воды. Однако даже сниженное ее количество оказывает значительное воздействие. Опыты с отсечением при помощи избирательных фильтров различных частей ультрафиолетовой радиации показали, что скорость роста водорослей максимальна при ее отсутствии, остается на том же уровне или немного снижается под воздействием ультрафиолета А и заметно уменьшается под воздействием ультрафиолета Б (Makarov, 1999).

Виды, обитающие в нижней литорали и верхней сублиторали и имеющие пластинчатую организацию таллома, оказываются наиболее чувствительными, что, скорее всего, связано с нарушением работы фотосинтетического и белоксинтезирующего аппаратов (Harm, 1980; Dohler, 1984; Karentz et al., 1991; Reduction ..., 1991). Степень устойчивости разных видов к ультрафиолету Б зависит от содержания экранирующих и ультрафиолетабсорбирующих пигментов, а также активности репарационных процессов (Макаров, 1999; Effects ..., 2011).

Облучение спорогенной ткани *S. latissima* ультрафиолетом Б вызывает гибель парафиз, что влечет за собой выход не только подвижных зрелых, но и незрелых спор и отрыв целых спорангиев. При высоком уровне ( $1.2 \text{ Вт/м}^2$ , что соответствует природному уровню в ясный летний день) выход начинался через 4 ч после начала воздействия. Скорость оседания зооспор также напрямую зависит от интенсивности ультрафиолета.

Облучение ультрафиолетом зооспор *S. latissima* не оказывало значительного влияния на их прорастание, тогда как облучение эмбриоспор вызывало задержку или нарушение развития. Вероятно, это происходит потому, что в отличие от зооспор у эмбриоспор ДНК и белоксинтезирующий аппарат находятся в активном состоянии. Проведенные исследования показали, что ультрафиолетовая радиация является фактором, оказывающим значительное воздействие на репродукцию водорослей и процессы восстановления природных зарослей.

**Фотопериод.** Проведенные нами исследования выявили влияние фотопериода на скорость роста, содержание сухих веществ и состояние фотосинтетического аппарата водорослей-макрофитов Баренцева моря.

Увеличение периода освещения способствовало росту водорослей в осенне-зимний период и не влияло или тормозило рост в течение весны и лета. Эксперименты также показали, что при постоянном освещении скорость роста большинства видов водорослей выше, чем при фотопериоде 12:12 (свет:темнота). Тем не менее, в естественных условиях при постоянном освещении (полярный день) и увеличении температуры воды рост водорослей замедляется, что является проявлением эндогенных ритмов сезонного развития водорослей (Makarov et al., 1999). Сходные данные также были получены и на других видах водорослей из морей умеренных широт (Fortes, Lüning, 1980; Lüning, 1991, 1993; tom Dieck, 1991; Lüning, Kadel, 1993; Schaffelke, Lüning, 1994).

Реакция фотосинтетического аппарата клетки на продолжительность и интенсивность освещения различается. При длинном световом дне наблюдается общее

снижение содержания фотосинтетических пигментов без изменения соотношения хлорофиллов и каротиноидов. При более кратковременном, но интенсивном воздействии освещения содержание пигментов не изменяется, но наблюдается накопление каротиноидов.

При коротком световом дне накопление каротиноидов, выполняющих двойную роль и фотозащитных и светособирающих пигментов, является оптимальным: при высокой интенсивности освещения в дневные часы каротиноиды защищают хлорофиллы от фотодеструкции, а при низком освещении в утренние и вечерние часы выполняют роль “светосборщиков”, увеличивая тем самым период эффективного использования световой энергии.

Снижение продолжительности освещения вызывает также увеличение содержания сухих веществ в талломах водорослей. По-видимому, фотопериод является сигналом, переключающим физиологические процессы водорослей с роста на накопление запасных веществ, что является важным приспособлением к существованию в полярной ночи.

Наши исследования подтвердили вывод К.Люнинга (Lüning, 1993), что фотопериод является регулятором, синхронизирующим эндогенные ритмы водорослей с условиями внешней среды. Особенно это актуально для водорослей полярных морей, где температурные и световые условия в течение года меняются в широких пределах.

**Температура.** Температура является одним из основных факторов, определяющих биогеографические границы произрастания водорослей (Hoek van den, 1982a,b, 1984; Lüning, 1984; Cambridge et al., 1990; Novaczek, Breeman, 1990; Перестенко, 1998; Howe, Brunner, 2005; Macroecology ..., 2009). Однако, несмотря на многочисленные экспериментальные исследования температурной толерантности водорослей, механизмы их тепло- и холодоустойчивости (что особенно актуально для северных морей) до настоящего времени не ясны.

Результаты наших экспериментов показывают, что для большинства водорослей Баренцева моря оптимальная температура для вегетативного роста 10–15, реже 5–10 °С, для единичных видов 20–22 °С (табл. 2). Среди них имеются эвритермные виды, приспособленные к значительным колебаниям температур, к которым относится большинство литоральных водорослей, и стенотермные, способные существовать в узком температурном диапазоне. Сходные результаты были получены и для других видов водорослей (Гринталь, 1965; Lüning, 1990; Growth ..., 1996; Influence ..., 1996; Voskoboinikov et al., 1997).

Температура воздуха на побережье Баренцева моря, которую испытывают в период отливов литоральные водоросли, зимой может опускаться до –25 °С, а летом достигать 30 °С. Самая низкая температура воды (до –1.5 °С) отмечается в феврале–марте. Максимальная температура у поверхности воды в губах Баренцева моря достигает 12 °С в сентябре, а на глубине 10 м не поднимается выше 5 °С (Черновская, 1956).

Проведенные нами исследования показали, что водоросли Баренцева моря способны в течение месяца существовать при температуре –1.5 °С. Первые повреждения у *Phycodrys rubens* и *S. latissima* отмечались при –2.0 °С, однако часть из них была обратима. У сублиторальных водорослей образование кристаллов внутри клетки начинается при температуре ниже –1.8 °С (температура замерзания морской воды). С дальнейшим понижением температуры число поврежденных клеток растет, достигая максимума при –5 °С для *Phycodrys rubens* и при –6.5 °С

для *S. latissima*. Наибольшая устойчивость к низким температурам была обнаружена у *F. vesiculosus*: необратимые повреждения начинали проявляться при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$ . У *Palmaria palmata* и *Porphyra umbilicalis* при температуре  $-20^{\circ}\text{C}$  лишь единичные фрагменты сохраняли жизнеспособность (Influence ..., 1996). Широкий диапазон температурной толерантности *F. vesiculosus* был выявлен также и для беломорских фукоидов (Фельдман и др., 1963).

Т а б л и ц а 2

Влияние температуры на жизнеспособность макрофитов Баренцева моря

Вид	Температура, $^{\circ}\text{C}$										
	-20	-15	-10	-5	-2.5	10	15	20	27	30	35
<i>Acrosiphonia arcta</i>	+	+	+	+	+	+	+	20/80	-	-	-
<i>Cladophora rupestris</i>	-	30/70	50/50	+	+	+	+	+	80/20	20/80	-
<i>Ulva intestinalis</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	50/50	30/70	-
<i>Ascophyllum nodosum</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	30/70	20/80	-
<i>Fucus vesiculosus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	50/50	20/80	-
<i>Fucus serratus</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	20/80	-	-
<i>Pylaiella littoralis</i>	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Saccharina latissima</i>	-	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>Laminaria digitata</i>	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-
<i>Delesseria sanguinea</i>	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-
<i>Phycodrys rubens</i>	-	-	-	40/60	+	+	+	-	-	-	-
<i>Palmaria palmata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
<i>Porphyra</i> sp.	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Chondrus crispus</i>	-	-	-	40/60	+	+	+	-	-	-	-
<i>Polysiphonia arctica</i>	-	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-
<i>Dictyota dichotoma</i>	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-
<i>Membranoptera alata</i>	-	-	-	-	+	+	+	+	+	-	-

ПРИМЕЧАНИЕ. Плюс – живые, прочерк – погибшие, цифры – соотношение живых и погибших, %.

Возможно, что устойчивость водорослей к замерзанию является следствием синтеза и накопления ими криопротекторов (глицерин, пролин, маннит, фукоидан и т. д.). Однако эта гипотеза допустима лишь для ограниченного числа видов, способных к синтезу данных веществ. В частности, бурая водоросль *S. latissima*, содержание маннита у которой значительно выше, чем у многих литоральных водорослей, сильно уступает им по устойчивости к отрицательным температурам.

Экскреция литоральными фукусовыми водорослями полисахарида фукоидана способствует формированию пленки (ледяного футляра) с внешней стороны водорослей, предохраняющей макрофиты от гибели во время отливов зимой. В клетках фукоидов содержится большое количество фенольных соединений, также являющихся антифризами.

В период отливов литоральные водоросли теряют до 40–70 % воды. Не исключено, что именно способность к дегидратации без потери жизнеспособности также обеспечивает сохранность тканей некоторых видов литоральных водорослей зимой. Эксперименты последних лет, проведенные с помощью высокочастотной диэлектрометрии, ядерного парамагнитного резонанса и показавшие наличие у фукуса пузырчатого большого процента связанной воды в клетках, также свидетельствуют в пользу данного предположения (Паршикова и др., 2000). На *Palmaria palmata* и *Porphyra* sp. было показано, что понижение температуры вызывает увеличение концентрации полиненасыщенных жирных кислот в водорослях (Effect ..., 1985; Хотимченко, 2003), способствующих сохранению текучести клеточных мембран. Не исключается наличие и других механизмов, способствующих переживанию литоральных водорослей в условиях холода (Гапочка, 1981; Климов, 2001).

На основании экспериментальных данных, полученных в том числе и на установке программной заморозки, по холодоустойчивости фукусовые водоросли располагаются в следующем порядке: *Fucus vesiculosus* > *F. distichus* > *F. serratus*, что совпадает с таковым водорослей на литорали.

Макрофиты Баренцева моря демонстрируют значительное различие в устойчивости не только к отрицательным, но и к положительным температурам. Нами было показано, что у двух видов зеленых водорослей *Cladophora rupestris* и *Acrosiphonia arcta*, близких по систематической принадлежности, строению таллома и местам произрастания, температурные оптимумы роста и границы устойчивости к положительным температурам оказываются совершенно разными. У *Acrosiphonia arcta* максимальная скорость роста наблюдается при температуре 8–10 °С, а температура 18–20 °С вызывает гибель. У *Cladophora rupestris* скорость роста максимальна при 20–22 °С, а гибель происходит при 30 °С. Объяснение этому феномену лежит в происхождении водорослей: у *A. arcta* – арктическое происхождение, а у *C. rupestris* – тропическое (Voskoboinikov et al., 1997). Полученные данные позволили сделать вывод о генетической закрепленности температурной толерантности водорослей.

\* \*  
\*

Температурные условия существования живых организмов в высокоширотных районах Арктики, к которым относится и акватория Баренцева моря, достаточно суровы. В дополнение к этому условия освещения со сменой фотопериода от полярного дня до полярной ночи также оказывают значительное влияние на растительные организмы. И если наземные высшие растения способны сбрасывать листья и впадать в спячку в зимний период, то водоросли лишены этой возможности и вынуждены приспосабливаться к низкой температуре и отсутствию освещения. Результаты проведенных нами исследований свидетельствуют, что адаптация как к продолжительному отсутствию освещения, так и к низкой температуре в период полярной ночи позволила водорослям распространиться за пределы полярного круга.

## Литература

- Быков О.Д. Фотосинтез и темновая фиксация CO<sub>2</sub> литоральных макроводорослей Баренцева моря в условиях полярной ночи // Бот. журн. 2003. Т. 88. № 12. С. 68–73.
- Влияние глубины произрастания на морфофизиологические показатели *Fucus vesiculosus* L. Баренцева моря / М.В.Макаров, И.В.Рыжик, Г.М.Воскобойников, Г.Г.Матишов // Докл. РАН. 2010. Т. 430. № 3. С. 427–429.
- Воскобойников Г.М., Макаров М.В., Рыжик И.В. Изменения в составе фотосинтетических пигментов и структуре клеток у бурых водорослей *Fucus vesiculosus* L. и *F. serratus* L. из Баренцева моря при длительном нахождении в темноте // Биология моря. 2006. Т. 32. № 1. С. 26–33.
- Гапочка Л.Д. Об адаптации водорослей. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 80 с.
- Гринваль А.Р. Состав и распределение сообществ водорослей на литорали губ Ярнышной и Подпахты (Восточный Мурман) // Тр. Мурман. мор. биол. ин-та АН СССР. 1965. Вып. 8(12). С. 23–40.
- Дифференциация пластины *Laminaria saccharina* (L.) Lamourg. как приспособление к длительному отсутствию освещения / М.В.Макаров, И.В.Рыжик, Г.М.Воскобойников, Г.Г.Матишов // Докл. РАН. 2006. Т. 409. № 2. С. 1–2.
- Климов С.В. Пути адаптации растений к низким температурам // Успехи соврем. биол. 2001. Т. 121. № 1. С. 3–22.
- Колмаков П.В. Темновая фиксация неорганического углерода некоторыми видами морских зеленых макроводорослей // Материалы 48-й Межвузовской научно-технической конференции. Т. III. Владивосток: Изд. ДВГУ, 2005. С. 55–57.
- Литвин Ф.Ф., Звалинский В.И. К теории хроматической и нехроматической адаптации фотосинтеза // Успехи соврем. биол. 1983. Т. 95. № 3. С. 339–357.
- Макаров В.Н. Поведение зооспор и ранние стадии развития *Laminaria saccharina* (L.) Lamourg. Белого и Баренцева морей: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1987. 20 с.
- Макаров М.В. Влияние ультрафиолетовой радиации на рост и размножение доминантных видов водорослей-макрофитов Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 1999. 22 с.
- Макаров М.В. Адаптация водорослей Баренцева моря к условиям освещения: Дис. ... докт. биол. наук (25.00.28 – океанология). Мурманск, 2010. 359 с.
- Мальцев В.Н. Изучение гаметофита ламинарии японской при ее культивировании // Материалы 6-го советско-японского симпозиума по вопросам аквакультуры и повышения биопродуктивности Мирового океана, Москва–Батуми, 7–21 октября 1977 г. М.: Изд. ВНИРО, 1978. С. 76–77.
- Матишов Г.Г., Макаров М.В. Изменения пигментного состава *Fucus vesiculosus* L. и *F. serratus* L. Баренцева моря при длительном нахождении в темноте // Докл. РАН. 2004. Т. 397. № 5. С. 1–2.
- Паришкова Т.В., Щеголева Т.Ю., Колесников В.Г. Состояние воды в клетках водорослей и их функциональная активность в различных условиях // 5-я Всероссийская конференция по водным растениям “Гидрботаника 2000”. Борок, 2000. С. 66–67.
- Перестенко Л.П. О происхождении и эволюции ламинариевых водорослей (Laminariales, Phaeophyta) // Бот. журн. 1998. № 5. С. 1–11.
- Титлянов Э.А., Колмаков П.В., Лавин П.И. Темновая фиксация неорганического углерода морскими зелеными водорослями // Инф. бюл. Сиб. ин-та физиол. и биохим. растений. Иркутск, 1972. № 10. С. 47–48.
- Тропин И.В., Макаров М.В. Оценка состояния фотосинтетического аппарата фукоидов Баренцева моря после завершения полярной ночи // Альгология. 2004. Т. 4. № 4. С. 393–404.

Трусова Н.А. Эколого-физиологические характеристики фотосинтетического аппарата морских водорослей макрофитов // Материалы Международной отраслевой студенческой научно-технической конференции “П.О.И.С.К.–2009” (Владивосток, 14–17 сентября 2009 г.). Владивосток: Дальрыбвтуз, 2009. С. 176–179.

Фельдман Н.Л., Завадская П.Г., Лютова М.И. Исследование температурной устойчивости некоторых морских водорослей в природных условиях и эксперименте // Цитология. 1963. Т. 5. № 2. С. 125–134.

Хайлов К.М. Экологический метаболизм в море. Киев: Наук. думка, 1971. 252 с.

Хайлов К.М., Монина Т.Л. Органотрофия у морских макрофитов как функция плотности их популяции в условиях эксперимента // Биология моря. 1977. Т. 2. С. 11–18.

Хайлов К.М., Фирсов Ю.К. Фотосинтез и органотрофия морских макрофитов как функция индивидуального веса их талломов // Биология моря. 1976. Т. 6. С. 47–51.

Хотимченко С.В. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав: структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука, 2003. 234 с.

Черновская Е.Н. Гидрологические и гидрохимические условия на литорали Восточного Мурмана и Белого моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1956. 115 с.

Barrett J., Anderson J.M. The P-700-chlorophyll *a*-protein complex and two major light-harvesting complexes of *Acrocarpia paniculata* and other brown seaweeds // Biochim. Biophys. Acta. 1980. V. 590. P. 309–323.

Biodiversity, biogeography and zonation of marine benthic micro- and macroalgae in the Arctic and Antarctic / A.Wulff, K.Iken, M.L.Quartino et al. // Bot. Mar. 2009. V. 52. № 6. P. 491–507.

Breeman A.M. Relative importance of temperature and other factors in determining geographic boundaries of seaweeds: Experimental and phenological evidence // Helgoland Mar. Res. 1988. V. 42. № 2. P. 199–241.

Cambridge M.L., Breeman A.M., Hoek C. van den. Temperature limits at the distribution boundaries of four tropical to temperate species of *Cladophora* (Cladophorales: Chlorophyta) in the North Atlantic Ocean // Aquatic Bot. 1990. V. 38. № 2–3. P. 135–151.

Dohler G. Effects of UV-B radiation on the marine diatoms *Lauderia annulata* and *Thalassiosira rotula* grown in different salinities // Mar. Biol. 1984. V. 83. P. 247–253.

Douady D., Rousseau B., Berkaloff C. Isolation and characterization of PSII core complexes from a brown alga, *Laminaria saccharina* // FEBS Letters. 1993. V. 324. P. 22–26.

Drivers of colonization and succession in polar benthic macro- and microalgal communities / G.L.Campana, K.Zacher, A.Fricke et al. // Bot. Mar. 2009. V. 52. P. 655–667.

Dunton K.H., Schell D.M. Seasonal carbon budget and growth of *Laminaria solidungula* in the Alaskan High Arctic // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1986. V. 31. P. 57–66.

Effect of water temperature on the fatty acid composition of *Porphyra* / M.Kayama, N.Iijima, M.Kuwahara et al. // Bull. Jpn. Soc. Sci. Fish. 1985. V. 51. № 4. P. 687.

Effects of water temperatures, UV radiation and low vs high PAR on phlorotannin content and germination in zoospores of *Saccorhiza dermatodea* (Tilopteridales, Phaeophyceae) / F.S.Steinhoff, Ch.Wiencke, S.Wuttke, K.Bischof // Phycologia. 2011. V. 50. P. 256–263.

Fluorescence emission spectra of marine and brackish-water ecotypes of *Fucus vesiculosus* and *Fucus radicans* (Phaeophyceae) reveal differences in light-harvesting apparatus / A.M.Gylle, S.Rantamaki, N.G.A.Ekelund, E.Tyystjarvi // J. Phycol. 2011. V. 47. P. 98–105.

Fortes M.D., Lüning K. Growth rates of North Sea macroalgae in relation to temperature, irradiance and photoperiod // Helgolander Meeresunters. 1980. V. 34. P. 15–29.

Growth and reproductive phenology of nine intertidal algae on the Murman coast of the Barents Sea / E.V.Schoschina, V.N.Makarov, G.M.Voskoboinikov, C.Hoek van den // Bot. Mar. 1996. V. 39. P. 83–93.

Harm W. Biological effects of ultraviolet radiation: IUPAB Biophysics Series 1. Cambridge: Cambridge University Press, 1980. 216 p.

Hoek C. van den. The distribution of benthic marine algae in relation to the temperature regulation of their life histories // Biol. J. Linn. Soc. 1982a. V. 18. P. 81–144.

Hoek C. van den. Phytogeographic distribution groups of benthic marine algae in the North Atlantic Ocean. A review of experimental evidence from life history studies // Helgoland Mar. Res. 1982b. V. 35. № 2. P. 153–214.

Hoek C. van den. World-wide latitudinal and longitudinal seaweed distribution patterns and their possible causes, as illustrated by the distribution of *Rhodophyta* genera // Helgoland Mar. Res. 1984. V. 38. № 2. P. 227–257.

Howe G.T., Brunner A.M. An evolving approach to understanding plant adaptation // New Phytologist. 2005. V. 167. № 1. P. 1–5.

Influence of temperature and photoperiod on survival and growth of north east Atlantic isolates of *Phycodryis rubens* (Rhodophyta) from different latitudes / G.M.Voskoboinikov, A.V.Breeman, C.Hoek van den et al. // Bot. Mar. 1996. V. 39. P. 341–346.

Karentz D., Cleaver J.E., Mitchell D.L. Cell survival characteristic and molecular responses of Antarctic phytoplankton to ultraviolet-B radiation // J. Phycol. 1991. V. 27. P. 326–341.

Katoh T., Mimuro M., Takaichi S. Light-harvesting particles isolated from a brown alga, *Dictyota dichotoma*. A supramolecular assembly of fucoxanthin-chlorophyll-protein complexes // Biochim. Biophys. Acta. 1989. V. 976. P. 233–240.

Katoh T., Tanaka A., Mimuro M. Xanthosomes: Supramolecular assemblies of xanthophyll-chlorophyll *a/c* protein complexes // Methods Enzymol. 1993. V. 214. P. 402–412.

Lichtenthaler H.K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic membranes // Methods Enzymol. 1987. V. 148. P. 350–382.

Light and temperature demands of marine benthic microalgae and seaweeds in polar regions / I.Gómez, A.Wulff, M.Y.Roleda et al. // Bot. Mar. 2009. V. 52. № 6. P. 593–608.

Light-harvesting systems of brown algae and diatoms. Isolation and characterization of chlorophyll *a/c* and chlorophyll *a*/fucoxanthin pigment-protein complexes / R.S.Alberte, A.L.Friedman, D.L.Gustafson et al. // Biochim. Biophys. Acta. 1981. V. 635. № 2. P. 304–316.

Light-harvesting complexes of brown algae. Biochemical characterization and immunological relationships / C.Passaquet, J.C.Thomas, L.Caron et al. // FEBS Letters. 1991. V. 280. P. 21–26.

Lüning K. Temperature tolerance and biogeography of seaweeds: The marine algal flora of Helgoland (North Sea) as an example // Helgoland Mar. Res. 1984. V. 38. № 2. P. 305–317.

Lüning K. Seaweeds, their environment, biogeography and ecophysiology. New York: John Wiley, 1990. 527 p.

Lüning K. Circannual growth rhythm in a brown alga *Pterygophora californica* // Bot. Acta. 1991. V. 104. P. 157–162.

Lüning K. Environmental and internal control of seasonal growth in seaweeds // Hydrobiologia. 1993. V. 260/261. P. 1–14.

Lüning K., Kadel P. Daylength range for circannual rhythmicity in *Pterygophora californica* (Alariaceae, Phaeophyta) and synchronization of seasonal growth by daylength cycles in several other brown algae // Phycologia. 1993. V. 33. P. 379–387.

Macroecology meets macroevolution: evolutionary niche dynamics in the seaweed *Halimeda* / H.Verbruggen, L.Tyberghein, K.Pauly et al. // Global Ecology and Biogeography. 2009. V. 18. № 4. P. 393–405.

Makarov M.V. Influence of ultraviolet radiation on the growth of the dominant macroalgae of the Barents Sea // Chemosphere: Global change science. Climate change effect on northern terrestrial and freshwater ecosystems. 1999. V. 1. № 4. P. 461–467.

Makarov V.N., Makarov M.V., Schoschina E.V. Seasonal dynamics of growth in the Barents Sea seaweeds: endogenous and exogenous regulation // Bot. Mar. 1999. V. 42. № 1. P. 43–49.

Mimuro M., Katoh T., Kawai H. Spatial arrangement of pigments and their interaction in the fucoxanthin-chlorophyll *a/c* protein assembly (FCPA) isolated from the brown alga *Dictyota dichotoma*. Analysis by means of polarized spectroscopy // Biochim. Biophys. Acta. 1990. V. 1015. P. 450–456.

Novaczek I., Breeman A.M. Thermal ecotypes of amphi-Atlantic algae. II. Cold-temperate species (*Furcellaria lumbricalis* and *Polyides rotundus*) // Helgoland Mar. Res. 1990. V. 44. № 3–4. P. 475–485.

Reduction in cab and psb A RNA transcripts in response to supplementary ultraviolet-B radiation / B.R.Jordan, W.S.Chow, A.Strid, J.M.Anderson // FEBS Letters. 1991. V. 284. № 1. P. 5–8.

Schaffelke B., Lüning K. A circannual rhythm controls seasonal growth in the kelps *Laminaria hyperborea* and *L. digitata* from Helgoland (North Sea) // Eur. J. Phycol. 1994. V. 29. P. 49–56.

The abiotic environment of polar benthic algae / K.Zacher, R.Rautenberger, D.Hanelt et al. // Bot. Mar. 2009. V. 52. P. 483–490.

The photosynthetic apparatus of *Ulvaria obscura* during the polar day and polar night / G.Voskoboinikov, M.Makarov, T.Maslova, O.Sherstneva // Phycologia. 2001. V. 40(4) Suppl. P. 83.

tom Dieck (Bartsch) I. Circannual growth rhythm and photoperiodic sorus induction in the kelp *Laminaria setchellii* (Phaeophyta) // J. Phycol. 1991. V. 27. P. 341–350.

tom Dieck (Bartsch) I. Temperature tolerance and survival in darkness of kelp gametophytes (Laminariales, Phaeophyta): ecological and biogeographical implications // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993. V. 100. P. 253–264.

Voskoboinikov G.M., Breeman A.M., Hoek C. van den. Influence of temperature and photoperiod on the rate of growth of algae from the Barents Sea // Thesis IV International Phycological Congress. Leiden, 1997. P. 234.

Willig M.R., Kaufman D.M., Stevens R.D. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis // Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst. 2003. V. 34. P. 273–309.

Yabu H. Early development stages of several species of Laminariales in Hokkaido // Hem. Fac. Fish. Hokkaido Univ. 1964. V. 12. P. 1–72.

УДК 598.20 (268.4)

**Ю.В.Краснов**

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

## **ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МОРСКИХ ПТИЦ МУРМАНСКИМ МОРСКИМ БИОЛОГИЧЕСКИМ ИНСТИТУТОМ КНЦ РАН В СЕВЕРНЫХ МОРЯХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

### **Аннотация**

Рассматриваются основные направления орнитологических исследований ММБИ в северных морях европейской части России. Показаны основные результаты исследований морских птиц как на морских акваториях, так и в местах их массового размножения на островах и побережьях северных морей. Обсуждаются вопросы применения авиационной техники при обследовании районов зимовки, линьки и миграционных стоянок морских птиц, изучения половозрастной структуры отдельных популяций. Приведены результаты изучения трофических связей морских птиц в Баренцевом и Белом морях.



Yu.V.Krasnov

## MAIN DIRECTIONS OF SEABIRD RESEARCH OF MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE KSC RAS IN THE NORTHERN SEAS OF EUROPEAN RUSSIA

### Abstract

The main directions of ornithological research of the Murmansk Marine Biological Institute (Russia) in the seas of Northern Europe are considered in this paper. The major results of seabird research at sea and in areas of mass breeding on islands and coasts of the northern seas are presented. The use of aviation facilities in monitoring wintering and molting areas, and migration stopover sites, as well as studies of sex-age structure of some species of seabirds are discussed. Essential outcomes of studying the trophic links of the seabirds of the Barents and White Seas are introduced.

Обычно к морским птицам относят виды, проводящие в море большую часть годового цикла и связанные с сушей исключительно в период размножения. В Советском Союзе всплеск интереса к исследованиям морской авифауны в 1920–1940-е гг. объясняется началом активного освоения Арктики и тесно связан с организацией полярных станций и заповедников (Демме, 1934; Кафтановский, 1938; Успенский, 1941). Основное внимание в эти годы уделяли изучению гнездовой биологии и экологии, разработке и совершенствованию методов учета численности в местах размножения. Эти исследования должны были обеспечить создание научно обоснованной и рациональной системы эксплуатации морской авифауны в интересах народного хозяйства (Белопольский, 1957). В связи с этим у берегов Кольского полуострова были организованы первые орнитологические заповедники – Кандалакшский и Семь островов (в дальнейшем объединенные), – которые на протяжении нескольких десятилетий были едва ли не единственным центром изучения морских птиц в северных морях европейской части страны (Птицы ..., 1993).

Исследования морских птиц в тот период лишь в малой степени были увязаны с изучением других звеньев морских экосистем. Только с середины 1980-х гг. большинство специалистов стало рассматривать морских птиц в качестве истинно морских организмов. До этого времени их изучали, главным образом, на суше, в местах их массового размножения. В открытых районах моря были проведены только отдельные отрывочные наблюдения за особенностями распределения и трофическим поведением некоторых видов (Белопольский, 1933).

В начале 1990-х гг. исследования в области морской орнитологии стали активно осуществлять сотрудники ММБИ.

**Исследования морских птиц в открытых районах моря.** Объем информации о гнездовой биологии и экологии морских птиц особенно стремительно стал нарастать в 1970–1980-е гг. С каждым годом становилось все яснее, что многие фундаментальные задачи, например, такие как изучение роли птиц в морских экосистемах, невозможно решить без целого комплекса материалов, полученных в районах открытого моря. С этой точки зрения важнейшими становятся вопросы оценки численности птиц на акватории бассейнов Баренцева, Карского и Белого морей в течение всего годового цикла, определение межгодовой изменчивости и плотности распределения авифауны в отдельных районах этих морей.

До начала 1990-х гг. в открытых районах северных морей были проведены только отдельные отрывочные наблюдения за особенностями распределения и трофическим поведением некоторых видов морских птиц. За небольшим исключением (Смирнов, 1926) все они так или иначе связаны с именем Л.О.Белопольского. В начале 1930-х гг. он предпринял попытку количественной оценки массовых видов птиц в некоторых районах Баренцева моря (Белопольский, 1933). В конце 1930-х гг. под его руководством Н.Г.Колов выполнил детальное исследование трофических связей морских колониальных птиц – мевки (*Rissa tridactyla*) и короткохвостого поморника (*Stercorarius parasiticus*). В ходе работы было продемонстрировано наличие тесной связи между скоплениями молоди сельди, мевками и короткохвостыми поморниками. На основе результатов данной работы Л.О.Белопольский (1957) создал практическое пособие для капитанов рыболовных судов, используя которое они могли вести эффективный поиск косяков сельди в открытом море. Ориентироваться при поиске они должны были по поведению птиц, которые питались рыбой. В течение нескольких последующих десятилетий эти исследования в Баренцевоморском регионе дальнейшего продолжения не получили.

В начале 1990-х гг. сотрудники ММБИ и Кандалакшского государственного заповедника стали активно осуществлять совместные исследования в области морской орнитологии. В открытых районах Баренцева моря был начат плано-мерный цикл наблюдений с борта морских судов (Краснов, Николаева, 1996а,б). В значительной степени эти наблюдения были привязаны к экологическому сопровождению проектов разработки шельфовых месторождений углеводородов. В то же время опыт таких исследований показал, что с борта морского судна невозможно оперативно определить численность и получить карту распределения птиц на обширных площадях акваторий морей (Использование ..., 2004). Причем наиболее распространенные методики судовых учетов непригодны для определения абсолютных величин плотности распределения или численности птиц.

Тем не менее, в некоторых ситуациях детальную и наиболее подробную орнитологическую информацию в открытых районах моря можно получить только при наблюдениях с борта морских судов. В зимний период в условиях Баренцева и Карского морей это единственно возможная исследовательская платформа. В связи с этим специалистами ММБИ были организованы регулярные орнитологические наблюдения с борта ледокольных судов на акваториях Баренцева, Белого и Карского морей. В результате удалось получить информацию о зимней авифауне восточной и юго-восточной частей Баренцева моря и западной части Карского моря (Атлас ..., 2002; Краснов и др., 2007). В ходе наблюдений были обнаружены неизвестные до того времени места зимовки толстоклювых кайр (*Uria lomvia*) в районе полыней и разводий у северо-западного и юго-западного побережий Новой Земли (Краснов и др., 2007). Показано, что в отдельные сезоны, возможно под влиянием ледовых условий, скопления зимующих птиц могут концентрироваться в разных районах у западного побережья этого архипелага. Цикл наблюдений, проведенный с борта атомных ледоколов, продемонстрировал, что у западного побережья Новой Земли с декабря по январь численность морских птиц сравнительно мала. Постепенно она начинает возрастать уже в феврале, достигая максимума в апреле. Это связано с возвратом сотен тысяч морских колониальных птиц в колонии на западном побережье Новой Земли. Перед прилетом в места гнездования птицы откармливаются в прикоро-

мочных районах и полыньях, где наблюдается повышенная продуктивность зоопланктона. В этот период в этих районах отмечена концентрация толстоклювых кайр, чистиков (*Cephus grille*), люриков (*Alle alle*) и моевок с высокими значениями плотности распределения (Краснов и др., 2007).

Хотя в мировой практике традиционные методы исследования морской авифауны в открытых акваториях связаны с судовыми наблюдениями (Mehlum, 1989; Isaksen, 1995; Consumption ..., 1995), для которых были разработаны стандартизированные методики (Counting ..., 1984; Gould, Forsell, 1989), последние не свободны от целого ряда недостатков (Использование ..., 2004). Авиационные наблюдения с борта самолетов-лабораторий этих недостатков не имеют, что позволяет избежать трудностей, свойственных судовым учетам, поскольку скорость движения самолета значительно превышает скорость движения наблюдаемых объектов. Более того, авианаблюдения, по-видимому, являются единственным способом получения корректной информации о численности птиц в промысловых районах при концентрации большого количества рыболовных судов.

История применения авиации для учетов птиц насчитывает около полувека (Исаков, 1952; Кищинский, 1973). Поскольку обычно используются исключительно легкие самолеты, районы исследований ограничены акваториями озер, заливов, проливов и прибрежными водами. Осуществляя наблюдения в открытых районах арктических морей, коллектив специалистов ММБИ, ПИНРО и ААНИИ впервые в истории орнитологии разработал методику учета морских птиц с борта летающих лабораторий (Использование ..., 2004). Использование подобных машин позволяет оперативно определить численность и распределение морских птиц на обширных площадях, получить компьютерные карты распределения морских птиц, например, на всей акватории Баренцева моря (рис. 1). Наиболее эффективно наблюдения с самолета были проведены в 1997–1999 гг. в юго-восточной части Баренцева моря (Печорском море), где были выявлены крупнейшие на Европейском Севере районы линьки и миграционные стоянки морских уток западносибирских популяций (Атлас ..., 2002). До этого обнаружить их с борта морских судов практически не удавалось. Размещение утиных стай характеризуется высокой степенью дискретности. Фактически, в Печорском море можно выделить всего несколько районов, весьма ограниченных по площади, но с необычайно высокой плотностью распределения морских уток во все годы наблюдений (Атлас ..., 2002). Это мелководья вблизи южного побережья о. Колгуев, акватория у южного побережья о. Долгий, прибрежные воды Югорского полуострова.

Авианаблюдения с борта летающей лаборатории, проведенные нами в 1994–1995 гг., показали, что в начале сентября большая часть популяции моевок придерживается ареала распространения мойвы (Краснов, Николаева, 1998б). Наблюдения с борта самолета в сентябре 1997 г. в центральных районах Баренцева моря позволили получить материал, характеризующий размещение массовых видов морских птиц на большей части акватории этого бассейна. Было показано, что в осенний период распределение кайр в открытых районах Баренцева моря тесно связано с распределением двух видов рыб – мойвы и сайки, а глупыша (*Fulmarus glacialis*) – с зоопланктоном.

Оба способа наблюдений (авиационный и судовой) прекрасно дополняют друг друга. В целом их результаты продемонстрировали, что характер и распределение морских птиц в открытых районах северных морей могут изменяться в значительных пределах в зависимости от климатических и погодных условий,

а также от размещения и объемов кормовых ресурсов, доступных для птиц. Максимальная численность морских птиц в открытых районах моря может наблюдаться в местах сосредоточения мелкой пелагической рыбы и зоопланктона. Поскольку в прикромочных районах обеспеченность кормами сравнительно высока, эти районы особенно привлекательны для морских птиц. Наивысшие концентрации птиц наблюдали здесь в период миграций.

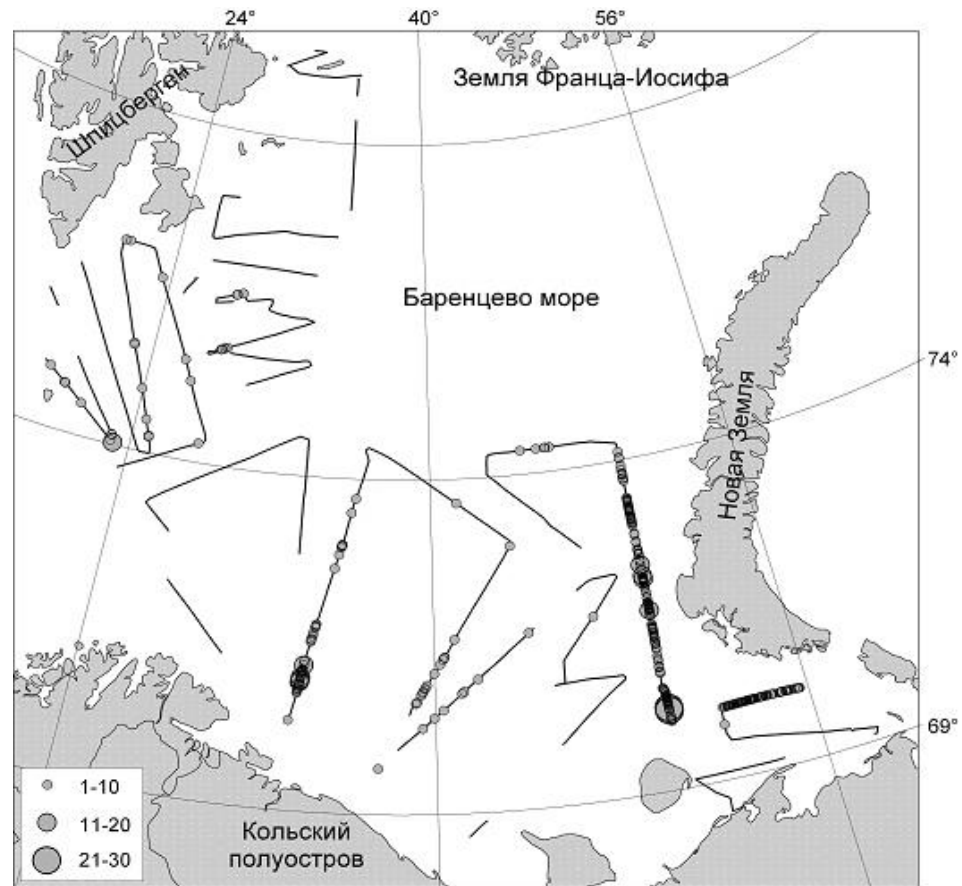


Рис. 1. Распределение и численность кайр в Баренцевом море по данным авиа-наблюдений в сентябре 1997 г., экз.

В ходе наших исследований орнитофауны северных морей наиболее детальные данные получены при изучении Белого моря. В результате многолетних судовых и авиационных наблюдений в Белом море были выявлены значительные различия в составе орнитофауны и распределении птиц в разных океанографических районах. Они соответствовали смене трофических условий вследствие изменений характеристик пелагических экосистем (Краснов, 2004а; Особенности ..., 2005). Установлен качественный и количественный состав авифауны на акватории разных районов Белого моря (Кандалакшский, Онежский и Мезенский заливы, Бассейн, Горло и Воронка). В итоге выявлены виды птиц, высокая плотность распределения которых приурочена к определенным районам Белого моря. В Кандалакшском заливе это серебристая (*Larus argentatus*) и сизая чайки (*Larus canus*), в Онежском заливе – клуша (*Larus fuscus*) и гагарка (*Alca torda*),

в Бассейне – полярная крачка (*Sterna paradisaea*), в Горле – стеллерова гага (*Polysticta stelleri*) и западносибирская чайка (*Larus heuglini*), в Воронке – глупыш, моевка и толстоклювая кайра.

Исследованиями была установлена неоднородность плотности распределения птиц на разных участках акватории моря. Наивысшая из них наблюдается в мелководных шхерных районах Кандалакшского и Онежского заливов. Фоновым видом в обоих случаях является полярная крачка. В обоих заливах в летний период в значительных количествах встречается обыкновенная гага (*Somateria mollissima*). В Онежском заливе для послебрачной линьки концентрируются самцы обыкновенных гаг всей западной части Белого моря (Бианки, 1993).

В то же время, при всей схожести авифаун открытых районов Кандалакшского и Онежского заливов, они в значительной мере различаются. Основу авифаун в летний период в обоих заливах составляют чайковые птицы и морские утки, но их видовой состав и характер пребывания – разный. В Кандалакшском заливе собираются для послебрачной линьки гоголи (*Bucephala clangula*) со всего Прибеломорья (Бианки, 1993). Их скопления держатся в шхерах вершины Кандалакшского залива, и после окончания линьки (в августе) птицы постепенно покидают залив. В летние месяцы здесь может сосредотачиваться до 15–20 тыс. птиц этого вида (Бианки, 1993).

Через Онежский залив проходит одно из основных русел летней миграции самцов синьги (*Melanitta nigra*) к местам послебрачной линьки. Нами показано наличие широкого фронта пролета данного вида в южной части Онежского залива в июле–августе. Обнаружена масштабная промежуточная стоянка птиц в акватории залива, примыкающей к городу Онега. Мигрирующие в утренние часы во второй половине лета тысячи уток этого вида останавливаются на дневку в вершине Онежского залива. Выявленная нами в этом районе столь значительная миграционная стоянка синьги до настоящего времени является едва ли не единственной из известных ранее в регионе. В ходе наблюдений за летней миграцией самцов синьги в открытых районах центральной части Онежского залива было установлено, что стаи птиц двигаются широким фронтом в сторону Кемских, Сумских и Онежских шхер, где находятся промежуточные стоянки для отдыха и кормежки.

В двух других заливах Белого моря – Двинском и Мезенском – численность морских птиц минимальна. В первом из них в отдельные годы вдоль Летнего берега наблюдаются скопления линяющих самцов обыкновенной гаги (до 3.5 тыс. особей). Осенью тут же могут останавливаться стаи мигрирующих морянок (*Clangula hyemalis*) (до 1 тыс. особей) и синьги (до 2.5 тыс. особей) (Survey ..., 2001).

В целом на акватории Белого моря наименьшая плотность распределения птиц наблюдается в открытых районах Бассейна. В этой части Белого моря видовой состав птиц сильно редуцирован, а их численность крайне низка. При обследовании открытых районов Бассейна стороннего наблюдателя буквально поражает практически полное отсутствие птиц. Фактически свободная от птиц акватория Бассейна четко отделяет друг от друга акватории Кандалакшского и Онежского заливов, а последние – от Горла Белого моря. К фоновым видам в этом районе моря с большой натяжкой можно отнести лишь полярную крачку: небольшие группы и одиночных птиц этого вида периодически залетают в центральные районы Бассейна. Из других птиц здесь изредка встречали единичных особей клуш, гагарок и чистиков. Объяснить столь очевидное избегание птицами водных

пространств Бассейна, по нашему мнению, можно лишь одним – практически полным отсутствием сколько-нибудь крупных объемов доступных для птиц пищевых ресурсов.

Северные районы Белого моря по видовому и количественному составу орнитофауны в значительной степени отличаются от южных районов (Кандалакшского и Онежского заливов, Бассейна). Такие колониальные виды, как глупыш, моевка, тонкоклювая (*Uria aalge*) и толстоклювая кайры проникают в Воронку и Горло из прилегающих районов Баренцева моря, но их численность резко снижается по сравнению с прибрежными водами Мурмана. Виды в пределах Белого моря, характерные для Горла и прилегающих частей Воронки: бургомистр (*Larus hyperboreus*), западносибирская чайка, и, в отдельные годы, длиннохвостый поморник (*Stercorarius longicaudus*) и средний поморник (*Stercorarius pomarinus*).

Большинство морских колониальных птиц, появляющихся в Воронке и Горле Белого моря в первой половине лета, с большой долей вероятности можно отнести к двум группам: взрослым, по какой-либо причине не участвующим в размножении в данном сезоне, и особям, еще не достигшим половой зрелости. Во второй половине лета на акватории северной части Белого моря начинают появляться птицы, совершающие предмиграционные кормовые кочевки. Вследствие этого максимальное количество морских колониальных видов приурочено к районам с благоприятными трофическими условиями. Разреженные концентрации кайр и моевок наблюдаются здесь исключительно в местах появления скоплений мелкой пелагической рыбы. Тем не менее, даже на этих участках плотность их распределения заметно уступает максимальным показателям, зарегистрированным на прилегающих акваториях Баренцева моря.

В летний период распределение морских колониальных птиц на открытых акваториях северных районов Белого моря далеко не однородно. Заметно различаются авифауны западной и восточной частей Воронки. Большинство морских колониальных птиц (глупыш, моевка, кайры) придерживаются именно западной части Воронки, т. е. зоны действия “течения Дерюгина” (Баренцевоморского питающего течения). В восточной части численность птиц значительно ниже.

В целом на акватории северных районов Белого моря водоплавающие птицы более многочисленны, чем морские колониальные виды. В летний период они представлены, преимущественно, особями, линяющими в узкой прибрежной зоне или особями, совершившими промежуточную миграционную остановку. Наиболее массовыми видами морских уток, линяющих у Терского берега, являются обыкновенная и стеллерова гаги.

Таким образом, полученные нами результаты свидетельствуют о тесных связях авифаун Баренцева, Карского и Белого морей. Северные районы Белого моря являются важными районами зимовки и линьки морских уток Мурмана и Западной Сибири. В летний период морские колониальные виды проникают в Белое море как в крайний шельфовый водоем в пределах действия Баренцевоморского питающего течения. Это обеспечивает качественное сходство летних авифаун Мурмана и северо-западных районов Белого моря. Вне зоны кочевки баренцевоморских особей авифауна морских птиц Белого моря заметно ограничена. Их более низкая, по сравнению с прилегающими районами Баренцева моря, численность может объясняться меньшей продуктивностью вод Белого моря.

Начиная с середины 1990-х гг. специалисты ММБИ в тесном сотрудничестве со специалистами ААНИИ, норвежскими орнитологами из НИНА (NINA) и

Полярного института начали цикл авиационных наблюдений с борта вертолетов в прибрежных районах Кольского полуострова и акватории Белого моря (A survey ..., 1995; Зимовка ..., 2004; Численность ..., 2006). Это позволило выявить большинство современных мест зимовки и линьки морских уток в этих районах, получить информацию о численности отдельных видов.

Например, в ходе авианаблюдений в марте 2009 г. в сотрудничестве со специалистами Норвежского орнитологического общества (NOF) у берегов Кольского полуострова и в Белом море было зарегистрировано более 249 тыс. особей 24 видов птиц (Зимовки ..., 2011). Из них подавляющее большинство относится к четырем видам морских птиц: обыкновенной гаге, гаге-гребенушке (*Somateria spectabilis*), стеллеровой гаге и моевке. Основные концентрации зимующих морских уток обнаружены в Баренцевом море у побережья Мурмана; в Белом море – в северо-восточной части Терского берега, на мелководьях у Соловецких островов и в западной части Онежского залива (рис. 2). В Белом море было зарегистрировано более 50 тыс. особей обыкновенной гаги. В ходе наблюдений 2009 г. впервые документально доказано, что ареал зимовки стеллеровых гаг и гаг-гребенушек в Белом море включает и Онежский залив. Установлено, что характер распределения морских уток в Белом море зависит от мощности и особенностей размещения ледового покрова.

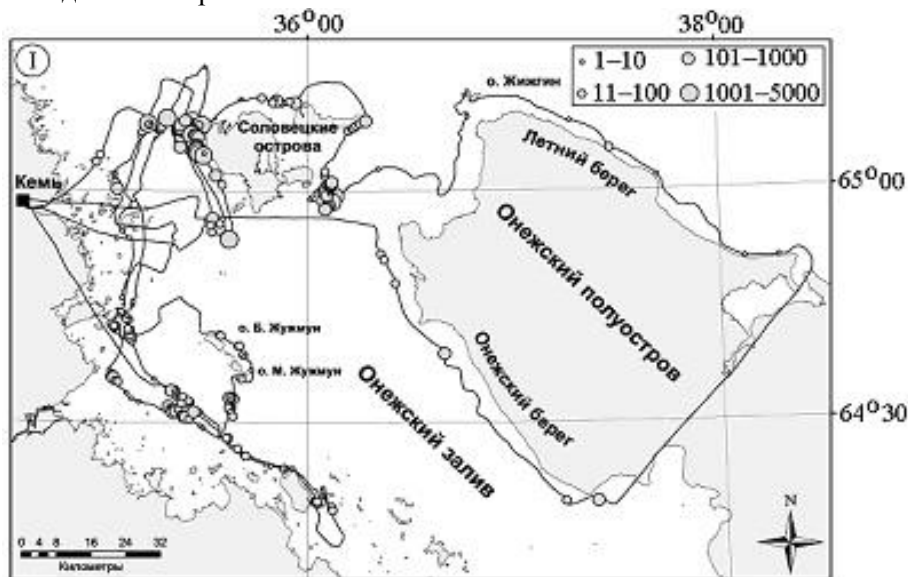


Рис. 2. Распределение и численность обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*) в Онежском заливе Белого моря в марте 2009 г., экз.

**Исследования морских птиц в местах гнездования.** Чтобы выявить основные факторы, определяющие развитие конкретных популяций морских птиц, специалисты ММБИ проводят наблюдения за динамикой численности и успешностью размножения морских птиц в крупных колониях на южном побережье Баренцева моря. Основными целями наших исследований в этих районах является определение современного состояния гнездовых поселений моевок и кайр, численности размножающихся в них птиц и анализ тенденций развития популяций в южной части Баренцева моря. Исследования, проведенные в 1995–2011 гг., показали, что в соответствии с изменениями кормовой базы в прибрежье Мур-

мана и кайры, и моевки испытывали периодические флуктуации численности (рис. 3; Современное ..., 2007). У берегов Мурмана в эти годы запасы стайных пелагических рыб испытывали сильнейшие колебания и периодически были крайне низки, а условия для развития популяций кайр и моевок в целом были крайне неблагоприятными. В итоге нами совместно с норвежскими орнитологами было показано, что в последние годы на Мурмане и прилегающем побережье Норвегии, несмотря на отдельные, благоприятные для размножения сезоны (2010 г.), продолжается процесс деградации колоний моевки и кайр, наиболее массовых видов колониальных птиц. Наблюдается низкая успешность их размножения, которая определяется неблагоприятными кормовыми условиями (Krasnov et al., 2007).

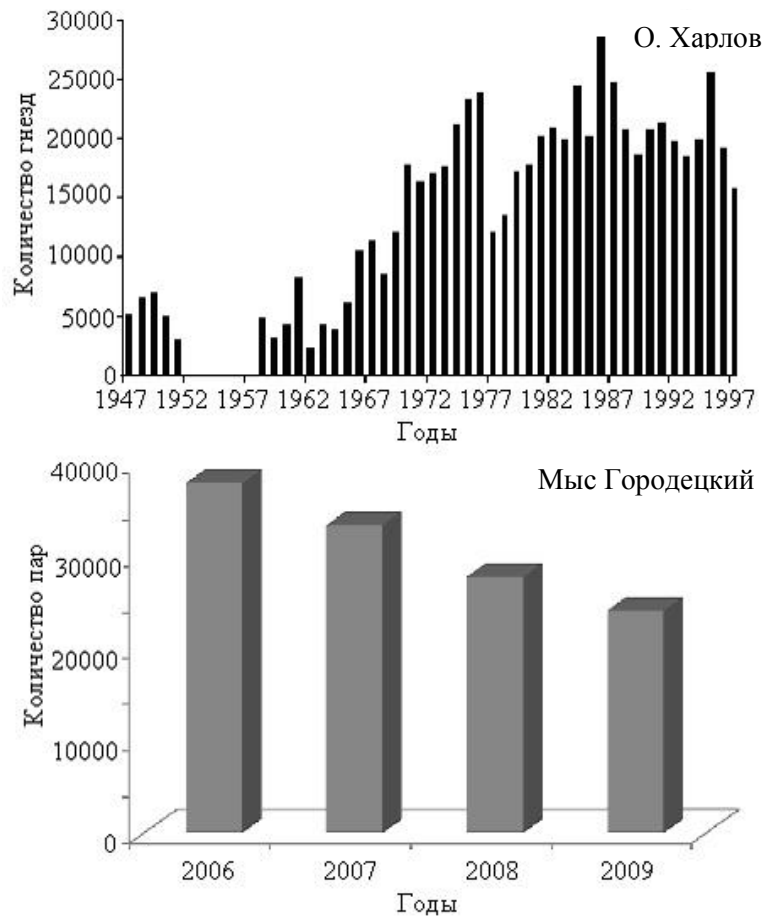


Рис. 3. Численность моевок (*Rissa tridactyla*) на северном побережье Кольского полуострова

Особый интерес представляют исследования малоизученных районов размножения морских птиц в Российской Арктике (архипелаги Новая Земля, Земля Франца-Иосифа). Известно, что эти районы труднодоступны для исследователей. Тем не менее, мы располагаем как архивными материалами, так и оригинальной информацией о птицах данных районов (рис. 4). Проведены ретроспективные анализы развития популяций морских птиц в некоторых крупных поселения морских птиц на архипелагах Новая Земля (Краснов, 1995а) и Земля Франца-



Иосифа (Краснов, 1995б). В юго-восточной части Баренцева моря, на островах Колгуев и Вайгач, орнитологические исследования проводят относительно регулярно (Краснов, 2004б; О позднелетнем ..., 2008). Например, в 2000-х гг. у западного побережья о. Вайгач и прилегающих акваториях Баренцева моря установлена современная численность и характер распределения морских и водоплавающих птиц. Показано, что за истекший период в этом районе произошло катастрофическое снижение численности обыкновенной гаги и, напротив, многократное увеличение размножающихся и линяющих белошеких казарок (*Branta leucopsis*). С момента первого детального учета в 1960 г. (Карпович, Коханов, 1967) численность первого вида на западном побережье о. Вайгач и на прилегающих районах акватории сократилась приблизительно в 10 раз. В то же время численность белошеких казарок за этот период многократно выросла.

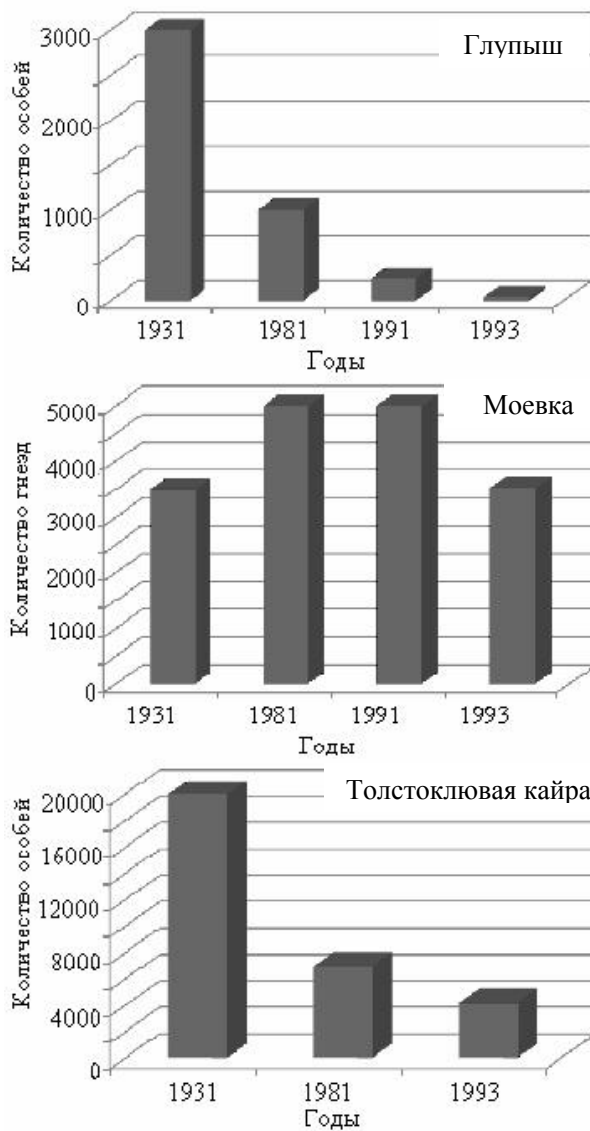


Рис. 4. Численность птиц в колониях скалы Рубини, о. Гукера (Земля Франца-Иосифа) (по: Демме, 1934; Беликов, Рандла, 1984; Skakuć, 1992)

**Исследования миграций морских птиц.** В начале 1990-х гг. в ММБИ были начаты планомерные орнитологические исследования, в том числе визуальные наблюдения за миграциями и кочевками морских птиц. На побережьях и в открытых районах Баренцева, Карского и Белого морей сотрудники института на протяжении всего годового цикла в ходе наземных и морских экспедиций собирали информацию о сроках пролета, местах миграционных остановок, районов линьки и зимовки. Начиная с середины 1990-х гг. в ходе совместных с ПИНРО, ААНИИ, Полярным институтом (Норвегия) и Норвежским орнитологическим обществом авиационных экспедиций в бассейны северных морей с бортов вертолетов и самолета-лаборатории сотрудники ММБИ проводили наблюдения за крупномасштабным распределением морских птиц в период кочевок, линьки и зимовки. В 2009–2010 годах в составе международной группы исследователей проведено изучение районов зимовки моевки при помощи геолокаторов (логгеров).

По итогам всего комплекса наблюдений были установлены характер и принципиальная схема миграции морских колониальных птиц на акваториях данных морей. Выявлены районы массовой линьки и зимовки морских уток, например, обыкновенной гаги (Использование ..., 2004; Численность ..., 2006), гаги-гребенушки (Атлас ..., 2002) и стеллеровой гаги (Краснов, Горяев, 2001).

**Исследования трофических связей морских птиц.** При изучении орнитофауны региона огромное значение уделяется исследованиям трофических связей массовых видов морских птиц, особенно кайр и моевок. По итогам наших исследований было установлено, что в последние десятилетия состав корма взрослых моевок и кайр во всех обследованных колониях отличался разнообразием и изменчивостью. В питании птиц периодически преобладали то один, то другой вид стайных пелагических рыб. У моевок при редком доминировании мойвы отмечен высокий уровень встречаемости мелких ракообразных – эвфаузиид.

Результаты анализа копрологических материалов свидетельствуют о чрезвычайно высокой вариабельности питания обыкновенных гаг даже в пределах только одного географического района, например, одного залива Белого моря. Еще в большей степени географическая изменчивость питания обыкновенных гаг заметна при сборе проб в удаленных друг от друга районах (рис. 5). На Мурманском побережье Баренцева моря в питании обыкновенных гаг, кроме моллюсков, большое значение имеют ракообразные (*Balanus balanus*, *B. crenatu*), местами иглокожие (морские ежи *Strongylocentrotus droebachiensis*). В северных районах ареала – на архипелаге Земля Франца-Иосифа в Баренцевом море и на западном побережье архипелага Шпицберген в Гренландском море – видовой состав корма обыкновенных гаг более ограничен и изменчив. Так, в обследованных районах Земли Франца-Иосифа основу питания обыкновенных гаг составляли ракообразные *Onisimus glacialis* либо моллюски, среди которых главную роль играл двустворчатый моллюск *Mya truncate*. Сильная вариабельность кормов обыкновенной гаги была отмечена и на архипелаге Шпицберген (О трофических ..., 2008; Food ..., 2010).

В итоге показано, что кормовое поведение обыкновенных гаг характеризуется известной пластичностью, позволяя им эффективно добывать не только массовые формы бентосных организмов, но и подвижные объекты – рыб. В каждой конкретной ситуации птица выбирает наиболее массовый из доступных для нее видов пищи. При этом масштабы географической изменчивости составов кормов настолько велики, что в значительной мере маскируют сезонные и поло-

вые аспекты трофических связей вида. В пределах Белого моря качественный и количественный состав корма обыкновенной гаги в зимний период в значительной степени определяется наличием и характером распределения ледового покрова. И, следовательно, именно “ледовый фактор”, в конечном итоге, отвечает за состояние и выживаемость зимующих здесь птиц.

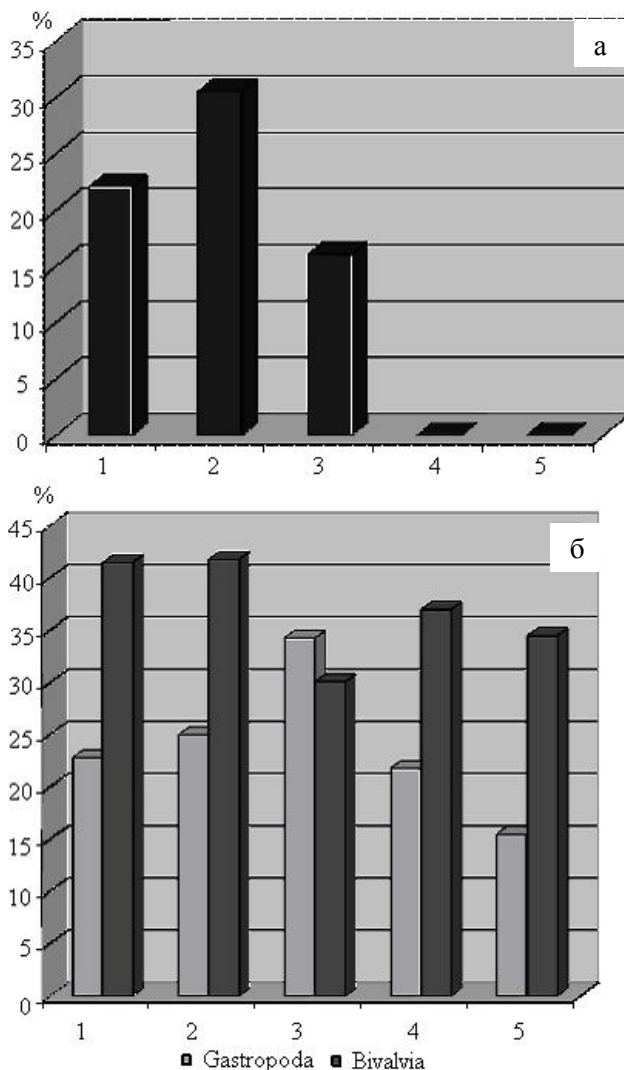


Рис. 5. Содержание мидий (а) и других моллюсков (б) в питании обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*) в Баренцевом и Белом морях:

1 – Белое море, 2 – юго-западная часть Баренцева моря, 3 – Мурман, 4 – Шпицберген, 5 – Земля Франца-Иосифа

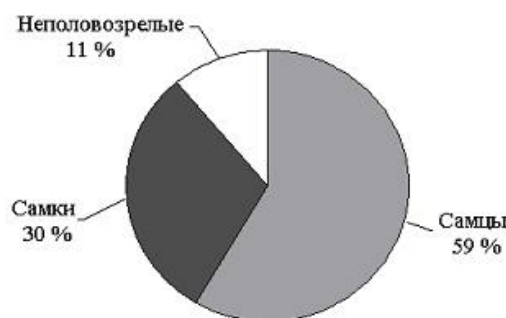
Совместными исследованиями Беломорской биологической станции ЗИН и ММБИ РАН выявлены трофические условия, обеспечивающие стабильное многолетнее существование линных и миграционных скоплений гаги-гребенушки в районе о. Долгий и у западного побережья о. Вайгач в юго-восточной части Баренцева моря. Это один из наиболее ценных районов концентрации водоплавающих птиц на севере Европы (Атлас ..., 2002). Продемонстрировано, что ключе-

вое значение данного района для морских уток определяется наличием привлекательного корма – агрегированных сублиторальных поселений мидий (*Mytilus edulis*) (Sukhotin et al., 2008).

**Исследование популяционной структуры обыкновенной гаги *Somateria mollissima* как модельного вида.** Обыкновенная гага, самый массовый вид морских уток в Баренцевом и Белом морях, является интересным объектом для исследований популяционной структуры в регионе. Значительная величина и численность этой морской утки определяют ее важную роль в функционировании экосистем бассейна. Тем не менее, до сих пор в отечественной литературе отсутствовали точные данные о популяционной принадлежности обыкновенных гаг, обитающих в разных районах Белого моря в тот или иной период годового цикла. Существовало предположение, что беломорская (эндемичная) популяция обыкновенных гаг оседло обитает в западной части Белого моря (Бианки, 1993), а на островах вдоль Терского берега в Воронке и Горле Белого моря гнездятся птицы, принадлежащие мурманской популяции.

Результаты наших наблюдений в гнездовые периоды показали, что на островах вдоль Терского побережья Белого моря (в пределах Горла и Воронки) действительно гнездятся обыкновенные гаги мурманской популяции, в то время как в Кандалакшском и Онежском заливах Белого моря размножаются птицы эндемичной (беломорской) популяции. Исследования, проведенные нами в Белом море в постгнездовой период, продемонстрировали, что ареалы обеих популяций наиболее обширны в период линьки взрослых самцов. В зимний период обыкновенные гаги эндемичной популяции наиболее уязвимы, так как зимуют, главным образом, в полыньях достаточно ограниченных районов мелководий Онежского, а иногда и Двинского заливов.

По данным совместных исследований ММБИ, ААНИИ и Норвежского орнитологического общества в 2009 г. установлено, что современная численность беломорской популяции составляет более 50 тыс. особей. До настоящего времени в литературных источниках не было практически никакой информации о ее половозрастной структуре. Вследствие анализа более трехсот фотоснимков скоплений зимующих птиц этого вида, выполненных с вертолета в полыньях Онежского и Двинского заливов Белого моря, с помощью цифровой фототехники удалось установить пол и возраст у 38653 особей обыкновенной гаги (Половозрастная ..., 2010). Это составляет более 77 % от общей численности популяции. Результаты наших наблюдений свидетельствуют, что в половозрелой части популяции количество самцов почти вдвое превышает число самок, достигая 59 %. Доля неполовозрелых особей составляет 11 % от общей численности популяции, что видно на рис. 6 (Половозрастная ..., 2010). Таким образом,



численность поло-возрелых беломорских обыкновенных гаг более чем вдвое превышает количество размножающихся особей в западной части Белого моря даже в самые благоприятные годы (Карпович, 1987).

Рис. 6. Половая структура беломорской популяции обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*)

Из этого следует, что в данной популяции существует значительный резерв половозрелых птиц, и ее развитие лимитирует физиологическое состояние половозрелых самок после окончания зимовки. Это может служить объяснением существующих у данного вида резких колебаний численности гнездящихся птиц.

**Исследования синантропных группировок птиц.** Сотрудники ММБИ с середины 1990-х гг. проводят исследование процесса синантропизации чайковых птиц на Кольском полуострове (Горяева, 2007). Основная цель этих исследований – определить, каким образом антропогенные изменения в морских экосистемах вызывают появление “городских” группировок птиц, и какие факторы определяют их дальнейшее “независимое” существование. С этой целью под контролем специалистов находится процесс освоения городской среды крупными видами чаек. Выявлены факторы, определяющие развитие их городских группировок.

В связи с крупномасштабными изменениями трофической ситуации в южной части Баренцева моря в середине 1980-х гг. морские птицы стали испытывать острый недостаток рыбного корма, особенно в наиболее чувствительный для них период размножения (Морские ..., 1995; Краснов, Николаева, 1998а). Виды с пластичным кормовым поведением (такие, как серебристая чайка) столкнувшись с дефицитом рыбного корма в местах традиционного гнездования, покидали их и образовывали многотысячные негнездовые скопления в культурном ландшафте в окрестностях Мурманска: на городской свалке, в городских кварталах, в зверосовхозах и у портовых сооружений (Татаринкова, Краснов, 1984; Панева, 1989). В середине 1990-х гг. было обнаружено гнездование первых пар серебристой чайки на крышах жилых зданий города. К настоящему времени городская группировка составляет 1300 размножающихся пар (Горяева, 2007). Установлено, что птицы, постоянно обитающие в естественном и культурном ландшафтах, используют разные кормовые базы, и, следовательно, “городская популяция” серебристой чайки существует независимо от процессов в морских экосистемах.

Наблюдения в вершине Кандалакшского залива Белого моря продемонстрировали иную реакцию серебристых чаек на изменения трофической ситуации. В 1970–1980 годах серебристые чайки активно использовали здесь корма антропогенного происхождения. В предмиграционный и миграционные периоды они в массе концентрировались в районе консервного завода и городской свалки г. Кандалакши, используя доступные калорийные корма в виде отходов рыбо-обработки и пищевых отходов. С упадком производства в 1990-е гг. крупные концентрации чаек в приморской части города исчезли. В начале 2000-х гг. небольшое количество серебристых чаек стало гнездиться на крышах сначала технических сооружений, а затем жилых зданий. Значительного роста данной группировки в течение всех лет наблюдений не отмечено. В настоящее время общая ее численность варьирует от 30 до 50 пар. В отличие от мурманской синантропной группировки кандалакшские серебристые чайки подавляющую часть корма продолжают добывать в море и в гнездовой период связи с морскими экосистемами не теряют. Возможно, поэтому на крышах технических сооружений они гнездятся небольшими разреженными колониями. Напротив, брачные пары мурманских чаек гнездятся исключительно поодиночке и занимают индивидуальную кормовую территорию с обязательным наличием доступных мусорных баков, которые обороняют от конспецифичных особей.

## Л и т е р а т у р а

*Атлас птиц Печорского моря: распределение, численность, динамика, проблемы охраны* / Ю.В.Краснов, Ю.И.Горяев, А.А.Шавыкин и др. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 164 с.

*Беликов С.Е., Рандла Т.Э.* К орнитофауне острова Гукера (Земля Франца-Иосифа) // Орнитология. 1984. Вып. 19. С. 174–175.

*Белопольский Л.О.* К вопросу о количественном распределении *Fulmarus glacialis* и *Rissa rissa (seu tridactyla)* в Баренцевом море // Тр. Аркт. ин-та. 1933. Т. 8. С. 101–105.

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

*Бианки В.В.* Птицы Белого моря (современное состояние, сезонное размещение и биология): Дис. ... докт. биол. наук в форме научного доклада. СПб., 1993. 49 с.

*Горяева А.А.* Численность и характер пребывания серебристых чаек (*Larus argentatus*) в г. Мурманске // Методы и теоретические аспекты исследования морских птиц: Матер. V Всерос. школы по морской биологии (25–27 октября 2006 г., г. Ростов-на-Дону). Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2007. С. 207–208.

*Демме Н.П.* Птичий базар на скале Рубини (остров Гукера, Земля Франца-Иосифа) // Тр. Аркт. ин-та. 1934. Т. 11. С. 53–86.

*Зимовки морских уток в Баренцевом и Белом морях: размещение и численность* / Т.Аарвак, Ю.В.Краснов, М.В.Гаврило, А.А.Шавыкин // Глобальные климатические процессы и их влияние на экосистемы арктических и субарктических регионов: Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 9–11 ноября 2011 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 7–8.

*Зимовка морских птиц в полыньях у Терского берега Белого моря и на Восточном Мурмане* / Ю.В.Краснов, Х.Стрем, М.В.Гаврило, А.А.Шавыкин // Орнитология. 2004. Вып. 31. С. 51–57.

*Исаков Ю.А.* Учет и картирование численности водоплавающих птиц // Организация и методы учета птиц и вредных грызунов. М.: Наука, 1952. С. 280–293.

*Использование самолетов-лабораторий для мониторинга морских птиц и млекопитающих на акваториях арктических морей* / Ю.В.Краснов, В.И.Черноок, М.В.Гаврило и др. // Зоол. журн. 2004. Т. 83. № 3. С. 330–341.

*Карпович В.Н.* О возможной цикличности в динамике численности обыкновенной гаги // Проблемы изучения и охраны природы Прибеломорья. Мурманск: Кн. изд-во, 1987. С. 55–64.

*Карпович В.Н., Коханов В.Д.* Фауна птиц острова Вайгач и северо-востока Югорского полуострова // Тр. Кандалакш. заповедника. 1967. Вып. 5. С. 268–338.

*Кафтановский Ю.М.* Колониальное гнездование кайр и факторы, вызывающие гибель яиц и птенцов // Зоол. журн. 1938. Т. 17. Вып. 4. С. 695–705.

*Кищинский А.А.* Учеты птиц с самолета // Тр. Окского заповедника. 1973. Вып. 9. С. 196–235.

*Краснов Ю.В.* Морские птицы (ретроспективный анализ развития популяций) // Среда обитания и экосистемы Новой Земли (архипелаг и шельф). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995а. С. 138–147.

*Краснов Ю.В.* Экология и поведение морских птиц на современном этапе эксплуатации ресурсов Баренцева моря: Дис. ... докт. биол. наук. М., 1995б. 369 с.

*Краснов Ю.В.* Некоторые особенности распределения авифауны на акваториях Баренцева и Белого морей // Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна (проект подпрограммы “Исследование природы Мирового океана” федеральной целевой программы “Мировой океан”). Вып. 1. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004а. С. 295–307.

Краснов Ю.В. Позднелетние наблюдения 2002 г. за птицами прибрежных районов западного побережья о. Вайгач // Орнитология. 2004б. Вып. 31. С. 228–231.

Краснов Ю.В., Горяев Ю.И. Распределение и численность стеллеровой гаги (*Polysticta stelleri*) в период миграций и зимовок на акватории Баренцева и Белого морей // Докл. РАН. 2001. Т. 381. № 3. С. 427–429.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Современное распределение морских колониальных птиц на акватории Баренцева моря // Экосистема пелагиали морей западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996а. С. 101–113.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Распределение морских птиц в юго-восточной части Баренцева моря в июле 1993 г. // Экосистемы, биоресурсы и антропогенное загрязнение Печорского моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996б. С. 98–104.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Экология и морфология морских и серебристых чаек Баренцева моря // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998а. С. 260–325.

Краснов Ю.В., Николаева Н.Г. Итоги комплексного изучения биологии моевки в Баренцевом море // Биология и океанография Карского и Баренцева морей (по трассе Севморпути). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998б. С. 180–260.

Краснов Ю.В., Горяев Ю.И., Ежов А.В. Орнитологические исследования: ключевые районы и места концентрации морских птиц на акваториях Баренцева и Карского морей (по трассе Севморпути) // Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря. М.: Наука, 2007. С. 124–129.

Морские колониальные птицы Мурмана / Ю.В.Краснов, Г.Г.Матишов, К.В.Галактионов, Т.Н.Савинова. СПб.: Наука, 1995. 226 с.

О позднелетнем распределении птиц на острове Колгуев и в его прибрежных акваториях / Ю.В.Краснов, М.В.Гаврило, Х.Стрём, А.А.Шавыкин // Орнитология. 2008. Т. 35. С. 83–96.

Особенности размещения и динамики авифауны на акваториях северных районов Белого моря / Ю.В.Краснов, Ю.И.Горяев, Д.В.Янина, А.В.Ежов // Теория и практика комплексных морских исследований в интересах экономики и безопасности российского Севера: Тез. докл. Междунар. науч.-практ. конф. (г. Мурманск, 15–17 марта 2005 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 75–77.

О трофических связях обыкновенной гаги (*Somateria mollissima*) в Баренцево-морском регионе / Ю.В.Краснов, Г.А.Шкляревич, Н.Г.Николаева, Ю.И.Горяев // Материалы научной конференции, посвященной 70-летию Беломорской биологической станции МГУ. М.: Гриф и К, 2008. С. 309–313.

Панева Т.Д. Негнездовые скопления чаек в окрестностях Мурманска // Экология птиц морских островов и побережий Кольского Севера. Мурманск: Кн. изд-во, 1989. С. 63–70.

Половозрастная структура эндемичной беломорской популяции обыкновенной гаги *Somateria mollissima* / Ю.В.Краснов, М.В.Гаврило, А.А.Шавыкин, П.С.Ващенко // Докл. РАН. 2010. Т. 435. № 4. С. 1–3.

Птицы Кольско-Беломорского региона / В.В.Бианки, В.В.Коханов, А.С.Корякин и др. // Рус. орнитол. журн. 1993. Т. 2. Вып. 4. С. 491–586.

Смирнов Н.А. Весенние орнитологические наблюдения в Горле Белого моря // Докл. АН СССР. 1926. Сер. А, февр. С. 32–34.

Современное состояние колоний и тенденции изменения численности моевок и кайр на Кольском полуострове / Ю.В.Краснов, Н.Г.Николаева, Ю.И.Горяев, А.В.Ежов // Орнитология. 2007. Вып. 34(1). С. 65–75.

Татаринкова И.П., Краснов Ю.В. Синантропные тенденции и современная роль чайковых птиц в заповедных орнитоценозах // Проблемы охраны природы в бассейне Белого моря. Мурманск: Кн. изд-во, 1984. С. 28–30.

Успенский В.С. Птицы заповедника “Семь островов” (видовой состав и данные учета авифауны летом 1938 г.) // Тр. заповедника “Семь островов”. 1941. Вып. 1. С. 5–46.

Численность и распределение птиц на прибрежных акваториях Кольского полуострова по данным авианаблюдений в позднелетний период 2003 года / Ю.В.Краснов, М.В.Гаврило, Х.Стрём, А.А.Шавыкин // Орнитология. 2006. Вып. 33. С. 125–137.

A survey of waterfowl and seal on the coast of the southern Barents Sea in March 1994 / T.Nygård, P.Jordhøy, A.Kondakov, Yu.Krasnov // NINA Report. 1995. № 6. 24 p.

Consumption of discards by seabirds in the North Sea / C.J.Camphuysen, B.Calvo, J.Durinck et al. // Final Report to the European Commission Study Contract BIOECO/93/10, NIOZ-Report. 1995. V. 5. P. 1–202.

Counting seabirds from ships at sea: a review of methods employed and a suggestion for a standartized approach / M.L.Tasker, P.H.Jones, T.J.Dixon, B.F.Blake // Auk. 1984. V. 101. P. 567–577.

Food composition and feeding habits of Common Eider (*Somateria mollissima*) in the Barents and White Seas / N.G.Nikolaeva, Yu.V.Krasnov, G.A.Shklyarevich, M.V.Gavrilo // 1<sup>st</sup> World Seabird Conference. 2010. Poster session 2. Abstracts. P. 41.

Gould P.J., Forsell D.J. Techniques for shipboard surveys of marine birds // Fish and Wildlife Technical Rep. Washington, 1989. V. 25. P. 1–22.

Isaksen K. Distribution of seabirds at sea in the northern Barents Sea // Seabirds population in the northern Barents Sea. Norsk. Polarinst. Meddel. 1995. № 135. P. 67–104.

Krasnov Yu.V., Barrett R.T., Nikolaeva N.G. Status of black-legged kittiwakes (*Rissa tridactyla*), common guillemots (*Uria aalge*) and Brünnich’s guillemots (*U. lomvia*) in Murman, north-west Russia, and Varanger, north-east Norway // Polar Res. 2007. V. 26. P. 113–117.

Mehlum F. Summer distribution of seabirds in northern Greenland and Barents Sea // Norsk Polarinst. Skr. 1989. V. 191. P. 1–56.

Skakuj M. Seabird of Thikhaya Bay, summer 1991 // Environmental studies from Franz Josef Land, with emphasis on Thikhaya Bay, Hooker Island. Norsk Polarinst Skr. 1992. V. 120. P. 63–66.

Survey on arctic bird migration and congregations in the White Sea, autumn 1999 / M.Levio, T.Asanti, J.Kontikorpi et al. // The Finnish Environment 465. Helsinki: Finnish Environment Institute, 2001. 55 p.

Sukhotin A., Krasnov Yu., Galaktionov K. Subtidal populations of the blue mussel *Mytilus edulis* as a key determinant of waterfowl flocks in the southeastern Barents Sea // Polar Biol. 2008. V. 31. P. 1357–1363.

УДК 597:591.9 (268.4+268.5)

**О.В.Карамушко**

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

## **РАЗНООБРАЗИЕ И СТРУКТУРА ИХТИОФАУНЫ СЕВЕРНЫХ МОРЕЙ РОССИИ**

### **Аннотация**

Проведен анализ разнообразия и структуры рыбной части сообществ в арктических морях России. Инвентаризация видового состава выполнена на основании зарегистрированных поимок за весь исторический период наблюдений. Количество видов рассматривается в географических границах арктических морей России. Установлено, что в целом от Баренцева до Чукотского морей встречалось и обитает 284 вида, относящихся к 160 родам, 63 семействам, 28 отрядам и 5 классам. Рассмотрена структура ихтиофауны по характеру географического ареала, принадлежности к биотопам и трофическим предпочтениям рыб.



## DIVERSITY AND STRUCTURE OF ICHTHYOFAUNA IN THE NORTHERN SEAS OF RUSSIA

### Abstract

This paper analyses the diversity and structure of fish communities in the Russian Arctic seas. The inventory of species composition was carried out based on all Russian reports over the entire historical period of observations. The number of species is considered within geographic boundaries of the Russian Arctic seas. From the Barents Sea to the Chukchi Sea 284 species inhabiting the area and belonging to 160 genera, 63 families, 28 orders, and 5 classes were registered. The number of fish species and subspecies was determined for certain seas. The structure of ichthyofauna was considered by geographic habitat, affiliation to biotopes, and trophic preferences of fishes.

### Введение

Исследования ихтиофауны Арктического региона, расположенного вдоль северных берегов России, начаты относительно давно, но общий видовой состав рыб этой акватории, а также всех шести морей был представлен только в середине прошлого века (Андряшев, 1954). До этого же и позже были опубликованы некоторые данные только по отдельным морям или более обширным районам, включающим как собственно рассматриваемое море, так и его сопредельные воды (Книпович, 1897; Есипов, 1940, 1952; Расс, 1949, 1995; Рыбы ..., 1958; Долгов, 2004; Карамушко, 2008). Определенная информация по составу арктической ихтиофауны содержится в обзорных работах как высокоширотных районов, так и российских вод в целом (Парин, 2004; Решетников, 2007а,б; Karamushko, 2012). Неоценимый вклад в современные представления о ихтиофауне рассматриваемого района внесли и сведения, представленные в аннотированных каталогах рыбообразных и рыб всех российских морей (Андряшев, Чернова, 1994; Parin, 2001, 2003; Parin et al., 2002; Evseenko, 2003; Vasil'eva, 2003; Fedorov, 2004). Тем не менее, после классической работы А.П.Андряшева (1954) количественный состав ихтиофауны северных морей России не рассматривался, хотя за последние 56 лет число видов и подвидов обитающих здесь рыб существенно возросло. Структурные же характеристики, описывающие характер географического ареала, биотопы, трофические группы, никогда не рассматривались. Поэтому в данной работе сделана попытка в кратком виде восполнить этот пробел.

### Материал и методы

Для выяснения количественного состава рыб и структуры сообществ ихтиофауны отдельных морей (Баренцево, Белое, Карское, Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское), использованы экспедиционные и литературные данные.

Результаты экспедиционных исследований, представленные в работе, получены автором с 1984 по 2010 гг. Материал для анализа видового состава и структуры ихтиофауны собран на обширной акватории Арктического региона как российской экономической зоны, так и за ее пределами в научных и научно-промысловых, специализированных и комплексных рейсах. Всего за весь период исследований выполнено 31 научный рейс и 10 береговых экспедиций, в 18 из которых автор принимал непосредственное участие. Также проведено 97 научно-промысловых рейсов, которые осуществлялись под научным руководством автора.

В качестве орудий лова на научно-промысловых судах применялись донные тралы ДТ/ТВ (проекты 2517, 2561) с ячеей 125–135 мм, а лов рыб с НИС “Дальние Зеленцы” в Баренцевом, Белом, Карском морях осуществлялся мелкоячейным донным тралом (проект 2387, ячея в крыльях 24–80 мм, мешка – 12 мм). Продолжительность одного траления составляла от 10–20 мин (мелкоячейные тралы) до 3.5 ч (промысловый трал).

Кроме работ на морских акваториях, в 2002–2010 гг. проведены исследования разнообразия рыб литоральной и сублиторальной зон заливов и бухт Баренцевоморского побережья Кольского полуострова. Для этого использовались волокуши длиной 16 м, высотой 2.5 м, ячея в крыльях и горловине 5 мм, куту – 4 мм. Площадь облова на одной станции составляла около 700 м<sup>2</sup>.

Для определения современного количественного состава ихтиофауны морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского использованы данные, содержащиеся в опубликованных материалах. Привлечены сведения из аннотированных каталогов рыбообразных и рыб российских морей. Данные по количественному составу мировой ихтиофауны взяты из каталога Эшмеера (Eschmeyer, Fong, 2011).

Термины, использованные для описания характера географического ареала и степени связи рыб с дном и пелагиалью, даны по А.П. Андрияшеву и Н.В. Черновой (1994), а приуроченность видов к какой-либо из этих характеристик взяты из аннотированных списков и каталогов рыб (Андрияшев, Чернова, 1994; Parin, 2001, 2003; Parin et al., 2002; Evseenko, 2003).

## Результаты

В результате ревизии видового состава и структуры ихтиофауны арктических морей России установлено, что в целом от Баренцева до Чукотского морей встречалось и обитает 284 вида, относящихся к 160 родам, 63 семействам, 28 отрядам и 5 классам. Определен также количественный состав рыб для отдельных морей (таблица).

Таксономическая структура ихтиофауны северных морей России

Таксономический ранг	Баренцево море	Белое море	Карское море	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море	Чукотское море
Вид и подвид	182	82	93	70	51	103
Род	127	65	62	43	36	68
Семейство	58	31	27	22	19	26
Отряд	28	18	16	14	11	13
Класс	5	3	3	2	2	3

Без полупроходных, проходных и пресноводных видов, постоянно встречающихся на акватории морей, количество только морских видов и подвидов составляет в Баренцевом море 154, Белом – 50, Карском – 60, Лаптевых – 50, Восточно-Сибирском – 26, Чукотском – 78. Наиболее многочисленны представители пресноводной ихтиофауны в Белом и Карском морях, где встречается по 19 видов рыб. В Баренцевом море таких видов 9, Лаптевых – 7, Восточно-Сибирском – 8, Чукотском – только 5.

Доля арктических видов неизменно возрастает от Баренцева моря (28 %) до моря Лаптевых (67.1 %), а затем снижается, составляя в Чукотском море

немногим менее половины от этого показателя (33 %). Количество арктическо-бореальных видов, доля которых в Баренцевом море достаточно низка (2.2 %), плавно возрастает в восточном направлении до Восточно-Сибирского моря (7.8 %). Наименьшее количество бореальных видов в море Лаптевых (24.3 %), а максимальное – в Белом море, что связано с высокой долей пресноводных видов (рис. 1).

Основным биотопом для рыб всех арктических морей являются придонные слои и дно, где в зависимости от района постоянно живут от 36.6 до 67 % всех видов (рис. 2).

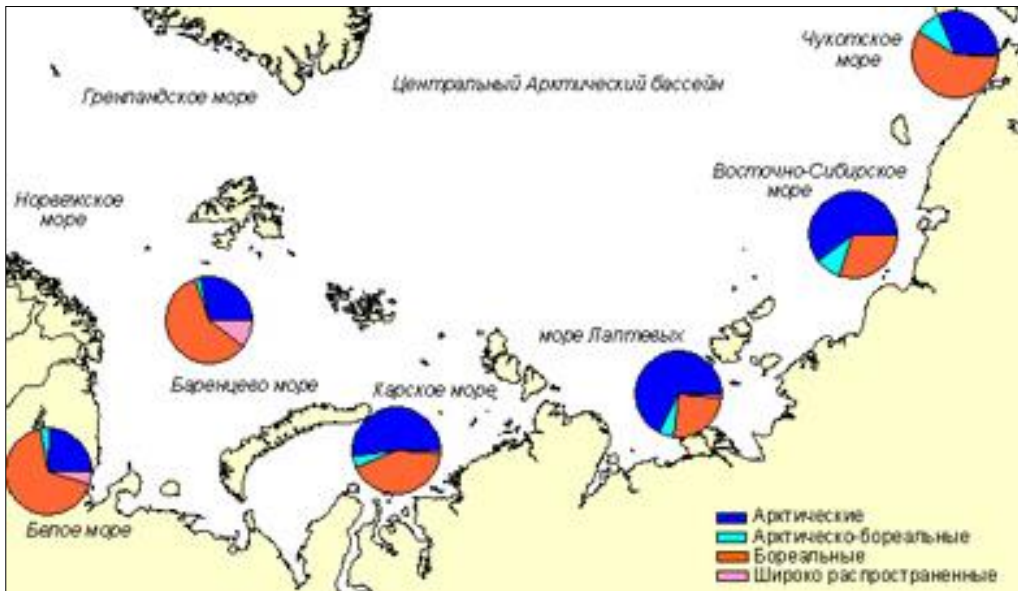


Рис. 1. Структура ихтиофауны северных морей по характеру географического ареала

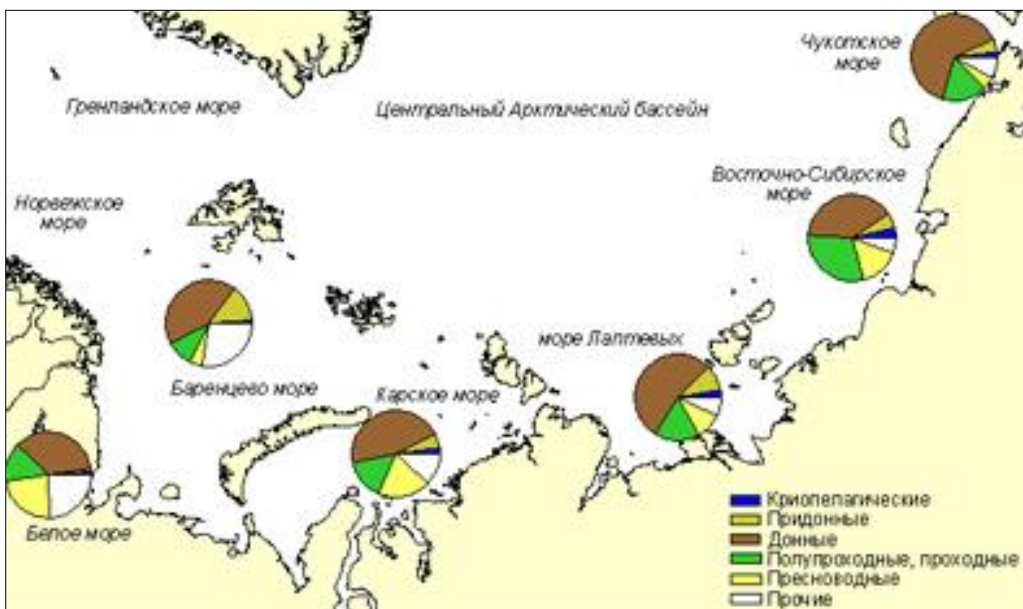


Рис. 2. Структура ихтиофауны северных морей по характеру биотопа

Основной трофической группой рыб в высокоширотных морях России являются бентофаги. Их доля в различных морях колеблется от 52.2 (Баренцево море) до 67.1 % (море Лаптевых). Относительное количество планктофагов различается между большинством водоемов в меньшей степени и составляет 21.4–23.7 %, и только в Чукотском море – 17.5 % (рис. 3). Наибольшее количество хищников обитает в Баренцевом море – 24.7 %, а минимальное в море Лаптевых – 11.5 %. В целом, соотношение планктофагов и хищников в каждом из шести морей достаточно близко и только в море Лаптевых последних почти в 2 раза меньше.

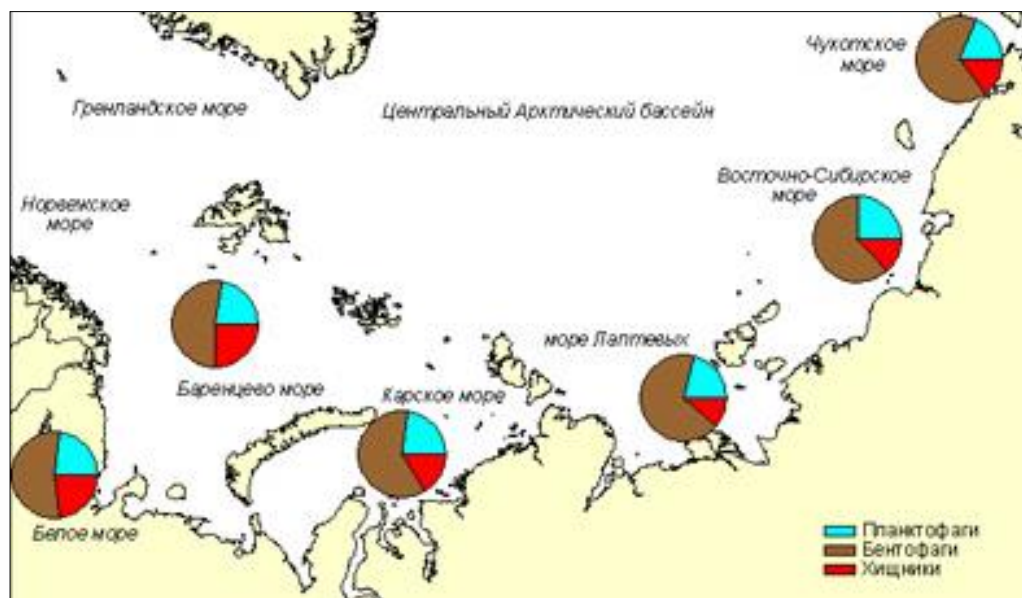


Рис. 3. Структура ихтиофауны северных морей по характеру питания

### Обсуждение

При формировании количественного состава и структуры ихтиофауны Арктического региона в целом и отдельных морей в частности, были использованы три принципа:

1. Количественный состав ихтиофауны учитывает документально зафиксированные случаи поимок всех видов рыб на акватории соответствующих морей. При этом обнаруженные выброшенными на берег новые виды, не свойственные конкретным районам, находящимся в зоне действия течений из близлежащих других морей, не учитывались;

2. Количественный состав и структура ихтиофауны рассматривается в географических границах арктических морей (Атлас ..., 1980);

3. Пресноводные виды как постоянный элемент рыбной части сообществ отдельных районов морей включены в состав ихтиофауны.

Следует отметить, что пресноводные рыбы, постоянно фиксируемые на территории морей (прибрежные районы, заливы, губы, эстуарные зоны), необходимо включать в списки видов, так как рассматривая, например, такую функциональную характеристику рыбного сообщества, как продуктивность, ее расчет без этих видов невозможен. Эти виды используют пищевые ресурсы морей в течение 2–8 мес.,

а в отдельных случаях и всего года. В некоторых районах, таких как Двинский залив, Обская и Тазовская губы, Енисейский залив и других, пресноводные виды составляют до половины и более местной ихтиофауны: *Leuciscus idus* (Linnaeus, 1758), *Leuciscus leuciscus* (Linnaeus, 1758), *Rutilus rutilus* (Linnaeus, 1758), *Esox lucius* Linnaeus, 1758, *Lota lota* (Linnaeus, 1758), *Gymnocephalus cernuus* (Linnaeus, 1758), *Perca fluviatilis* Linnaeus, 1758, причем они не просто там встречаются, а живут круглый год и имеют местное промысловое значение. В последних аннотированных каталогах (Parin, 2001, 2003; Parin et al., 2002) пресноводные виды включены в состав ихтиофауны российских морей, что, собственно, и подтверждает необходимость соответствующего учета для морских акваторий.

По отношению к списочному составу рыб, представленному в работе А.П.Андрияшева (1954), относительное количество видов и подвидов в отдельных арктических морях выросло за более чем 50-летний период в Баренцевом море на 26.4 %, Белом – 54.7, Карском – 66.1, Лаптевых – 75.0, Восточно-Сибирском – 96.2, Чукотском – 178.4 %, причем увеличение имеет равномерный характер и наблюдается в направлении с запада на восток. И если в Баренцевом море и отчасти в других морях основной прирост видового состава рыб произошел из-за ревизии некоторых родов (*Liparis*, *Careproctus*, *Gymnelus*), то в остальных районах – в результате нахождения ранее не встречавшихся здесь видов и включения представителей пресноводной ихтиофауны. В целом, это незначительное количество, если учесть, что только за последние 10 лет в мировой ихтиофауне описано 4249 новых видов (Eschmeyer, Fong, 2011).

Количество родов, семейств и отрядов неизменно снижается от Баренцева моря до Восточно-Сибирского моря, а затем несколько возрастает. Практически такая же ситуация наблюдается и в отношении видов, но из общего ряда несколько выделяется Белое море, где условия среды обитания значительно суровее, чем, например, в северо-западной части Карского моря, где встречается достаточное число видов, влияющее на общее их количество на данных акваториях.

При анализе таких показателей таксономической структуры, как среднее число видов в роде или семействе, среднее число родов в семействе, установлено, что индексы отношения виды/роды для разных арктических морей составили 1.26–1.63, виды/семейства – 2.64–3.96, роды/семейства – 1.87–2.62 (рис. 4), что значительно ниже индексов для мировой ихтиофауны (6.7, 57.8, 9.3 соответственно). Эти показатели широтно-зонального разнообразия показывают, что таксономическая организация арктической ихтиофауны даже на фоне средних мировых значений существенно беднее.

Представители трех отрядов (*Salmoniformes*, *Scorpaeniformes*, *Perciformes*) неизменно занимают доминирующее положение во всех морях. Среди семейств наиболее многочисленны по количеству видов *Zoarcidae* и *Cottidae*. В ихтиофауне арктических морей России нет ни одного эндемичного рода, не говоря уже о таксонах более высокого ранга. Это связано как с относительно непродолжительной историей существования Арктического бассейна в качестве холодноводной области, так и с недостаточной ее географической изолированностью.

Вследствие высокоширотного расположения морей, имеющих достаточно суровые условия для обитания рыбообразных и рыб, особый интерес вызывает структура рыбной части сообществ по характеру географического ареала. Наименьшее количество арктических видов обитает в Баренцевом, Чукотском и Белом морях, что связано, прежде всего, с их океанологическими особенностями, главной из которых для первых двух является близость к бореальным областям,

откуда осуществляется адвекция тепла в эти водоемы. В таких морях, как Карское, Лаптевых и Восточно-Сибирское, условия обитания рыб значительно суровее, и это определяет соответствующий состав ихтиофауны, где доминируют представители ограниченного числа родов – *Coregonus*, *Salvelinus*, *Careproctus*, *Liparis*, *Gymnelus*, *Lycodes*. Следует отметить, что статус некоторых видов требует уточнения, поскольку в некоторых случаях противоречит биологии этих видов. И в этом случае широтное положение ареала не может быть определяющим фактором, так как четкие границы географических зон определить весьма проблематично. По-видимому, для отнесения вида к какой-либо группе основной характеристикой должна быть температура обитания и воспроизводства.

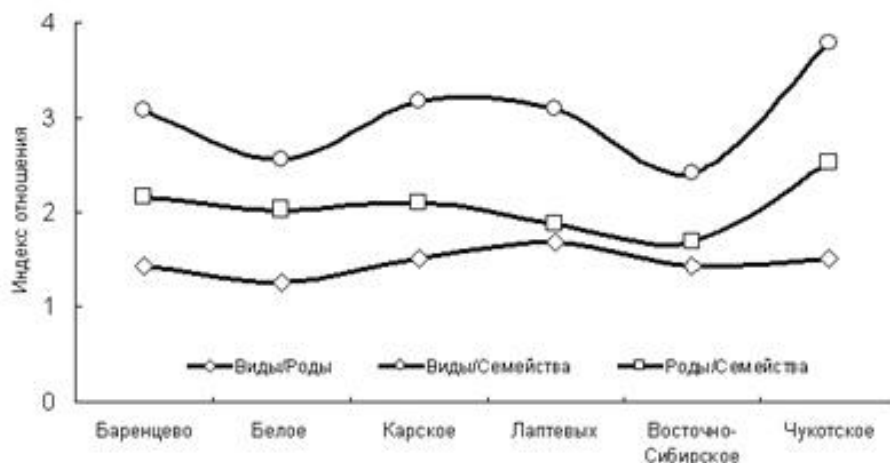


Рис. 4. Динамика индексов соотношения видов, родов и семейств в ихтиофауне северных морей России

В целом, в биотопической структуре ихтиофауны арктических морей отмечено 11 категорий (крио-, эпи-, нерито-, батипелагические, придонно-пелагические, придонные, донные, полупроходные, проходные, катадромные, пресноводные). Преобладание тех или иных групп рыб так же, как и в случае с особенностями географического ареала, зависит от океанологических условий и характеристик донных ландшафтов. Из всех категорий биотопов и принадлежащих к ним рыб заслуживает внимания несколько видов, чей статус в пределах рассматриваемых морей кажется не столь очевидным. Прежде всего сюда относятся криопелагические *Boreogadus saida* и *Arctogadus glacialis*. Находясь в пределах шельфовых районов, они достаточно разреженно держатся у льда, а в основном практически постоянно обитают в придонных слоях, на чем, собственно, и базируется их промысел донными тралами. Но попадая в Центральный Арктический бассейн или другие глубоководные районы, они вынуждены концентрироваться у льда, поскольку, по нашим наблюдениям (около Гренландии), донный биотоп, лежащий глубже 800 м, им недоступен. То же касается и *Arctogadus glacialis*. И в этом случае следует вспомнить, что существовавший до недавнего времени как самостоятельный вид *Arctogadus borisovi*, являющийся теперь синонимом *Arctogadus glacialis* (Phylogenetic ..., 2002), – придонный обитатель.

В арктических морях России все виды рыб и рыбообразных по преимущественному питанию можно отнести к четырем группам – детритофагам, зоопланктофагам, бентофагам и хищникам (в подавляющем большинстве ихтиофагам). Следует отметить, что за небольшим исключением данное деление достаточно

условно, поскольку большинство видов можно было бы отнести к одной группе – эврифагам. Неустойчивые условия обитания, определяемые меняющейся интенсивностью адвекции тепла и периодическими региональными колебаниями климата, оказывают существенное влияние как на численность и распределение пищевых объектов, так и на нагульный ареал самих рыб. В таких условиях достаточно проблематично постоянно или длительно питаться одним видом пищи. В то же время при малейшей возможности выбора каждый вид рыб отдает предпочтение какой-либо одной пище, что, как правило, и отражают многолетние данные по их питанию.

Детритофаг *Chelon labrosus* отмечен лишь в Баренцевом море и только единично, поэтому данной группой можно пренебречь. Остальные же три группы представлены на рис. 3. Независимо от района, основной трофической группой являются бентофаги. В более суровых условиях восточных морей их доля заметно выше, чем в западных.

Как известно, структура рыбной части сообществ может меняться во времени и пространстве, и этот процесс определяется разнообразными факторами, сила воздействия которых также не постоянна. В арктических морях основными абиотическими факторами разнообразия являются температура и соленость, которые оказывают прямое влияние на формирование рыбного населения, а в таких морях, как Баренцево и Белое, доминирующим фактором является промысел. В северных экосистемах, характеризующихся большой степенью доминирования ограниченного числа видов рыб и относительно низкими показателями природного разнообразия, увеличение интенсивности промысла приводит к возрастанию разнообразия за счет выравнивания долей других представителей сообществ. Поэтому в таких экосистемах, как Баренцево море, увеличение разнообразия и особенно резкое, может служить показателем чрезмерной эксплуатации доминантных популяций рыб.

## Л и т е р а т у р а

- Андрияшев А.П.* Рыбы северных морей СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1954. 566 с.
- Андрияшев А.П., Чернова Н.В.* Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34. № 4. С. 435–456.
- Атлас океанов.* Термины, понятия, справочные таблицы. М.: ВМФ СССР, 1980. 156 с.
- Долгов А.В.* Видовой состав ихтиофауны и структура ихтиоценов Баренцева моря // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 137. С. 177–195.
- Есипов В.К.* Ихтиофауна моря братьев Лаптевых // Зоол. журн. 1940. Т. 19. Вып. 1. С. 139–142.
- Есипов В.К.* Рыбы Карского моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1952. 145 с.
- Карамушко О.В.* Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48. № 3. С. 293–308.
- Книпович Н.М.* Список рыб Белого и Мурманского морей // Ежегодник Зоол. музея. СПб., 1897. № 2. С. 144–158.
- Парин Н.В.* Ихтиофауна морей России: биоразнообразие и промысловый потенциал // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 137. С. 226–231.
- Расс Т.С.* Состав ихтиофауны Баренцева моря и систематические признаки икринок и личинок рыб этого водоема // Материалы по размножению и развитию рыб Северных морей. 1949. С. 9–65 (Тр. ВНИРО. Т. 17).
- Расс Т.С.* Общая характеристика ихтиофауны // Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. Ч. II. СПб.: Изд-во ЗИН РАН, 1995. С. 3–13.

*Решетников Ю.С.* Ихтиофауна Арктики // Современные исследования ихтиофауны арктических и южных морей европейской части России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007а. С. 7–33.

*Решетников Ю.С.* Разнообразие рыб России // Тр. ГосНИОРХ. 2007б. Вып. 337. С. 180–190.

*Рыбы Белого моря / К.А.Алтухов, А.А.Михайловская, Ф.Б.Мухомедияров и др.* Петрозаводск: Изд-во Карел. ССР, 1958. 162 с.

*Eschmeyer W.N., Fong J.D.* The catalog of Fishes on-line, updated 29.03.2011 [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://research.calacademy.org/redirect?url=http://researcharchive.calacademy.org/research/Ichthyology/catalog/fishcatmain.asp>.

*Evseenko S.A.* An Annotated Catalogue of Pleuronectiform Fishes (Order Pleuronectiformes) of the Seas of Russia and Adjacent Countries // J. Ichthyology. 2003. V. 43. Suppl. 1. P. 57–74.

*Fedorov V.V.* An Annotated Catalog of Fishlike Vertebrates and Fishes of the Seas of Russia and Adjacent Countries. Part 6. Suborder Zoarcoidei // J. Ichthyology. 2004. V. 44. Suppl. 1. P. 73–128.

*Karamushko O.V.* Structure of ichthyofauna in the Arctic seas of Russia // Berichte zur Polarforschung. 2012. V. 640. P. 129–136.

*Parin N.V.* An Annotated Catalog of Fishlike Vertebrates and Fishes of the Seas of Russia and Adjacent Countries: Part 1. Orders Myxiniformes–Gasterosteiformes // J. Ichthyology. 2001. V. 41. Suppl. 1. P. 60–135.

*Parin N.V.* An Annotated Catalogue of Fish-Like Vertebrates and Fishes of the Seas of Russia and Adjacent Countries: Part 3. Orders Perciformes (Excluding Suborders Gobioidae, Zoarcoidei and Stichaeoidei) and Tetraodontiformes // J. Ichthyology. 2003. V. 43. Suppl. 1. P. 1–40.

*Parin N.V., Fedorov V.V., Sheiko B.A.* An Annotated Catalogue of Fish-Like Vertebrates and Fishes of the Seas of Russia and Adjacent Countries: Part 2. Order Scorpaeniformes // J. Ichthyology. 2002. V. 42. Suppl. 1. P. 60–135.

*Phylogenetic position of the cryopelagic codfish genus *Arctigadus* Drjagin, 1932 based on partial mitochondrial cytochrome *b* sequences / P.R.Møller, A.D.Jordan, P.Gravlund, J.F.Steffensen // Polar Biol. 2002. V. 25. № 5. P. 342–349.*

*Vasil'eva E.D.* An Annotated Catalogue of Fishes and Fish-Like Organisms Living in Seas of Russia and Adjacent Countries. Pt. 4. Gobioidae // J. Ichthyology. 2003. V. 43. Suppl. 1. P. S41–S56.

УДК 004.65:[551.46 + 574.5]

**Г.Г.Матишов<sup>1</sup>, Д.В.Моисеев<sup>1</sup>, С.В.Бердников<sup>2</sup>, В.В.Кульгин<sup>3</sup>, Н.А.Яицкая<sup>3</sup>, А.В.Шишкина<sup>3</sup>**

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

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

<sup>3</sup>Институт аридных зон ЮНЦ РАН, г. Ростов-на-Дону, Россия

#### **СОВМЕСТНЫЕ ПОДХОДЫ ММБИ, ЮНЦ И ЛАБОРАТОРИИ КЛИМАТА ОКЕАНА НОАА (США) К ОРГАНИЗАЦИИ ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИХ И ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИХ БАЗ ДАННЫХ АРКТИЧЕСКИХ И ЮЖНЫХ МОРЕЙ РОССИИ**

##### **Аннотация**

Рассмотрены подходы ММБИ, ЮНЦ РАН и НОАА (США) к организации океанографических и гидробиологических баз данных. Дана характеристика серии климатических и биологических атласов, выпущенных в 1998–2008 гг. по Баренцеву, Карскому и Азовскому морям. Описаны разработанные алгоритмы модернизации баз данных, процедура контроля качества и программный инструментарий для работы.



**JOINT MMBI, SSC RAS AND OCL NOAA APPROACH TO OCEANOGRAPHIC AND HYDROBIOLOGICAL DATABASE ORGANISATION FOR THE ARCTIC AND SOUTHERN SEAS OF RUSSIA**

**Abstract**

Approaches of MMBI and SSC RAS to organize oceanographic and hydrobiological databases are considered. Characterization of climatic and biological atlases of the Barents, Kara and Azov Seas, issued during the period 1998–2008, done. Developed algorithms for the modernization of databases, quality control procedures and software tools for work with data are described.

Объективная оценка происходящих в настоящее время климатических изменений в значительной мере зависит от доступности и полноты используемых для этого баз данных, содержащих информацию о среде и биоте. С начала 1990-х гг. в ММБИ в сотрудничестве с Лабораторией климата океана НОАА (США) ведутся работы по сохранению и архивации океанографических и гидробиологических данных, в результате которых была издана серия климатических и биологических атласов арктических морей (Climatic ..., 1998, 2004; Опыт ..., 1998, 2000; Biological ..., 2000; Golubev et al., 2000; Голубев, Зуев, 2005а,б).

Первые известные инструментальные наблюдения за температурой воды в Арктике на поверхности и различных горизонтах были выполнены 19 апреля 1810 г. английским китобоем Уилльямом Скоресби (William Scoresby) в точке с координатами 76°16' с. ш., 9°00' в. д. (Piterman et al., 1871). С этого времени в результате исследований на научных и коммерческих судах России (СССР), Германии, Норвегии, Франции, Голландии, Великобритании, США и других стран накоплен огромный объем физических, гидрохимических и гидробиологических данных (Голубев, Зуев, 2005а,б).

Долгое время данные океанографических наблюдений накапливались в архивах мореведческих организаций в виде таблиц, журналов наблюдений и бортовых книжек (Голубев, Зуев, 2005а,б). Развитие современных приборов и методов океанографических исследований привело к скачкообразному росту информации. Кремниевая или цифровая революция сделала возможным получение *in situ*, занесение, обработку и анализ огромных массивов данных. В Мурманском морском биологическом институте эта технология развивается с 1980-х гг.

Ранее подходы ММБИ к организации океанографической базы данных были подробно описаны в (Зуев, Голубев, 1999; Технология ..., 2003; Голубев, Зуев, 2005а,б).

**Серия атласов.** В ходе работ по организации океанографической базы данных в ММБИ и ЮНЦ РАН совместно с Лабораторией климата океана Национального центра океанографических данных НОАА (США) были изданы следующие атласы.

1. Климатический атлас Баренцева моря 1998 (Climatic ..., 1998) содержит 74256 станций (температура, соленость, кислород), выполненных в 1898–1993 гг. (рис. 1).

2. Биологический атлас Баренцева и Карского морей 2000 (Biological ..., 2000) содержит физические и биологические (фито- и зоопланктон) данные 158 рейсов научных судов за 1913–1999 гг., а также данные по фитопланктону, собранные в 1994–1999 гг. во время рейсов на атомных ледоколах по трассе Севморпути (рис. 2). Представлены списки видов фито- и зоопланктона морей Арктики. Для каждого вида фитопланктона указана экологическая и географическая характеристики. Для массовых видов фитопланктона приведены фотографии живых клеток. Рассмотрены основные закономерности годового цикла развития планктона.

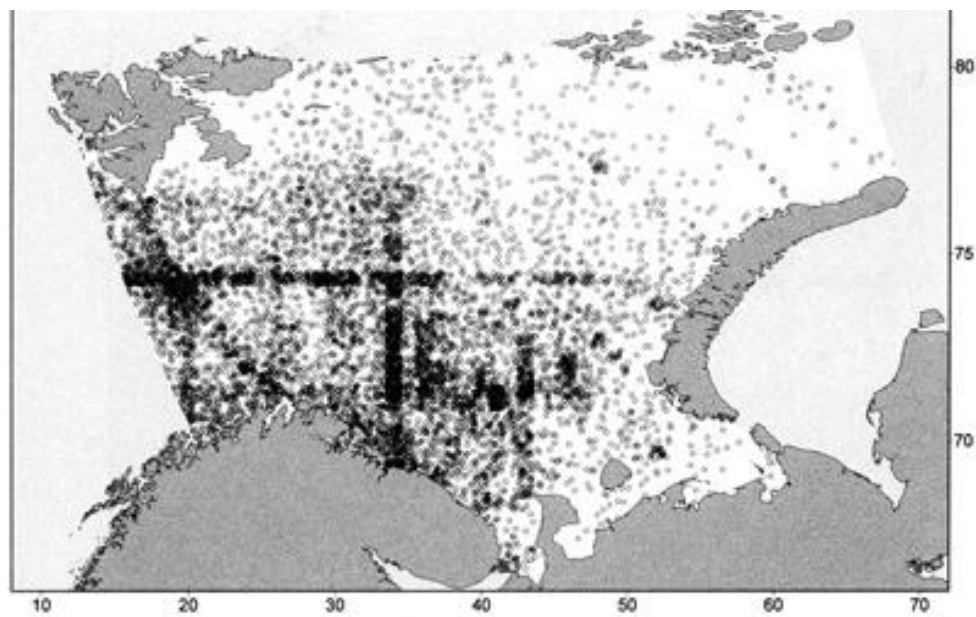


Рис. 1. Распределение гидрологических станций в “Климатическом атласе 1998”

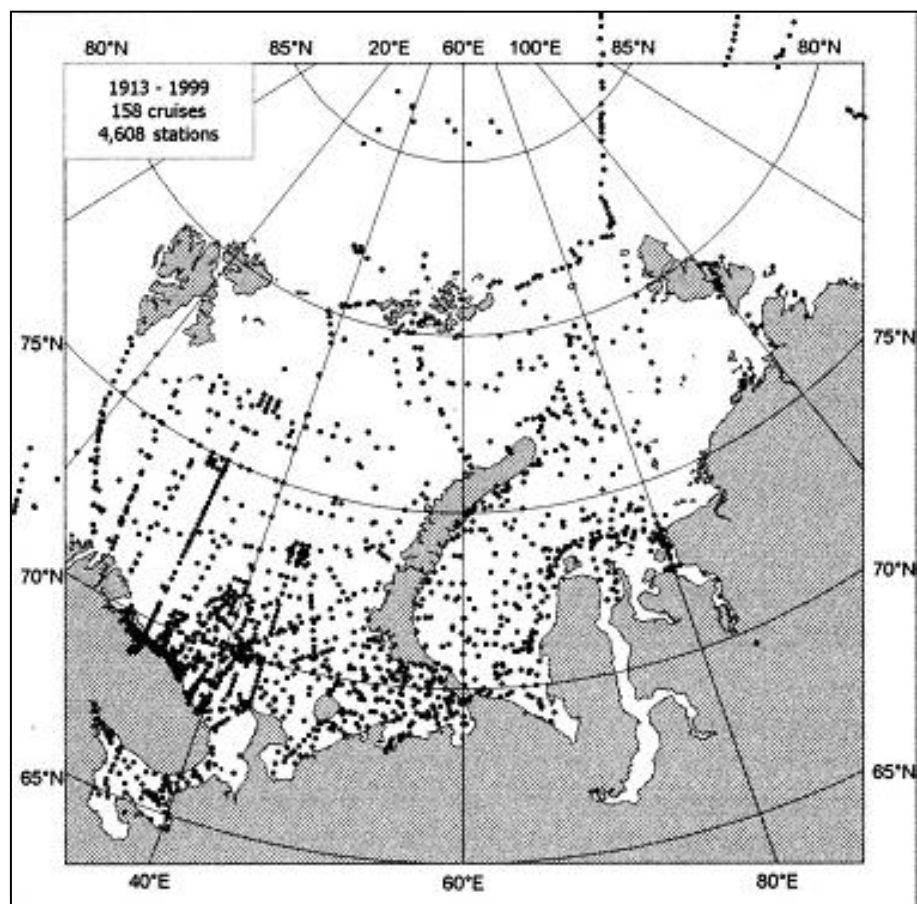


Рис. 2. Распределение планктонных станций в “Биологическом атласе Баренцева и Карского морей 2000”

3. В Климатическом атласе морей Арктики 2004 (Climatic ..., 2004) на DVD-диске представлены первичные данные по метеорологии, океанографии, гидробиологии, которые собирались в 1810–2001 гг. в морях Арктики специалистами многих стран. Предложены формы представления в формализованном виде данных о планктоне, бентосе, рыбах, морских птицах и морских животных. Все множество данных разделено на одноградусные квадраты, для каждого из которых рассчитаны месячные климатические характеристики. Построены климатические карты распределения температуры и солености по горизонтам и на разрезах (рис. 3).

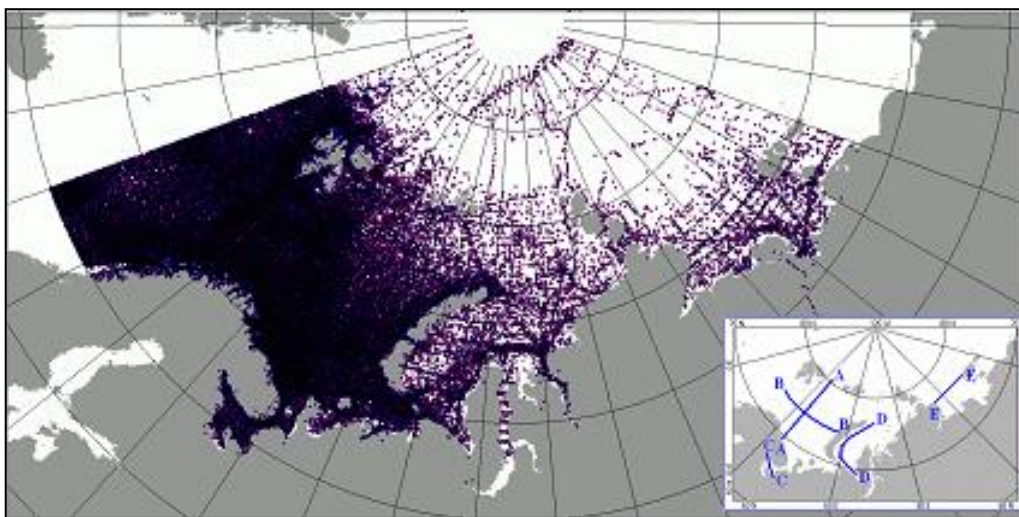


Рис. 3. Распределение гидрологических и гидробиологических станций в “Климатическом атласе морей Арктики 2004”. Всего 478000 станций

4. Климатический атлас Азовского моря 2006 (Climatic ..., 2006) с лазерным диском содержит данные по температуре и солености воды, собранные специалистами различных мореведческих организаций в Азовском и прилегающей к нему части Черного моря в 1913–2004 гг. (рис. 4).

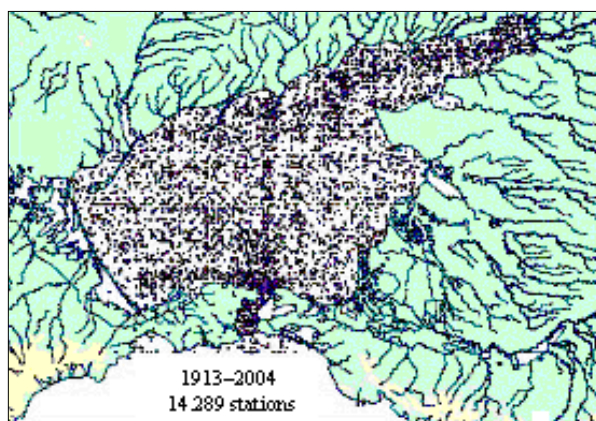


Рис. 4. Распределение станций в “Климатическом атласе Азовского моря 2006”. Всего 14289 станций

5. Климатический атлас Азовского моря 2008 (Climatic ..., 2009) содержит первичные океанографические данные, представленные на CD-ROM и на интернет-сайте <http://www.nodc.noaa.gov/OC5/AZOV2008/start.html>. Данные собраны в Азовском море и Керченском проливе в 1891–2006 гг. специалистами Российской академии наук, Министерства по рыболовству и Гидрометеорологической службы России (рис. 5). Приводятся ежегодные месячные карты распределения данных, месячные климатические вертикальные разрезы температуры и солёности и климатические карты температуры и солёности на поверхности и горизонтах 5 и 10 м. Для оценки адекватности трехмерной гидродинамической модели Азовского моря проводится сравнение климатических полей солёности, построенных по данным измерений, с климатическими полями, которые рассчитаны на основе модели. Обсуждаются межгодовые изменения температуры воздуха в прилегающих к Азовскому морю районах с 1885 по 2006 гг. с точки зрения описания тенденций изменения климата в регионе. В состав атласа включены редкие книги и статьи в электронном формате по истории освоения Азовского моря, изучению его климата, а также фотографии, дающие представление о природе региона и его прошлом.

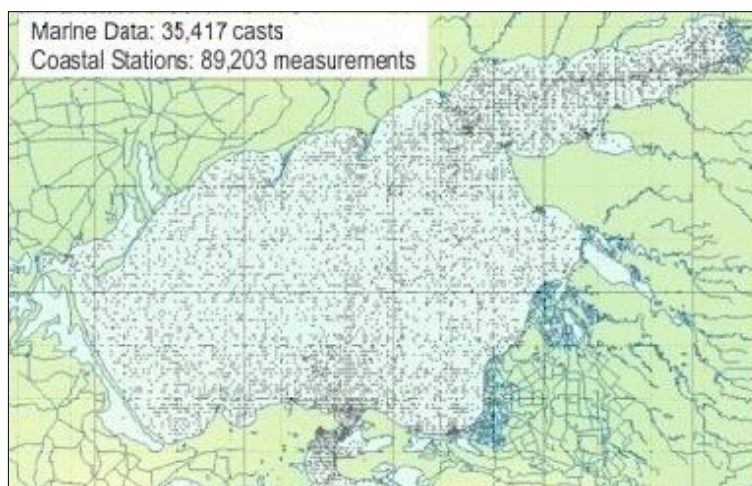


Рис. 5. Распределение станций в “Климатическом атласе Азовского моря 2008”. Всего 35417 станций и 89203 прибрежных измерений

В результате 25 морских рейсов и более 50 береговых экспедиций Южного научного центра РАН, выполненных после 2008 г., база данных была пополнена 1908 морскими и 5898 береговыми станциями.

Работа по наполнению базы данных Азовского моря новой информацией продолжается (Шишкина и др., 2010). Прирост количества станций по сравнению с атласом 2008 г. составил 23 %. Общее количество станций составляет 46557 морских и 113248 береговых наблюдений с 1891 по 2011 гг.

6. В Южном научном центре РАН идет подготовка Климатического атласа Каспийского моря (рис. 6). В океанографической базе данных накоплена первичная информация по 42519 морским станциям с 1897 г. по 2011 гг. Из них более 600 морских станций – это наблюдения, выполненные ЮНЦ РАН в российском секторе Каспийского моря с 2004 по 2010 гг. Всего 168576 измерений температуры и 144289 измерений солёности воды.

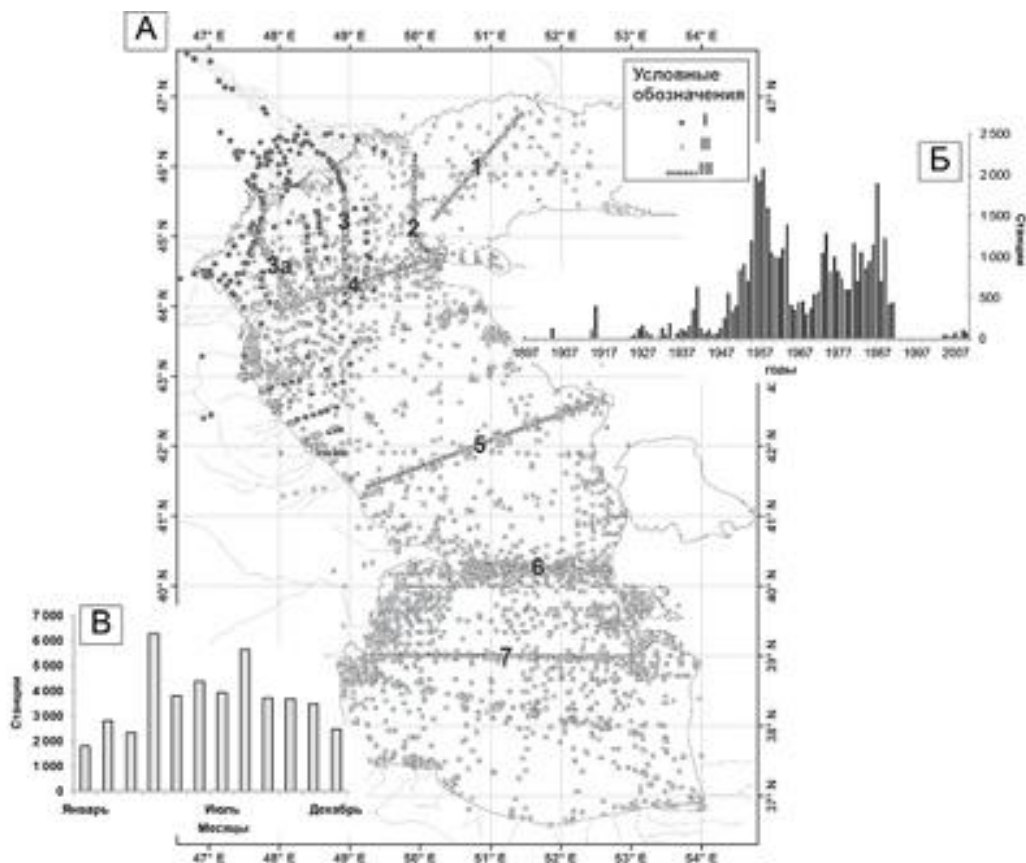


Рис. 6. База океанографических данных по Каспийскому морю:

А: I – экспедиции ЮНЦ РАН (2004–2011 гг.), II – исторические данные (1897–1991 гг.), III – “вековые” океанографические разрезы; Б – распределение станций по годам; В – распределение станций по месяцам

Поиск и сбор материалов проводился в литературных источниках и открытых веб-порталах сети интернет. В последнем случае используются общедоступные электронные базы данных, в частности ЕСИМО ([data.oceaninfo.ru](http://data.oceaninfo.ru)). Основные источники информации о рейсах:

- ЦОД ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск) (1926–1991 гг.);
- ЮНЦ РАН (г. Ростов-на-Дону) (2004–2009 гг.);
- литературные материалы (1897–1963 гг.).

В базе данных содержится информация экспедиционных исследований Академии наук СССР, Института водных проблем РАН, Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Северо-Кавказской гидрометеорологической службы, Азербайджанской гидрометеорологической службы, Каспийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства, Южного научного центра РАН. Наибольшее количество собранных материалов принадлежит Азербайджанской гидрометеорологической службе.

Большинство маршрутов в Каспийском море опирается на сетку “вековых” разрезов. То есть измерения в рейсах выполняются непосредственно на станциях разрезов, либо на небольшом расстоянии от них. В связи с этим остаются районы моря практически не охваченные исследованиями. Восемь океанографических разрезов в Каспийском море формируют сеть станций (таблица, рис. 6).

Пространственное распределение измерений в базах данных по “вековым” океанографическим разрезам

Номер разреза	Название разреза	Описание разреза	Измерения, выполненные непосредственно в пределах разреза		Измерения, выполненные в пределах буферной зоны (50 км от разреза)	
			количество измерений в базах данных	доля от общего количества измерений, %	количество измерений в базах данных	доля от общего количества измерений, %
1	О. Зюйдвестовая Шалыга–о. Кулалы	Восточная часть Северного Каспия	1641	1	3475	2.0
2	О. Новинский–о. Кулалы	Пограничный между восточной и западной частями Северного Каспия	1684	1	8464	5.0
3	Белинский канал–на юг до линии о. Чечень–п-ов Мангышлак	Западная часть Северного Каспия	2215	1.3	5513	3.3
3а	Волго-Каспийский канал до разреза о. Чечень–п-ов Мангышлак	Западная часть Северного Каспия	8700	5.2	10294	6.1
4	О. Чечень–п-ов Мангышлак	Пограничный между Северным и Средним Каспием	1855	1.1	12214	7.2
5	Дивичи–Кендерли	Средний Каспий	1250	0.7	10687	6.3
6	О. Жилой–мыс Куули	Пограничный между Средним и Южным Каспием	12992	7.7	21067	12.5
7	О. Куринский Камень–о. Огурчинский	Южный Каспий	10165	6	28511	17.0
Всего			40502	24	100225	59.4

Основными компонентами базы данных по Каспийскому морю являются сведения о температуре, солености воды, гидрохимическая и метеорологическая информация. Всего более 50 параметров.

**Методы формализации и архивирования данных. Моря Арктики.** В период проведения экспедиций в морях Арктики собирается разнообразная по составу информация. Рейсовые отчеты содержат, наряду с традиционно собираемой метеорологической и океанологической информацией, также данные о морских млекопитающих, птицах, рыбах, бентосе, планктоне, геологические и многие другие сведения. Вся эта информация может быть использована для решения широкого круга задач, поэтому ее желательно включать в состав базы данных.

В основе подхода к формализации данных лежит формат описания данных, разработанный в Мурманском морском биологическом институте (Biological ..., 2000; Матишов и др., 2006). Формат имеет блочную структуру, которая с небольшими изменениями сохраняется при описании данных в настоящей работе. Он состоит из блоков STATION и TYPE. Блок STATION содержит информацию о месте и времени сбора данных. Блок TYPE содержит сами данные и состоит из следующих элементов: Meteorology, Hydrology (рис. 7), Zooplankton, Phytoplankton (рис. 8), Benthos, Birds, Marine Mammals, Ichthyology, Geology, Paleontology и т. д. Названия этих элементов указывают на тип данных, которые они содержат.

При формализации исторических данных приходится восстанавливать координаты станций, так как в рейсовых отчетах они представлены в терминах локальных географических мест (например, 3 мили на север от о. Кильдин). Для морей Арктики это типичная ситуация, так как многие экспедиции конца XIX–первой половины XX веков выполнялись в относительной близости от берега, и для штурмана просто было определить местоположение судна в терминах очертаний береговой линии. Для отдельных рейсов этого периода приходится восстанавливать координаты 50–70 % станций.

Погрешность определения положения судна является составной частью оценки качества данных в целом. Поэтому информация о том, восстановлены координаты по качественной информации или они определены инструментальными методами, должна быть предоставлена пользователю базы данных. Наличие параметра COORD DETERM=DESCRIPTION указывает на факт восстановления координат. Если этот параметр отсутствует, то координаты местоположения судна определены инструментальными методами.

**Южные моря.** Работа по формированию базы данных океанографических наблюдений в Азовском, Каспийском и Черном морях получила свое развитие в создании информационной системы, объединяющей сведения о физических, химических и биологических свойствах морской среды. Ввиду существенной роли пространственной динамики основой для разработки информационной системы южных морей России стали геоинформационные технологии. В состав географической информационной системы входят:

базы данных, содержащие первичную информацию о наблюдениях за характеристиками природной среды;

картографические базы данных, содержащие исторические данные в виде картосхем и карт пространственного распределения параметров;

программный инструментарий для работы с базами данных;

подсистема контроля качества;

набор специализированных инструментов для работы с пространственными данными в геоинформационной системе (ГИС).

The screenshot shows a table with the following structure:

STATION	44 SERIES										POSITION			
LAT DEG	LAT MIN	LAT SEC	LAT HEM	LN DEG	LN MIN	LN SEC	LN HEM	LN YEAR	MONTH	DAY	HOUR	MINUTE	SECOND	TIME_ZONE
44	55	33	3	N	35	35	E	1984	8	17				
TYPE	HEADERS													
BOTTOM DEPTH	236 M													
TYPE	HYDROLOGY													
DEPTH	TEMP	SAL	CHL	PH	ALK	PO4	NO3	NO2						
M	PSU	MLL			MEQ/L	UM/L	UM/L	UM/L						
0	17	34.27	7.7	8.23	2.076	14.2	30	1.1						
10	18	34.33	7.76	8.23	2.08	14.2	30	1.2						
20	19	34.38	7.48	7.98	2.08	14.2	30	1.8						
30	21	34.38	7.38	7.98	2.088	14.2	30	1.8						
40	2.85	34.38	7.38	7.98	2.088	14.2	30	1.7						
50	2.85	34.38	7.38	7.98	2.08	14.2	30	1.7						
60	2.89	34.38	7.38	7.98	2.08	14.2	30	1.7						
70	2.27	34.38	7.32	7.98	2.08	22.8	30	1.7						

Annotations in the image:

- "This information included in ST Cruise" (points to project/institute info)
- "List of Principal Investigators and Cooperator" (points to crew list)
- "One station. Each station consist of three blocks (see chapter 4 DATA of the Atlas)" (points to the station header block)
- "Number of decimal figures" (points to the depth column header)

Рис. 7. Блок “Станция” и тип “Гидрология”

Данные океанографической базы разделены на три категории в зависимости от того, где и как выполнялись измерения:

измерения метеорологических, гидрологических, гидрохимических, гидробиологических характеристик, выполнявшиеся на акватории морей (рис. 9);

измерения метеорологических, гидрологических, гидрохимических характеристик, выполнявшиеся на прибрежных гидрометеорологических станциях (рис. 10);

измерения, выполнявшиеся с буксируемыми СТД-зондов (рис. 11).

Океанографическая база данных реализована в системе управления базой данных (СУБД) Microsoft Access. Основными объектами базы данных, выделенными из предметной области, являются рейсы, станции и различные виды исследований. Под “рейсом” понимается определенный океанографический рейс,



рейдовые или прибрежные стационарные наблюдения. На станции осуществляются наблюдения различного характера: метеорологические, гидрологические, гидрохимические, исследования количественных и качественных характеристик планктона, бентоса и др. Результаты исследований каждого типа выделены в качестве отдельных объектов структуры базы данных. Информация об измерениях включает в себя название величины, которая была измерена, единицы измерения и измеренное значение. Для результатов обработки проб по горизонтам выделен соответствующий объект – “горизонт измерения”. Для биотических характеристик также выделен объект “проба”, предусматривающее хранение данных по таксонам на горизонтах.

50	TYPE	HEADERS PLANKT PHYTOPLANKTON
51	GEAR	PLANKTON NET (TYPE UNKNOWN)
52		
53	TYPE	PLANKTON
54	TAX PRESENT B0-0	TAX NAME
55	*	PHYTOPLANKTON
56		↑
57	RRRR	CERATIUM ARCTICUM
58	R	CERATIUM FURCA
59	R	CERATIUM FUSUS
60	CC	CERATIUM LONGIPES
61	R	CERATIUM MACROCEROS
62	R	CHAETOCEROS ATLANTICUS
63	R	CHAETOCEROS BOREALIS
64	R	CHAETOCEROS DECIPiens
65	R	CHAETOCEROS GRACILIS
66	RRRR	CHAETOCEROS HOLSATICUS
67	RRRR	CHAETOCEROS LACINIOSUS
68	R	CORETHRON HYSTRIX
69	R	
70		
71	TYPE	PLANKTON
72	TAX PRESENT B0-10	TAX NAME
73	*	PHYTOPLANKTON
74		↑
75	RRRR	CERATIUM ARCTICUM
76	R	CERATIUM FUSUS
77	R	CERATIUM LONGIPES
78	RRRR	CERATIUM MACROCEROS
79	R	CHAETOCEROS BOREALIS
80	RRRR	CHAETOCEROS DECIPiens
81	RRRR	DINOPHYSIS ROTUNDATA
82	CC	PERIDINIUM DEPRESSUM
83	RRRR	PERIDINIUM OVATUM
84	RRRR	PERIDINIUM PALLIDUM
85	RRRR	RHIZOSOLENIA OSTUSA
86	RRRR	RHIZOSOLENIA SEMISPINA
87	RRRR	RHIZOSOLENIA STYLIFORMIS

B0-0 means observations made at surface (upper depth = 0m, lower depth = 0m)

Taxonomic presence/abundance code:  
 cc- abundant  
 ccc- very abundant  
 cccc- predominant  
 r- rare  
 rr- very rare  
 rrr- highly rare  
 rrrr- extremely rare

B0-10 means observations made at layer 0-10meters (upper depth = 0m, lower depth = 10m)

Рис. 8. Блок “Тип Фитопланктон”

В рамках концепции контроля качества данных предусмотрено хранение сведений об условиях наблюдений и отбора проб (инструментах, методах), а также специалистах, отбиривших и обрабатывавших пробы. Для этого для каждого типа исследований в структуре базы данных выделен объект, содержащий информацию о материалах и методах – данные о методиках и фиксируемых условиях проведения исследований (наблюдений), об инструментах и оборудовании, используемых при проведении соответствующих исследований, о характеристиках этих технических средств. Поскольку основная часть этих данных представляет собой текстовую информацию, то для каждого типа информации составлен соответствующий справочник. Разработка справочников производилась на основе международных стандартов, в том числе использовались справочники, разработанные специалистами Всемирной метеорологической организации (WMO) и Национальной администрацией по океану и атмосфере (NOAA) США.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	CRUISE#											
2	COUNTRY	RUSSIA										
3	PROJECT	AZOV SEA										
4	INSTITUTE	898 MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE										
5	SHIP	PROFESSOR PANDOV MS										
6	CRUISE											
7	AREA	Sea of Azov										
8												
9												
10	STATION	279										
11	LAT DEG											
12		46.9661		N	37.3517			E		4	26	2006
13												
14	HEADERS											
15	TIME	13	54		zone -3							
16	BOTTOM DEPTH	8.7 M										
17	RELIABILITY FLAG	0										
18	SAL METHOD	titration										
19	TS PROBE	BOTTLE										
20	WATER SAMPLER	BATHOMETER MOLCHANOVA										
21	AIRTEMP	7.2 C										
22	BARPRESS	1015 MBAR										
23	SURF TEMP	10.1 C										
24	TRANSPARENCY	1.1 M										
25	WINDDIR	NW	COMPASS									
26	WINDSP	6.2 M/SEC										
27												
28	DETAILS	DEPTH	CL	OXY	PH	SAL	PO4	NO2	NO3			
29	units	M	MG/L	MG/L			UG/L	UG/L	UG/L			
30	decimal places	1	1	2	2	1	0	0	0			
31		0.5	112.5	11.59	8.47	7.4	49	42	28			
32		5	112.5			7.4						
33		7.5	125	11.54	8.29	8.2						
34												
35												
36	STATION	270										
37	LAT DEG											
38		46.9672		N	37.5002			E		4	26	2006
39												
40	HEADERS											
41	TIME	16	56		zone -3							
42	BOTTOM DEPTH	8.7 M										
43	RELIABILITY FLAG	0										
44	SAL METHOD	titration										
45	TS PROBE	BOTTLE										
46	WATER SAMPLER	BATHOMETER MOLCHANOVA										
47	AIRTEMP	7.2 C										
48	BARPRESS	1014 MBAR										
49	TRANSPARENCY	1 M										
50	WINDDIR	N	COMPASS									
51	WINDSP	5.8 M/SEC										
52												
53	DETAILS	DEPTH	CL									
54	units	M	MG/L									
55	decimal places	1	0									
56		8	105									

Рис. 9. Формат представления измерений, выполнявшихся на акватории морей

Увеличение объема данных приводит к росту процента некорректной информации, что определяет повышенные требования к процедурам проверки данных. Следует отметить, что качественная и всесторонняя проверка возможна только при наличии метаинформации об условиях проведения измерений, методах сбора и обработки данных. Высокая степень неопределенности предметной области не позволяет полностью автоматизировать процесс контроля качества сведений, т. е. принимать решение относительно качества данных без участия специалистов. В связи с этим процедура контроля качества океанографических данных представлена в виде итеративного процесса, каждая итерация которого состоит из двух этапов:

- автоматизированный этап объективного контроля качества данных;
- этап субъективного анализа, выполняемый с участием одного или нескольких специалистов.

Этап интерактивного субъективного контроля включает построение климатических норм и аномалий, карт распределения отдельных характеристик и

определение пространственно-временных статистических характеристик. Для этого разработан набор специализированных инструментов, осуществляющий работу с пространственными данными в ГИС и позволяющий строить поля распределения и вертикальные разрезы различных характеристик морской среды (Новые ..., 2009).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	CRUISE#										
2	COUNTRY	USSR									
3	PROJECT	MARUPOL									
4	INSTITUTE	HYDROMETEOROLOGICAL SERVICE									
5	SHIP	COASTAL OBSERVATIONS									
6	CRUISE										
7	SOURCE DOCUMENT	Sea hydrometeorological MB									
8	AREA	Sea of Azov									
9											
10											
11	STATION	Marupol									
12	LAT DEG	LAT MN	LAT SEC	LAT HEM	LON DEG	LON MN	LON SEC	LON HEM	MONTH	DAY	YEAR
13		47 0919		N	37 6009			E	10	1	1975
14											
15	HEADERS										
16	TIME		9	0							
17	RELIABLE		2								
18	AIRTEMP		13.8	C							
19	CLOUD DOWN		0	CODE10							
20	CLOUDAMAT		0	CODE10							
21	REL HUMID		55	PERCENT							
22	WINDDIR		NE	COMPASS							
23	WINDSP		8	M/SEC							
24											
25	DETAILS		DEPTH	TEMP							
26	units		M	C							
27	decimal places		0	1							
28			0	10.4							
29											
30											
31	STATION	Marupol									
32	LAT DEG	LAT MN	LAT SEC	LAT HEM	LON DEG	LON MN	LON SEC	LON HEM	MONTH	DAY	YEAR
33		47 0919		N	37 6009			E	10	1	1975
34											
35	HEADERS										
36	TIME		15	0							
37	RELIABLE		2								
38	AIRTEMP		17.9	C							
39	CLOUD DOWN		0	CODE10							
40	CLOUDAMAT		0	CODE10							
41	REL HUMID		42	PERCENT							
42	WINDDIR		NNE	COMPASS							
43	WINDSP		10	M/SEC							
44											
45	DETAILS		DEPTH	TEMP	CL						
46	units		M	C	PCU						
47	decimal places		0	1	2						
48			0	10.1	7.03						
49											
50											
51	STATION	Marupol									
52	LAT DEG	LAT MN	LAT SEC	LAT HEM	LON DEG	LON MN	LON SEC	LON HEM	MONTH	DAY	YEAR
53		47 0919		N	37 6009			E	10	1	1975
54											
55	HEADERS										
56	TIME		21	0							
57	RELIABLE		2								
58	AIRTEMP		13.8	C							
59	CLOUD DOWN		0	CODE10							
60	CLOUDAMAT		0	CODE10							
61	REL HUMID		48	PERCENT							
62	WINDDIR		NE	COMPASS							
63	WINDSP		10	M/SEC							
64											
65	DETAILS		DEPTH	TEMP							
66	units		M	C							
67	decimal places		0	1							
68			0	17.6							

Рис. 10. Формат представления измерений, выполнявшихся на прибрежных станциях

Картографическая база данных содержит исторические данные, оцифрованные на основе картосхем и карт пространственного распределения океанографических и метеорологических параметров для каждого моря. Для пространственной привязки данных и их дальнейшей визуализации собрана единая картографиче-

ская основа (базовая карта). Значительную часть картографической базы данных составляет информация о многолетнем и сезонном распределении таких характеристик морской воды как температура, соленость, прозрачность, концентрация растворенного кислорода и др. Отдельные материалы начала и середины XX века взяты из печатных изданий комплексных морских экспедиций. Помимо первичной информации, в таких изданиях опубликованы картографические материалы, отражающие батиметрию и пространственное распределение океанологических параметров как для отдельных лет, так и для целых периодов по данным систематических наблюдений.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	<b>CRUISEINFO</b>											
2	COUNTRY RUSSIA											
3	PROJECT AZOV SEA											
4	INSTITUTE MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE											
5	SHIP PROFESSOR PANOVA											
6	AREA Sea of Azov											
7	INSTRUMENT CTD_ZOP-2004 (RUSSIA) zond											
8												
9												
10												
11	#	MONTH	DAY	YEAR	HOURL	MINUTE	SECOND	LAT DEG	LOE DEG	DEPTH	TEMP	SAL
12	1	6	17	2005	13	40	31	46 98037	38 61665	0 6	25 771	0 849
13	2	6	17	2005	13	40	36	46 98093	38 61647	0 6	25 846	0 85
14	3	6	17	2005	13	40	41	46 98085	38 6162	0 6	25 841	0 854
15	4	6	17	2005	13	40	46	46 9808	38 61603	0 6	25 898	0 849
16	5	6	17	2005	13	40	51	46 9807	38 61578	0 6	25 852	0 858
17	6	6	17	2005	13	40	56	46 98063	38 61562	0 6	25 908	0 858
18	7	6	17	2005	13	41	1	46 98052	38 61538	0 6	25 985	0 862
19	8	6	17	2005	13	41	6	46 98045	38 61523	0 6	26 002	0 864
20	9	6	17	2005	13	41	11	46 98035	38 61498	0 6	25 979	0 865
21	10	6	17	2005	13	41	16	46 98028	38 61482	0 6	26 062	0 869
22	11	6	17	2005	13	41	21	46 9802	38 61455	0 6	26 031	0 866
23	12	6	17	2005	13	41	26	46 98013	38 61438	0 6	26 07	0 87
24	13	6	17	2005	13	41	31	46 98007	38 61412	0 6	26 083	0 874

Рис. 11. Формат представления измерений, выполнявшихся с использованием буксируемых СТД-зондов

Структура информации (тематических слоев) в картографической базе данных представлена следующими группами:

- батиметрия (содержит данные за разные временные периоды);
- гидрология и гидрохимия (включает оцифрованные поля распределения гидрологических и гидрохимических параметров);
- метеорология (включает оцифрованные поля распределения метеорологических характеристик).

**Модернизация океанографической базы данных в ММБИ.** Работы над климатическим атласом арктических морей после перерыва были возобновлены в ММБИ в 2009 г. Помимо пополнения информационной базы была поставлена цель по модернизации системы управления базой данных (СУБД) (Модернизация ..., 2010).

С использованием в качестве СУБД программного продукта Microsoft Access, а также языка программирования Borland Delphi произведено объединение разрозненных файлов данных формата CSV к единому файлу в текстовом формате. При этом информация о методах и средствах получения первичных данных записывалась в связанный по ключевому полю второй текстовый файл. Далее эти файлы были окончательно импортированы в СУБД Access, где представляли собой две связанные реляционные таблицы. Такой подход обеспечивает возможность учета различности методик получения исходных данных и позволяет исключить появление ошибочных оценок при использовании в расчетах старых и новых данных.



Сделаны выборки значений температуры и солености на стандартных разрезах VI (“Кольский меридиан”), XXIX, III+XIX (мыс Нордкап–о. Медвежий–Шпицберген). Посредством автоматизации обработки картографического материала и интерполяции термохалинных характеристик в узлы регулярной сетки с помощью встроенного в продукт Golden Software Surfer языка Visual Basic, были получены вертикальные профили распределения термохалинной структуры по разрезам для летнего и зимнего сезонов с 1950 по 2001 гг. (рис. 12). Первичный анализ полученных графиков распределения температуры и солености на разрезах показал высокую сходимость с климатическими особенностями этих районов Баренцева моря, с географией течений, а также с уже опубликованными материалами.

**Геоинформационная система и геопортал “Экологическая изученность морских экосистем Юга России”.** Для оценки полноты проведенных полевых исследований и организации будущих экспедиций в ЮНЦ РАН создана геоинформационная система, содержащая данные об экологической изученности морских экосистем Юга России. В ней представлена информация о морских экспедициях ЮНЦ и Азовского филиала ММБИ КНЦ РАН в Азовском, Черном и Каспийском морях за 1997–2010 гг. (рис. 13). Удаленный доступ к актуальным пространственным данным осуществляется через геопортал (<http://geoportalsfedu.ru/api/index.html?4B3A286B88D94C2780F766C1E2F0CD87>).

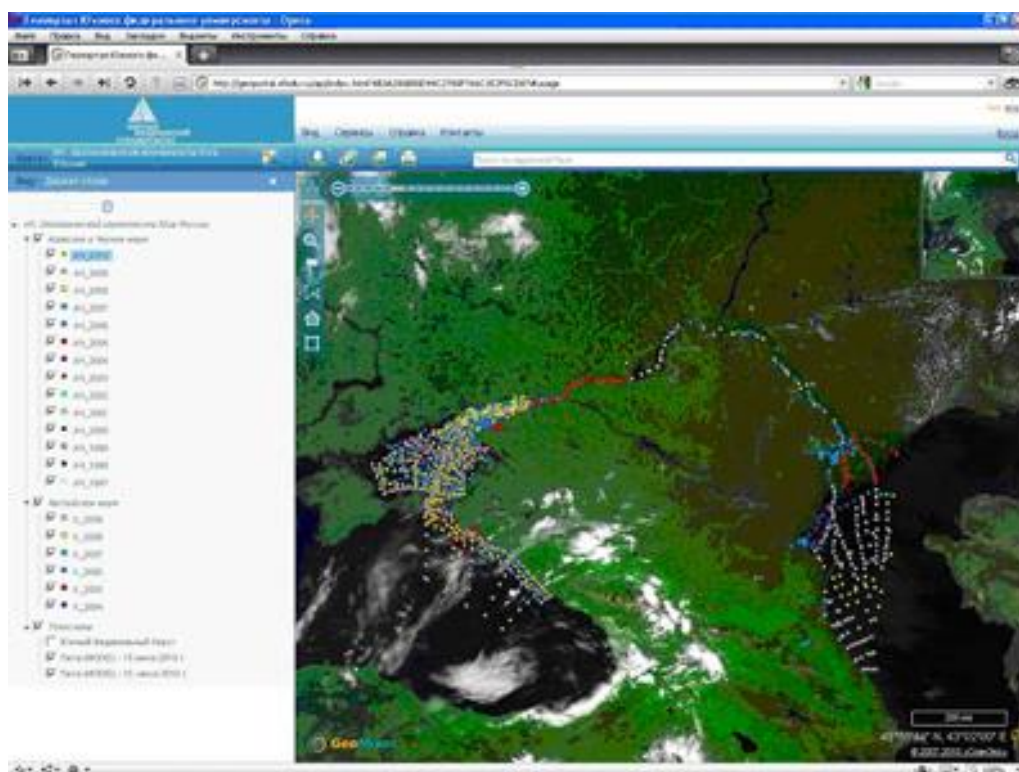


Рис. 13. Публикация интернет-версии “ГИС Экологической изученности Юга России” для обучения студентов на сайте Южного федерального университета

**Практическое использование атласов.** Объединение в одной базе на единых методических позициях всей совокупности фактических данных, получаемых

в море, открывает новые перспективы для палеоэкологических реконструкций, кратко- и долгосрочного прогнозирования климата, ледовитости, биопродуктивности и рыбопромысловой урожайности, вычленения антропогенной составляющей в глобальной изменчивости. Поэтому базы данных из атласов широко используется сотрудниками ММБИ, ЮНЦ РАН и других организаций при проведении климатических и экосистемных исследований (Druzhkov et al., 2001; Matishov et al., 2003; Smolyar, Adrov, 2003; Matishov et al., 2009a,b; Климатические ..., 2010).

Прежде всего, речь идет о нормированных температуре и солёности воды (среднепогодные значения), рассчитанных для горизонтов и разрезов. Аномалии для каждого периода наблюдений и каждого рейса оцениваются на основе нормированных значений. Календарь аномалий Баренцева моря составлен с выделением теплых, нормальных и холодных периодов для 5 градаций (Атлас ..., 2008). База данных планктона в настоящее время используется в ЕС (FP7 проект "Greenseas") для моделирования будущих морских экосистем. Для Азовского моря были сделаны оценки теплосодержания воды (Внутривековые ..., 2008; Matishov et al., 2009b). Многолетняя динамика солёности, которая изменяется в результате строительства на реках гидротехнических сооружений и влияет на условия существования и развития морских экосистем, была рассчитана для Азовского и Каспийского морей.

В разное время в работах по организации океанографических и гидробиологических баз данных вместе с авторами участвовали следующие сотрудники ММБИ, ЮНЦ РАН и Лаборатории климата океана НОАА: член-корреспондент РАН Д.Г.Матишов, к.ф.-м.н. А.Н.Зуев, В.А.Голубев, д-р И.В.Смоляр, д-р С.Левитус, д.б.н. П.Р.Макаревич, д.г.н. В.В.Денисов, д.б.н. С.Ф.Тимофеев, д.б.н. Л.Л.Кузнецов, к.б.н. О.В.Карамушко, к.г.н. Л.В.Дашкевич, к.г.н. О.Е.Архипова, Ю.М.Лычагина (Сладкова), С.А.Иванов, д.г.н. Ю.М.Гаргопа, к.г.н. Н.М.Адров и др.

## Л и т е р а т у р а

*Атлас аномалий температуры и солёности вод Баренцева моря в 1951–2001 гг.* / Под ред. В.В.Денисова. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2008. 100 с.

*Внутривековые флуктуации климата Азовского моря (по термохалинным данным за 120 лет)* / Г.Г.Матишов, Д.Г.Матишов, С.В.Бердников и др. // Докл. РАН. 2008. Т. 442. № 1. С. 106–109.

*Голубев В.А., Зуев А.Н.* Новые технологии архивирования данных и построения компьютерных морских климатических и биологических атласов // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. М.: Наука, 2005а. С. 9–35.

*Голубев В.А., Зуев А.Н.* Расчеты климатических аномалий в интересах обеспечения хозяйственной деятельности на Баренцево-Карском шельфе // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. М.: Наука, 2005б. С. 35–60.

*Зуев А.Н., Голубев В.А.* Электронные климатические атласы среды и биоты // Современные технологии и прогноз в полярной океанологии и биологии. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1999. С. 7–27.

*Климатические изменения морских экосистем Европейской Арктики* / Г.Г.Матишов, С.Л.Дженюк, Д.В.Моисеев, А.П.Жичкин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3(86). С. 7–21.

*Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В.А.* Разработка океанологических и гидробиологических информационных технологий в Мурманском морском биологиче-

ском институте // Океанологические и биологические исследования арктических и южных морей России (к 70-летию Мурманского морского биологического института). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 386–412.

*Модернизация* базы океанографических данных арктических морей / Г.Г. Матишов, Д.В. Моисеев, С.А. Иванов и др. // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: Тез. докл. Междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 10–12 марта 2010 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2010. С. 148.

*Новые* информационные технологии при обработке данных / О.Е. Архипова, С.В. Бердников, Л.В. Дашкевич и др. // Моделирование и анализ гидрологических процессов в Азовском море. Ростов н/Д.: Изд. ЮНЦ РАН, 2009. С. 49–60 (Тр. Южного научного центра РАН. Т. 4).

*Опыт* организации и формирования базы биологических данных на примере планктонных материалов Арктического бассейна / Л.Л. Кузнецов, И.В. Смоляр, Т.Л. Кузнецова, А.Н. Зуев // Современное состояние планктона и бентоса, проблемы биоразнообразия арктических морей: Тез. докл. Междунар. конф., Мурманск, 27–30 апреля 1998 г. Мурманск, 1998. С. 62–63.

*Опыт* создания биологической базы данных на материале планктонных исследований Арктического бассейна / Г.Г. Матишов, Л.Л. Кузнецов, Н.В. Дружков и др. // Докл. РАН. 2000. Т. 350. № 5. С. 715–717.

*Технология* формирования комплексной базы гидробиологических данных / Г.Г. Матишов, А.Н. Зуев, В.А. Голубев и др. // Фауна беспозвоночных Карского, Баренцева, Белого морей (информатика, экология, биогеография). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2003. С. 17–43.

*Шишкина А.В., Кулыгин В.В., Дашкевич Л.В.* Пополнение океанографической базы по Азовскому морю: формализация исторических данных // III конференция “Теoinформационные технологии и космический мониторинг” (8–10 сентября 2010 г.). Ростов н/Д.: Изд. СКНЦ ВШ, 2010. С. 136–139.

*Biological atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas / G.G. Matishov, P. Makarevich, S. Timofeev et al.* NOAA Atlas NESDIS 39. U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2000. 348 p.

*Climatic atlas of the Barents Sea 1998: Temperature, salinity, oxygen / G. Matishov, A. Zyev, V. Golubev et al.* NOAA Atlas NESDIS 26. U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 1998. 144 p.

*Climatic atlas of the Arctic Seas 2004 / G. Matishov, D.A. Zuyev, V. Golubev et al.* NOAA Atlas NESDIS 58, World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, V. 9, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2004. 148 p. CD-ROM.

*Climatic Atlas of the Sea of Azov 2006: NOAA Atlas NESDIS 59 / G. Matishov, D. Matishov, Yu. Gargopa et al.* World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, V. 10, U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2006. 105 p. CD-ROM.

*Climatic Atlas of the Sea of Azov 2008 / G. Matishov, D. Matishov, G. Gargopa et al.* World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, V. 11, NOAA Atlas NESDIS 65. U.S. Government Printing Office, Wash., D.C., 2009. 148 p. CD-ROM.

*Druzhkov N.V., Druzhkova E.I., Kuznetsov L.L.* The sea-ice algal community of seasonal pack ice in the southwestern Kara Sea in late winter // Polar Biol. 2001. V. 24. № 1. P. 70–72.

*Golubev V., Zuyev A., Oelke C.* Barents and Kara Seas oceanographic data base (BarKode) // IACPO Informal Report № 5. Murmansk; Tromso, 2000. 216 p.

*Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L.* Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea Large Marine Ecosystem // Large Marine Ecosystem of World: Trends in exploration, protection, and research. Amsterdam: Elsevier, 2003. P. 41–74.



*Matishov G., Dashkevich L., Kulygin V.* Atlases of oceanographic observations as the tool of climatic analysis // Sixth European Conference on Geoscientific Cartography and Information System, EUROGEO, Munich, Germany, 9–12 June 2009. Munich, 2009a. P. 105–107.

*Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V.* Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // *Oceanologia*. 2009b. V. 51. № 3. P. 293–312.

*Piterman A., Freeden W. von, Muhry A.* Papers on the eastern and northern extensions of the gulf stream. Wash., D.C.: Government Printing Office, 1871. 388 p.

*Smolyar I., Adrov N.* The quantitative definition of the Barents Sea Atlantic Water: marring of the annual climatic cycle and interannual variability // *J. Mar. Sci.* 2003. V. 60. P. 836–845.

УДК 528.2(26):591.5(98)

**Н.В.Лебедева**

Азовский филиал Мурманского морского биологического института КНЦ РАН,  
г. Ростов-на-Дону, Россия

## **АВИ-ВЕКТОР РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ НА ПОЛЯРНЫЕ ОСТРОВА: ОБЗОР**

### **Аннотация**

Приводится обзор результатов изучения фауны почвенных беспозвоночных (на примере панцирных клещей) в Арктике и обсуждается роль ави-вектора (птиц) в их распространении в полярные области. Автору с коллегами удалось доказать, что птицы в своем оперении заносят на удаленные от материка острова мелких почвенных беспозвоночных: панцирных клещей, ногохвосток, гамазовых клещей и др.

**N.V.Lebedeva**

## **ROLE OF SEABIRDS IN FORMING OF FLORA AND FAUNA OF THE ARCTIC ISLANDS: A REVIEW**

### **Abstract**

This article is a review of results of investigation of soil invertebrate fauna. The role of birds (avian vector) in transfer of soil biota to polar areas is discussed. Results of researches of the author with colleagues managed to prove, that birds, and their plumage bring on the islands removed from mainland various small soil invertebrates oribatid mites, collembolans, gamasid mites etc.

Особенности формирования островных фаун – одна из важнейших фундаментальных проблем биогеографии (MacArthur, Wilson, 1967). Однако познание локальных, в том числе островных, фаун невозможно без понимания факторов, формирующих разнообразие видов. Для этого требуется выяснить механизмы колонизации островов разными видами. Механизм заселения новых территорий, отделенных ледовыми и водными пространствами, пустынями, горными хребтами и другими географическими преградами, птицами более или менее ясен, тогда как способы колонизации удаленных островов малоподвижными представителями почвенной фауны остаются неизвестными.

Почвенные микроартроподы, которые были предметом нашего исследования, являются представителями микрофауны, т. е. имеют размеры менее 1.0 мм. Задачу поиска путей проникновения почвенных микроартропод на удаленные

архипелаги Арктики решали в основном в двух направлениях. Предпринимались попытки доказать их случайный перенос на большие расстояния ветром и океаническими водами (Survival ..., 2002; Aerial ..., 2002; Coulson et al., 2003). Чарльз Дарвин (Darwin, 1859) писал, что семена некоторых растений могут сохранять жизнеспособность в течение нескольких месяцев в почве, сохраняющейся вокруг корней дрейфующих в океане деревьев. Однако гипотеза о возможном переносе микроартропод с помощью плавника, прибывающего к берегам арктических островов, не нашла подтверждения фактическим материалом. Находятся подтверждения того, что одним из мощных факторов распространения видов в современный период является человек, который может заносить виды как с домашними животными, так и с завозимыми материалами на осваиваемые территории (New ..., 2007). Этот фактор может быть важным для полярных регионов, однако он способен объяснить современные инвазии отдельных видов, но не формирование островной фауны в целом.

Кажется очевидным, что для заселения малоподвижными мелкими организмами островов, удаленных от материка, должны быть “векторы-переносчики”, которые обладали бы способностью преодолевать большие расстояния в короткие сроки и могли бы транспортировать животных. Так, например, распространяются паразиты, которые на своих хозяевах вполне обеспечены пищей. Одним из механизмов переноса непаразитических животных может быть форезия. Форезия (перенос одних организмов другими или использование других организмов в качестве транспортного средства) позволяет малоподвижным видам распространяться на расстояния во много раз большие тех, на которые они могут перемещаться самостоятельно. Это обычное для некоторых групп клещей, обладающих специальными морфологическими приспособлениями для фиксации на хозяине, явление (Evans, 1992). Форезия насекомых (32 вида) была отмечена для 22 видов орибатид, или панцирных клещей (Acari: Oribatidae), несмотря на отсутствие у этих клещей специальных морфологических структур для распространения таким способом (Norton, 1973). На Шпицбергене был зарегистрирован факт форезии панцирного клеща *Diapterobates notatus* на эктопаразитической мухе *Synomya mortuorum* (Coulson, 2009), а также дейтонимфы *Thinoseius spinosus* (Acari, Eviphididae) на другом виде паразитических мух *Protophormia terraenovae* (Gwiazdowicz, Coulson, 2010), что позволило авторам обсуждать возможность заноса почвенных животных на архипелаг на насекомых. Однако перенос на паразитических мухах возможен лишь с хозяином, а на непаразитических насекомых маловероятен для удаленных арктических архипелагов. Возможность того, что морские птицы могут быть значимым фактором в распространении разнообразных биологических видов как растений, так и животных обсуждалась ранее (Falla, 1960). Однако доказательства распространения непаразитических беспозвоночных птицами отсутствовали.

Наша гипотеза о колонизации почвенными микроартроподами архипелагов Арктики базировалась на роли ави-вектора. Было выдвинуто предположение, что сразу после потепления климата и схода ледника с архипелагов Арктики около 12–10 тыс. лет назад, птицы стали посещать острова и заносить на них почвенных животных (Криволуцкий, Лебедева, 2003). Маловероятно, что какие-либо организмы могли сохраниться в последний ледниковый период: во время максимума Вислинского (Вейхзельского) оледенения (Glacial ..., 2003) весь архипелаг Шпицберген был практически полностью покрыт ледяным щитом, хотя

и оставались небольшие свободные от льда участки (Northwest ..., 2003). Современная фауна начала завоевывать арктические архипелаги с начала потепления и отступления ледника лишь около 10 тыс. лет назад.

Целенаправленный поиск показал, что оперение многих видов птиц населено почвенными микроартроподами, в том числе панцирными клещами (Криволицкий, Лебедева, 1999, 2003; Krivolutsky, Lebedeva, 2004a,b). Различные виды птиц, обитающие в российском секторе Арктики, были также исследованы на носительство панцирных клещей (Криволицкий, Лебедева, 2003; Лебедева и др., 2003; Лебедева, Лебедев, 2008; Lebedeva, Lebedev, 2008). На российских арктических архипелагах 44 вида орибатид, из 74 известных для данной области, были обнаружены на птицах (География ..., 2003). Всего же было обследовано оперение около 5000 птиц 180 видов из Палеарктики, Арктики и Антарктики в 1998–2010 гг., где было обнаружено более 190 видов панцирных клещей и других микроартропод на разных стадиях жизненного цикла (Криволицкий, Лебедева, 1999, 2003; Лебедева и др., 2003; Krivolutsky, Lebedeva, 2004a,b; Лебедева, 2005; Лебедева, Лебедев, 2005; Lebedeva, Lebedev, 2007).

Для доказательства выдвинутой нами гипотезы ави-вектора потребовалось выбрать модельную территорию. Модельная территория должна соответствовать определенным критериям: быть относительно молодой с точки зрения истории формирования ландшафтов, иметь мощный разделительный барьер между ней и другими территориями, а разнообразие исследуемых видов на ней должно быть невелико. С этой точки зрения наиболее интересным представлялся российский сектор Арктики, который довольно сильно отличается от канадского, где расстояния между островами в высокой Арктике остаются несоизмеримо меньшими, чем расстояния между материком и архипелагами в восточном секторе. Разнообразие почвенной биоты на островах и архипелагах Арктики сформировалось за относительно небольшой в геологическом масштабе промежуток времени после ледникового периода. Наиболее пристальное внимание было уделено видовому разнообразию орибатид, панцирных клещей. Орибатиды – одна из доминирующих групп почвенных организмов в тундровых и арктических почвах. Их численность и биомасса достаточно высоки.

Изучение микроартропод в почвах российского сектора Арктики началось еще в конце XIX века. Первая научная арктическая экспедиция состоялась в 1878–1879 гг. под руководством А. Норденшельда по маршруту из Атлантики в Тихий океан на судне “Вега”. Позднее материалы по почвенным клещам, собранные в этой экспедиции, обработал К.Л.Кох (K.L.Koch), который описал первые виды орибатид Арктики. Позже состоялись полярные экспедиции русских (1885–1886, 1990–1903, 1912 гг.), скандинавских (1881–1924 гг.) и британских (1894–1899 гг.) исследователей. В конце XIX–начале XX веков вышли первые публикации (Kulczynski, 1908a,b; Trägårdh, 1900, 1904, 1928; Thor, 1930), посвященные исследованию почвенных микроартропод архипелагов Земля Франца-Иосифа, Шпицберген, Новая Земля и Новосибирских островов. Во второй половине XX века начали появляться отдельные публикации по панцирным клещам Шпицбергена (Karppinen, 1967; Niedbała, 1971; Solhøy, 1976; Seniczak, Plichta, 1978). Однако в целом за 100 лет исследований в высокоширотной Арктике европейскими и американскими исследователями было обнаружено всего около 30 видов орибатид (Insect ..., 1997; Behan-Pelletier, 1999). Активные исследования в высокоширотной Арктике возобновились лишь 25 лет назад.

Мы приступили к исследованию микроартропод, обитающих в оперении птиц, гнездах и почвах, местах их размножения и отдыха, на побережье Баренцева моря в августе 2000 г. Большая часть материала собрана в окрестностях биостанции Мурманского морского биологического института в пос. Дальние Зеленцы на Восточном Мурмане (Кольский полуостров, 69° с. ш., 36° в. д.). Часть птиц, гнезд и образцов почвы получены из окрестностей поселков Лонгйир (78°12' с. ш., 15°36' в. д.) и Баренцбург (78°07' с. ш., 14°25' в. д.) на архипелаге Шпицберген. Для нашего исследования мы использовали шкурки птиц, добытые сотрудниками ММБИ для изучения гельминтофауны, а также специально добывали и отлавливали птиц для изучения почвенных микроартропод в их оперении. Несколько особей были добыты по нашей просьбе Г.И.Ивановым на Новой Земле (72°90' с. ш., 53°23' в. д.). Часть птиц, собранных во время российских антарктических экспедиций 1996–1999 гг. вблизи российских полярных станций “Мирный” и “Беллинггаузен” (66°30' ю. ш., 93°00' в. д.), переданы нам из Арктического и антарктического научно-исследовательского института (г. Санкт-Петербург) для исследования почвенных микроартропод в оперении. Кроме того, мы исследовали в российском секторе Арктики непаразитических микроартропод не только из оперения птиц, но и из гнезд и орнитогенных почв. Всего в полярных широтах было обследовано около 100 гнезд, 245 особей птиц 41 вида.

Многие исследователи, обследовавшие птиц традиционными для паразитологии методами, не находили в оперении почвенных микроартропод. О таких находках публикации отсутствовали до 1999 г. Это могло быть связано, с одной стороны, с тем, что паразитологи фокусировали свой интерес лишь на эктопаразитах, игнорируя другие объекты, попадавшие в поле зрения, а с другой стороны, с ограничениями метода исследования. Новый взгляд на оперение птиц как на возможный субстрат обитания почвенных микроартропод потребовал применения нового метода исследования. Д.А.Криволицкий предложил использовать традиционный для почвенной зоологии метод выгонки микроартропод, так называемые модифицированные эклекторы Берлезе-Туллгрена (Гиляров, 1941) для их извлечения из шкурок птиц. Шкурку мелкой птицы целиком (или всю тушку птицы с перьями) или часть шкурки крупной особи помещали на эклектор оперением вниз и оставляли на 5–6 сут. и более под воздействием электрического света. Часть шкурок предварительно сохраняли в холодильнике. При этом часть микроартропод скорее всего погибала, однако даже после нескольких лет хранения мы извлекали из шкурок живых панцирных клещей и других представителей почвенной микрофауны. Это можно объяснить высокой устойчивостью к низким температурам некоторых арктических видов, что и было подтверждено исследованиями (Coulson, Virkemo, 2000), в которых были изучены коллемболы и панцирные клещи из почвенных образцов, собранных на Шпицбергене и хранившихся в течение 4 лет при температуре –20 °С. Оказалось, что даже после четырехлетнего замораживания некоторые виды почвенной фауны выживают.

Анализ состава непаразитических микроартропод из оперения птиц на Восточном Мурмане, Западном Шпицбергене и Новой Земле показал, что в перьях можно обнаружить не только панцирных клещей (примерно 60 %), но и других почвенных обитателей: протистических (Prostigmata), краснотелковых (Trombidiformes), гамазовых (Gamasida), хлебных (Acaridae) клещей, а также ногохвосток (Collembola). Ногохвостки оказались второй по обилию группой почвенных микроартропод, встречающейся в оперении птиц. Достаточно обильными были

также непаразитические гамазовые клещи (14 и 11 % соответственно). В оперении птиц мы находили, кроме упомянутых видов, пауков, мелких насекомых и их личинок.

Количественное распределение панцирных клещей, найденных на одной птице, асимметрично и соответствует распределению Пуассона для редких событий. На трети обследованных птиц почвенные микроартроподы, в том числе орибатиды, отсутствовали. Но чаще всего на одной птице обнаруживали 1–2 экз. орибатид (максимум 21).

Как показал анализ, с увеличением размеров птицы, количество особей и видов орибатид в ее оперении возрастает (рис. 1). Эта тенденция была статистически подтверждена. Так, среднее количество видов и особей панцирных клещей в оперении гусеобразных возрастало в ряду утки–гуси–лебеди (Лебедева, 2005) и в ряду воробьиные–кулики–морские птицы–утки (Lebedeva, Lebedev, 2008).

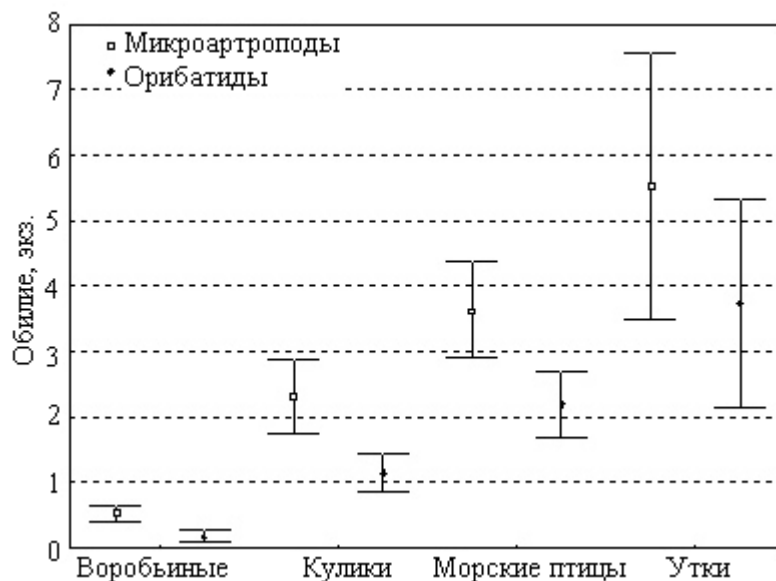


Рис. 1. Средние значения (точки) и стандартные ошибки (отрезки) обилия микроартропод и панцирных клещей на одной особи для разных групп птиц Баренцево-морского региона (по: Lebedeva, Lebedev, 2008)

Проводя исследования на материковом побережье Баренцева моря мы обнаружили в оперении птиц 53 вида панцирных клещей, тогда как у птиц, обитающих на архипелаге Шпицберген, было зарегистрировано всего 17 видов (Лебедева и др., 2003; Лебедева, Лебедев, 2005). Следовательно, эти виды орибатид могли попасть на архипелаг с ближними (глупыши *Fulmarus glacialis*, обыкновенная гага *Somateria mollissima*, чайки, чистики) и дальними мигрантами (гуси, поморники, полярная крачка *Sterna paradisaea*, пуночка *Plectrophenax novalis*). Кроме того, можно утверждать, что виды птиц, которые способны достигать удаленных архипелагов, могут быть основными “поставщиками” почвенных клещей с материка. При изучении панцирных клещей на архипелаге Шпицберген мы сфокусировали наше внимание не только на исследовании оперения птиц, но также на изучении микроартропод гнезд и почв в местах концентрации птиц и их гнездования. Наибольший интерес для нас представляли места, где формируются так называемые орнитогенные почвы, наиболее обогащенные органическими веществами.

На Шпицбергене мы нашли во всех образцах 35 видов панцирных клещей (Лебедева и др., 2006). Это можно объяснить тем, что гнезд было обследовано не так много. Концентрация усилий в направлении исследования субстратов, связанных с птицами, позволила существенно пополнить список видов панцирных клещей архипелага. Так, до наших исследований было известно 45 видов орибатид с архипелага. Нам же удалось найти на архипелаге 22 новых для локальной фауны вида, причем больше всего новых регистраций было на птицах и в орнитогенных почвах. Наши исследования позволили увеличить на треть (до 65 видов) список орибатид Шпицбергена (Coulson, Refseth, 2004; Coulson, 2007). Идея ави-вектора (Лебедева, Криволицкий, 2003) привлекла внимание к изучению птичьих гнезд субстратов Шпицбергена (Coulson, 2009) и других островов Арктики (Макарова и др., 2010).

В целом для российского сектора Арктики нам совместно с Д.А.Криволицким и коллегами (География ..., 2003) удалось увеличить список панцирных клещей до 74 видов, из них лишь 28 видов были описаны за предыдущие 100 лет исследований (рис. 2).

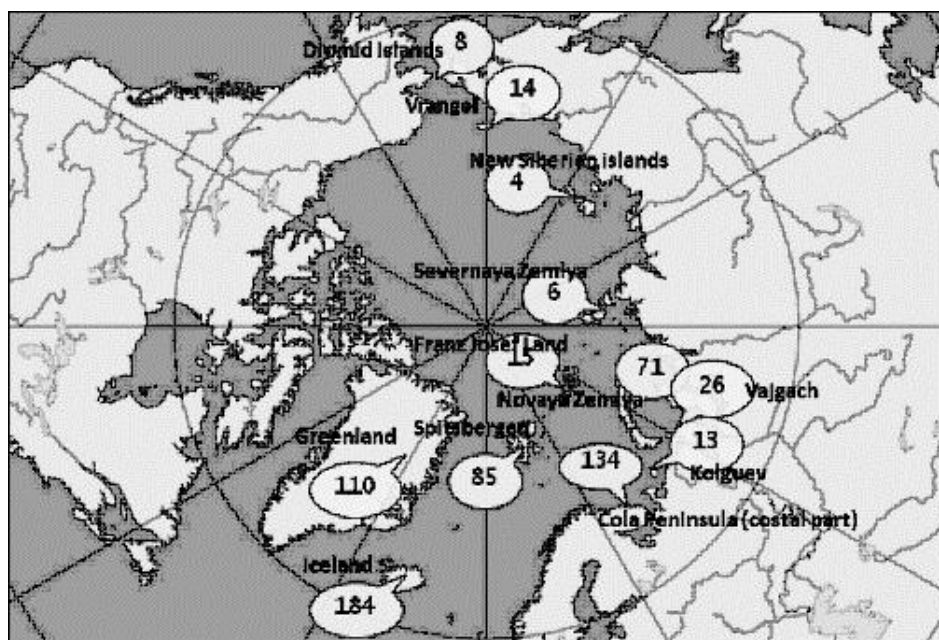


Рис. 2. Количество орибатид на островах и архипелагах Арктики (по: География ..., 2003; Лебедева и др., 2006; Coulson, 2007; Лебедев, 2009; Макарова, Бехер, 2009; наши данные)

Многие виды орибатид являются бактерио- и микофагами, что позволяет предположить, что в оперении птиц они могут найти пищевые ресурсы для длительного пребывания. В последние годы сообщество микроорганизмов, в частности бактерий, в перьях было изучено подробно (A molecular ..., 2007).

На птицах, в том числе и в Арктике, мы находили клещей на всех стадиях жизненного цикла. Так, на птицах Восточного Мурмана соотношение панцирных клещей на разных стадиях жизненного цикла (взрослые, нимфы, личинки) составило 60:35:5 % соответственно. На Шпицбергене в оперении птиц также были найдены нимфы панцирных клещей (21 % от всех орибатид).

У 21 вида птиц в Арктике были найдены в оперении панцирные клещи. По одному виду отмечено у гаги-гребенушки *Polysticta stelleri*, турухтана *Philomachus pugnax*, полярной крачки, варакушки *Luscinia svecica*, белой трясогузки *Motocilla alba*, краснозобого конька *Anthus cervinus* и пуночки. У глупышей, чаек (бургомистр *Larus hyperboreus*, морская *L. marinus*, серебристая *L. argentatus*) и куликов (галстучник *Charadrius hiaticula*, морской песочник *Calidris maritima*, чернозобик *C. alpina*, кулик-воробей *C. minuta*) в оперении найдено от 2 до 15 видов панцирных клещей. Наиболее богатое разнообразие орибатид отмечено у моевки *Rissa tridactyla* (19 видов) и обыкновенной гаги (26 видов). Частично неравномерность видовой обилия в птицах панцирных клещей можно объяснить величиной выборки обследованных птиц, частично размерами птиц (см. выше), однако возможно найти и другое объяснение. Как известно, микроартроподы предпочитают увлажненные биотопы (Гиляров, Криволицкий, 1995), поэтому в оперении птиц, особенно водоплавающих, морских и околоводных, они могут находить достаточно комфортную для них среду обитания. Особенно их много в оперении гусеобразных, чайковых птиц и куликов, имеющих тесную экологическую связь с морскими местообитаниями.

В оперении некоторых антарктических птиц нами также были обнаружены непаразитические беспозвоночные (Криволицкий и др., 2004), в том числе один из новых видов орибатид из рода *Cosmohthonius*. Однако следует отметить, что за 40 лет исследований в Антарктике и Субантарктике Британской антарктической службой описаны 156 видов панцирных клещей, но представители рода *Cosmohthonius* не были обнаружены. Известен был лишь один вид этого рода из Австралии. Даже императорские пингвины *Aptenodytes forsteri*, которые в течение всего жизненного цикла не связаны с сушей, имели в оперении почвенных мелких беспозвоночных. Этот факт подтверждает, что обмен беспозвоночными может осуществляться на птичьих базарах и в местах скопления птиц через мертвую органику и гуано. В Антарктике в колониях пингвинов обычны и другие виды птиц, в том числе антарктический поморник *Catharacta maccormicki*, который обладает достаточно обширным ареалом, способен мигрировать далеко к северу в период антарктической зимы, и оперение которого было нами изучено.

Как было показано в нашем исследовании, птицы способны в своем оперении переносить разнообразную и временами достаточно обильную почвенную микрофауну, распространяя в своем оперении не только панцирных клещей, но и другие группы непаразитических микроартропод: хищных гамазовых клещей, ногохвосток, краснотелковых клещей и пауков. Следовательно, при изучении разнообразия почвенной фауны местообитаний с суровым климатом следует уделять внимание, прежде всего, почвам вокруг и на территории птичьих базаров и скоплений птиц. Птичьи базары, скорее всего, и являются центрами формирования разнообразия почвенной биоты в высокой Арктике. Гуано птиц, накапливающееся на островных птичьих базарах, является хорошим субстратом для натурализации микроартропод.

Птиц можно рассматривать, с одной стороны, как случайный фактор переноса почвенных микроартропод. С другой стороны, этот вектор направлен, поскольку птицы совершают регулярные перелеты с мест размножения к местам зимовок и обратно, а некоторые виды останавливаются во время миграции на достаточно продолжительное время для восстановления жировых запасов. Одной из важнейших исследовательских задач, пока не реализованных в полной

мере, остается изучение взаимосвязей ареалов почвенных микроартропод и миграционных путей птиц. Это позволит понять пути проникновения на удаленные острова почвенных обитателей и получить более полное представление о фауне почвообитающих микроартропод слабо исследованных территорий, понять географические закономерности формирования локальных фаун почвенных беспозвоночных. Нам уже удалось показать перенос птицами некоторых видов панцирных клещей из умеренных в высокие широты и наоборот. Однако эти исследования требуют продолжения, как и многие аспекты жизни почвенных микроартропод в оперении птиц.

Новый международный проект AVIFauna (Avian Vectors of Invertebrate Faunas; № 196172/S30; поддержан Норвежским исследовательским советом – Norwegian Research Council), который был начат в июне 2011 г., объединил исследователей России, Норвегии, Польши и Нидерландов. Он направлен на решение следующих вопросов: каким образом бескрылые непаразитические беспозвоночные животные колонизировали удаленные от материка арктические архипелаги, какова роль ави-вектора в распространении и колонизации Шпицбергена почвенными микроартроподами? Можно не сомневаться в том, что будут открыты и опубликованы новые факты об ави-векторе почвенной биоты в ближайшем будущем.

Автор признателен за ценные замечания, сделанные профессором Г.Хемпелем (G.Hempel) и доктором С.Коулсоном (S.J.Coulson).

## Л и т е р а т у р а

*География почвенных микроартропод островов Арктики / Д.А.Криволицкий, Н.Н.Дроздов, Н.В.Лебедева, В.Н.Калякин // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Географ. 2003. № 6. С. 33–40.*

*Гиляров М.С. Методы количественного учета почвенной фауны // Почвоведение. 1941. № 4. С. 48–77.*

*Гиляров М.С., Криволицкий Д.А. Жизнь в почве. Ростов н/Д.: Изд. Ростов. ун-та, 1995. 240 с.*

*Криволицкий Д., Лебедева Н. Распространение почвенных микроартропод птицами // Стрепет: Инф. бюл. 1999. № 4. С. 23–24.*

*Криволицкий Д.А., Лебедева Н.В. Панцирные клещи (Oribatei, Acariformes) в оперении птиц. М.: АВФ, 2003. 68 с.*

*Криволицкий Д.А., Лебедева Н.В., Гаврило М.В. Микроартроподы в оперении птиц Антарктики // Докл. РАН. 2004. Т. 397. № 6. С. 845–848.*

*Лебедева Н.В. Роль гусеобразных в распространении почвенных микроартропод // Успехи совр. биол. 2005. Т. 125. № 2. С. 214–220.*

*Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А. Распространение почвенных микроартропод птицами на островах Арктики // Докл. РАН. 2003. Т. 391. № 1. С. 138–141.*

*Лебедева Н.В., Лебедев В.Д. Почвенные микроартроподы в орнитогенных почвах, гнездах и оперении птиц Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Т. 5. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. С. 417–423.*

*Лебедева Н.В., Лебедев В.Д. Форезия почвенных микроартропод на арктических птицах // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. М.: ГЕОС, 2008. Т. 8. С. 211–214.*

*Лебедева Н.В., Криволицкий Д.А., Лебедев В.Д. Панцирные клещи в оперении птиц Шпицбергена и Новой Земли // Разнообразие беспозвоночных животных на Севере: Тез. докл. II Междунар. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 17–22 марта 2003 г.). Сыктывкар, 2003. С. 42–43.*



Лебедева Н.В., Лебедев В.Д., Мелехина Е.Н. Новые данные о фауне оribатид (Oribatei) Шпицбергена // Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 6. С. 845–849.

Лебедев В.Д. Распространение панцирных клещей (Acari, Oribatei) на островах и побережье Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ставрополь, 2009. 22 с.

Макарова О.Л., Бехер Й. Разнообразие и ареалогия клещей (Acari: Cryptostigmata и Mesostigmata) Гренландии // Виды и сообщества в экстремальных условиях. М.; София: КМК; Pensoft Publ., 2009.

Макарова О.Л., Осадчев А.В., Мельников М.В. Гамазовые клещи (Parasitiformes, Mesostigmata) в гнездах воробьиных птиц на арктическом архипелаге Семь островов, Баренцево море // Зоол. журн. 2010. Т. 89(6). С. 675–681.

Aerial colonization of high Arctic islands by invertebrates: the Diamondback Moth, *Plutella xylostella* (Lepidoptera: Yponomeutidae) as a potential indicator species / S.J.Coulson, I.D.Hodkinson, N.R.Webb et al. // Diversity and Distribution. 2002. V. 8. P. 327–334.

A molecular comparison of plumage and soil bacteria across biogeographic ecological and taxonomic scales / I.-A.Bisson, P.P.Marra, E.H.Burt et al. // Microbial Ecol. 2007. V. 54. P. 65–81.

Behan-Pelletier V. Oribatid mite fauna of northern ecosystems: a product of evolutionary adaptations or physiological constraints? // IX International Acarology Congress. Columbus: Publ. Ohio Biological Survey, 1999. V. 2. P. 87–106.

Coulson S.J. Terrestrial and freshwater invertebrate fauna of the high Arctic Archipelago of Svalbard // Zootaxa. 2007. V. 1448. P. 41–58.

Coulson S.J. Association of the soil mite *Diaterobates notatus* (Acari, Oribatidae) with *Cynomya mortuorum* (Linnaeus, 1761) (Calliphoridae, Calliphorinae): implications for the dispersal of oribatid mites // Intern. J. Acarology. 2009. V. 35. P. 175–177.

Coulson S.J., Birkemoe T. Long-term cold tolerance in Arctic invertebrates recovery after 4 years at below  $-20^{\circ}\text{C}$  // Can. J. Zool. 2000. V. 8. P. 2055–2058.

Coulson S.J., Refseth D. The terrestrial and freshwater invertebrate fauna of Svalbard (and Jan Mayen) // A catalogue of the terrestrial and marine animals of Svalbard. Skrifter 201. Tromsø: Norwegian Polar Institute, 2004. P. 57–122.

Coulson S.J., Hodkinson I.D., Webb N.R. Aerial dispersal of invertebrates over a High Arctic glacier foreland: Midtre Lovénbreen, Svalbard // Polar Biol. 2003. V. 26. P. 530–537.

Darwin Ch. On the origin of species by means of natural selection, on the preservation of favoured races in the struggle for life. London: John Mureay, 1859.

Evans G.O. Principles of Acarology. Wallingford, UK: CAB Intern., 1992. 563 p.

Falla R.A. Oceanic birds as dispersal agents // Proceedings of the Royal Society. London, 1960. V. 152. P. 655–659.

Glacial survival or tabula rasa? The history of North Atlantic biota revisited / C.Brochmann, T.M.Gabrielsen, I.Nordal et al. // Taxon. 2003. V. 52. P. 417–450.

Gwiazdowicz D.J., Coulson S.J. Phoresis of the deutonymphs of *Thinoseius spinosus* (Acari, Eviphididae) on the calliphorid dipteran *Protosphormia terraenovae* on the high Arctic island of Spitsbergen (Svalbard) including a key to deutonymphs of *Thinoseius* // Intern. J. Acarology. 2010. V. 36. P. 233–236.

Insects of the Yukon. Biological Survey of Canada (Terrestrial Arthropods) / H.V.Danks, J.A.Downes (Eds.). Ottawa: ONT, 1997. 1034 p.

Karppinen E. Notes on the Arthropod fauna of Spitzbergen. 2. Data on the Oribatid (Acari) of Spitzbergen // Ann. Entomol. Fenn. 1967. V. 33(1). P. 18–26.

Krivolutsky D.A., Lebedeva N.V. Oribatid mites (Oribatei, Acariformes) in bird feathers: Non-Passerines // Acta Zoologica Lituonica. 2004a. V. 14. P. 26–47.

Krivolutsky D.A., Lebedeva N.V. Oribatid mites (Oribatei) in bird feathers. Part 2. Passeriformes // Acta Zoologica Lituonica. 2004b. V. 14(2). P. 19–38.

*Kulczynski V.* Araneae et Oribatidae. Exped. Ross. Insul. Novo-Sibir., St. Petersburg // Ann. Zool. Acad. Imp. Sci. St. Petersburg, 1908a. V. 7. P. 335–352.

*Kulczynski V.* Araneae et Oribatidae. Exped. Ross. Insul. Novo-Sibir., St. Petersburg // Mem. Acad. Imp. Sci. St. Petersburg, 1908b. V. 8. № 18(7). 97 p.

*Lebedeva N.V., Lebedev V.D.* Diversity of oribatid mites (Acari: Oribatei) and other soil microarthropods in the plumage of raptors // Caucasian Entomological Bull. 2007. V. 3(1). P. 9–18.

*Lebedeva N.V., Lebedev V.D.* Transport of oribatid mites to the Polar areas by birds // Integrative Acarology. L.Vial.: EURAAC Publ., 2008. P. 359–367.

*MacArthur R., Wilson E.O.* The theory of island biogeography. Princeton, N.Y.: Princeton Univ. Press, 1967. 203 p.

New records of mites (Arachnida: Acari) from Sable Island, Nova Scotia, Canada / C.G.Majka, V.Behan-Pelletier, D.Bajerlein et al. // Can. Entomol. 2007. V. 139. P. 690–699.

*Niedbala W.* Oribatei (Acari) of Shpitsbergen // Bull. Acad. Pol. Sci. 1971. V. 11. P. 737–742.

Northwest Svalbard during the last glaciation: ice-free areas existed / J.Y.Landvik, E.J.Brook, L.Gualtieri et al. // Geology. 2003. V. 31. P. 905–908.

*Norton R.A.* Phoretic mites associated with the hermit flower beetle, *Osmoderma eremicola* (Knoch) (Coleoptera: Scarabaeidae) // Amer. Midl. Nat. 1973. V. 90(2). P. 447–449.

*Seniczak S., Plichta W.* Structural dependence of moss population (Acari, Oribatei) on patchiness of vegetation in moss-lichen-tundra at the north coast of Hornsund, West Spitsbergen // Pedobiologia. 1978. V. 18(8). P. 145–152.

*Solhøy T.* *Camisia foveolata* Hammer, 1955 (Acari, Oribatei) found in Norway and on Svalbard // Norw. J. Entomol. 1976. V. 23(1). P. 89.

Survival of saltwater immersion by terrestrial invertebrates. Implications for the colonization of Arctic island / S.J.Coulson, I.D.Hodkinson, N.R.Webb, J.A.Harrison // Functional Ecology. 2002. V. 16. P. 353–356.

*Thor S.* Beiträge zur Kenntnis der Invertebraten Fauna von Svalbard. Skrifter om Svalbard og Ishavet. 1930. № 27. 156 s.

*Trägårdh J.* Beiträge zur Fauna der Baren-Insel // Bihang till K. Svenska Vet.-Akad. Handlingar, 1900. V. 26(4). S. 1–26.

*Trägårdh J.* Monographie der arktischen Acariden. Jena, 1904. 78 s.

*Trägårdh J.* Acari // Report of the Scientific results of the Norwegian expedition to Novaya Zemlya 1921. Oslo, 1928. V. 40. P. 1–11.

УДК (574.583 + 591.524.12) (268.45)

**В.Г.Дворецкий**

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

## **СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООПЛАНКТОНА В БАРЕНЦЕВОМ МОРЕ**

### **Аннотация**

Анализируются результаты исследований планктонных ракообразных Баренцева моря, выполненные ММБИ за последние несколько лет. Изучены пространственные вариации биомассы зоопланктона, особенности протекания жизненного цикла, динамика обилия, биомассы и продукции массового планктонного рачка *Oithona similis* в Кольском заливе, проведено выделение группировок данного вида в Баренцевом море, изучено биологическое разнообразие зоопланктона.

## MODERN INVESTIGATIONS OF ZOOPLANKTON IN THE BARENTS SEA

### Abstract

The paper is devoted to the analysis of research findings of the Barents Sea planktonic crustaceans carried out by the Murmansk Marine Biological Institute in the past few years. Spatial variations of zooplankton biomass, life-cycle specific features, dynamics of abundance, biomass and production of the dominant plankton copepod *Oithona similis* in the Kola Bay and zooplankton biodiversity were studied, as well as groupings of species were singled out for the Barents Sea.

Баренцево море – крупнейшее среди арктических шельфовых морей Северного Ледовитого океана. Оно занимает примерно 30 % всего шельфа Мирового океана. На Баренцево море приходится примерно 49 % первичной продукции арктического шельфа (Food ..., 2006). Баренцево море свободно от льда на протяжении всего года на юге и юго-западе, не подвержено влиянию пресного стока в центре и на севере, его гидрологический режим во многом определяется воздействием вод атлантического происхождения (Matishov et al., 2009). Кроме того, рассматриваемая акватория является крупнейшим арктическим промысловым районом.

Русские ученые интенсивно исследовали планктонные сообщества Баренцева моря, особенно в первой половине XX века (Тимофеев, 2000; Biological ..., 2000). В течение последнего времени (начиная с 1970-х гг.) изучались в основном особенности распределения количественных показателей планктона, формирование зон биопродуктивности, проводилась оценка промысловых запасов рыб. На современном этапе исследования носят комплексный характер – на основе полученных данных строятся модели экосистемы Баренцева моря, оцениваются потоки органического вещества в пелагических и донных сообществах, делаются попытки выявить влияние климата на экосистемные и биоокеанологические процессы (Food ..., 2006; Ecosystem ..., 2009).

**Распределение веслоногих ракообразных у берегов архипелага Новая Земля (август 2006 г.).** Наиболее полно мезозoopланктон Баренцева моря исследован в его южной и юго-западной частях (Дегтерева, 1979; Тимофеев, 2000). Восточный сектор моря изучен хуже, основные сведения были получены о качественном составе и распределении крупных массовых видов копепод (Тимофеев, 1995; Орлова и др., 2004). Район, прилегающий к архипелагу Новая Земля, имеет большое значение с промысловой точки зрения, так как здесь происходит нагул ценных видов рыб. Определяющую роль в формировании кормовой базы ихтиопланктона и молоди рыб играют веслоногие ракообразные, которые составляют основную долю мезозoopланктона в восточной части моря. С другой стороны, zooplankton – это хороший индикатор климатических изменений (Naus et al., 2005). За последние годы отмечено повышение температуры воды в Баренцевом море (Бойцов, 2006), поэтому информация о текущем состоянии мезозoopланктона необходима, чтобы выявить, как потепление сказалось на составе и количественных показателях сообщества.

Пробы zooplankton отбирали при помощи сети Джели (168 мкм) в слое от дна до поверхности или 100–0 м в ходе рейса НИС “Дальние Зеленцы” (рис. 1). Для фиксации применяли 40 %-й раствор нейтрального формалина. Пробы об-

рабатывали по стандартной методике (Руководство ..., 1980). Науплии копепод рассматривали как самостоятельные группы. Численность веслоногих ракообразных пересчитывали на  $1 \text{ м}^2$ . Биомассу вычисляли, используя размерно-весовые зависимости (Richter, 1994) и номограммы (Численко, 1968). Для оценки биоразнообразия применяли индексы Шеннона (Shannon, Weaver, 1963), Менхиника (Menhinick, 1964), Маргалефа (Margalef, 1957) и Симпсона (Simpson, 1943). Математическую обработку данных проводили с использованием методов описательной статистики (Biostatistics ..., 2004). Для сравнения структуры сообщества копепод разных станций использовали метод кластерного анализа (способ парных взвешенных средних) на основе матрицы сходства станций и метод многомерного непараметрического масштабирования (NMDS-метод) (Field et al., 1982). Мерой близости служили коэффициенты Чекановского-Серенсена (Sørensen, 1948), рассчитанные из трансформированных значений (корень 4-й степени) биомассы отмеченных видов. Различия гидрологических показателей и количества копепод между группами станций проверяли при помощи однофакторного дисперсионного анализа.



Рис. 1. Карта района отбора проб в восточной части Баренцева моря в августе 2006 г. Цифры – номера станций

Средняя температура поверхностного слоя (0–50 м) составляла  $3.11 \pm 0.13 \text{ }^\circ\text{C}$ , соленость –  $34.43 \pm 0.02 \text{ ‰}$ . Численность мезозoopланктона изменялась в диапазоне  $4704\text{--}85103 \text{ экз/м}^2$ , биомасса –  $382\text{--}7377 \text{ мг сухой массы на } 1 \text{ м}^2$ . Веслоногие ракообразные вместе с науплиями были доминирующей группой, составляя 79–98 и 61–98 % суммарного обилия и биомассы соответственно (рис. 2). В районе отмечено 12 видов копепод (Dvoretsky, Dvoretsky, 2009a). *Calanus finmarchicus*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus minutus* и *P. acuspes* были наиболее массовыми видами на всех станциях. По биомассе повсеместно преобладали крупные каляниды *Calanus finmarchicus* и *C. glacialis*. На основе кластерного анализа выделено

3 группы станций (рис. 3а), которые слабо различались как по гидрологическим показателям, так и по численности и биомассе копепод, за исключением *Calanus hyperboreus*, *Metridia longa* и *P. minutus*. Вместе с тем, были зарегистрированы достоверные отличия в показателях биоразнообразия сообщества копепод (табл. 1).

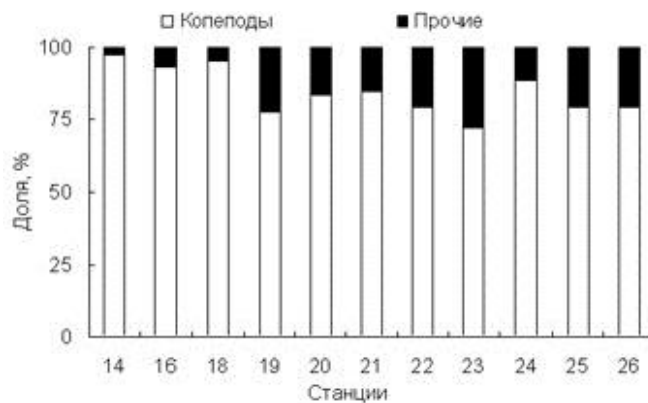


Рис. 2. Относительное обилие мезозoopланктона в районе архипелага Новая Земля в августе 2006 г.

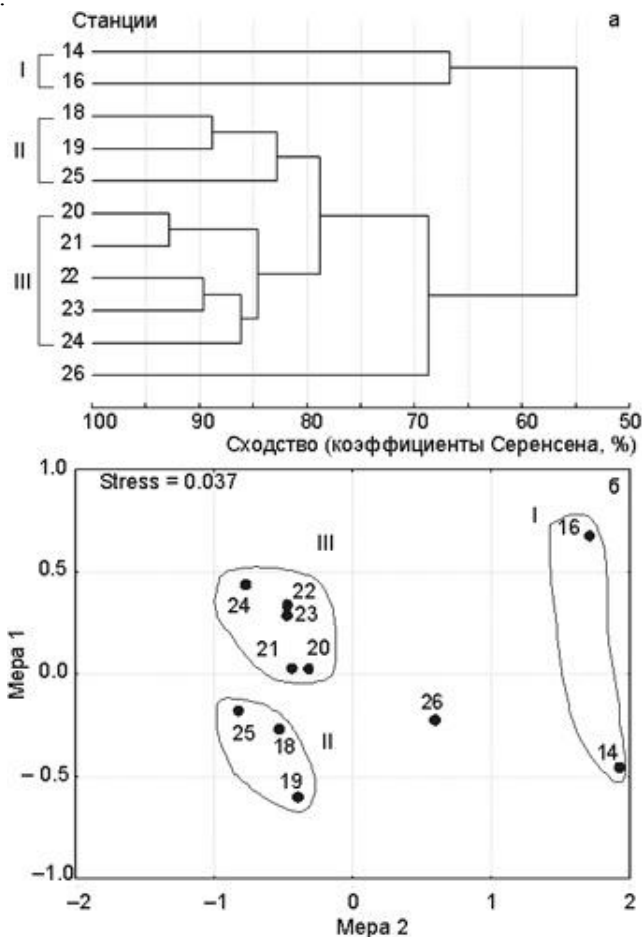


Рис. 3. Результаты кластерного (а) и NMDS-анализа (б) структуры сообщества копепод в районе архипелага Новая Земля в августе 2006 г.

Численность, биомасса копепод, индексы биоразнообразия и гидрологические показатели в пределах каждого кластера и результаты анализа отличий этих параметров в районе архипелага Новая Земля в августе 2006 г.

Вид	Группа I		Группа II		Группа III		Анализ отличий	
	мин	макс	мин	макс	мин	макс	F	P
Численность, экз/м <sup>2</sup>								
<i>Calanus finmarchicus</i>	1903.1	2676.3	5273.5	11997.7	6518.6	40689.7	1.45	0.30
<i>Calanus glacialis</i>	0.0	0.0	1072.9	4464.2	1125.4	5254.8	1.99	0.21
<i>Calanus hyperboreus</i>	0.0	0.0	27.9	130.2	0.0	0.0	4.79	<0.05
<i>Metridia longa</i>	0.0	46.5	55.8	279.0	358.1	2790.2	4.75	<0.05
<i>Microcalanus pusillus</i>	0.0	46.5	0.0	93.0	0.0	1069.6	1.20	0.36
<i>Microcalanus pygmaeus</i>	0.0	186.0	0.0	1302.1	37.2	3255.2	1.27	0.34
<i>Microsetella norvegica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.9	0.44	0.66
Copepoda nauplii	0.0	107.0	0.0	2473.9	0.0	4185.2	1.07	0.39
<i>Oithona atlantica</i>	0.0	186.0	0.0	348.8	0.0	2320.5	1.58	0.27
<i>Oithona similis</i>	1497.4	3311.0	1442.5	7370.7	2729.7	19345.1	3.14	0.11
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	232.5	297.6	734.7	976.6	576.6	3503.4	1.01	0.41
<i>Pseudocalanus minutus</i>	0.0	297.6	1935.7	7386.5	1390.1	4870.5	4.75	<0.05
<i>Spinocalanus abyssalis</i>	0.0	37.2	0.0	0.0	0.0	0.0	2.80	0.13
Общая численность	4596.8	6227.8	10722.1	33747.7	15009.7	75616.5	2.93	0.12
Биомасса, мг сухой массы на 1 м <sup>2</sup>								
<i>Calanus finmarchicus</i>	299.1	446.2	731.8	1383.5	900.5	5102.6	0.93	0.44
<i>Calanus glacialis</i>	0.0	0.0	378.6	1568.4	369.8	1815.2	1.90	0.22
<i>Calanus hyperboreus</i>	0.0	0.0	48.2	272.7	0.0	0.0	4.68	<0.05
<i>Metridia longa</i>	0.0	1.5	0.9	10.0	10.2	67.0	6.89	<0.05
<i>Microcalanus pusillus</i>	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	1.7	1.20	0.36
<i>Microcalanus pygmaeus</i>	0.0	0.3	0.0	2.1	0.1	5.2	1.27	0.34
<i>Microsetella norvegica</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.44	0.66
Copepoda nauplii	0.0	0.1	0.0	2.0	0.0	3.3	1.07	0.39
<i>Oithona atlantica</i>	0.0	0.6	0.0	1.0	0.0	6.8	1.58	0.27
<i>Oithona similis</i>	1.2	2.5	1.1	5.8	2.2	15.3	3.16	0.11
<i>Pseudocalanus acuspes</i>	1.2	1.2	3.6	5.0	2.6	28.8	0.80	0.49
<i>Pseudocalanus minutus</i>	0.0	1.8	18.6	54.2	11.8	28.8	4.73	<0.05
<i>Spinocalanus abyssalis</i>	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	2.80	0.13
Общая биомасса	305.7	450.3	1196.5	3263.9	1477.8	7009.9	1.22	0.35
Гидрологические показатели								
Температура, °C:								
поверхность	2.0	5.8	-0.5	4.8	0.2	4.9	2.88	0.12
дно	0.9	1.9	-1.1	0.7	-1.7	1.6	1.96	0.21
Соленость, ‰:								
поверхность	34.10	34.71	33.85	34.86	34.15	34.82	0.31	0.75
дно	34.68	34.79	34.61	34.92	34.85	34.92	3.44	0.09
Индексы разнообразия								
D <sub>mg</sub>	0.593	0.687	0.647	0.959	0.683	0.852	2.26	0.17
D <sub>mn</sub>	0.088	0.089	0.060	0.068	0.036	0.073	9.07	<0.05
H'	1.004	1.235	1.423	1.733	1.384	1.841	6.94	<0.05
D	0.382	0.448	0.220	0.309	0.201	0.363	5.56	<0.05

ПРИМЕЧАНИЕ. Температура и соленость приведены для поверхностного 50-метрового и придонного 10-метрового слоев. D<sub>mg</sub>, D<sub>mn</sub>, H', D – индексы Маргалефа, Менхеника, Шеннона и Симпсона соответственно.

Кластер (группа) I объединял 2 глубоководные станции, расположенные в южной части разреза. Средняя численность и биомасса копепод в пределах данной группы была в 4–7 и 6–7 раз меньше по сравнению с другими группами. Характерной особенностью первого комплекса было отсутствие *C. glacialis*, *C. hyperboreus* и *Microsetella norvegica*. Массовые виды *O. similis*, *C. finmarchicus* и *Pseudocalanus* spp. были представлены в основном старшими копеподами (85–95 %). Показатели разнообразия здесь были минимальными (табл. 1).

В состав группы II входили 2 мелководные станции центральной и одна глубоководная станция северной части исследованной акватории. Здесь были отмечены самые высокие средние значения обилия и биомассы *P. minutus* и *C. hyperboreus*. В популяциях *Calanus* spp. и *O. similis* доминировали копеподиты (60–85 %), в то время как *M. longa* и *Pseudocalanus* spp. были представлены I–III копеподами (50–60 %).

Группа III включала 5 глубоководных станций в центральной части разреза. В пределах кластера были зарегистрированы максимальные количественные показатели массовых видов веслоногих ракообразных. *Calanus finmarchicus*, *M. longa* и *Pseudocalanus* spp. были представлены младшими копеподами (50–80 %), *C. glacialis* и *O. similis* – копеподами V стадии и взрослыми стадиями (60–100 %). Показатели разнообразия здесь были максимальными (табл. 1).

Самая низкая температура была отмечена на станциях группы III, минимальная соленость была зарегистрирована на станциях группы I.

Станция 26 сильно отличалась от других по составу и количественным показателям. Здесь присутствовали лишь 7 видов, а суммарная биомасса была ниже по сравнению со значениями, отмеченными в пределах кластеров. По этой причине данная станция не была отнесена ни к одной из выделенных групп. NMDS-анализ подтвердил результаты кластерного анализа (рис. 3б).

Средние значения температуры и солености в августе 2006 г. соответствовали среднемноголетним показателям в южной и центральной частях района исследования, однако на севере температура поверхностного слоя была приблизительно на 2 °C больше, чем обычно (Климатический ..., 2004). Поскольку температура во многом определяет количественные показатели планктона (Дегтерева, 1979; Тимофеев, 1997, 2000), мы заключили, что в исследуемый период условия для развития копепод были благоприятными.

Состав сообщества копепод около берегов архипелага Новая Земля в 2006 г. во многом соответствовал предыдущим исследованиям, проведенным в юго-восточной части Баренцева моря и западной части Карского моря (Зеликман, 1961; Тимофеев, 1989). Количество видов копепод во многом зависит от района исследований, биологических сезонов и гидрологических факторов. Так, прибрежные районы, подверженные действию пресного стока, часто характеризуются повышенным видовым богатством. Весной количество видов выше, чем в другие сезоны; наконец, в годы, когда приток атлантических вод усиливается, в планктоне часто отмечаются тепловодные копеподы. Высокая однородность состава копепод в районе Новой Земли связана, скорее всего, с наличием замкнутого круговорота вокруг архипелага (Тимофеев, 1995). Популяционная структура веслоногих ракообразных, отмеченная нами (снижение доли старших копеподитов *C. finmarchicus* и *Pseudocalanus* spp. в направлении с юга на север), свидетельствует о том, что в пределах восточной части моря эти копеподы успешно размножаются. Другие массовые виды (*C. glacialis*, *C. hyperoreus*, *M. longa*), видимо, размножаются в основном в северной части района исследований.

Как и в случае качественного состава, количественные показатели сообщества копепод во многом определяются гидрологическими условиями, распределением водных масс и локальной циркуляцией. В целом, биомасса веслоногих рачков была существенно выше по сравнению с более ранними исследованиями (Дегтерева, 1960; Тимофеев, 1992; The relationship ..., 2005). В теплые годы суммарная биомасса мезозoopланктона в восточной части Баренцев моря существенно возрастает вследствие массового развития крупных копепод рода *Calanus* и *M. longa* (Орлова и др., 2004). Особенностью комплекса копепод в 2006 г.

в районе Новой Земли было доминирование *C. finmarchicus*. Даже в северной части, где обычно преобладает *C. glacialis*, более теплолюбивый вид *C. finmarchicus* преобладал по биомассе. Скорее всего, подобное явление связано с мощным притоком теплых атлантических вод в Баренцевом море в 2006 г. Подобные эффекты были отмечены также в других арктических районах, например, в районе архипелага Шпицберген (The influence ..., 2006). Таким образом, состав, распределение и высокие количественные показатели сообщества веслоногих ракообразных в районе Новой Земли в августе 2006 г., по всей видимости, определялись аномально теплыми условиями исследуемого периода.

**Продукция *Oithona similis* в Кольском заливе Баренцева моря.** В последнее время все большее признание получает тот факт, что роль небольших копепод в трофических цепях пелагиали и формировании вторичной продукции планктона существенно значительнее, чем считалось ранее (Gallienne, Robins, 2001; Turner, 2004). В Баренцевом море наиболее многочисленным представителем планктонных ракообразных можно признать представителя отряда Cyclopoidea *Oithona similis* Claus, 1866. Данный вид в отдельные сезоны может превосходить как по обилию, так и по биомассе *Calanus finmarchicus*. Ее численность высока в течение всего года (в среднем – 500–1000 экз/м<sup>3</sup>), она составляет в отдельные сезоны до 90–95 % зоопланктона (Дворецкий, 2007). Ранее предполагалось, что данный вид является самым многочисленным среди всех пелагических ракообразных Мирового океана в целом (Evans, 1973). Последние работы подтверждают данное предположение (Turner, 2004).

Небольшие размеры делают *O. similis* важным кормовым объектом для личинок рыб, других копепод и эвфаузиид. Кроме того, в холодные годы именно *O. similis* служит основной пищей и для взрослых особей рыб-планктофагов. Ранее в Баренцевом море были изучены вопросы распределения этих рачков в южной и юго-западной частях моря в весенне-летний период (Дворецкий, 2008), выявлены особенности сезонной динамики вида в прибрежной зоне Восточного Мурмана (Фомин, 1978), а также получены некоторые данные о размерном составе популяций в губе Ярнышная (Тимофеев, 1994).

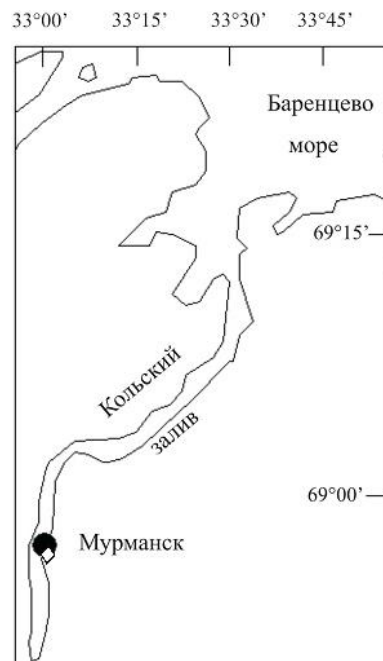


Рис. 4. Карта-схема отбора проб в Кольском заливе, 2004–2005 гг.



Кольский залив – это крупный фьорд Баренцева моря. Исследований особенностей продукционной биологии *O. similis* в нем ранее не проводили. Нами предпринята попытка оценить годовую продукцию *O. similis*.

Пробы зоопланктона были отобраны в Кольском заливе с 2004 по 2005 гг. со стационарной точки, расположенной в южной части залива (рис. 4). В расчетах использовали среднюю температуру для всего обловленного слоя (дно–поверхность). Из каждой пробы отбирали 50–500 экз. *O. similis*. У рачков определяли стадию развития, пол, измеряли длину цефалоторакса с использованием стереоскопического микроскопа МБС-10 (32- и 56-кратное увеличение). Численность стадий *O. similis* пересчитывали на 1 м<sup>2</sup>. В периоды массового размножения вида подсчитывали количество яйценосных самок, у 40–50 особей измеряли яйца в обоих яйцевых мешках и рассчитывали средний диаметр. Общее число размножающихся самок *O. similis* в пробе считали как сумму количества самок с яйцевыми мешками и числа отсоединенных яйцевых мешков, деленного пополам. Численность яиц определяли умножением количества размножающихся самок на размер кладки.

Суммарная суточная продукция в период времени *i* ( $P_i$ ) вычислялась как сумма продукций всех стадий:

$$P_i = P_f + P_c + P_m. \quad (1)$$

Суточную продукцию самок *O. similis* ( $P_f$ , мкгС/м<sup>2</sup> в сутки) получали умножением биомассы самок на удельную генеративную продукцию (SEPR, 1/сут.), которую рассчитывали по уравнению

$$SEPR = EPR \cdot \frac{W_{egg}}{W_f}, \quad (2)$$

где  $W_{egg}$  – содержание углерода яиц,  $W_f$  – масса тела самки, выраженная в углеродных единицах (Sabatini, Kjørboe, 1994):

$$W_f = 9.4676 \cdot 10^{-7} L^{2.71}, \quad (3)$$

где  $L$  – длина тела, мкм.

Скорость индивидуальной продукции яиц *O. similis* (EPR, количество яиц на самку в сутки) рассчитывали исходя из температуры воды и отношения числа яиц (экз/м<sup>2</sup>) к общему числу самок (экз/м<sup>2</sup>) по опубликованной ранее методике (Egg ..., 2002; Ward, Hirst, 2007).

Суточную продукцию копеподитов и самцов *O. similis* ( $P_c$  и  $P_m$ , мкгС/м<sup>2</sup> в сутки) рассчитывали умножением их биомассы на среднюю скорость роста ( $g_c$  или  $g_m$ ). При этом  $g_m$  полагали равной SEPR (Sabatini, Kjørboe 1994; Williams, Muxagata, 2006),  $g_c$  – средняя скорость роста копеподитной стадии, которую считали по уравнению (Hirst, Bunker, 2003):

$$\text{Log}_{10}(g_c) = -1.528 + (0.0333 \cdot T) - 0.136 \cdot \text{log}_{10}(W_c), \quad (4)$$

где  $W_c$  – средняя масса копеподитов, вычисленная по уравнению (3),  $T$  – средняя температура воды, °С. Годовая интегральная продукция рассчитывалась по методу трапеций (Примаков, Бергер, 2007).

Среднесуточную удельную скорость продукции *O. similis* рассчитывали как отношение продукции за промежуток времени между двумя отборами проб к средней биомассе. Обработку полученных данных проводили методами описательной статистики. Все средние значения представлены со стандартной ошибкой (SE).

За период исследований температура поверхностного слоя воды варьировала от –0.5 (в марте) до 14 °С (в августе), в среднем составляя 6.5±0.7 °С. В

придонном слое минимальная температура была зарегистрирована в апреле (2.1 °С), максимальная – в августе (8.7 °С), среднегодовая температура (с марта по февраль) составила  $4.6 \pm 0.3$  °С. На рисунке 5 показана сезонная динамика численности и возрастного состава *O. similis*. С декабря 2004 г. по начало мая 2005 г. общая численность копеподитов и взрослых особей колебалась в небольших пределах (рис. 5а). Минимальная численность отмечалась в марте. С середины мая отмечено массовое размножение *O. similis*, обилие достигало  $4562$  экз/м<sup>2</sup>, в этот период в планктоне доминировали младшие копеподиты (рис. 5б), далее следовал спад численности (Dvoretsky, Dvoretsky, 2009b). С середины июля до середины сентября происходило повышение обилия исследованных стадий до годового максимума  $7541$  экз/м<sup>2</sup>, к концу ноября следовал постепенный спад численности (рис. 5а). Среднегодовая величина обилия составила  $2764 \pm 290$  экз/м<sup>2</sup>. Сезонная динамика суммарной биомассы копеподитных и взрослых стадий *O. similis* характеризовалась наличием двух пиков – в мае ( $1.37$  мгС/м<sup>2</sup>) и сентябре ( $3.29$  мгС/м<sup>2</sup>) (рис. 6). Среднегодовое значение равнялось  $1.25 \pm 0.12$  мгС/м<sup>2</sup> (Дворецкий, Дворецкий, 2009).

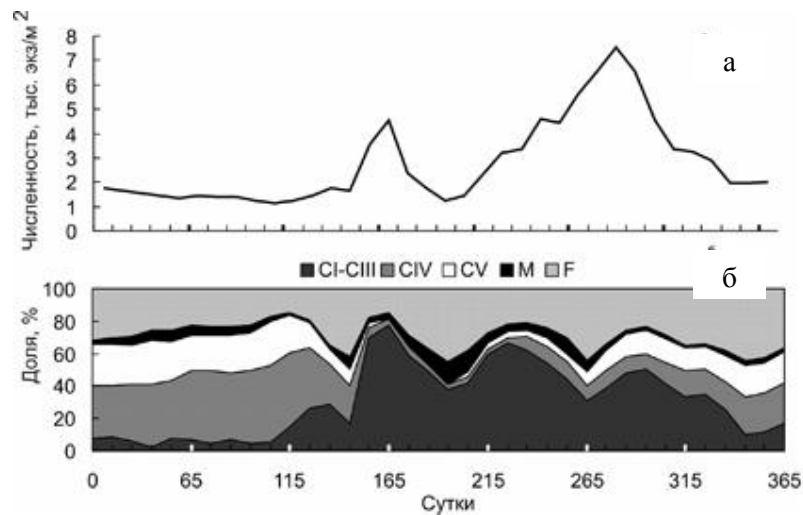


Рис. 5. Сезонная динамика обилия (а) и возрастного состава (б) копеподитов (CI–CV) и взрослых особей (M – самцы, F – самки) *Oithona similis* в Кольском заливе, 2004–2005 гг.

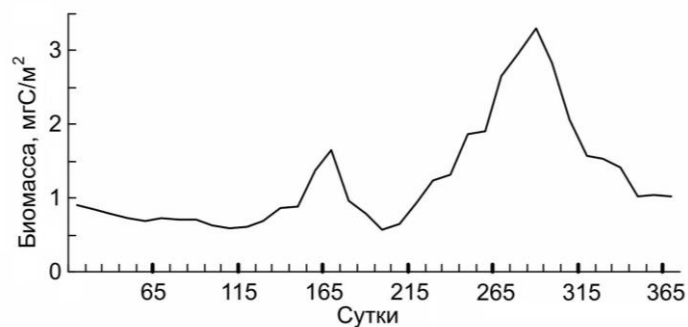


Рис. 6. Сезонная динамика суммарной биомассы копеподитов и взрослых особей *Oithona similis* в Кольском заливе, 2004–2005 гг.

Анализ репродуктивных характеристик *O. similis* показал, что в осенне-зимний период средняя доля размножающихся самок в популяции невелика и, как правило, не превышала 4 %. Максимальные относительные количества самок с яйцевыми мешками были отмечены в конце июня–начале июля (39 %) и в конце августа–начале сентября (28 %). Величина кладки слабо варьировала в течение года ( $12 \pm 0.3$  яиц на один яйцевой мешок). Максимальные показатели скорости индивидуальной продукции яиц *O. similis* (1.703 яйца на самку в сутки) и удельной генеративной продукции (0.0381 сут.) были зарегистрированы в июле.

Вариации среднесуточного уровня продукции старших копеподитов и взрослых особей *O. similis* показаны на рис. 7. В течение периода исследования регистрировалось три пика продукции – в мае, августе и октябре 2005 г. В целом, наиболее низкие значения продукции были отмечены в зимний период (16–30 мкгС/м<sup>2</sup> в сутки). Годовая продукция *O. similis* составила 7181 мкгС/м<sup>2</sup> в год. Если пересчитать полученные показатели на сырую массу (1 мкгС = 0.064 мг сырой массы; Виноградов, Шушкина, 1987), то средние значения годовой продукции, среднесуточной удельной продукции и годового Р/В-коэффициента *O. similis* составляли 14 мг/м<sup>3</sup>, 0.041 1/сут. и 12.0 соответственно.

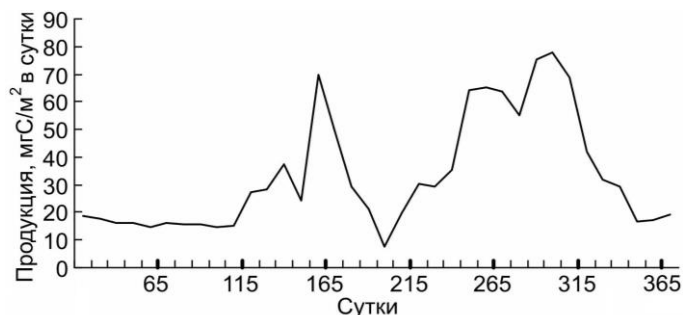


Рис. 7. Сезонная динамика суммарной суточной продукции копеподитов и взрослых особей *Oithona similis* в Кольском заливе, 2004–2005 гг.

Динамика численности популяции (рис. 5) и размеров тела *O. similis* свидетельствует о присутствии двух генераций данного вида в течение года. Летнее поколение рачков проходит свое развитие за 2 мес. (июль–август), тогда как осенняя генерация завершает свое развитие за 9–10 мес. (сентябрь–июнь). Согласно более ранним исследованиям в прибрежной части Восточного Мурмана (южная часть Баренцева моря), у данного вида на фоне общей численности выделялись четыре пика: в июне, сентябре, ноябре и конце декабря (Фомин, 1978). Примечательно, что полученные нами величины численности *O. similis* были ниже по сравнению с другими районами моря (Дворецкий, 2007, 2008). Подобные различия связаны, на наш взгляд, с рядом факторов, наиболее важными из которых являются гидрологические. Наше исследование было проведено в южной части Кольского залива, где динамика приливоотливных процессов существенно отличается от таковой в других прибрежных районах Баренцева моря. Кроме того, соленость в заливе ниже по сравнению с мористыми районами, что может ограничивать количественное развитие *O. similis*, а, следовательно, и снижать ее суммарную биомассу. Косвенным подтверждением нашего предположения служит то, что именно соленость воды лимитирует распространение данного вида в Балтийском море (Spatio-temporal ..., 2004). Отметим, что использованная нами сеть не позволяет количественно улавливать науплиев и

младших копепоидов *O. similis* (Gallienne, Robins, 2001). Следовательно, полученные величины обилия стадий ранних возрастов занижены в нашей работе в несколько раз. Вместе с тем, вклад этих групп в суммарную биомассу вида в зависимости от сезона может быть весьма существенным (Ward, Hirst, 2007).

Ранее было установлено, что в Норвежском море в зависимости от района в 1968–1969 гг. годовая продукция и Р/В-коэффициент *O. similis* варьировали от 0.14 до 3.66 мг сырой массы на 1 м<sup>2</sup> и от 1.52 до 3.66 соответственно (Тимохина, 1974). Столь малые величины, по-видимому, можно объяснить, во-первых, методом расчета (метод Бойсена-Йенсена), который существенно занижает продукцию веслоногих ракообразных, во-вторых, более низкой биомассой *O. similis*. На основе данных 1999–2001 гг. с использованием физиологического метода расчета продукции зоопланктона было найдено, что в губе Чупа Кандалакшского залива годовая продукция популяции *O. similis*, среднесуточная удельная скорость продукции и годовой Р/В-коэффициент составляли 80 мг/м<sup>3</sup>, 0.033 и 12.2 соответственно (Примаков, Бергер, 2007). Сравнение с нашими данными показывает, что величины среднесуточной удельной продукции и годового Р/В-коэффициента *O. similis* практически полностью соответствуют друг другу, тогда как величина годовой продукции вида в Белом море существенно выше. Это связано с тем, что для лова зоопланктона в Белом море (Примаков, Бергер, 2007) применяли тонкоячеистую сеть Джели (80 мкм), которая лучше улавливает ранние стадии *O. similis* (Gallienne, Robins, 2001). В дополнение к этому отметим и разницу в слое отбора проб зоопланктона (7–0 м в Кольском заливе и 60–0 м в губе Чупа).

Определенный интерес представляет сравнение величин продукции *O. similis* в Кольском заливе с другими районами Мирового океана. В Северном море годовая продукция *Oithona* spp. составляла 1.8–2.2 гС/м<sup>2</sup> (Nielsen, Sabatini, 1996). Продукция *Oithona davisae* в порту Фукуяма (Японское море) достигала 650 мгС/м<sup>3</sup> в год, или 4.88 гС/м<sup>2</sup> в год (Uye, Sano, 1998). У берегов Англии (воды Саутгемптона) годовая продукция *Oithona nana* варьировала от 8.64 до 757.22, в среднем составляя 161.75 мгС/м<sup>3</sup> в год (Williams, Muxagata, 2006). Сопоставление показывает, что в умеренных морях продукция близкородственных видов гораздо выше, чем в Кольском заливе, даже несмотря на то, что размеры *O. davisae* и *O. nana* существенно ниже, чем *O. similis* (Шувалов, 1980; Uye, Sano, 1998). По всей видимости, главные причины, которые обуславливают различия в продукции – это температура воды и концентрация пищевых ресурсов (биомасса бактерио-, фито- и микрозоопланктона), которые существенно выше в более южных морях. Общеизвестным считается факт, что именно эти два фактора контролируют скорость развития рачков и, как следствие, их продукцию (Hirst, Bunker, 2003).

**Морфологическая изменчивость *Oithona similis* в Баренцевом море.** Несмотря на то, что распределение численности и биомассы *O. similis* в северных морях изучено достаточно подробно (Прыгункова, 1974; Дегтерева, Нестерова, 1985), морфологическая изменчивость популяций *O. similis* практически не исследована, а для Баренцева моря данных об изменчивости морфологических характеристик *O. similis* нет. Подобная информация позволяет понять механизмы адаптаций пелагических копепод, популяции которых существуют в пределах сильно отличающихся гидрологических условий (Шувалов, 1980). Кроме того, на основе морфологических показателей можно провести выделение отдельных группировок (субпопуляций), т. е. выявить внутривидовую структуру данного вида в арктических водах. Ниже представлен анализ морфологической изменчивости *O. similis* в Баренцевом море.

Зоопланктон был отобран в ходе 11 экспедиций ММБИ в Баренцевом море с 2001 по 2007 гг. на НИС “Дальние Зеленцы” на 208 станциях с июня по август. В рейсах работами были охвачены разные районы, только в комплексных экспедициях в августе 2006 и 2007 гг. материал отбирали по всей акватории моря в поверхностном слое (0–50 м) на стандартных станциях (Dvoretzky, Dvoretzky, 2009c; Дворецкий, Дворецкий, 2010).

Для объединения станций в группы применяли метод кластерного анализа гидрологических характеристик (температура и соленость в 50-метровом слое), мерой сходства служило Евклидово расстояние, рассчитанное по способу взвешенных групповых средних. Станции были объединены в 4 группы, соответствующие следующим районам Баренцева моря: Ю – южный (включая Кольский залив) (высокая температура и средняя соленость, прибрежные водные массы), ЮВ – юго-восточный (Печорское море) (средняя температура и относительно низкая соленость, печорская и баренцевоморская водные массы), ЦВ – центральный и восточный (средняя температура и высокая соленость, баренцевоморские водные массы), ССВ – северный и северо-восточный (низкая температура воды и средняя соленость, арктические водные массы). Для исследования морфологической изменчивости из материала каждой зоны Баренцева моря отбирали по 50–100 экз. половозрелых самцов и самок. Проводили измерение общей длины тела ( $L$ ) от лба (рострума у самок) до конца фурки. В качестве показателей морфологической изменчивости были выбраны: а) общая длина антеннул ( $L_a$ , мкм); б) количество щетинок на антеннулах ( $N^s$ ); в) общая длина щетинок ( $L_s$ , мкм) – сумма длин щетинок на обеих антеннулах ( $L_{S_1}$ , мкм); г) относительная длина антеннул ( $L_a:L$ , %) – отношение длины антеннул в длине тела рачка; д) относительная длина щетинок ( $L_s:L_a$ , %) – отношение длины щетинок к длине антеннул. Измерения проводили при помощи микроскопа ЛОМО ЕС БИМАМ Р-11-1, оборудованного видеокамерой JVC ТК-С1380. Точность измерения составляла 0.1 мкм.

Математическую обработку данных вели методами описательной статистики и кластерного анализа, сравнение средних проводили при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни. Для выявления взаимосвязей факторов среды и морфологических показателей были использованы средневзвешенные значения температуры и солености воды в слое 50–0 м, рассчитанные для каждой станции. В зависимости от структуры биотопа вид может существовать как самостоятельные, пространственно разделенные популяции, как громадные однородные суперпопуляции или как не полностью изолированные субпопуляции, в разной мере взаимодействующие друг с другом (Беклемишев, 1969). В нашей работе мы следуем последней формулировке.

Распределение этого вида по размерным классам варьирует в зависимости от района Баренцева моря (рис. 8). В южной части большая часть самцов отмечена в размерном классе 625 мкм (30.1 %), среди самок преобладали особи с длиной тела 775 (19.0 %) и 825 мкм (16.3 %). В Печорском море (юго-восточная часть) превалировали самцы с длиной тела 575 мкм (32.2 %) и самки с длиной тела 825 мкм (21.6 %). Размерные спектры особей в данном районе не перекрываются. В центральной и восточной частях акватории самцы были равномерно распределены по трем размерным классам (675, 700 и 725 мкм), на долю которых приходилось 73.9 % особей. Среди самок преобладали рачки с длиной тела 825 мкм (27.8 %). В северной и северо-восточной частях моря большая часть самцов принадлежала к размерному классу 750 мкм (25.1 %), самок – 850 мкм (26.1 %).

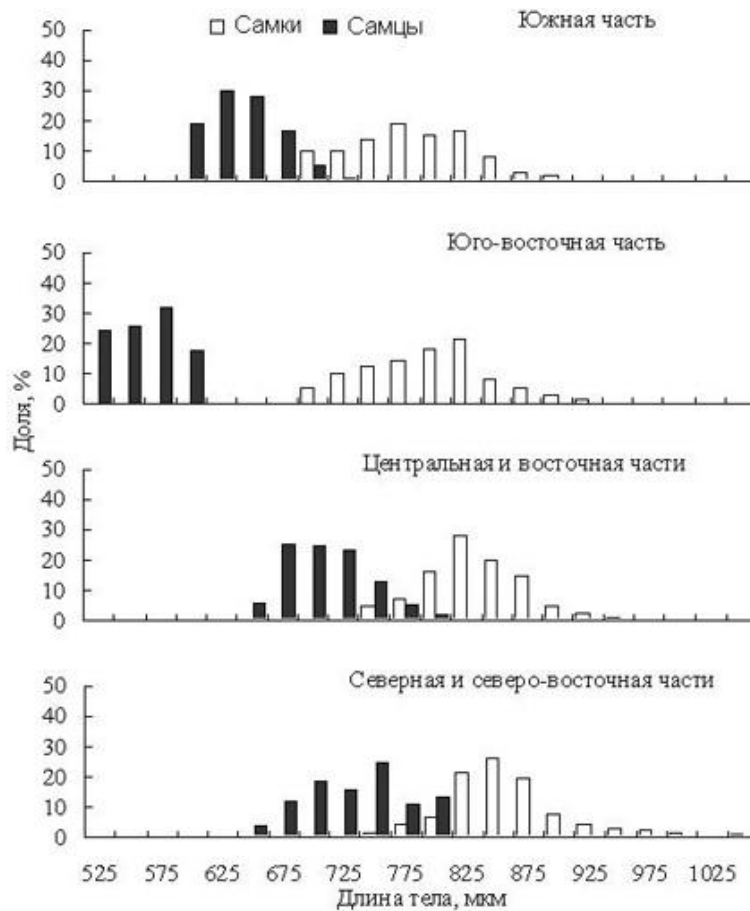


Рис. 8. Размерная структура самцов и самок *Oithona similis* в различных районах Баренцева моря

Средняя длина тела особей обоих полов повышается в широтном направлении с юга на север (табл. 2), при этом у самцов средняя длина тела была наименьшей в юго-восточном районе. При парном сравнении длины тела рачков в каждом из районов во всех случаях установили значимые отличия наблюдаемых показателей ( $p < 0.001$ ). Длина тела самок была достоверно больше, чем у самцов ( $p < 0.001$ ).

Т а б л и ц а 2

Вариации длины тела *Oithona similis* в Баренцевом море, мкм

Район	Самки				Самцы			
	мин–макс	среднее	SD	Me	мин–макс	среднее	SD	Me
Южная часть	650–975	783	53.6	775	600–725	640	29.5	650
Юго-восточная часть	700–925	795	51.6	800	525–600	561	26.0	550
Центральная и восточная части	750–1050	833	41.6	825	650–800	709	34.6	700
Северная часть	750–1050	858	51.1	850	650–800	733	42.2	750

ПРИМЕЧАНИЕ. SD – стандартное отклонение, Me – медиана.

В Баренцевом море длина антеннул как самцов, так и самок варьировала в разных районах. Наибольшая средняя длина отмечена у *O. similis* из южной части Баренцева моря (Кольский залив), наименьшая – из северной (архипелаг Земля Франца-Иосифа). Прослеживается четкое уменьшение суммарной длины антеннул в широтном направлении с юга на север (табл. 3). Для самок не было установлено достоверных отличий в длине антеннул при сравнении этих показателей в районах ЮВ и ЦВ ( $p = 0.067$ ), у самцов – при сравнении районов ЦВ и ССВ ( $p = 0.642$ ), в остальных случаях отличия были достоверны ( $p < 0.001$ ).

Т а б л и ц а 3

Вариации морфологических показателей *Oithona similis* в Баренцевом море

Показатель		Южная часть	Юго-восточная часть	Центральная, восточная части	Северная, северо-восточная части
Самцы					
$L_a$ , мкм	Мин–макс	812–924	784–896	728–896	700–812
	$\bar{x} \pm SE$	864.2±3.4	830.4±3.2	806.6±4.5	785.8±3.6
	Медиана	860	820	820	800
$N_s$ , шт.	Мин–макс	32–40	30–40	30–40	30–36
	$\bar{x} \pm SE$	36.8±0.4	36.3±0.6	34.1±0.3	33.6±0.2
	Медиана	36	36	34	34
$L_s$ , мкм	Мин–макс	64.2–72.0	64.2–71.2	59.4–70.2	59.4–79.2
	$\bar{x} \pm SE$	68.2±0.8	67.4±0.4	65.4±0.3	64.0±0.3
	Медиана	68	65.4	66.3	64.2
$L_a:L$ , %	Мин–макс	134.6–147.6	144.6–163.8	108.8–122.6	96.0–120.0
	$\bar{x} \pm SE$	14.6±0.4	157.6±0.3	114.2±0.6	109.4±0.8
	Медиана	141.54	157.58	114.28	110.34
$L_s:L_a$ , %	Мин–макс	6.6–7.5	6.9–7.6	6.8–8.4	7.5–8.4
	$\bar{x} \pm SE$	7.0±0.04	7.3±0.03	7.9±0.06	8.1±0.03
	Медиана	6.98	7.36	8.08	8.09
Самки					
$L_a$ , мкм	Мин–макс	868–980	840–952	756–952	756–868
	$\bar{x} \pm SE$	925.2±4.2	882.6±4.0	811.4±6.6	799.6±3.6
	Медиана	936	880	800	802
$N_s$ , шт.	Мин–макс	30–40	30–40	28–38	28–36
	$\bar{x} \pm SE$	36.4±0.3	36.0±0.4	34.0±0.2	33.8±0.3
	Медиана	38	37	34	34
$L_s$ , мкм	Мин–макс	64.4–66.0	64.0–66.0	63.6–65.2	63.6–65.6
	$\bar{x} \pm SE$	65.0±0.3	64.8±0.2	64.2±0.3	64.6±0.3
	Медиана	65	64.6	64.2	64.8
$L_a:L$ , %	Мин–макс	96.8–132.8	93.8–113.2	85.4–111.1	76.2–104.0
	$\bar{x} \pm SE$	110.8±1.2	105.2±0.9	96.2±0.7	91.4±1.1
	Медиана	110.5	105.3	95	92.08
$L_s:L_a$ , %	Мин.–макс.	7.3–8.8	7.7–8.5	6.8–8.8	7.5–9.0
	$\bar{x} \pm SE$	7.9±0.06	8.1±0.04	8.1±0.06	8.2±0.06
	Медиана	7.91	8.19	8.14	8.27

ПРИМЕЧАНИЕ.  $L_a$  – длина антеннул,  $N_s$  – количество щетинок на антеннулах,  $L_s$  – суммарная длина щетинок,  $L_a:L$  – относительная длина антеннул,  $L_s:L_a$  – относительная длина щетинок,  $\bar{x}$  – среднее, SE – ошибка среднего.

Наибольшее количество щетинок на антеннулах отмечено у особей из южной части моря, а по мере перехода к северным районам отмечалось снижение опушенности антеннул как самцов, так и самок (табл. 3). При этом следует отметить, что количество щетинок у особей обоих полов достоверно не отличалось в близлежащих Ю–ЮВ и ЦВ–ССВ районах ( $p = 0.282$  и  $p = 0.575$  соответственно). Количество щетинок самцов не отличалось от такового у самок во всех исследованных частях Баренцева моря ( $p > 0.5$ ).

Средняя длина щетинок также подвержена географической изменчивости: наибольшие значения данного показателя характерны для южной части Баренцева моря, а наименьшие – для северной (табл. 3). Так же, как и в случае количества щетинок, средняя их длина достоверно не отличалась у особей из соседних районов (Ю–ЮВ и ЦВ–ССВ) независимо от пола рачков. Средняя длина щетинок на антеннулах самцов была достоверно более высокой, чем у самок ( $p < 0.05$ ) во всех районах, кроме ССВ, где данные показатели достоверно не отличались ( $p = 0.675$ ).

Относительная длина антеннул самцов и самок снижалась по мере перехода с юга на север, при этом у самцов наибольшее значение данного показателя отмечено в районе ЮВ, здесь же отмечена наименьшая средняя длина тела самцов. При парном сравнении длины щетинок для каждого случая были получены достоверные отличия данных показателей и для самцов, и для самок ( $p < 0.01$ ).

Относительная длина щетинок, наоборот, незначительно увеличивалась в широтном направлении с юга на север. Для самцов достоверные отличия были получены только при сравнении южной части акватории с каждым из других районов ( $p < 0.005$ ), в остальных случаях относительная длина щетинок достоверно не отличалась ( $p > 0.5$ ). В случае самок сравниваемые показатели достоверно не отличались в ЦВ и ССВ районах ( $p = 0.089$ ), в остальных случаях отличия были достоверны ( $p < 0.001$ ).

В каждом из районов относительная длина антеннул самцов была достоверно выше, чем у самок ( $p < 0.001$ ). Относительная длина щетинок была более высокой у самок ( $p < 0.001$ ), кроме района ССВ, где данные показатели достоверно не отличались у самцов и самок ( $p = 0.182$ ).

Анализ данных показал, что соленость не оказывала статистически значимого влияния на длину тела *O. similis*. Полученные значения морфологических показателей *O. similis* хорошо коррелировали с температурой воды. На рисунке 9 показаны тенденции изменения длины тела, относительной длины антеннул и щетинок самцов и самок *O. similis*. Хорошо прослеживается обратная связь между температурой воды и средней длиной тела. В более холодных районах у рачков наблюдаются более короткие антеннулы, меньшее количество щетинок, более низкая относительная длина антеннул. С повышением температуры, наоборот, происходило увеличение относительной длины щетинок. Соленость оказывала противоположное (но статистически недостоверное) действие по сравнению с температурой воды на морфологические показатели *O. similis*.

Согласно нашим данным, в Баренцевом море размеры самок изменялись в диапазоне 650–1050 мкм. В центральном и северном секторах Баренцева моря были отмечены наиболее крупные особи *O. similis* (до 1050 мкм), а самые мелкие рачки (650–750 мкм) были обнаружены только в южной части, их доля не превышала 35 %. По всей видимости, это самки осенней генерации, которые, как известно, имеют более мелкие размеры, чем весенне-летние особи. Так, например, в Белом море размер первых колеблется от 660–670 до 780–790 мкм,



вторых – от 750–760 до 870–880 (Шувалов, 1964, 1965). В нашем случае можно говорить о наличии внутривидовых групп *O. similis* южного, центрального и северного секторов Баренцева моря. В.С.Шувалов (1972) провел исследования самок *O. similis* из различных мест ареала этого вида. На основе анализа размерного состава и конфигурации тела автором были выделены две формы *O. similis* – атлантическо-беломорская и арктическо-охотоморская. Модальные размеры особей беломорской популяции составляют 700 мкм, североатлантической – 730 мкм, охотоморской – 850 мкм и арктической – 970 мкм. По нашим данным, в южной части Баренцева моря существует популяции *O. similis*, по своим характеристикам занимающие промежуточное положение между мелкой бореальной формой (характерной для Белого моря) и крупной арктической. Это подтверждается их модальными размерами (800–825 мкм), особенностями жизненного цикла и наличием на протяжении года двух генераций. В северной и северо-восточной частях Баренцева моря обитает крупная форма *O. similis* (модальные размеры 850–875 мкм), по своим показателям наиболее близкая к арктическо-охотоморской группировке (Шувалов, 1972). Промежуточное положение занимают популяции восточной и центральной зон Баренцева моря (модальные размеры – 825 мкм). Можно предположить, что выявленные размерно-морфологические группы (формы) различаются и эколого-физиологическими требованиями к окружающей среде, поскольку изменчивость размеров копепод зависит, в первую очередь, от температурного режима (Богоров, 1974) и пищевых условий (Deevey, 1960).

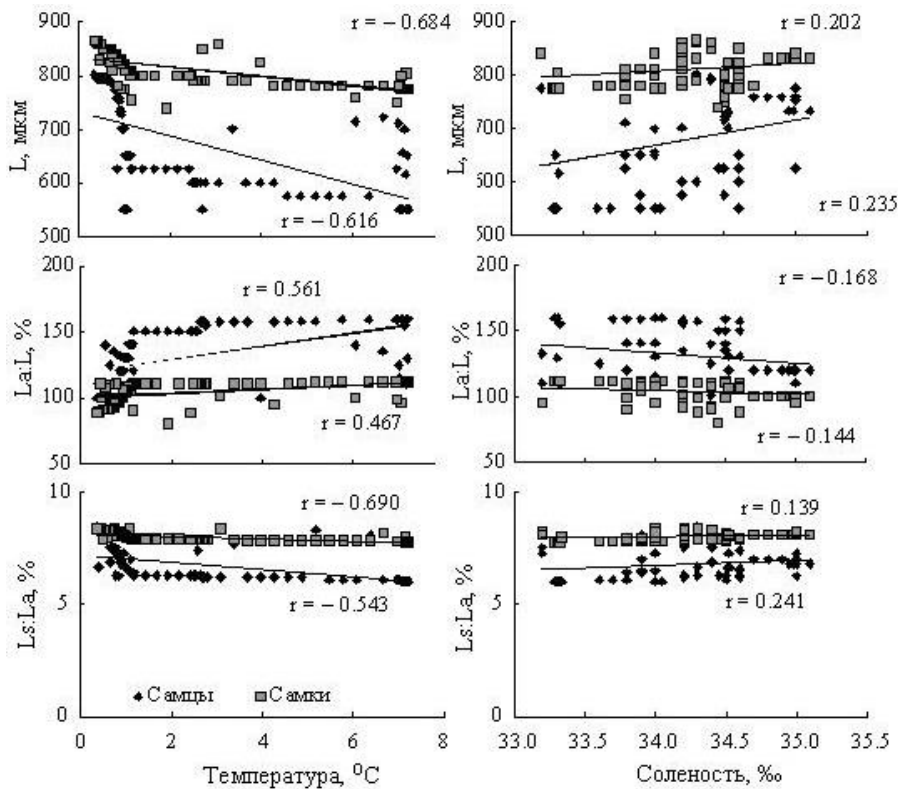


Рис. 9. Зависимость средней длины тела, относительной длины антеннул и щетинок *Oithona similis* от температуры и солености воды в Баренцевом море

Согласно полученным данным, в Баренцевом море хорошо прослеживаются обратные корреляции средней длины тела и температуры воды. Подобная взаимосвязь является типичной для разных видов копепод, например, для *Calanus glacialis* и *C. finmarchicus* (Grainger, 1961), *Pseudocalanus* spp. (Corkett, McLaren, 1978), популяции которых располагаются в пространстве вдоль температурного градиента. При этом общим биологическим механизмом, обеспечивающим возрастание размеров морских ракообразных, считается увеличение размеров клеток у организмов, населяющих местообитания с более низкой температурой воды (Тимофеев, 2000).

По морфологии отдельных структур, конечностей и выростов экзоскелета веслоногих ракообразных накоплен обширный материал (Бродский, 1962; Вышкварцева, 1977), однако в большинстве своем он касается особенностей организации плавательных конечностей, в то время как работ по выявлению изменчивости антеннул практически нет.

Антеннулы *O. similis* у обоих полов одноветвистые, многочлениковые, служат для сохранения положения рачка в воде и несут специальные органы чувств. Основное вооружение антеннул состоит из щетинок, большая часть которых располагается на передневнешнем крае. Кроме них, на конце антеннулы, на последнем членике, располагается группа длинных терминальных щетинок. У самцов Oithonidae обе антеннулы в связи с их функцией при копуляции превращаются в орган хватания (геникулирующие антеннулы) (Шувалов, 1980).

Как было показано, для *O. similis* характерны пространственные вариации абсолютных и относительных показателей длины антеннул и щетинок. Большинство авторов считает, что строение отдельных внешних органов имеет приспособительное значение для морских ракообразных и подвергалось отбору в течение длительного периода времени (McLaughlin, 1979). Немаловажное значение имеет функция того или иного органа. Антеннулы у копепод представляют собой органы, способствующие активному движению, парению, поиску и обнаружению добычи (Landry, 1980). Кроме того, у самцов они играют важную роль при копуляции. Судя по всему, обнаруженные нами вариации в строении и относительной длине антеннул и щетинок имеют адаптивное значение. Для обеспечения плавучести рачков очень важно, чтобы относительная площадь различных выростов была достаточной, чтобы позволять им "парить" в воде, не затрачивая энергию на перемещение из одного слоя в другой (Хворов, 1985). В нашем случае прослеживается тенденция возрастания количества щетинок и их длины, а, следовательно, и суммарной площади такой важной плавательной структуры, как антеннулы. Мы полагаем, что наблюдаемая картина связана с приспособлением *O. similis* к окружающим условиям. Известно, что при увеличении температуры и (или) снижении солености воды происходит понижение ее вязкости, ведущее к ухудшению условий "парения" в толще воды. Наши данные во многом сходны с тем, что наблюдали ранее (Шувалов, 1965, 1972, 1980) в отношении других Oithonidae. На примере близкородственных видов *Oithona atlantica* Farran и *Oithona plumifera* Baird было показано, что в тепловодных районах у *O. atlantica* в направлении с севера на юг по отношению к общей длине тела возрастает длина антеннул, а для *O. plumifera* характерно постепенное нарастание опушенности щетинок на базиподитах плавательных ног и на антеннулах. Кроме того, для *O. similis* установлено, что обтекаемость тела может существенно варьировать в различных зонах ее ареала, при этом определяющая роль также отводится температуре, влияющей на сопротивление водной среды (Шувалов, 1980). Помимо океанологических факторов, определенную роль в формировании морфологиче-

ских различий могут играть играют внутривидовые и межвидовые связи. У копепод, ведущих хищнический образ жизни, захват добычи во многом определяется скоростью передвижения в воде, которая зависит от строения плавательных структур (в том числе и антеннул) (Landry, Fagerness, 1988). Кроме того, было показано, что структуры антеннул играют важную роль в распознавании особей своего вида (Дриц, Семенова, 1984) и потенциальных хищников (Boxshall, Huys, 1998). Однако мы считаем, что роль абиотических условий является определяющей при формировании межпопуляционных отличий в строении морфологических структур, поскольку в одном и том же районе соотношение особей разного пола существенно варьирует, тогда как комплекс факторов среды остается приблизительно постоянным.

Таким образом, можно говорить о том, что морфологически особи *O. similis* из различных частей ареала существенно отличаются по относительной длине антеннул и, особенно, по длине щетинок. В основном это касается тех районов, которые наиболее удалены друг от друга. По всей видимости, основной причиной, обуславливающей наблюдаемые вариации, является температура воды. Выявление роли остальных факторов, в особенности биотических, – задача будущих исследований. Предварительно, на основании анализа изменчивости размеров тела и морфологических структур *O. similis*, в Баренцевом море можно выделить 3 группировки (субпопуляции) рачков, обитающих в южном, центральном и северном секторах моря. Подводя итог, следует отметить, что значение морфологической изменчивости *O. similis* состоит в приспособлении к экологическим условиям среды.

**Таксономическое разнообразие сообществ планктонных ракообразных Баренцева моря.** В качестве материала было использовано более 450 проб, отобранных в Баренцевом море в 1999–2010 гг., а также привлечены литературные источники. Обзор опубликованных данных приведен в работе (Dvoretzky, Dvoretzky, 2010). Это позволяет говорить о наличии в составе зоопланктона Баренцева моря более 374 таксонов животных (Dvoretzky, Dvoretzky, 2010). Список видов, родов и более высоких таксономических рангов животных Баренцева моря включает значительную часть зоопланктеров (более 70 %), зарегистрированных в арктических морях.

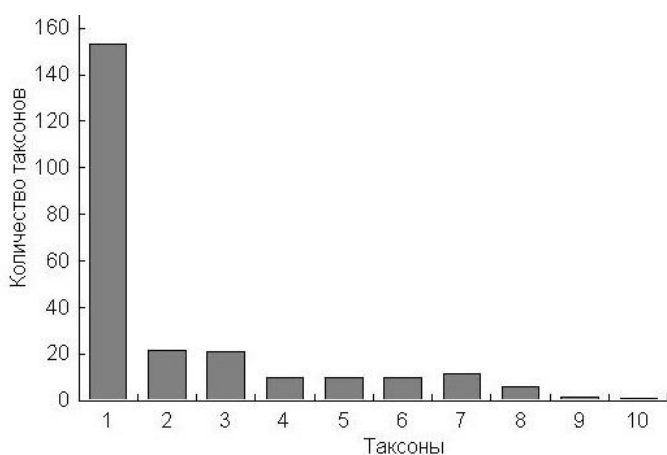


Рис. 10. Разнообразие фауны планктонных ракообразных в пробах из Баренцева моря:  
 1 – Copepoda, 2 – Cladocera, 3 – Decapoda, 4 – Ostracoda, 5 – Amphipoda, 6 – Cirripedia, 7 – Mysidacea, 8 – Euphausiacea, 9 – Cumacea, 10 – Isopoda

Многочелюстные организмы составляют более 89 %. Среди них наибольшего разнообразия достигают ракообразные (247 таксонов, 73.1 %), среди которых доминируют копеподы (рис. 10). Гидробионты с размерами тела 0.5–3 мм (мезозоопланктон) доминируют в составе животного населения (226 таксонов, 59.6 % от общего числа таксонов, или 66.9 % от общего числа таксонов многоклеточных животных). Среди них наиболее широко представлены ракообразные (201 таксон) и кишечнополостные (11 таксонов). Крупные организмы (макрозоопланктон) насчитывают 86 таксонов. Наиболее массовые группы – Crustacea (46 таксонов) и Cnidaria (24 таксона).

Определенный интерес представляет сравнение таксономического богатства Баренцева моря с другими арктическими и субарктическими районами. Согласно опубликованным данным (Pertzova, Kosobokova, 2000), фауна зоопланктона Белого моря включает всего лишь 142 таксона (50 видов ракообразных), что вполне объяснимо, принимая во внимание полузамкнутость данного водоема. В южной части Карского моря, включая бассейны рек, встречается 155 таксонов зоопланктона, включая 86 видов ракообразных (Тимофеев, 2000). Для моря Лаптевых описано около 165 таксонов зоопланктона, из которых более 65 % приходится на Crustacea (Тимофеев, 2000). Порядка 103 таксонов многоклеточного зоопланктона известно для пролива Фрама и Конгс-фьорда, ракообразные составляют около 73 % общего количества видов (Physical ..., 2006). Наблюдаемые отличия могут объясняться двумя основными причинами. Во-первых, разнообразие зоопланктона сильно зависит от условий окружающей среды. Баренцево море характеризуется значительным разнообразием местообитаний – от морских до эстуарных, от холодных арктических вод до теплых атлантических, от олиготрофных до мезотрофных, от покрытых льдом акваторий до свободных на протяжении всего года от льда. В других арктических районах подобного разнообразия внешних условий не отмечено. Во-вторых, фауна зоопланктона некоторых арктических вод (моря Российской Арктики, сибирские моря) исследована гораздо слабее по сравнению с относительно легкодоступными районами, к которым причисляют и Баренцево море.

## Л и т е р а т у р а

- Беклемишев К.В. Экология и биогеография пелагиали. М.: Наука, 1969. 292 с.
- Богоров В.Г. Планктон Мирового океана. М.: Наука, 1974. 320 с.
- Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2006. 292 с.
- Бродский К.А. Опыт биометрического анализа морфологической изменчивости *Calanus pacificus* Brodsky (Copepoda) // Докл. АН СССР. 1962. Т. 142, № 6. С. 1416–1419.
- Виноградов М.Е., Шушкина Э.А. Функционирование планктонных сообществ эпипелагиали океана. М.: Наука, 1987. 240 с.
- Вышкварцева Н.В. Функциональная морфология ротовых конечностей видов *Calanus* s. 1. (Copepoda, Calanoida). II. Функционирование ротового комплекса и питание калянусов // Исследования фауны морей. 1977. Т. 19(27). С. 5–28.
- Дворецкий В.Г. Особенности популяционной структуры *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoidea) в Белом и Баренцевом морях // Докл. РАН. 2007. Т. 414. С. 557–560.
- Дворецкий В.Г. Распределение и репродуктивные свойства *Oithona similis* (Copepoda, Cyclopoidea) в южной части Баренцева моря // Вопросы рыболовства. 2008. Т. 9. С. 66–82.

Дворецкий В.Г., Дворецкий А.Г. Продукция поздних стадий развития *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoidea) в Кольском заливе (Баренцево море) // Тр. Зоол. ин-та РАН. 2009. Т. 313, № 4. С. 397–405.

Дворецкий В.Г., Дворецкий А.Г. Морфологическая изменчивость *Oithona similis* (Copepoda) в Баренцевом море // Вестн. ЮНЦ РАН. 2010. Т. 6, № 1. С. 80–88.

Дегтерева А.А. Особенности развития планктона в Баренцево море в 1958–1959 гг. // Науч.-техн. бюл. ПИНРО. 1960. Вып. 1. С. 14–16.

Дегтерева А.А. Закономерности количественного развития зоопланктона в Баренцевом море // Тр. ПИНРО. 1979. Вып. 43. С. 22–53.

Дегтерева А.А., Нестерова В.Н. Распределение зоопланктона в открытых частях Баренцева моря // Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1985. С. 149–160.

Дриц А.В., Семенова Т.Н. Экспериментальное исследование питания *Oithona similis* Claus // Океанология. 1984. Т. 24, № 6. С. 1003–1008.

Зеликман Э.А. К планктической характеристике юго-восточного сектора Баренцева моря (по материалам августа 1958 г.) // Гидрологические и биологические особенности прибрежных вод Мурмана. Мурманск: Кн. изд-во, 1961. С. 39–58.

Климатический атлас морей Арктики 2004. Ч. I. База данных Баренцева, Карского, Лаптевых и Белого морей – океанография и морская биология / Г.Г.Матишов, А.Н.Зуев, В.А.Голубев и др. Вашингтон: Silver Spring, MD, 2004. 148 с.

Орлова Э.Л., Бойцов В.Д., Ушаков Н.Г. Условия летнего нагула и роста мойвы Баренцева моря. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2004. 198 с.

Примаков И.М., Бергер В.Я. Продукция планктонных ракообразных в Белом море // Биол. моря. 2007. Т. 33. С. 356–360.

Прыгункова Р.В. Некоторые особенности сезонного развития зоопланктона губы Чупа Белого моря // Исследования фауны морей. 1974. Т. 13(21). С. 4–55.

Руководство по методам гидробиологического анализа морской воды и донных отложений / Под ред. А.В.Цыбань. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 191 с.

Тимофеев С.Ф. Архитектоника пелагиали Карского моря // Экология и биоресурсы Карского моря. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. С. 86–93.

Тимофеев С.Ф. Зоопланктон // Международная (американо-норвежско-российская) экологическая экспедиция в Печорское море, на Новую Землю, Колгуев, Вайгач и Долгий. Июль 1992 г. (НИС “Дальние Зеленцы”). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1992. С. 14–21.

Тимофеев С.Ф. Зоопланктон губы Ярнышной (Баренцево море) в летний период (июль–август 1987 г.) // Гидробиологические исследования в заливах и бухтах северных морей России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1994. С. 19–31

Тимофеев С.Ф. Зоопланктон прибрежных вод // Среда обитания и экосистемы Новой Земли (архипелаг и шельф). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1995. С. 59–65.

Тимофеев С.Ф. Зоопланктон Баренцева моря // Планктон морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 266–295.

Тимофеев С.Ф. Экология морского зоопланктона. Мурманск: Изд. МГПИ, 2000. 216 с.

Тимохина А.Ф. Продукция зоопланктона в Норвежском море в 1968–1969 гг. // Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна. 1974. Вып. 21. С. 65–73.

Фомин О.К. Некоторые динамические характеристики зоопланктона в прибрежье Мурмана // Закономерности биопродукционных процессов в Баренцевом море. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1978. С. 72–91.

Хворов С.А. Плавуемость и гидростатические адаптации планктона: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Севастополь, 1985. 26 с.

Численко Л.Л. Номограммы для определения веса водных организмов по размерам и форме тела. Л.: Наука, 1968. 106 с.

Шувалов В.С. Сезонная изменчивость размеров *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) в Белом море // Материалы рыбохозяйственных исследований Северного бассейна. 1964. Вып. 4. С. 68–72.

Шувалов В.С. Сезонная изменчивость размеров и некоторые особенности биологии *Oithona similis* Claus (Copepoda, Cyclopoida) в Белом море (Кандалакшский залив) // Океанология. 1965. Т. 5, вып. 2. С. 338–347.

Шувалов В.С., Географическая изменчивость некоторых видов сем. Oithonidae (Copepoda, Cyclopoida) // Географическая и сезонная изменчивость морского планктона. Л.: Наука, 1972. С. 146–160.

Шувалов В.С. Веслоногие рачки-циклопоиды семейства Oithonidae Мирового океана. Л.: Наука, 1980. 198 с.

*Biological atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas* / G.Matishov, P.Makarevich, S.Timofeev et al. NOAA Atlas NESDIS 39. U.S. Government Printing Office, Washington, 2000. 348 p.

*Biostatistics. A methodology for the health sciences* / G.Belle van, L.D.Fisher, P.J.Heagerty et al. Hoboken, New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc. 2004. 887 p.

Boxshall G.A., Huys R. The ontogeny and phylogeny of copepod antennules // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci. 1998. V. 353. P. 765–786.

Corkett C.J., McLaren I.A. The biology of *Pseudocalanus* // Adv. Mar. Biol. 1978. V. 15. P. 1–231.

Deevey G.B. Relative effects of temperature and food on seasonal variations in length of marine copepods in some eastern American and Western European Waters // Bull. Bingham Oceanogr. Coll. New Haven. 1960. V. 17. Pt. 2. P. 54–86.

Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Summer mesozooplankton distribution near Novaya Zemlya (eastern Barents Sea) // Polar Biol. 2009a. V. 32. P. 719–731.

Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Life cycle of *Oithona similis* (Copepoda: Cyclopoida) in Kola Bay (Barents Sea) // Mar. Biol. 2009b. V. 156. P. 1433–1446

Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Morphological plasticity in the small copepod *Oithona similis* in the Barents and White Seas // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2009c. V. 385. P. 165–178.

Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Checklist of fauna found in zooplankton samples from the Barents Sea // Polar Biol. 2010. V. 33. P. 991–1005.

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

Egg hatching rate of the cyclopoid copepod *Oithona similis* in arctic and temperate waters / T.G.Nielsen, E.F.Møller, S.Satapoomin et al. // Mar. Ecol. Prog. Ser. 2002. V. 236. P. 301–306.

Evans F. The permanent zooplankton of Northumberland coastal waters // Proc. Univ. Newc. Philos. Soc. 1973. V. 2. P. 25–68.

Field J.G., Clarke K.R., Warwick R.M. A practical strategy for analyzing multi-species distribution patterns // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1982.V. 8. P. 37–52.

Food webs and carbon flux in the Barents Sea / P.Wassmann, M.Reigstad, T.Haug et al. // Prog. Oceanogr. 2006. V. 71. P. 232–287.

Gallienne C.P., Robins D.B. Is *Oithona* the most important copepod in the world's oceans? // J. Plankton Res. 2001. V. 23. P. 1421–1432.

Grainger E.H. The copepod *Calanus glacialis* Jaschnov and *Calanus finmarchicus* (Gunnerus) in Canadian arctic-subarctic waters // J. Fish. Res. Board Can. 1961. V. 18. P. 663–678.

Hays G.C., Richardson A.J., Robinson C. Climate change and marine plankton // Trends Ecol. Evol. 2005. V. 20. P. 337–344.

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. V. 48. P. 1988–2010.

- Landry M.R.* Detection of prey by *Calanus pacificus*: implications of the first antennae // *Limnol. Oceanogr.* 1980. V. 25, № 3. P. 545–549.
- Landry M.R., Fagerness V.L.* Behavioral and morphological influences on predatory interactions among marine copepods // *Bull. Mar. Sci.* 1988. V. 43. P. 509–529.
- Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V.* Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // *Oceanologia.* 2009. V. 51. P. 321–340.
- Margalef R.* Information theory in ecology // *Gen. Syst.* 1957. V. 3. P. 37–71.
- McLaughlin P.A.* Comparative morphology of recent Crustacea. San Francisco: W.H. Freeman and Co, 1979. 177 p.
- Menhinick E.F.* A comparison of some species-individuals diversity indices applied to samples of field insects // *Ecology.* 1964. V. 48. P. 392–404.
- Nielsen T.G., Sabatini M.* Role of cyclopoid copepods *Oithona* spp. in North Sea plankton communities // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1996. V. 139. P. 79–93.
- Pertzova N.M., Kosobokova K.N.* Zooplankton of the White Sea. History of investigations and the present state of knowledge – a review // *Berichte zur Polarforschung.* 2000. V. 359. P. 30–41.
- Physical and biological characteristics of the pelagic system across Fram Strait to Kongsfjorden* / H.Hop, S.Falk-Petersen, H.Svendsen et al. // *Prog. Oceanogr.* 2006. V. 71. P. 182–231.
- Richter C.* Regional and seasonal variability in the vertical distribution of mesozooplankton in the Greenland Sea // *Berichte zur Polarforschung.* 1994. V. 154. P. 1–90.
- Sabatini M., Kiørboe T.* Egg production, growth and development of the cyclopoid copepod *Oithona similis* // *J. Plankton Res.* 1994. V. 16. P. 1329–1351.
- Shannon C.B., Weaver W.* The mathematical theory of communication. Urbana: Univ. of Illinois Press, 1963. 45 p.
- Simpson G.G.* Mammals and the nature of continents // *Amer. J. Sci.* 1943. V. 241. P. 1–31.
- Sørensen T.A.* A new method of establishing groups of equal amplitude in plant sociology based on similarity of a species content and its applications to analysis of the vegetation of Danish commons // *Kgl. Dan. Vid. Selsk. Biol. Ser.* 1948. Bd. 5, № 4. S. 1–34.
- Spatio-temporal distribution of *Oithona similis* in the Bornholm Basin (Central Baltic Sea) / F.C.Hansen, C.Mollmann, U.Schutz, H.H.Hinrichsen // *J. Plankton Res.* 2004. V. 26. P. 659–668.
- The influence of advection on zooplankton community composition in an Arctic fjord (Kongsfjorden, Svalbard)* / K.Willis, F.Cottier, S.Kwasniewski et al. // *J. Mar. Syst.* 2006. V. 61. P. 39–54.
- The relationship between plankton, capelin, and cod under different temperature conditions* / E.L.Orlova, V.D.Boitsov, A.V.Dolgov et al. // *ICES J. Mar. Sci.* 2005. V. 62. P. 1281–1292.
- Turner J.T.* The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs // *Zool. Stud.* 2004. V. 43. P. 255–266.
- Uye S.I., Sano K.* Seasonal variations in biomass, growth rate and production rate of the small cyclopoid copepod *Oithona davisae* in a temperate eutrophic inlet // *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 1998. V. 163. P. 37–44.
- Ward P., Hirst A.G.* *Oithona similis* in a high latitude ecosystem: abundance, distribution and temperature limitation of fecundity rates in a sac spawning copepod // *Mar. Biol.* 2007. V. 151. P. 1099–1110.
- Williams J.A., Muxagata E.* The seasonal abundance and production of *Oithona nana* (Copepoda: Cyclopoida) in Southampton Water // *J. Plankton Res.* 2006. V. 28. P. 1055–1065.

УДК 595.384 (268.45)

**А.Г.Дворецкий**

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

## **ИССЛЕДОВАНИЯ КАМЧАТСКОГО КРАБА В ПРИБРЕЖЬЕ БАРЕНЦЕВА МОРЯ**

### **Аннотация**

Анализируются результаты исследований биологии крупного бентосного ракообразного – вида-вселенца, камчатского краба *Paralithodes camtschaticus*, выполненные ММБИ за последние несколько лет. На основе анализа травмированных конечностей выявлен высокий уровень нелегального лова краба, исследованы основные симбионты и обрастатели камчатского краба.

**A.G.Dvoretsky**

## **STUDIES OF THE RED RING CRAB IN THE COASTAL BARENTS SEA**

### **Abstract**

Some biological features of the large benthic crustacean red king crab *Paralithodes camtschaticus*, an invasive species, were investigated based on the data collected by the Murmansk Marine Biological Institute. A high level of illegal crab catching was revealed based on the analysis of limb injuries. The major symbionts and foulers of the red king crab were studied.

В последние десятилетия возросли темпы вселения чужеродных организмов (биологическая инвазия) в водные экосистемы в целом, и морские, в частности. Основными причинами этого являются интенсификация судоходства и нерегулируемый сброс балластных вод судами. Вселение чужеродных видов негативно влияет на биологическое разнообразие, структуру и функционирование водных экосистем, а патогенные организмы и токсические виды водорослей представляют собой прямую угрозу здоровью человека (Gollasch, 2002).

Актуальность этой проблемы в России обусловлена существованием многочисленных гидросооружений, широкой сети водных коммуникаций, больших внутренних водоемов, развитой системы морского транспорта и портов. Все это способствует более свободному обмену фауной и флорой между различными, прежде изолированными или отдаленными друг от друга водными системами.

Другим важным путем вселения новых видов является преднамеренная интродукция.

Особую роль в донных сообществах Баренцева моря играет чужеродный вид – камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), который был завезен в 1960-х гг. Крупные крабы стали регулярно отмечаться в прибрежной зоне с 1974 г. Вселение камчатского краба в Баренцево море было одним из важнейших проектов прикладной науки рыбопромышленного комплекса СССР в середине прошлого века. Программа по вселению ценных в промысловом отношении видов во внутренние водоемы и моря Советского Союза подразумевала перевозку организмов на разных стадиях развития – от икры до взрослых особей (Закс, 1936; Зенкевич, 1940). Повышение биологической продуктивности северных морей за счет акклиматизации в них новых видов, пригодных для широкомасштабного промысла, признавалось важной задачей биологии того периода (Зенкевич, 1940; Ильин, 1954; Орлов, 1996).



Для вселения крупного краба было выбрано Баренцево море, поскольку здесь не было естественных обитателей, которые бы обеспечивали необходимую загрузженность промыслового сектора (Павлов и др., 2011).

В последние годы *Paralithodes camtschaticus* стал активно распространяться за пределы прибрежных вод на север, вплоть до 71°30' с. ш., до Финмаркенской банки на западе и Южного склона Гусиной банки на востоке (Карсаков, Пинчуков, 2009). При этом в восточном направлении граница его распространения достигла о. Колгуев, 51° в. д. В прибрежных водах камчатский краб стал встречаться в Воронке Белого моря (Золотарев, 2010). На современном этапе ресурсный потенциал этого вида в новом месте обитания приблизился к уровню, который позволил открыть его значительный коммерческий промысел (Соколов, Милютин, 2006а).

Появление нового промыслового вида, имеющего высокую рыночную стоимость, можно рассматривать в качестве благоприятного последствия, обусловленного интродукцией камчатского краба в Баренцево море. Например, московские фирмы реализуют конечности камчатского краба разных категорий по следующим оптовым ценам, руб/кг: категория М – 530, L – 950, L2–L3 – 1050, L4–L5 – 1200. Мясо камчатского краба продается по следующим ценам, руб/кг: первая фаланга (мерус) 14–17 см – 1900, вторая фаланга – 1400, колено крупное – 1050, роза “экстра” – 1350, колено мелкое – 850, роза крупная – 1050. В Санкт-Петербурге оптовые цены на крабовую продукцию еще выше.

Помимо финансовой выгоды, которую, несомненно, принесла интродукция *Paralithodes camtschaticus*, следует отметить и другие позитивные моменты от его вселения. В частности, считается, что камчатский краб способен оказать положительное влияние на структуру различных компонентов экосистем и продуктивность прибрежных сообществ за счет более полной утилизации ресурсов пищевых цепей. Пищевая активность краба, таким образом, может в какой-то степени обогащать структуру экологических ниш, повышая биологическое разнообразие донных биоценозов (Кузьмин, Гудимова, 2002).

Отрицательные последствия для прибрежных акваторий Баренцева моря как наиболее уязвимых участков, вызванные вселением камчатского краба, могут быть обусловлены следующими причинами: а) конкуренция с местными видами; б) выедание бентоса; в) снижение продуктивности местных биоценозов при высокой плотности поселения; г) трансформация структуры донных биотопов; д) генетическое заражение; е) появление новых патогенов, паразитов (Кузьмин, Гудимова, 2002; Камчатский ..., 2003; Jørgensen, 2005; Современное ..., 2007; Jørgensen, Primicerio, 2007; Павлова, 2008а,б, 2011; Studies ..., 2010).

В последние годы отмечено снижение промыслового запаса *Paralithodes camtschaticus* в Баренцевом море (Пинчуков и др., 2011). Поэтому исследования биологии данного вида в разных районах его обитания приобретают особую актуальность.

Прежде всего стоит отметить, что за последние годы накоплен значительный материал по распределению и основным биологическим характеристикам камчатского краба в различных районах Баренцева моря (Кузьмин, Гудимова, 2002; Камчатский ..., 2003). Тем не менее, большинство недавних работ, посвященных камчатскому крабу в Баренцевом море, в основном касаются особенностей его биологии на больших глубинах, где основную долю траловых или ловушечных уловов составляют половозрелые особи.

В прибрежье Баренцева моря проводились водолазные исследования по изучению особенностей поведения и пространственной структуры поселений *Paralithodes camtschaticus* (Переладов, 2003), однако они охватывали в основном Западный Мурман. Также следует отметить работу, проведенную специалистами Всероссийского НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО, г. Москва) в 2003 г., в которой изучалось распределение камчатского краба в мелководной зоне Баренцева моря (Соколов, Милютин, 2006а). В прибрежье Мурмана также исследовали симбионтов и обрастателей камчатского краба (Дворецкий, Кузьмин, 2008). Однако приходится констатировать, что до настоящего времени детального анализа биологических особенностей камчатского краба в мелководных районах Восточного Мурмана на основе данных многолетних исследований не проводилось. Для устранения этого пробела с 2002 г. ММБИ ежегодно осуществляет мониторинг камчатского краба Восточного Мурмана на модельной акватории губы Дальнезеленецкая.

Целью работы было исследование динамики ключевых популяционных показателей камчатского краба (половой и размерный состав, морфометрические характеристики, численность), уровня травматизма, а также симбионтов и обрастателей в губе Дальнезеленецкая.

Материал для исследований был отобран в ходе летних береговых экспедиций с 2002 по 2008 гг. Отлов крабов производили при помощи легководолазного снаряжения с глубины 3–40 м.

Биологический анализ крабов выполняли по общепринятым методикам (Руководство ..., 1979). Обработка животных включала измерение, взвешивание, определение пола, личной категории и стадий зрелости самок краба. Все промеры крабов осуществляли штангенциркулем с точностью до 1 мм. Массу определяли взвешиванием каждого экземпляра с точностью до 1 г (электронные весы AND-5000) или с точностью до 0.01 г (весы CAS ME 2100).

Пол крабов определяли путем внешнего осмотра абдомена и его придатков.

Для определения размера наступления половозрелости самцов камчатского краба исходили из предположения, что у самцов различных видов крабов при наступлении половозрелости происходят изменения в аллометрическом росте клешни по отношению к длине карапакса (Hartnoll, 1978). Были определены уравнения роста высоты правой клешни по отношению к длине карапакса (ДК) у заведомо неполовозрелых самцов камчатского краба ( $ДК < 70$  мм) и заведомо половозрелых особей ( $ДК > 130$  мм). Точка пересечения кривых, описывающих полученные уравнения, показывала размер, при котором происходит изменение роста клешни относительно длины карапакса. Этот размер был принят как размер наступления половозрелости самцов камчатского краба (морфометрическая половозрелость). Для более точного расчета использовали результаты промеров 115 самцов с шириной карапакса 169–232 мм, отловленных в районе губы Дальнезеленецкая с глубины 120–180 м при помощи донных ставных ловушек.

Уровень травматизма (%) определяли как отношение крабов, имеющих хотя бы одну поврежденную конечность, к общему числу крабов. Для детального анализа использовали данные с 2003 по 2006 гг.

Обрастателей и симбионтов отбирали с поверхности экзоскелета и из жабр крабов непосредственно после поимки на берегу в лаборатории сезонной биостанции ММБИ. Материал фиксировали в 4 %-м растворе формальдегида для последующего определения.

В качестве характеристик заселенности камчатских крабов симбионтами использовали следующие показатели: экстенсивность заселения – отношение количества хозяев, заселенных симбионтами, к общему количеству исследованных крабов; интенсивность заселения – количество особей симбионтов на каждом заселенном хозяине; средняя интенсивность – отношение общего количества симбионтов в пробах к количеству заселенных хозяев (Parasitology ..., 1997).

Оценку численности камчатского краба проводили методом трансект (Сokolov, Милютин, 2006а). Сбор крабов проводили на одних и тех же трансектах, количество которых варьировало от 12 до 25 в разные годы исследований.

Статистический анализ данных проводили при помощи стандартных методов (Лакин, 1990). Для оценки отличий в соотношении самцов и самок от теоретического уровня 1:1 использовали критерий “хи-квадрат”. Соотношение ширины и длины карапакса (ШК:ДК), длины меруса третьего правого перепопода и отношение длины меруса к ширине карапакса (ДМ:ШК) сравнивали у особей разного пола при помощи критерия Манна-Уитни.

**Биологические особенности камчатского краба.** Размерный состав уловов камчатского краба в губе Дальнезеленецкая показан на рис. 1, из которого хорошо видно, что основную долю проанализированных крабов составляли неполовозрелые особи.

Анализ размерного состава указывает на периодические колебания модальных размерных классов неполовозрелых крабов (рис. 1). Например, в 2003 г. среди самцов *Paralithodes camtschaticus* преобладали особи модального размерного класса 30 мм по ширине карапакса, а в следующем, 2004 г., доминировали особи с шириной карапакса 50 и 60 мм. В 2005 году среди самцов четко различались две возрастные группы особей с модальными размерами 15 мм по ширине карапакса (однолетние крабы), которые доминировали, и особи с шириной карапакса 35 мм (крабы старше двух лет). В 2006 году наблюдалась схожая картина, однако лидирующее положение занимали особи, принадлежавшие к размерному классу 35 мм. В 2007 году среди неполовозрелых самцов также преобладали крабы с шириной карапакса 35 мм, хотя их доля по сравнению с предыдущими годами была значительно выше. В 2008 году в уловах были отмечены только неполовозрелые особи.

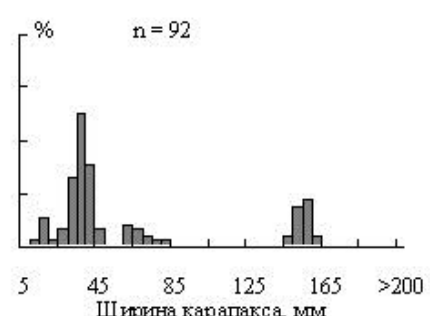
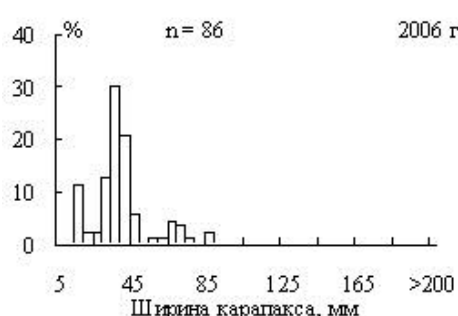
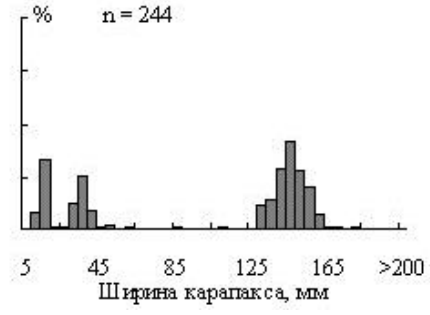
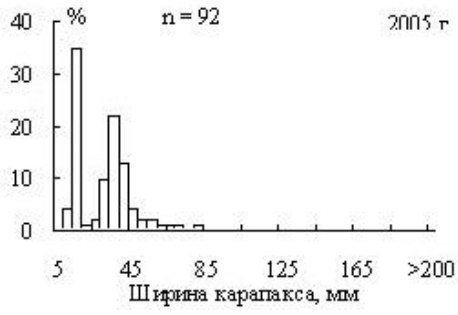
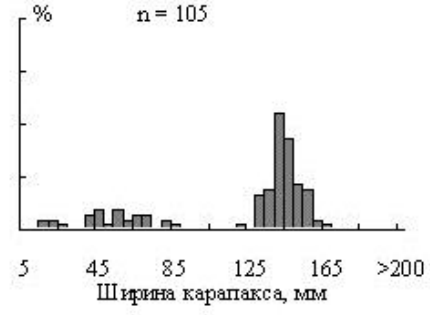
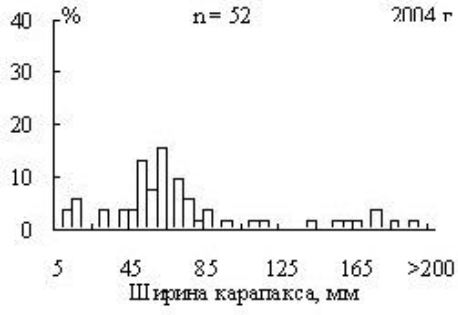
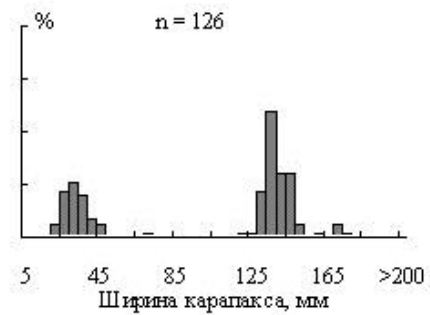
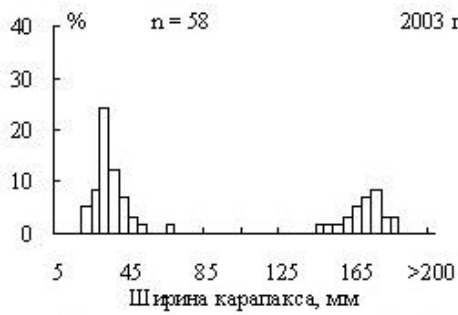
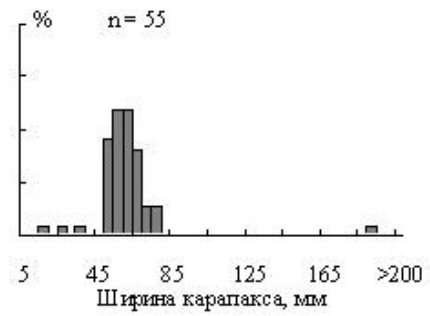
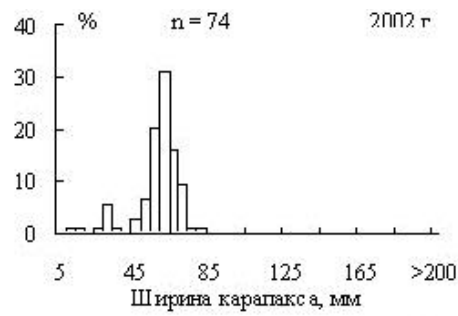
Соотношение полов отличалось у неполовозрелых и половозрелых особей *Paralithodes camtschaticus*. Среди неполовозрелых крабов примерно поровну были представлены самцы и самки, а среди половозрелых особей абсолютно преобладали самки. В отдельные годы крупные самцы в уловах отсутствовали (табл. 1).

Морфометрические показатели проанализированных камчатских крабов из губы Дальнезеленецкая представлены в табл. 2. Максимальный размер самки составил 187.1, самца – 227.0 мм.

Для сравнения полученных данных с результатами исследований камчатского краба в других районах Мирового океана необходимы коэффициенты пересчета морфометрических показателей. Для камчатского краба зависимость между размерными величинами имеет тесный линейный характер (Кузьмин, Гудимова, 2002). Для губы Дальнезеленецкая нами были подсчитаны соответствующие зависимости основных морфометрических показателей друг от друга (табл. 3).

---

Рис. 1. Размерный состав водолазных уловов камчатского краба в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря в летний период 2002–2008 г. (справа – самки, слева – самцы, n – количество проанализированных крабов)



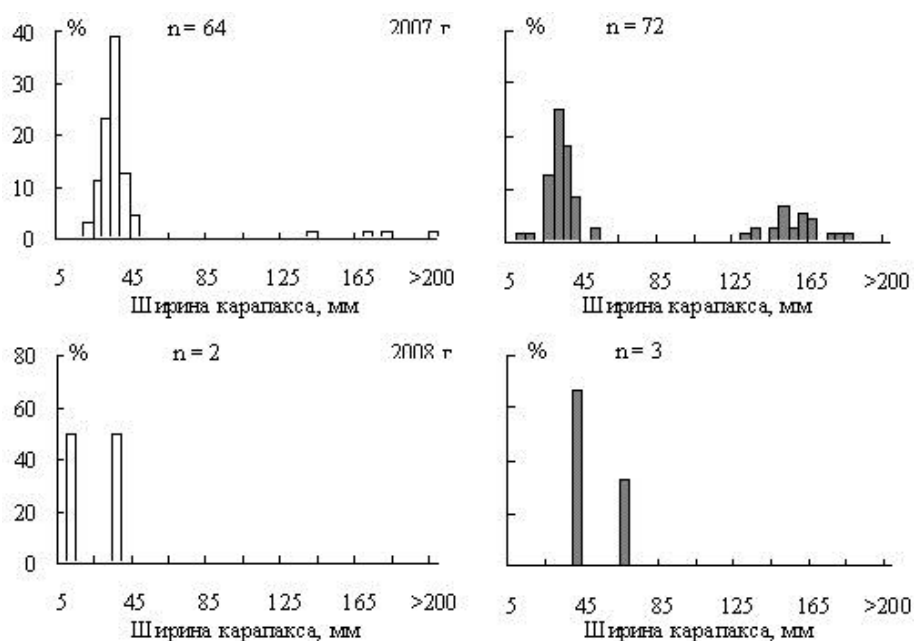


Рис. 1. Окончание

Т а б л и ц а 1

Соотношение полов неполовозрелых (ширина карапакса менее 100 мм) и половозрелых (ширина карапакса более 100 мм) камчатских крабов в губе Дальнезеленецкая в летний период 2002–2008 гг. и сравнение данных с теоретическим распределением 1:1

Год	Неполовозрелые крабы					Половозрелые крабы				
	М	F	М:F	$\chi^2$	p	М	F	М:F	$\chi^2$	p
2002	74	54	1.37	3.13	0.072	0	1	–	–	–
2003	37	45	0.82	0.78	0.269	21	81	0.26	35.29	< 0.001
2004	42	28	1.50	2.80	0.087	10	77	0.13	51.60	< 0.001
2005	92	93	1.00	0.01	0.415	0	151	–	–	–
2006	86	73	1.18	1.06	0.230	0	19	–	–	–
2007	60	50	1.20	0.91	0.251	4	22	0.18	12.46	< 0.001
2008	2	3	0.67	0.20	0.372	0	0	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. М – самцы, F – самки, М:F – соотношения самцов и самок,  $\chi^2$  – значение критерия “хи-квадрат”, p – уровень достоверности отличий от распределения 1:1.

У неполовозрелых особей *Paralithodes camtschaticus* соотношение ширины и длины карапакса ШК:ДК статистически не отличалось у самцов и самок (тест Манна-Уитни,  $p > 0.05$ ). В случае половозрелых крабов соотношение ШК:ДК было достоверно большим у самцов, чем у самок (тест Манна-Уитни,  $p < 0.005$ ).

Длина меруса и отношение длины меруса к ширине карапакса (ДМ:ШК) у неполовозрелых особей самцов и самок достоверно не отличалась ( $p > 0.05$ ), в то время как среди половозрелых крабов наблюдались достоверно более высокие значения длины меруса и соотношения ДМ:ШК у самцов по сравнению с самками (табл. 4).

Т а б л и ц а 2

Размерно-весовые показатели камчатских крабов  
в губе Дальнезеленецкая в летний период 2002–2008 гг.

Показатель	Мин	Макс	Среднее	SD	SE	Медиана
Самцы						
ШК, мм	9.10	227.00	48.33	39.13	1.90	35.55
ДК, мм	9.20	191.00	45.46	33.54	1.63	34.84
ДМ, мм	4.00	178.50	36.03	32.61	1.66	25.72
ПКД, мм	4.50	105.00	17.41	11.76	0.64	15.96
ПКВ, мм	1.84	63.20	12.25	8.31	0.45	10.50
Масса, г	0.38	4972.00	253.06	725.32	35.31	28.35
Самки						
ШК, мм	7.90	187.10	89.56	55.33	2.10	124.75
ДК, мм	8.52	172.60	83.60	50.33	1.91	113.25
ДМ, мм	2.29	197.00	60.73	37.99	1.52	55.30
ПКД, мм	4.60	61.50	31.05	18.04	0.80	22.30
ПКВ, мм	2.40	45.90	22.08	13.11	0.58	17.75
Масса, г	0.20	6182.00	856.84	873.69	33.70	212.00

ПРИМЕЧАНИЕ. ШК – ширина карапакса, ДК – длина карапакса, ДМ – длина меруса III правого перепода, ПКД – длина правой клешни, ПКВ – высота правой клешни, SD – стандартное отклонение, SE – стандартная ошибка среднего.

Т а б л и ц а 3

Линейные зависимости между основными размерными показателями  
камчатского краба в губе Дальнезеленецкая

Самцы			Самки		
Уравнение	R <sup>2</sup>	n	Уравнение	R <sup>2</sup>	n
ДК = 0.8244 ШК + 5.3292	0.9976	541	ДК = 0.9085 ШК + 2.2377	0.9977	694
ШК = 1.2101 ДК – 6.2546	0.9976	541	ШК = 1.0982 ДК – 2.2544	0.9977	694
ДМ = 0.8347 ШК – 3.4638	0.9953	501	ДМ = 0.6787 ШК + 1.4951	0.9795	623
ШК = 1.1925 ДМ + 4.5113	0.9953	501	ШК = 1.4431 ДМ – 0.3675	0.9795	623
ДМ = 1.0116 ДК – 8.701	0.9943	501	ДМ = 0.7461 ДК – 0.0904	0.9799	623
ДК = 0.9829 ДМ + 8.9653	0.9943	501	ДК = 1.3135 ДМ + 1.7561	0.9799	623

ПРИМЕЧАНИЕ. Обозначения см. табл. 2.

Т а б л и ц а 4

Сравнение длины меруса третьего правого перепода и отношения длины меруса к ширине карапакса (ДМ:ШК) у половозрелых самок и самцов камчатского краба в губе Дальнезеленецкая в летний период

Год	Длина меруса, мм				p	ДМ:ШК		
	самки		самцы			самки	самцы	p
	x±SE	медиана	x±SE	медиана		медиана	медиана	
2003	109.8±2.3	111.0	143.2±1.7	142.0	< 0.001	0.703	0.836	< 0.001
2004	104.3±1.9	98.0	139.9±5.8	133.9	0.001	0.690	0.839	< 0.001
2007	107.2±6.9	89.2	145.2±13.6	144.9	0.014	0.665	0.826	0.006

ПРИМЕЧАНИЕ. x – среднее, p – уровень достоверности отличий для критерия Манна-Уитни.

Зависимость высоты клешни от длины карапакса у половозрелых и неполовозрелых самцов камчатского краба, по которой определяли размер наступления морфометрической половозрелости, представлена на рис. 2. Исходя из уравнений роста было найдено, что длина карапакса краба при наступлении половозрелости составляет 81.0 мм, что соответствует ширине карапакса 91.8 мм (расчет по формуле из табл. 3).

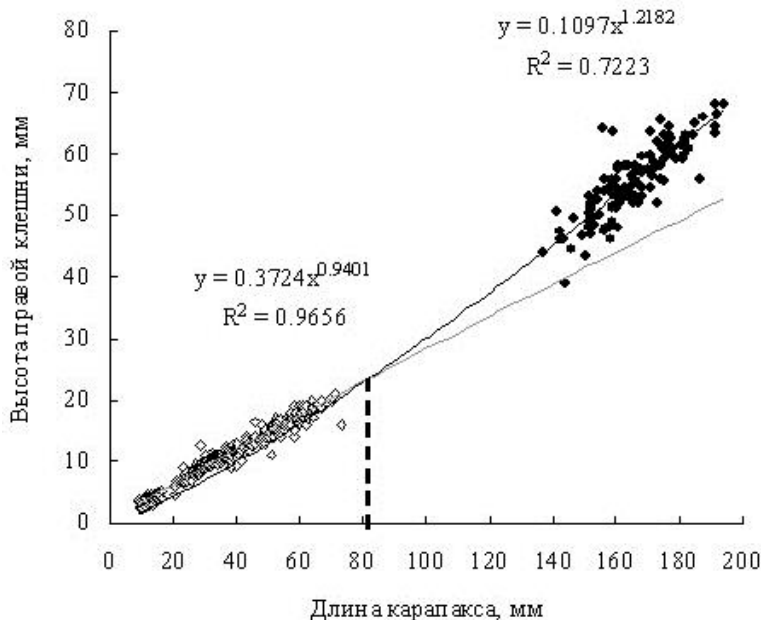


Рис. 2. Рост правой клешни камчатского краба по мере увеличения ширины карапакса у заведомо неполовозрелых (ширина карапакса < 70 мм) и половозрелых (ширина карапакса > 130 мм) самцов камчатского краба в губе Дальнезеленецкая

Рассчитать размер наступления морфометрической половозрелости у самок не удалось из-за небольшого количества особей с шириной карапакса 100–120 мм. Именно при этом размере большинство авторов отмечает 50 %-ю половозрелость самок (Somerton, 1980). Данному размерному классу в ходе наших исследований соответствовало только три самки, и все они несли наружную икру. Минимальный размер икрной самки в губе Дальнезеленецкая составил 108.3 мм по ширине карапакса.

Соотношение в уловах самок *Paralithodes camtschaticus*, несущих икру разных стадий зрелости, представлено на рис. 3. Наиболее часто встречались самки стадии зрелости 1 (икра новая фиолетового цвета), реже – самки с икрой стадии зрелости 1–2 (икра бурая). Самки стадии зрелости 2 (с глазками) были отмечены только в 2004 г.

Наиболее часто в водолазных уловах в губе Дальнезеленецкая попадались крабы с новым экзоскелетом – вторая стадия линьки. Все половозрелые самки с 2002 по 2006 гг. характеризовались именно этой стадией линьки. В 2007 году 13.6 % крупных самок в уловах имели мягкий экзоскелет (первая стадия линьки). Среди неполовозрелых самок отмечены единичные находки особей с экзоскелетом третьей стадии линьки, которая у мелких крабов может быть выделена в большей мере условно.

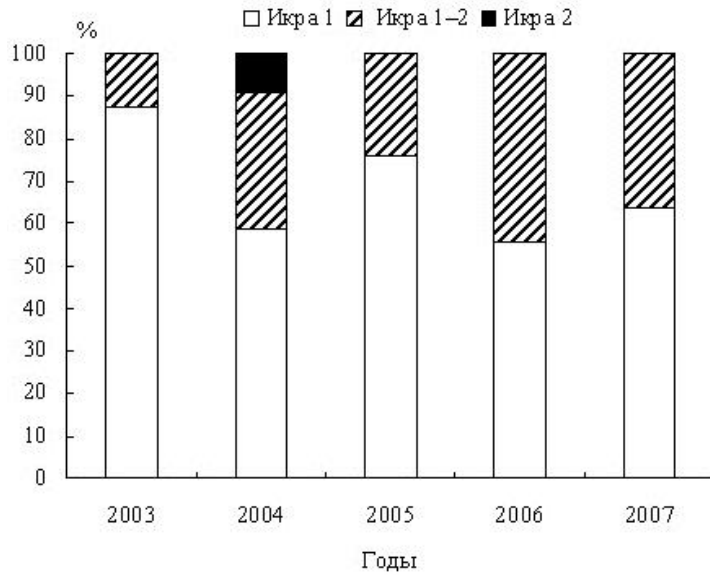


Рис. 3. Частота встречаемости самок камчатского краба с наружной икрой разных стадий зрелости в губе Дальнезеленецкая в летний период 2003–2007 гг.

Преобладали также особи второй стадии личиночного цикла. Их доля могла достигать 100 %, как это было отмечено в 2002 и 2003 гг. В остальные годы в уловах регистрировали особей первой стадии линьки. Их вклад в общую численность колебался в пределах от 2.7 до 10.7 % в 2006 и 2005 гг. соответственно. Среди крупных самцов чаще встречались особи третьей стадии линьки.

Численность камчатского краба в губе Дальнезеленецкая в летний период 2004–2007 гг. колебалась в пределах от 4000 до 7500 экз. (рис. 4). В 2008 году нами было отмечено резкое снижение численности камчатского краба (350 экз.). Как видно из рис. 1, в 2008 г. на стандартных разрезах водолазами было отловлено только 5 неполовозрелых особей.

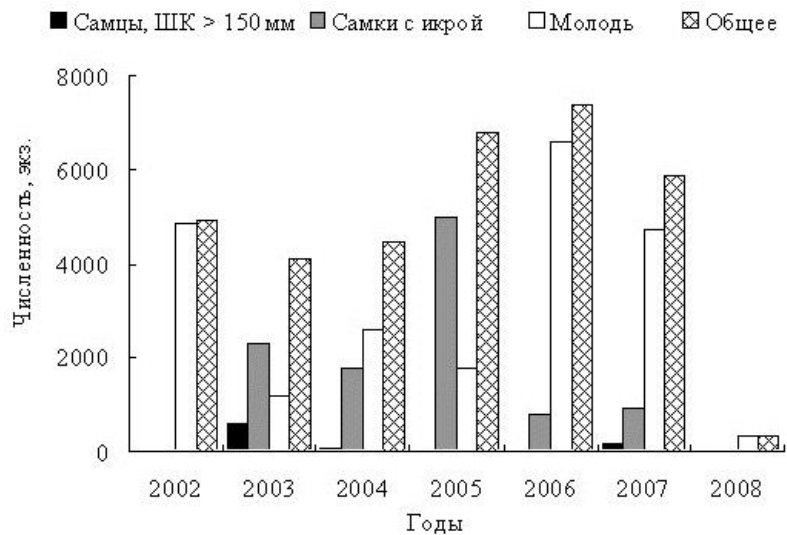


Рис. 4. Динамика численности камчатского краба в губе Дальнезеленецкая в летний период 2002–2008 гг.



Травмированность неполовозрелых крабов в 2003–2006 гг. находилась примерно на одном уровне ( $df = 3$ ,  $\chi^2 = 6.04$ ,  $p = 0.11$ ) (рис. 5), составив в общем 35.7 % (в том числе 16.3 % крабов, имеющих, как минимум, одну полностью отсутствующую конечность). Для половозрелых особей обнаружена тенденция повышения частоты встречаемости особей с поврежденными конечностями от 2003 к 2006 гг. ( $df = 3$ ,  $\chi^2 = 25.879$ ,  $p < 0.001$ ), средний показатель достигал 58.0 % (из них у 30.9 % крабов полностью отсутствовала хотя бы одна конечность).

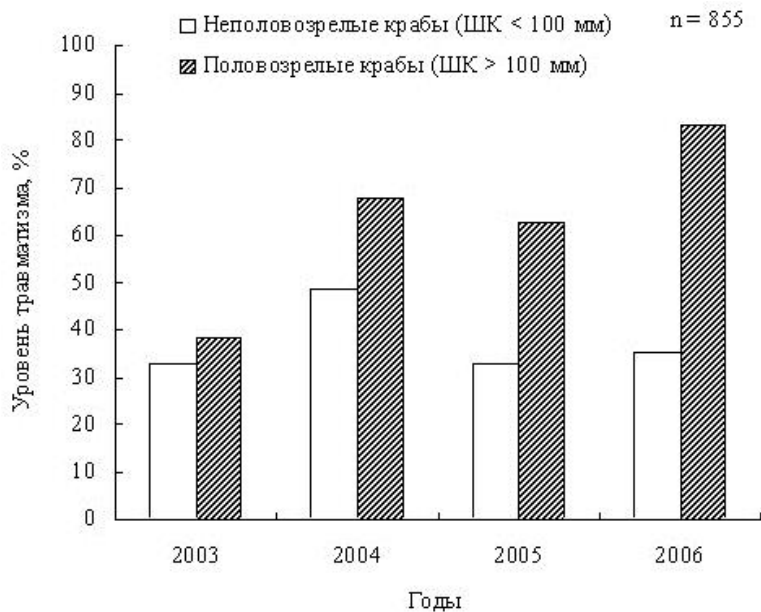


Рис. 5. Уровень травматизма конечностей неполовозрелых и половозрелых камчатских крабов в губе Дальнезеленецкая в 2003–2006 гг. (n – количество проанализированных крабов)

С повышением размеров тела уровень травматизма *Paralithodes camtschaticus* возрастал (рис. 6). Достоверно более высокие уровни травматизма были выявлены в старших размерных классах как для самцов ( $df = 4$ ,  $\chi^2 = 14.91$ ,  $p = 0.049$ ), так и для самок ( $df = 4$ ,  $\chi^2 = 43.97$ ,  $p < 0.001$ ). В то же время уровень травматизма самцов и самок достоверно не отличался в размерных классах с шириной карапакса менее 150 мм ( $df = 1$ ,  $p > 0.05$ ), однако среди наиболее крупных особей с шириной карапакса более 150 мм травмированность самок была достоверно выше, чем самцов ( $df = 1$ ,  $\chi^2 = 11.504$ ,  $p < 0.001$ ).

Анализ распределения повреждений относительно оси тела краба показал, что у неполовозрелых особей все конечности травмируются примерно в равной степени (рис. 7а) как для левой ( $df = 3$ ,  $\chi^2 = 5.544$ ,  $p = 0.136$ ), так и для правой части тела ( $df = 3$ ,  $\chi^2 = 1.618$ ,  $p = 0.655$ ).

У половозрелых особей *Paralithodes camtschaticus* наблюдалось повышение частоты травмированности конечностей от передних к задним (рис. 7б) как для левой ( $df = 3$ ,  $\chi^2 = 28.437$ ,  $p < 0.001$ ), так и для правой стороны тела ( $df = 3$ ,  $\chi^2 = 8.694$ ,  $p = 0.033$ ). У неполовозрелых особей частота повреждения левых конечностей достоверно не отличалась от травмированности правых ( $df = 1$ ,  $\chi^2 = 1.467$ ,  $p = 0.226$ ). У половозрелых крабов конечности правой части тела травмировались чаще, чем левой ( $df = 1$ ,  $\chi^2 = 12.848$ ,  $p < 0.001$ ), а наиболее выраженные отличия обнаружены для клешней ( $df = 1$ ,  $\chi^2 = 10.416$ ,  $p < 0.001$ ).

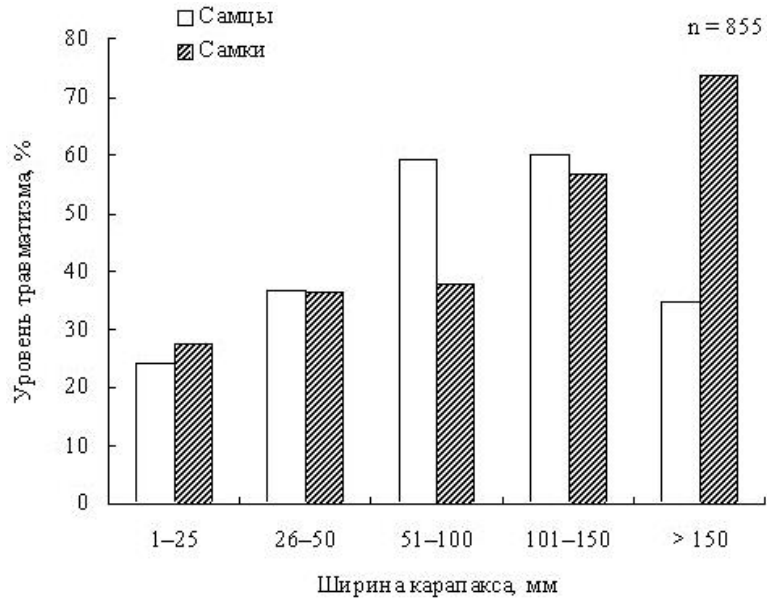


Рис. 6. Уровень травматизма самцов и самок камчатского краба разных размерных групп в губе Дальнезеленецкая в 2003–2006 гг. (n – количество проанализированных крабов)

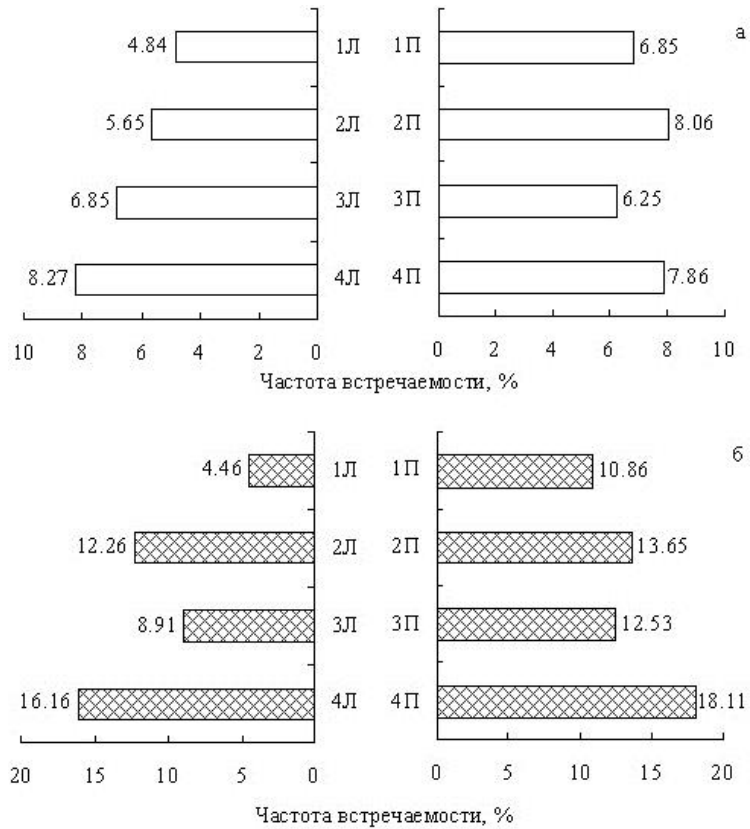


Рис. 7. Количество поврежденных ног вдоль оси тела камчатских крабов в губе Дальнезеленецкая по результатам исследований 2003–2006 гг.:

а – неполовозрелые крабы; б – половозрелые крабы; Л – левая сторона тела, П – правая сторона тела. Цифры на оси ординат указывают порядковый номер конечности

В губе Дальнезеленецкая на глубине 5–40 м на крабах зарегистрировано 43 вида ассоциированных организмов (табл. 5).

Т а б л и ц а 5

Таксономический список организмов, отмеченных на камчатских крабах, и индексы заселенности хозяев ( $\pm$ SE) в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря в 2004–2008 гг.

Таксон	Экстенсивность заселения, %	Средняя интенсивность заселения, экз.
Hydrozoa		
<i>Coryne hincksii</i> Bonnevie, 1898	0.23	–
<i>Gonothyraea loveni</i> (Allman, 1859)	0.23	–
<i>Halecium beanii</i> (Johnston, 1838)	0.46	–
<i>Halecium labrosum</i> Alder, 1859	0.11	–
<i>Halecium marsupiale</i> Bergh, 1887	0.11	–
<i>Obelia geniculata</i> (L., 1758)	3.91	–
<i>Obelia longissima</i> (Pallas, 1766)	4.37	–
Nemertini		
Nemertini g. sp.	0.92	2.4 $\pm$ 0.7
Polychaeta		
<i>Bushiella</i> ( <i>Jugaria</i> ) <i>similis</i> (Bush, 1905)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Chone</i> sp.	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Circeis armoricana</i> Saint-Joseph, 1894	1.38	8.3 $\pm$ 4.5
<i>Eumida sanguinea</i> (Oersted, 1843)	0.69	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Harmothoe imbricata</i> (L., 1767)	2.18	1.8 $\pm$ 0.4
<i>Harmothoe impar impar</i> (Johnston, 1839)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Lepidonotus squamatus</i> (L., 1767)	0.23	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Phyllodoce maculata</i> (Linnaeus, 1767)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
Syllidae g. sp.	0.23	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Typosyllis armillaris</i> (O.F. Müller, 1776)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Thelepus cincinnatus</i> (Fabricius, 1780)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
Hirudinea		
<i>Crangonobdella fabricii</i> (Malm, 1863)	0.46	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Johanssonia arctica</i> (Johansson, 1898)	1.72	1.6 $\pm$ 0.2
<i>Platibdella olriki</i> (Malm, 1863)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
Bivalvia		
<i>Heteranomia scuamula</i> (Linne, 1767)	0.57	1.6 $\pm$ 0.2
<i>Hiatella arctica</i> (Linne, 1767)	0.92	2.4 $\pm$ 0.7
<i>Modiolus modiolus</i> (L., 1758)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Musculus discors</i> (Linne, 1767)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Mytilus edulis</i> Linne, 1758	3.79	2.5 $\pm$ 0.4
Gastropoda		
<i>Margarites</i> sp.	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Mohrensternia</i> sp.	0.23	1.0 $\pm$ 0.0
Amphipoda		
<i>Caprella septentrionalis</i> Krøyer, 1838	0.23	1.0 $\pm$ 0.0
<i>Ischyrocerus commensalis</i> Chevreux, 1900	30.57	53.8 $\pm$ 3.2
<i>Ischyrocerus anguipes</i> Krøyer, 1838	15.29	6.3 $\pm$ 1.0
<i>Gammarellus homari</i> (Fabricius, 1779)	0.92	1.4 $\pm$ 0.3
Cirripedia		
<i>Balanus crenatus</i> Brugiere, 1789	2.87	2.9 $\pm$ 0.5
<i>Balanus balanus</i> (Linne, 1758)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0
Bryozoa		
<i>Doryporella spathulifera</i> (Smitt, 1868)	0.11	–
<i>Crisia denticulata</i> (Smitt, 1865)	0.57	–
<i>Callopora lineata</i> (L., 1767)	1.26	–
<i>Lichenopora hispida</i> (Fleming, 1828)	0.80	–
<i>Lichenopora verrucaria</i> (Fabricius, 1780)	0.11	–
<i>Tricellaria gracilis</i> (Van Beneden, 1848)	0.23	–
<i>Scrupocellaria arctica</i> (Smitt, 1868)	0.57	–
Echinodermata		
<i>Ophiura robusta</i> (Aures, 1851)	0.11	1.0 $\pm$ 0.0

ПРИМЕЧАНИЕ. Интенсивность заселения определяли для неколониальных видов.

На глубине 5–40 м общее количество крабов, заселенных хотя бы одним из отмеченных видов, составило, экз.: 134 в 2004, 62 в 2005, 29 в 2006, 56 в 2007, 3 в 2008 гг. Всего за период исследований на всем диапазоне глубин экстенсивность заселения камчатских крабов в губе Дальнезеленецкая в среднем была достаточно высокой – 35.96 %. Наиболее часто на крабах встречали бокоплавов *Ischyrocerus commensalis* и *I. anguipes*, для которых установлены наибольшие значения индексов заселенности.

**Анализ полученных результатов.** Наблюдаемые полимодальные распределения камчатского краба младших возрастных групп позволяют оценивать темпы роста молоди (Кузьмин, Гудимова, 2002). Для неполовозрелых крабов годовой прирост может быть оценен на уровне 20 мм по ширине карапакса. Так, например, среди самцов в 2003 г. преобладали крабы с шириной карапакса 30 мм, а в 2004 г. – 50 мм. В 2005 году как для самцов, так и для самок мы регистрировали доминирование крабов с модальной шириной карапакса 15 мм, а в следующем 2006 г. превалировали особи с шириной карапакса 35 мм. Наши данные хорошо согласуются с результатами, полученными для камчатского краба Баренцева моря по результатам мечения (Кузьмин, Гудимова, 2002) и аквариальных наблюдений (Дворецкий, 2004; Кузьмин, Дворецкий, 2005).

Наиболее часто в уловах встречались крабы с шириной карапакса 40–60 мм. Ранее подобную закономерность отмечали и другие авторы (Переладов, 2003). Обращает на себя внимание относительно низкая встречаемость неполовозрелых особей с шириной карапакса более 60 мм, что указывает на их высокую смертность. Такая же закономерность была выявлена ранее (Соколов, Милютин, 2006а), что, может быть, связано с изменениями стереотипов оборонительного поведения (Переладов, 2003) или более активными миграциями, которые делают крабов рассматриваемой размерной группы более уязвимыми к прессу хищников, прежде всего трески и зубатки (Соколов, Милютин, 2006б).

Наблюдаемая картина соотношения полов является довольно типичной для камчатского краба в различных районах его обитания (Соколов, Милютин, 2006а). Молодь, как правило, концентрируется в прибрежной зоне в течение всего года (Кузьмин, Гудимова, 2002; Переладов, 2003), в то время как половозрелые особи мигрируют на мелководье в период спаривания, весной (Кузьмин, Гудимова, 2002). Именно в этот период времени обычно не обнаруживают каких-либо значимых отклонений соотношения полов в популяции от теоретического уровня 1:1 (Кузьмин, Гудимова, 2002). Однако впоследствии самцы мигрируют на большие глубины (Кузьмин, Гудимова, 2002), а самки остаются в прибрежной зоне (Переладов, 2003) и перемещаются на значительные глубины осенью (Моисеев, 2006). Сходные особенности распределения крабов, обусловленные миграциями половозрелых особей, регистрировали ранее у берегов Аляски (Takeshita et al., 1990).

Как показали наши исследования, у неполовозрелых крабов не прослеживаются достоверных отличий и в морфометрических показателях особей разного пола, и в соотношении ширины к длине карапакса, что вполне согласуется с данными других авторов (Кузьмин, Гудимова, 2002) и объясняется схожим уровнем роста ювенильных самцов и самок. В случае половозрелых крабов соотношение ШК:ДК было больше у самцов, чем у самок. Действительно, затраты самок *Paralithodes camtschaticus* на размножение достаточно велики, по некоторым данным они составляют более половины среднего энергосодержания тела (Paul, Paul, 1996а). По этой причине на соматический рост они могут тратить

меньше энергии, чем самцы, соответственно рост длины карапакса по отношению к ширине у них замедлен. Подобные тенденции хорошо известны для камчатского краба как в Баренцевом море (Кузьмин, Гудимова, 2002), так и в дальневосточных морях (Клитин, 2003).

В губе Дальнезеленецкая у половозрелых крабов отношение длины меруса к ширине карапакса (то есть относительная длина меруса) было больше у самцов по сравнению с самками. Сходная тенденция наблюдалась у камчатского краба у западного побережья Сахалина (Клитин, 2003). Различия в размерах ходильных ног особей разного пола могут быть обусловлены тем, что самцы совершают миграции чаще и преодолевают большие расстояния во время миграций (Клитин, 2003).

Согласно нашим данным, размер наступления половозрелости самцов камчатского краба составляет 81.0 мм по длине карапакса (91.8 мм по ширине карапакса). Эти показатели существенно ниже тех, что приводятся для норвежской части Варангер-фьорда, где размер половозрелости самцов достигал 110 мм по длине карапакса (Rafter et al., 1996). Полученные нами показатели ниже значений, указанных для камчатского краба, обитающего у берегов Сахалина (Клитин, 2003) и в прибрежных водах Аляски, где длина карапакса половозрелых самцов составляла около 90–100 мм (Gray, Powell, 1966).

Более поздние исследования, основанные на использовании морфометрических данных, показали, что в Беринговом море размер, при котором 50 % самцов *Paralithodes camtschaticus* достигают половозрелости, равен 103 мм по длине карапакса (Somerton, 1980). Известно, однако, что даже полностью зрелые самцы не всегда принимают участие в размножении. Например, водолазными исследованиями в Беринговом море установлено, что фактические размеры самцов, которые находились в позе “рукопожатия” с самками, обычно превышали 120 мм по длине карапакса (Powell et al., 1974), это же подтверждается данными экспериментальных работ (Paul, Paul, 1990b).

Для Баренцева моря размер самцов, которые были отмечены в парах с самками, составляет 130 мм по ширине карапакса (Кузьмин, Гудимова, 2002). Можно предположить, что относительно небольшие размеры половозрелости самцов в губе Дальнезеленецкая по сравнению с западными районами Баренцева моря связаны с влиянием гидрологических условий, прежде всего, температуры воды (Stevens, Munk, 1990), которая в данном районе ниже, чем в губах Западного Мурмана (Бойцов, 2006).

Как показали наши исследования, в летних уловах чаще встречались самки с фиолетовой икрой. Подобная картина является довольно типичной для Баренцева моря (Кузьмин, Гудимова, 2002). Также известно, что икра на стадии глазка обычно характерна для второй половины годового цикла развития. Ее встречаемость в конце августа 2004 г., по всей видимости, объясняется колебаниями гидрологических факторов, способствующих ускорению развития.

Распределение в уловах крабов разных стадий линьки, которое характеризовалось преобладанием особей второй стадии линьки среди неполовозрелых особей и икряных самок, а также более высокой встречаемостью крабов третьей стадии линьки среди половозрелых самцов, довольно закономерно. Крупные самки обычно линяют ежегодно после спаривания, в то время как для самцов характерны пропуски линьки, которые регистрируются у животных, начиная с ширины карапакса 110 мм (Кузьмин, Гудимова, 2002), что и ведет к более высокой встречаемости особей со старым экзоскелетом среди самцов.

Мы выяснили, что на протяжении 2002–2007 гг. популяция камчатского краба находилась в относительно стабильном состоянии. Численность краба соответствовала среднегодовым показателям (Соколов, Милютин, 2006а). В уловах всегда присутствовали крупные самки. В отдельные годы также были отмечены и половозрелые самцы, для которых обычно характерно преобладание на больших глубинах (Кузьмин, Гудимова, 2002). В 2008 году мы наблюдали резкое снижение численности камчатского краба в губе Дальнезеленецкая.

По нашему мнению, существует несколько возможных причин, которые могли привести к подобной ситуации.

Во-первых, укажем на влияние океанологических факторов, прежде всего, температуры воды, которая в Арктике существенно повысилась за последние годы (Бойцов, 2006; Климат ..., 2011). По нашим данным (водолазные отчеты), действительно прослеживалось некоторое повышение температуры воды в придонном слое.

Во-вторых, определенное воздействие могло оказать ухудшение кормовой базы краба. Логично предположить, что за период развития группировки *P. camtschaticus* в губе Дальнезеленецкая кумулятивный эффект выедания крабами бентоса проявился в снижении численности кормовых объектов и, следовательно, самого краба. Благодаря визуальным наблюдениям выявлено некоторое снижение численности морских звезд и ежей в губе Дальнезеленецкая в 2008 г., однако ранее было показано, что краб незначительно повлиял на бентос губы Дальне-зеленецкая из-за низкой плотности поселения (Павлова, 2011), поэтому гипотезу о подрыве кормовой базы краба следует считать маловероятной.

Другим немаловажным фактором, который мог оказать влияние на краба, следует признать антропогенное воздействие. Известно, что объем нелегального вылова камчатского краба на Восточном Мурмане достигает значительных масштабов. По неофициальным данным, в районе губы Дальнезеленецкая установлено несколько десятков порядков браконьерских ловушек. При этом нелегальный лов изымает не только самцов, но и самок. Вполне вероятно, что в период нерестовых миграций к берегу значительная часть крупных крабов (прежде всего самок) была выловлена. Это, однако, не объясняет резкого уменьшения количества молоди.

Другой важной проблемой стоит признать рекреационный дайвинг, уровень которого за последние несколько лет достиг в губе Дальнезеленецкая значительной величины (Дворецкий, Дворецкий, 2009, 2010). Главными объектами лова водолазов-любителей (как правило, нелегального) является камчатский краб.

Частота встречаемости повреждений неполовозрелых крабов в губе Дальнезеленецкая в целом соответствовала показателям, отмеченным ранее для указанной возрастной группы (Соколов, Милютин, 2008). Травмирование конечностей мелких крабов обусловлено прессом хищников, преимущественно различных видов рыб (Edwards, 1972; Кузьмин, Гудимова, 2002; Соколов, Милютин, 2008). При этом следует указать на то, что поврежденность конечностей половозрелых крабов, которую мы отмечали в губе Дальнезеленецкая, была существенно выше, чем на больших глубинах, где эта величина редко достигала 20 % (Кузьмин, Гудимова, 2002; Моисеев, 2006; Пинчуков, 2006; Соколов, Милютин, 2008).

Напомним, что лов краба на больших глубинах проводился при помощи тралов и ловушек. Нами выявлена высокая частота встречаемости травмированных особей (до 83 % у половозрелых крабов), кроме того, аномально много было крабов с отсутствующими конечностями. Все это можно связать с антропоген-

ной нагрузкой на группировку камчатского краба в губе Дальнезеленецкая, где отмечена высокая активность водолазов-любителей, целью которых является лов камчатского краба. Известно, что при атаках хищников, к которым можно отнести и дайверов, краб теряет конечность, за которую его схватили, и пытается сбежать на глубину, поэтому водолазы-любители должны рассматриваться как фактор, вызывающий травмированность конечностей краба.

Количество водолазов существенно возросло в течение периода исследований, что хорошо объясняет наблюдаемую динамику уровня травматизма конечностей камчатского краба. Также в этом районе осуществляется и незаконный лов краба, ведущий к повышению травмированности крабов. Поскольку в сферу интересов браконьеров входят преимущественно крупные крабы, общая травмированность конечностей возрастает по мере увеличения размеров животных.

Травмированность особей разного пола достоверно отличалась только среди особей с шириной карапакса более 150 мм. Можно предположить, что это связано с разницей в биологии самцов и самок. Известно, что крупные самцы могут “пропускать” ежегодную линьку, тогда как самки линяют каждый год, поэтому период времени, когда они имеют мягкий панцирь и подвержены травмам конечностей, у них больше, чем у самцов. При этом нельзя исключать возможное травмирование самок самцами во время спаривания (Кузьмин, Гудимова, 2002; Кузьмин, Дворецкий, 2006).

Равномерное распределение повреждений конечностей относительно оси тела у неполовозрелых крабов обусловлено тем, что при нападениях хищников мелкие крабы движутся обычно в разных направлениях (Переладов, 2003), т. е. риск потери каждой конечности примерно одинаков. У половозрелых крабов чаще терялись конечности четвертой пары ног. Это объясняется тем, что хищники (к которым могут быть отнесены и водолазы) предпочитают атаковать краба с задней стороны тела, опасаясь клешней.

Отмечено, что у взрослых крабов частота повреждений конечностей правой стороны тела была выше, чем левой, за счет более частой потери ног передней пары (клешней). Правая клешня, которая у камчатского краба крупнее, чем левая, используется для дробления пищевых объектов, защиты от нападения хищников и при внутривидовых столкновениях, как и у других видов крабов, имеющих отличающиеся по функциям левые и правые клешни (Juanes, Smith, 1995). Вследствие этого вероятность повреждения именно правой клешни гораздо выше, чем левой. Повреждения клешней оказывают негативное влияние на популяцию камчатского краба. Известно, что при спаривании самец в течение нескольких суток удерживает самку в так называемой позе “рукопожатия” (Кузьмин, Гудимова, 2002). Поэтому потери клешненосных конечностей делают самцов неполноценными партнерами при спаривании.

Таким образом, высокий уровень встречаемости аутомированных конечностей, отмеченный нами в губе Дальнезеленецкая, обусловлен в значительной степени влиянием пресса хищников (в случае неполовозрелых особей) и нелегального вылова, в том числе рекреационного дайвинга (в случае половозрелых крабов).

Наши исследования позволили существенно расширить и дополнить список беспозвоночных, обитающих на камчатском крабе. Известно, что у побережья Западного Сахалина среди симбионтов встречаются виды, которые были обнаружены и в наших исследованиях – амфиподы *Ischyrocerus commensalis*, гидрои-

ды *Obelia longissima*, пиявки *Crangonobdella fabricii* (Клитин, 2003). В отличие от Баренцева моря, в морях Дальнего Востока рыба-пиявка *Johanssonia arctica* обнаруживается крайне редко. На крабах в Тихоокеанском регионе распространен другой вид – *Notostomum cyclostomum*. Стоит указать на то, что в состав симбионтов равношипного краба, который обитает в том же районе, но на больших глубинах, входят другие организмы, а основным симбионтом является пиявка *Crangonobdella fabricii* (Живоглядова, 2006).

Примечательно, что обнаруженные нами виды симбионтов поселяются и на других ракообразных. Массовый симбионт камчатского краба в губе Дальнезеленецкая амфипода *Ischyrocerus commensalis* – это довольно распространенный сожитель представителей отряда Decapoda. Данный вид встречали на крабах-стригунах *Chionoecetes opilio* (Steele et al., 1986), на крабах *Hyas araneus* (Vader, 1996), *Lithodes maja* (Dvoretzky, Dvoretzky, 2008). *Ischyrocerus commensalis* также колонизирует раков-отшельников у берегов Канады (Williams, McDermott, 2004).

Большинство других видов, зарегистрированных на крабах, относятся к группе обрастателей: балянусы, мидии, сидячие полихеты, гидроиды, мшанки. Панцирь камчатского краба выступает для них в качестве удобного субстрата для поселения, позволяя расселяться на значительные территории. В этом отношении следует выделить гидроид *Coryne hincksii*. Данный вид в Баренцевом море был описан Л.Шеурингом (Sheuring, 1922) на других гидроидах, а также как обрастатель панцирей крабов *Hyas* sp. После данной регистрации его в пробах бентоса больше не находили. Однако на камчатских крабах данный вид был встречен в губе Дальнезеленецкая. Еще раньше его фиксировали на крабах в губе Амбарная (Пантелеева, 2003). Предполагается, что *Coryne hincksii* обладает видоспецифичностью к субстрату. Последние находки этого гидроида отмечены только на *Paralithodes camtschaticus*. Таким образом, вид *Coryne hincksii* можно считать облигатным симбионтом камчатского краба.

**Опыт практического применения результатов исследований.** Нелегальный вылов камчатского краба в Баренцевом море на современном этапе достиг значительных масштабов. Об этом косвенно свидетельствуют данные о количестве уголовных дел, заведенных по фактам незаконного вылова камчатского краба. В частности, только в 2008 г. нами было проведено 13 расчетов ущерба по таким делам, а в 2009 г., когда лов краба был запрещен (с января по сентябрь), – по 19 делам. При этом опубликованных данных по масштабам нелегального лова камчатского краба в Баренцевом море нет, хотя в работах некоторых авторов высказывается мнение о высоком уровне браконьерства в водах Мурманска, подтверждаемое изменением репродуктивных показателей самок (Матюшкин, 2005) и значительной долей травмированных особей в популяции (Пинчуков, 2007; Дворецкий, 2008).

Наряду с другими факторами, браконьерский промысел оказал определенное влияние на численность камчатского краба, результатом чего стали временные запреты на добычу этого вида в прибрежных водах Баренцева моря (Приказ ..., 2008, 2009, 2010а,б). Одной из проблем, с которой столкнулись на современном этапе эксплуатации популяции камчатского краба в Баренцевом море, является отсутствие разработанных методик расчета ущерба, нанесенного нелегальным выловом камчатского краба. На основе имеющегося опыта подобных биологических исследований мы предлагаем методику проведения судебных биологических экспертиз по оценке ущерба, нанесенного государству нелегальным выловом камчатского краба.



На первом этапе осуществляется постановка проблемы. В ходе проведения дознания по делам, связанным с незаконным выловом камчатского краба, перед экспертом ставятся ряд типовых вопросов. Для их решения требуется, прежде всего, определить:

вид животного, из которого была произведена представленная на экспертизу продукция (комплекты конечностей или мясо разных категорий);

количество животных, из которых было изготовлена представленная на исследование продукция;

половой состав животных, из которых была произведена представленная на исследование продукция;

размерный состав животных;

ущерб, причиненный биологическим ресурсам Российской Федерации ввиду вылова данного количества биологических объектов.

Предлагаемая нами методика сводится к следующим основным пунктам.

1. Видовая идентификация биологических объектов, представленных на исследование, осуществляется по визуальным признакам. В случае, когда на исследование представлены комплекты конечностей, их видовая принадлежность устанавливается на основе существующих определителей по морфологическим признакам (Руководство ..., 1979; Кузьмин, Гудимова, 2002; Павлов, 2003; Donaldson, Byersdorfer, 2005; Пособие ..., 2006).

В случае, когда на исследование представлено мясо животного, его видовая принадлежность устанавливается на основе органолептических признаков (вкус, цвет, запах), которые для эксперта служат достаточным основанием для определения того, что продукция была произведена из камчатского краба.

Для Баренцева моря особых сложностей для определения принадлежности мяса камчатскому крабу нет, поскольку только этот вид крабов-литодид, имеющий характерные признаки мяса, является массовым в Баренцевом море (Кузьмин, Гудимова, 2002).

2. Определение количества выловленных крабов. Для оценки количества выловленных крабов первоначально определяется общая масса партии биологических объектов, представленных на анализ. Из представленного количества случайным образом отбирается часть объектов для анализа в лабораторных условиях.

Поскольку масса партии может варьировать в широких пределах (от нескольких килограммов до нескольких тонн), встает вопрос о репрезентативной выборке. При малых партиях (до 30 кг) на анализ берется вся продукция, при больших – отбирается часть продукции, как правило, 10–20 % от массы. Согласно нашему опыту, для получения репрезентативных результатов хватает 30 кг биологической продукции (конечностей или мяса). Известно, что для достоверного описания генеральной совокупности необходимо проведение не менее 30 измерений (Лакин, 1990). Количество секций конечностей камчатского краба массой 30 кг составит 30–40 экз., в зависимости от размера (массы) краба. Такого количества вполне достаточно для получения оценки о размерном и половом составе всей партии.

При проведении расчетов по мясу камчатского краба для последующего анализа отбираются только мероподиты (толстые членики) краба.

В лаборатории производится взвешивание отобранной партии биологических объектов и их подсчет. В случае, когда экспертиза проводится по секциям конечностей краба, общее количество особей в отобранном на исследование объеме биологических объектов считают по следующей формуле:

$$N_1 = 0.5 \cdot N_c, \quad (1)$$

где  $N_1$  – число особей краба, необходимое для производства отобранного на исследование количества биологических объектов;  $N_c$  – число секций конечностей краба в отобранном объеме.

Для получения общего числа крабов во всей партии биологических объектов производят расчет по следующей формуле:

$$N_0 = \frac{m_0}{m_1} N_1, \quad (2)$$

где  $N_0$  – искомое количество крабов, использованное для производства всей продукции;  $m_0$  – общая масса секций конечностей;  $m_1$  – масса секций, отобранных для лабораторного анализа.

В тех случаях, когда на экспертизу представлено мясо краба или отдельные конечности, отделенные друг от друга, общее количество особей в отобранной партии считается из расчета 6 ходильных конечностей на одного краба. Для более точных расчетов следует принимать поправку на то, что в популяции камчатского краба часть особей имеет неполный набор конечностей.

Для побережья Баренцева моря количество особей камчатского краба, которые имеют хотя бы одну потерянную конечность, может варьировать в широких пределах. Например, в губе Дальнезеленецкая (Восточный Мурман) этот показатель в среднем составляет 30 % для половозрелых особей (Дворецкий, Дворецкий, 2009). В других районах моря эта доля может быть существенно ниже. Поскольку, как правило, точный район лова камчатского краба неизвестен, целесообразно использовать усредненные данные по всему Баренцеву морю. Так, в недавнем исследовании ВНИРО на основе ловушечных и водолазных уловов было показано, что общий уровень травматизма камчатского краба в Баренцевом море составляет 12 %, а в среднем на одного краба приходится одна травмированная конечность (Соколов, Милютин, 2008). Схожие данные были получены специалистами ПИНРО (г. Мурманск) по материалам траловых уловов (Пинчуков, 2007). Таким образом, уровень в 12 % можно использовать при проведении биологических экспертиз.

Таким образом, среднее количество ног ( $K$ ), приходящееся на одного камчатского краба, составляет:

$$K = D - t, \quad (3)$$

где  $D$  – коэффициент, равный 6 (если в партии присутствуют только ходильные конечности) или 8 (если в партии присутствуют ходильные и клешненосные конечности);  $t$  – частота потери одной конечности в популяции (в нашем случае  $t = 0.12$ ).

Соответственно общее количество крабов в выборке составит:

$$N_1 = \frac{N'}{K}, \quad (4)$$

где  $N'$  – количество мероподитов (или отдельных конечностей в отобранном на исследование материале).

Для получения общего числа крабов во всей партии биологических объектов производят расчет по формуле (2).

3. Определение полового состава крабов, из которых была произведена продукция, представленная на анализ, возможно лишь в том случае, когда эта продукция представлена секциями конечностей или отдельными конечностями.

Известно, что у самок камчатского краба на третьей паре конечностей (вторая пара ходильных ног) находятся гонопоры – отверстия через которые происходит откладка яиц (Donaldson, Byersdorefer, 2005) (рис. 8). Также у половозрелых самок на переюподах наблюдаются желтые волоски, которые у самцов никогда не обнаруживаются. Присутствие в партии биологических объектов (кластеров конечностей), изготовленных из самок, обычно является показателем того, что продукция была произведена нелегально, хотя возможен и случай, когда производство мяса производилось легально, но с незаконным использованием самок.

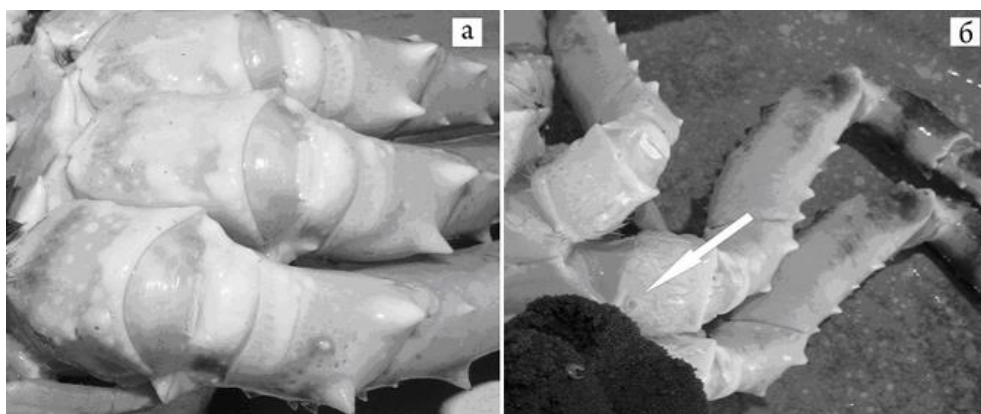


Рис. 8. Конечности самца (а) и самки (б) камчатского краба. Стрелка показывают расположение гонопоров на конечностях самки

4. Определение размерного состава крабов. Важным этапом экспертизы является определение размеров крабов, которые были использованы для производства продукции. Это необходимо для оценки количества особей непромыслового размера. Размеры камчатского краба (ширина карапакса) восстанавливаются по длине меруса третьего правого переюпода, который измеряется при помощи штангенциркуля.

В случае, когда продукция представлена отдельными конечностями, измеряется выборочно каждый шестой переюпод из представленной партии. Когда же на экспертизу представлено мясо камчатского краба, производится измерение каждого шестого мероподита. Поскольку при производстве мяса во время технологической обработки может теряться часть меруса (при отрезании третьего членика), в этом случае будет присутствовать некоторая ошибка, которую можно снизить путем прибавления 1–2 см к полученной длине меруса.

После измерения длины мерусов в партии производится пересчет ДМ на ШК при помощи следующих формул:

$$\text{ШК} = 1.1925 \text{ ДМ} + 4.5113 \text{ (для самцов),} \quad (5)$$

$$\text{ШК} = 1.4431 \text{ ДМ} - 0.3675 \text{ (для самок),} \quad (6)$$

$$\text{ШК} = 1.272 \text{ ДМ} + 5.2883. \quad (7)$$

Формулы (5) и (6) применяются, когда известен половой состав крабов, (7) – когда половой состав не известен (в случае экспертизы крабового мяса).

На основе расчетов строится кривая распределения крабов по размерному составу.

Иногда перед экспертом ставится вопрос о массе крабов, которые были использованы для производства представленных на исследование биологических объектов. В этом случае, используя полученные данные по восстановленной ширине карапакса, для каждого краба проводится расчет его массы (М) по следующим формулам (Дворецкий, Дворецкий, 2010):

$$M = 0.0009 \cdot \text{ШК}^{2.9108} \text{ (для самцов),} \quad (8)$$

$$M = 0.0008 \cdot \text{ШК}^{2.2597} \text{ (для самок),} \quad (9)$$

$$M = 0.0008 \cdot \text{ШК}^{2.9452}. \quad (10)$$

Формулы (8) и (9) применяются, когда известен половой состав крабов, (10) – когда половой состав не известен (в случае экспертизы крабового мяса).

5. Расчет ущерба, причиненного водным биоресурсам Российской Федерации. Оценку причиненного ущерба водным биологическим ресурсам в связи с незаконной добычей камчатского краба проводят исходя из количества особей камчатского краба, которое было определено в ходе проведения исследования по формуле

$$C = N_0 \cdot T, \quad (11)$$

где С – сумма ущерба; Т – такса исчисления ущерба за незаконный вылов одного краба, которая на начало 2012 г. составляет 835 рублей за 1 экз. (Постановление ..., 2000).

6. Экспертиза по документам. Приведенная выше процедура исследования применяется, когда присутствует изъятая продукция. Однако зачастую возникает необходимость расчета ущерба по документам, когда продукция для исследования недоступна, например, уничтожена. При этом в постановлении на проведение расчета ущерба указывается масса и вид продукции (конечности краба или мясо).

В этом случае видовую идентификацию проводят по фототаблицам (если они имеются) или не проводят вовсе, полагаясь на то, что в ходе изъятия видовая принадлежность продукции уже была установлена.

Для определения количества уничтоженных особей первоначально устанавливают массу сырой продукции, потребовавшейся для производства того объема, который был изъят. Для этого используется следующая формула:

$$M_c = M_0 \cdot \text{КРС}, \quad (12)$$

где  $M_c$  – масса сырья;  $M_0$  – масса изъятой продукции; КРС – коэффициент расхода сырья. Коэффициенты расхода сырья для камчатского краба Баренцева моря опубликованы в работе специалистов ПИПРО (Степаненко, Двинин, 2006) и составляют 1.564 при производстве комплектов конечностей способом рассольного замораживания, 1.847 – способом воздушного замораживания и 4.474 при производстве мяса камчатского краба. Если способ производства конечностей не известен, применяется КРС для воздушного замораживания, поскольку этот способ не требует специального оборудования, которое обычно отсутствует при производстве комплектов конечностей в кустарных условиях.

На следующем этапе определяют количество особей, уничтоженных для получения вычисленного количества сырой продукции по формуле

$$N_1 = \frac{M_c}{M_1}, \quad (13)$$

где  $M_1$  – масса одной особи камчатского краба.

Масса одной особи камчатского краба берется по усредненным расчетам. Масса самца камчатского краба минимального размера, разрешенного к вылову (ширина карапакса 150 мм), составляет в среднем 2 кг (Дворецкий, Дворецкий, 2010). Эта величина была получена для прибрежных районов Баренцева моря.

В случае крупных партий, когда с большой долей уверенности можно утверждать, что краб был добыт на больших глубинах, следует использовать среднюю массу камчатского краба на промысле. Значение этой массы за последние годы уменьшается. По данным 2010 г., она составляет 3 кг (Пинчуков и др., 2011). Для расчета ущерба используется формула (11).

Предложенная методика, которая успешно применяется в практике проведения судебных биологических экспертиз по камчатскому крабу Баренцева моря, может быть использована для расчета ущерба, причиненного Российской Федерацией незаконным выловом камчатского краба также и для других регионов России с учетом тех биологических характеристик, которые характерны для данного вида (уровень травматизма конечностей, размерно-весовые характеристики). Помимо этого, она может быть адаптирована для расчета ущерба от добычи других видов крабов с учетом их биологических особенностей.

## Л и т е р а т у р а

Бойцов В.Д. Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2006. 292 с.

Дворецкий А.Г. Предварительные результаты аквариальных наблюдений над молодой камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* // Материалы XXII конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2004. С. 24–32.

Дворецкий А.Г. Особенности биологии камчатского краба Восточного Мурмана // Биология и физиология камчатского краба в прибрежье Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008. С. 22–60.

Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Аутономия конечностей камчатского краба в прибрежье Баренцева моря // Докл. РАН. 2009. Т. 429. С. 701–704.

Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Динамика популяционных показателей камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в губе Дальнезеленецкая Баренцева моря в 2002–2008 гг. // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11, № 1(41). С. 100–111.

Дворецкий А.Г., Кузьмин С.А. Симбионты камчатского краба в прибрежье Мурмана Баренцева моря // Вопросы рыболовства. 2008. Т. 9, № 3(35) С. 526–535.

Живоглядова Л.А. Паразиты и эпибионты равношипного краба *Lithodes aequispinus*, Benedicт Курильских островов // Тезисы докладов IX съезда Гидробиологического общества при РАН (г. Тольятти, Россия, 18–22 сентября 2006 г.). Тольятти: Изд. ИЭВБ РАН. 2006. С. 158.

Закс И.Г. Биология и промысел крабов (*Paralithodes*) в Приморье // Вестн. ДФ АН СССР. 1936. Т. 18. С. 49–79.

Зенкевич Л.А. Об акклиматизации в Каспийском море новых кормовых (для рыб) беспозвоночных и теоретические к ней предпосылки // Бюл. МОИП. 1940. Т.49(1). С. 19–32.

Золотарев П.Н. Молодь камчатского краба в Воронке Белого моря // Вопросы рыболовства. 2010. Т. 11, № 1(41). С. 60–64.

Ильин Б.С. Акклиматизация рыб в морях в связи с гидростроительством // Труды совещания по проблемам акклиматизации рыб и кормовых беспозвоночных. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 27–31.

Камчатский краб в Баренцевом море / Отв. ред. Б.И.Беренбойм. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2003. 383 с.

Карсаков А.Л., Пинчуков М.А. Расселение и условия обитания камчатского краба в российских водах Баренцева моря // Вопросы пром. океанол. 2009. Вып. 6, № 1. С. 150–163.

*Климат* морей Западной Арктики в начале XXI века / Г.Г.Матишов, С.Л.Дженюк, А.П.Жичкин, Д.В.Моисеев // Изв. РАН. Сер. географ. 2011. № 3. С. 17–32.

*Клитин А.К.* Камчатский краб (*Paralithodes camtschaticus*) у берегов Сахалина и Курильских островов: биология, распределение и функциональная структура ареала. М.: Изд. ФГУП “Нацрыбресурсы”, 2003. 253 с.

*Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н.* Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. 236 с.

*Кузьмин С.А., Дворецкий А.Г.* Разработка технологий искусственного воспроизводства камчатского краба в условиях Заполярья // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. М.: Наука, 2005. С. 280–287.

*Кузьмин С.А., Дворецкий А.Г.* Особенности аутомии и регенерации конечностей камчатского краба в Баренцевом море // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами (Мурманск, 25–29 сентября 2006 г.): Матер. Междунар. конф. Мурманск: Север, 2006. С. 60–62.

*Лакин Г.Ф.* Биометрия. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.

*Матюшкин В.Б.* Репродуктивные параметры самок камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*, Tilesius) губы Ура Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 2005. Т. 144. С. 212–221.

*Моисеев С.И.* Некоторые особенности биологии камчатского краба в прибрежной зоне Баренцева моря // Тезисы докладов VII Всероссийской конференции по промысловым беспозвоночным (памяти Б.Г.Иванова), Мурманск, 9–13 октября 2006 г. М.: Изд. ВНИРО, 2006. С. 101–104.

*Орлов Ю.И.* Акклиматизация промысловых крабов: обзор опубликованных материалов за 1936–1996 гг. // Рыбное хозяйство. Сер. Аквакультура / ВНИЭРХ. 1996. Вып. 3. 57 с.

*Павлов В.Я.* Жизнеописание краба камчатского *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1885). М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 110 с.

*Павлов С.Д., Шарманкин В.А., Габаев Д.Д.* Опыт перевозки живого камчатского краба в Баренцево море // Рыбное хозяйство. 2011. № 6. С. 61–62.

*Павлова Л.В.* Трофические связи камчатского краба и его воздействие на донные биоценозы // Биология и физиология камчатского краба побережья Баренцева моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008а. С. 77–104.

*Павлова Л.В.* Влияние молоди камчатского краба на прибрежные бентосные сообщества Баренцева моря: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2008б. 24 с.

*Павлова Л.В.* Исследование влияния молоди камчатского краба на донные сообщества Баренцева моря // Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 234–258.

*Пантелеева Н.Н.* Гидроиды (Cnidaria, Hydrozoa) в обрастании камчатского краба из прибрежной зоны Баренцева моря // Тезисы Международного семинара “Роль климата и промысла в изменении структуры зообентоса шельфа (камчатский краб, исландский гребешок, северная креветка и др.)” (г. Мурманск, 19–21 марта 2003 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2003. С. 69–70.

*Переладов М.В.* Некоторые особенности распределения и поведения камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) на прибрежных мелководьях Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 2003. Т. 142. С. 103–119.

*Пинчуков М.А.* Аутометрия конечностей камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Decapoda: Anomura, Lithodidae) в Баренцевом море // Тезисы докладов VII Всероссийской конференции по промысловым беспозвоночным (памяти Б.Г.Иванова), Мурманск, 9–13 октября 2006 г. М.: Изд. ВНИРО, 2006. С. 121–123.

Пинчуков М.А. Утрата конечностей камчатским крабом в Баренцевом море в 2001–2006 гг. // Тр. ВНИРО. 2007. Т. 147. С. 131–143.

Пинчуков М.А., Баканев С.В., Павлов В.А. Камчатский краб // Современное состояние биологических сырьевых ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2011. С. 50–53.

Пособие по изучению промысловых ракообразных дальневосточных морей России / С.А.Низяев, С.Д.Букин, А.К.Клитин и др. Южно-Сахалинск: Изд. СахНИРО, 2006. 114 с.

Постановление № 515 от 25 мая 1994 г. “Об утверждении такс для исчисления размера взыскания за ущерб, причиненный уничтожением, незаконным выловом или добычей водных биоресурсов” (в редакции Постановления правительства РФ от 26.09.2000 г. № 724). Режим доступа: [www.consultant.ru](http://www.consultant.ru).

Приказ Федерального агентства по рыболовству № 407 от 12.12.2008. Режим доступа: [www.fish.gov.ru](http://www.fish.gov.ru).

Приказ Федерального агентства по рыболовству № 1099 от 02.12.2009. Режим доступа: [www.fish.gov.ru](http://www.fish.gov.ru).

Приказ Федерального агентства по рыболовству № 598 от 07.07.2010а. Режим доступа: [www.fish.gov.ru](http://www.fish.gov.ru).

Приказ Федерального агентства по рыболовству № 1003 от 15.12.2010б. Режим доступа: [www.fish.gov.ru](http://www.fish.gov.ru).

Руководство по изучению десятиногих ракообразных *Decapoda* дальневосточных морей / В.Е.Родин, А.Г.Слизкин, В.И.Мясоедов и др. Владивосток: Изд. ТИНРО, 1979. 60 с.

Современное состояние донных сообществ и поселений макрозообентоса на мелководье Баренцева моря и роль антропогенного фактора в их динамике / Т.А.Бритаев, А.В.Ржавский, Л.В.Павлова и др. // Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 314–356.

Соколов В.И., Милютин Д.М. Распределение, численность и размерный состав камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в верхней сублиторали Кольского полуострова Баренцева моря в летний период // Зоол. журн. 2006а. Т. 85. С. 158–170.

Соколов В.И., Милютин Д.М. Повреждения ног у камчатского краба, *Paralithodes camtschaticus*, в российской части Баренцева моря // Современное состояние популяций крабов Баренцева моря и их взаимодействие с донными биоценозами (Мурманск, 25–29 сентября 2006 г.): Матер. Междунар. конф. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2006б. С. 98–100.

Соколов В.И., Милютин Д.М. Статистические закономерности травматизма конечностей камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в районе интродукции (Баренцево море) // Зоол. журн. 2008. Т. 87, № 6. С. 158–170.

Степаненко В.В., Двинин М.Ю. Коэффициенты расходы сырья при выпуске продукции из камчатского краба Баренцева моря // Тезисы докладов VII Всероссийской конференции по промысловым беспозвоночным (памяти Б.Г.Иванова), Мурманск, 9–13 октября 2006 г. М.: Изд. ВНИРО, 2006. С. 308–309.

Donaldson W.E., Byersdorfer S.E. Biological field techniques for Lithodid. Fairbanks: Alaska Sea Grant College Program, University of Alaska, 2005. 82 p.

Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Epifauna associated with the northern stone crab *Lithodes maia* in the Barents Sea // Polar Biol. 2008. V. 31. P. 1149–1152.

Edwards J.S. Limb loss and regeneration in two crabs: The king crab *Paralithodes camtschatica* and the Tanner crab *Chionoecetes bairdi* // Acta Zool. 1972. V. 53. P. 105–112.

Gollasch S. Hazard analysis of aquatic species invasions // Invasive aquatic species in Europe. Distribution, impacts and management. Dordrecht: Kluwer Academic Publ., 2002. P. 447–455.

Gray G.W., Powell G.C. Sex ratios and distribution of spawning king crabs in Alitak Bay, Kodiak Island, Alaska (Decapoda Anomura, Lithodidae) // *Crustaceana*. 1966. V. 10. P. 303–309.

Hartnoll R.G. The determination of relative growth in Crustacea // *Crustaceana*. 1978. V. 34. P. 281–293.

Jørgensen L.L. Impact scenario for an introduced decapod on Arctic epibenthic communities // *Biol. Invas.* 2005. V. 7. P. 949–957.

Jørgensen L.L., Primicerio R. Impact scenario for the invasive red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) (Reptantia, Lithodidae) on Norwegian, native, epibenthic prey // *Hydrobiologia*. 2007. V. 590. P. 47–54.

Juanes F., Smith L.D. The ecological consequences of limb damage and loss in decapod crustaceans: a review and prospectus // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 1995. V. 193. P. 197–223.

*Parasitology* meets ecology on its own terms: Margolis et al. revisited / A.O. Bush, K.D. Lafferty, J.M. Lotz, A.W. Shostak // *J. Parasitol.* 1997. V. 83. P. 575–583.

Paul A.J., Paul J.M. A note on energy costs of molting and egg production for female red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) // *High latitude crabs: biology, management, and economics, Alaska Sea Grant College Program Report № 96-02*. Fairbanks: University of Alaska, 1996a. P. 355–363.

Paul J.M., Paul A.J. A note of mortality and injury rates of male *Chionoecetes bairdi* (Decapoda, Majidae) competing for multiparous mates // *High latitude crabs: biology, management, and economics, Alaska Sea Grant College Program Report № 96-02*. Fairbanks: University of Alaska, 1996b. P. 343–353.

Powell G.C., James K.E., Hurd C.L. Ability of male king crab, *Paralithodes camtschatica*, to mate repeatedly, Kodiak, Alaska, 1973 // *Fish. Bull.* 1974. V. 72. P. 171–179.

Rafter K., Nilssen E.M., Sundet J.H. Stomach content, life history, maturation and morphometric parameters of red king crab, *Paralithodes camtschaticus* from Vangerfjord area, North Norway // *ICES CM*. 1996/K:10. 25 p.

Sheuring L. Untersuchungsfahrt des Reichsforschungsdampfers “Poseidon” in das Barents Meer im Juni und Juli 1913. Die Hydroides // *Wiss. Meeresunt.* N.F. Kiel; Leipzig, 1922. Bd. 13, № 2. S. 159–183.

Somerton D.A. A computer technique for estimating the size of sexual maturity in crabs // *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1980. V. 37. P. 1488–1494.

Steele D.H., Hooper R.G., Keats D. Two corophioid amphipods commensal on spider crabs in Newfoundland // *J. Crustacean Biol.* 1986. V. 6. P. 119–124.

Stevens B.G., Munk J.E. A temperature-dependent growth model for juvenile red king crab, *Paralithodes camtschatica*, in Kodiak, Alaska // *Proceedings of International Symposium on King and Tanner Crabs, Alaska Sea Grant College Program*. Fairbanks: University of Alaska, 1990. P. 293–304.

*Studies* on impact of the alien red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) on the shallow water benthic communities of the Barents Sea / T.A. Britayev, A.V. Rzhavsky, L.V. Pavlova, A.G. Dvoretzkij // *J. Appl. Ichthyol.* 2010. V. 26 (Suppl. 2). P. 66–73.

Takehita K., Fujita H., Matsuura S. A note on population structure in the eastern Bering Sea adult red king crab, *Paralithodes camtschatica* // *Proceedings of International Symposium on King and Tanner Crabs, Alaska Sea Grant College Program*. Fairbanks: University of Alaska, 1990. P. 427–434.

Vader W. Amphipoda as associates of other Crustacea // *Second European Crustacean Conference, Liege (Belgium), September 2–6*. Liege: Ocean Press, 1996. P. 67.

Williams J.D., McDermott J.J. Hermit crab biocenoses; a worldwide review of the diversity and natural history of hermit crab associates // *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 2004. № 305. P. 1–128.



УДК 574.587 (268.45)

О.С.Любина<sup>1</sup>, Е.А.Фролова<sup>1</sup>, Д.Р.Дикаева<sup>1</sup>, Н.А.Анисимова<sup>2</sup>, П.А.Любин<sup>2</sup>, А.А.Фролов<sup>1</sup>,  
Е.А.Гарбуль<sup>1</sup>, О.Л.Зими́на<sup>1</sup>, О.Ю.Ахметчина<sup>1</sup>, И.О.Нехаев<sup>1</sup>

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

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

## ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СОВРЕМЕННОГО МОНИТОРИНГА ЗООБЕНТОСА НА РАЗРЕЗЕ “КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН” (БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

### Аннотация

Представлены предварительные результаты четырех съемок зообентоса (1995, 1997, 2000, 2001 гг.) на стандартном разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море. Проанализированы количественное распределение, биогеографический состав, структура комплексов донных организмов и их вариабельность во времени. Полученные результаты свидетельствуют о зависимости биогеографического состава и количественных характеристик зообентоса от океанологических условий, таких как температура воды.

O.S.Lyubina, E.A.Frolova, D.R.Dikaeva, N.A.Anisimova, P.A.Lyubin, A.A.Frolov,  
E.A.Garbul, O.L.Zimina, O.Yu.Akhmetchina, I.O.Nekhaev

## PRELIMINARY RESULTS OF MODERN ZOOBENTHOS MONITORING AT THE KOLA TRANSECT (BARENTS SEA)

### Abstract

Preliminary results of for surveys of zoobenthos (in 1995, 1997, 2000, 2001) at the Kola section in the Barents Sea are presented at the paper. Distribution of quantitative data, biogeography composition, and structure of zoobenthic complexes had been analyzed. Results were obtained in this study reveal relation biogeography structure and quantitative parameters of zoobenthos on water temperature.

### Введение

Юго-западная часть Баренцева моря, где расположен разрез “Кольский меридиан” (33°30' в. д.) – это “ворота” проникновения атлантических вод в Арктику (рис. 1). Объем и теплосодержание вод Северо-Атлантического течения, поступающих сюда, варьирует из года в год (Piechuga, Walczowski, 2009), что определяет изменчивость условий среды на акватории моря в целом. С колебаниями этих условий тесно связаны многие биологические процессы (Несис, 1960; Бочков, Кудло, 1973; Влияние ..., 2007). Такая зависимость вызывает необходимость проведения многолетних наблюдений за состоянием морской биоты. В качестве объекта для многолетнего мониторинга можно рассматривать донные сообщества, поскольку они состоят в основном из организмов, обладающих относительно большой продолжительностью жизни и приуроченных к определенным биотопам (Денисенко, 2007).

Мониторинг зообентоса на разрезе “Кольский меридиан” проводится с начала 1890-х гг. (Дерюгин, 1924). Первые бентосные материалы были собраны в основном с помощью трала Сигсби (Дерюгин, 1924, Танасийчук, 1927), а первые дночерпательные сборы – в 1924 г. сотрудниками Мурманской биологической станции (Зенкевич, 1927). Большой объем данных был обобщен и проанализирован К.Н.Несисом (1960). Результаты по изменчивости биогеографического

состава донной фауны на разрезе, полученные на этом этапе, имеют очень большое значение как теоретическая основа и методологическая база для последующих исследований.

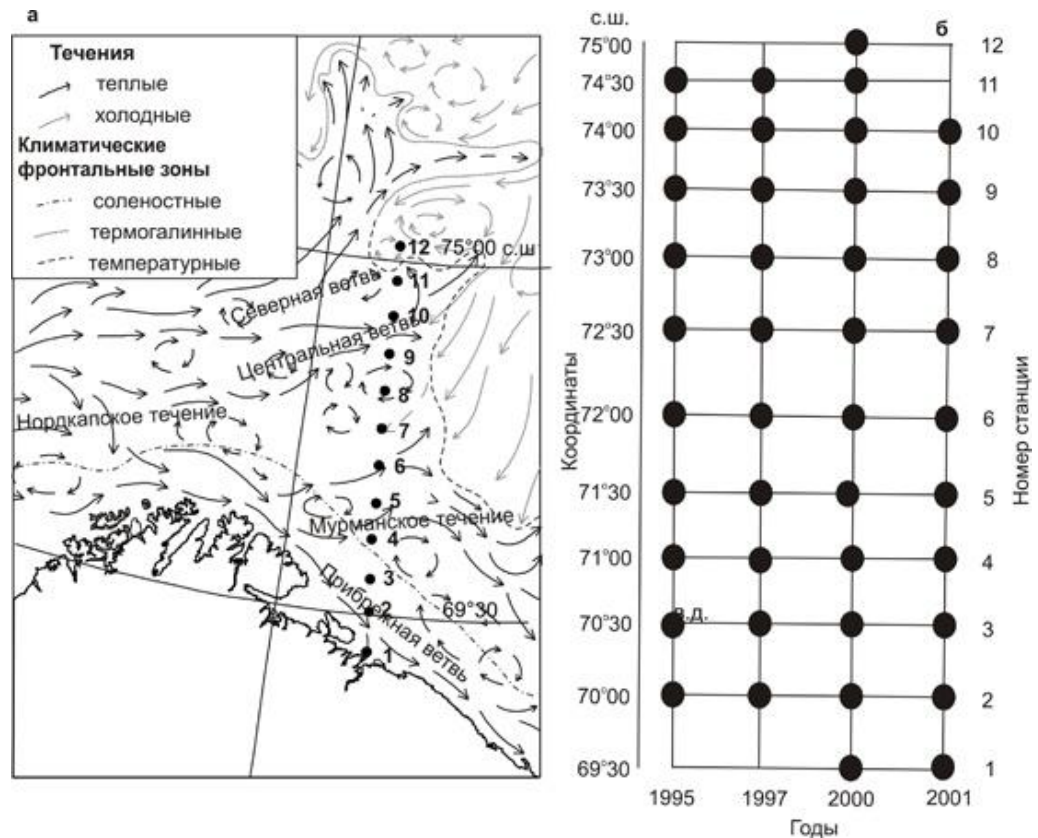


Рис. 1. Карта-схема (а) разреза “Кольский меридиан” (по: Климатические ..., 2010); схема (б) мониторинга зообентоса на разрезе (кружками обозначены станции)

Современный мониторинг зообентоса на разрезе “Кольский меридиан” был начат научной группой ММБИ при поддержке Института полярных и морских исследований им. Альфреда Вегенера (AWI, г. Бремерхафен, Германия) в 1995 г. и продолжается в настоящее время (Многолетние ..., 2000; Денисенко, 2005; Влияние ..., 2007). На данном этапе исследований сбор материала осуществляется только количественными методами с использованием дночерпателей (Влияние ..., 2007).

Задача первого этапа мониторинга – определить основные характеристики зообентоса на разрезе и особенности их варьирования.

По данным К.М.Дерюгина (1924), рельеф дна в районе разреза “Кольский меридиан” достаточно монотонный. На первой станции разреза (69°30' с. ш.) глубина составляет 256 м, далее происходит уменьшение глубины до 146 м на второй станции разреза (70° с. ш.), севернее глубины колеблются от 210 до 290 м. Максимальная глубина (322 м) наблюдается на 73°30' с. ш. Далее в направлении на север происходит повышение дна до 210 м. На всем протяжении разреза нет резких перепадов глубин, которые можно было бы трактовать как желоба (Дерюгин, 1924).

Значительная глубина на протяжении всего разреза определяет однообразие донных осадков. В основном здесь залегают илистые и илисто-песчаные грунты

(Дерюгин, 1924; Gurevich, 1995). Песчаные и каменистые фракции в осадках наблюдаются преимущественно на локальных повышениях дна (банки на 70° и 73° с. ш.) (Дерюгин, 1924).

Гидрологический режим в районе разреза определяется потоками теплых атлантических вод, поступающих с запада. Наиболее мощный и устойчивый поток формируется Нордкапским течением, температура вод которого в зимний период составляет 4 °С, а в летний 12 °С, соленость 34.8–35.0 ‰ (Танцюра, 1959; Карсаков, 2009). Это течение по мере продвижения на восток разделяется на несколько ветвей: Северную, Центральную и Южную (Мурманское течение), которая, в свою очередь, разветвляется на Центральную и Прибрежную ветви, идущие в восточном и северо-восточном направлениях.

Самая теплая Прибрежная ветвь Мурманского течения пересекает разрез “Кольский меридиан” в районе 70°15' с. ш., Центральная – 70°45'–71°45' с. ш. На склонах донных возвышенностей севернее 72° с. ш. в той или иной мере присутствуют воды Центральной впадины Баренцева моря. Наиболее холодными на разрезе в пределах до 76-й параллели являются воды Центральной возвышенности, которую меридиан пересекает близ 75-й параллели (Несис, 1960).

Температура придонных вод на разрезе в основном положительная и варьирует, по разным оценкам, от 1.5 до 5 °С (Терещенко, 1997; Бойцов, 2006; Карсаков, 2009). В районе второй станции с августа по январь наблюдается максимальная на разрезе придонная температура от 3 до 5.5 °С (Карсаков, 2009; Matishov et al., 2009). На станциях, расположенных севернее 72° с. ш., придонная температура в течение года не превышает 3 °С (Карсаков, 2009). Сезонные колебания температуры воды у дна различаются на участках разреза. Наиболее значимые колебания (до 3 °С) отмечены в районе первых двух (прибрежных) станций разреза (Карсаков, 2009). Это связано с близостью материка и более интенсивной динамикой водных масс (Бойцов, 2006). В районе остальных станций разреза размах сезонных колебаний температуры в придонных слоях значительно уменьшается и не превышает 1.5 °С (Карсаков, 2009). Сезонный минимум температуры воды в районе первых двух станций разреза отмечен в апреле. В более глубоководных частях разреза наступление сезонного минимума сдвигается на более позднее время. Время наступления сезонного максимума имеет явно выраженное запаздывание по мере увеличения глубины (Карсаков, 2009). Наступление сезонного максимума в придонном слое вод варьирует от октября (станции 2 и 5) до января (станции 3, 4, 7 и 10), что обусловлено глубиной. Придонная толща вод в районе станций 4 и 5, расположенных в зоне прохождения струй Центральной ветви Нордкапского течения, характеризуется наиболее стабильными температурными условиями (от 2.5 до 3.5 °С) в течение года (Карсаков, 2009).

По тепловому содержанию вод 1995, 2000 и 2001 гг. на разрезе “Кольский меридиан” оцениваются как “теплые” и характеризуются положительными температурными аномалиями относительно среднемноголетнего уровня; а 1997 г. – как “холодный”, с отрицательными температурными аномалиями (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Средняя температура вод в слое 0–200 м (ICES Report ..., 2010) и характеристика их теплового состояния (Карсаков, 2009) на разрезе “Кольский меридиан” в анализируемые годы

Год	Температура, °С	Характеристика теплового состояния слоя
1995	4.4	Теплый
1997	3.5	Нормальный (станции 1–3), холодный (станции 3–10)
2000	4.7	Аномально теплый (станции 3–7), теплый (станции 8–10)
2001	4.5	Теплый

## Материал и методы

Мониторинг зообентоса, проводимый ММБИ, осуществляется на 10–12 южных станциях разреза с 69°30' с. ш. Станции расположены вдоль разреза через 30'.

Материалом для анализа зообентоса на разрезе “Кольский меридиан” на современном этапе мониторинга послужили сборы, выполненные в 1995 г. на СРТ “Ясногорск”, в 1997 г. на НТС “Помор”, в 2000 и 2001 гг. на НИС “Дальние Зеленцы” (табл. 2, рис. 1).

Т а б л и ц а 2

Бентосные станции, выполненные на разрезе “Кольский меридиан” в 1995, 1997, 2000 и 2001 гг.

Номер станции	Дата	Координаты		Глубина, м	Грунты
		с. ш.	в. д.		
СРТ “Ясногорск”, 1995 г. (дочерпатель “Океан”, 0.25 м <sup>2</sup> )					
1	02.09	74°30.1	33°29.7	260	Ил, глина
2	03.09	74°00.1	33°29.2	325	То же
3		73°30.4	33°29.5	295	”
4		72°59.8	33°31.7	215	Илистый песок, галька
5		72°30.2	33°29	290	То же
6		71°59.8	33°30.3	265	Илистый песок
7		71°30.1	33°29.4	280	Илистый песок, галька
8	04.09	70°59.7	33°29.2	225	То же
9		70°30.1	33°31.8	255	”
10		69°59.9	33°28.3	155	Песчанистый ил
НТС “Помор”, 1997 г. (дочерпатель ван-Вина, 0.1 м <sup>2</sup> )					
1	22.05	74°30.341	33°30	270	Песчанистый ил
2	23.05	73°59.06	33°28.314	330	Ил, глина
3		73°29.06	33°30	283	Глина, песчанистый ил
4		72°59.7	33°30	214	Ил, глина
5		72°29.98	33°29	288	Глина песчанистый ил
6		72°00.147	33°29.06	266	Ил, глина, галька
7	24.05	71°30	33°29.87	283	Песчанистый ил, глина
8		71°00.09	33°31.11	221	Ил, глина, галька
9		70°29.99	33°31.32	251	Глина, песчанистый ил
10		69°59.32	33°30.88	150	Ил, глина, спикулы губок
НИС “Дальние Зеленцы”, 2000 г. (дочерпатель ван-Вина, 0.1 м <sup>2</sup> )					
1	10.09	69°30.015	33°42.125	270	Ил, серая глина
2	28.09	70°00.05	33°30.05	141	Ил, глина, спикулы губок
3		70°28.289	33°34.223	239	Ил, глина, галька
4	29.09	71°00.3	33°29	216	Песчанистый ил, глина
5		71°29.364	33°31.737	272	То же
6		72°00.1	33°29.8	254	Ил, глина
7		72°30.04	33°27.916	276	То же
8	30.09	73°00.9	33°26.8	210	Ил, глина, галька
9		73°31.293	33°29.332	280	Ил, глина
10		74°10.8	33°28	317	То же
11		74°31.743	33°32.362	254	”
12	01.10	75°00.8	33°31.2	149	Ил, глина, галька, камни
НИС “Дальние Зеленцы”, 2001 г. (дочерпатель ван-Вина, 0.1 м <sup>2</sup> )					
8	18.04	73°58.9	33°25.6	301	Ил, глина
9		73°28.952	33°24.015	277	Песчанистый ил
10	19.04	72°59.874	33°28.806	212	Ил, глина, камни
11		72°30.675	33°28.743	275	Ил, глина
12		72°00.9	33°32.9	264	Песчанистый ил
13	20.04	71°29.878	33°29.412	271	Песчанистый ил, глина
14		70°59.124	33°28.937	211	То же
15		70°30.016	33°30.277	241	”
16		69°59.4	33°32.859	138	Песчанистый ил, глина, спикулы губок
17		69°29.836	33°29.122	251	Песчанистый ил

Пробы были отобраны дночерпателем “Океан” с площадью захвата 0.25 м<sup>2</sup> в 2-кратной повторности и дночерпателем ван-Вина (0.1 м<sup>2</sup>) в 5-кратной повторности. Пробы из всех сборов промыты через сито с ячейей 0.5 мм. Остаток грунта с бентосными организмами был зафиксирован в 4 %-м растворе формалина, нейтрализованном тетраборатом натрия. В лабораторных условиях донные организмы были отделены от грунта, рассортированы по крупным таксономическим группам и переведены в 76° этанол. Далее бентосные организмы были идентифицированы, по возможности, до видового уровня. Для каждого вида была определена масса и количество особей. Детальная таксономическая обработка Nemertini, Nematoda, Plathelminthes, Pogonophora и некоторых Anthozoa не проводилась в связи с отсутствием специалистов. Отдельные группы колониальных организмов (Bryozoa, Hydrozoa) из разных съемок до настоящего времени находятся на идентификации, поэтому данные по этим группам не были включены в общий анализ. Данные со всех проб на станции усредняли и пересчитывали на 1 м<sup>2</sup>. Для каждой станции определяли ошибку среднего (Ивантер, Коросов, 2003).

За анализируемый период наблюдений сборы на разрезе регулярно выполняли только со второй по десятую станции (рис. 1). В связи с этим усреднение количественных данных для всего разреза проведено только по этим девяти станциям.

Уровень изменчивости количественных характеристик оценивали с помощью коэффициента вариации ( $C_v$ , %), который позволяет проводить сравнение амплитуды колебаний значений разной размерности (Ивантер, Коросов, 2003).

Видовое богатство (обилие видов) оценивали как общее количество видов на станции.

Выделение фаунистических групп проводили методом кластерного анализа с помощью коэффициента сходства Брэя-Куртиса на основе количественных данных по численности (Bray, Curtis, 1957). Кластеризацию осуществляли методом попарного присоединения. При анализе не учитывали виды, встретившиеся в исследованном материале единожды. Расчеты выполняли в программе “Past” (Hammer et al., 2001).

## Результаты

В проанализированном материале было идентифицировано 652 таксона донных организмов (из них 495 видового ранга), принадлежащих к 17 типам, 29 классам, 76 отрядам, 187 семействам.

**Количественное распределение зообентоса вдоль разреза.** Видовое богатство в исследованном районе составляет в среднем  $87 \pm 19$  видов на станцию. Вдоль разреза оно варьирует умеренно ( $C_v = 24$  %). Согласно многолетним данным, на разрезе “Кольский меридиан” выделяются две станции (2 и 8) с высоким уровнем видового разнообразия (рис. 2а). Вторая станция разреза расположена в районе прохождения Прибрежной ветви Мурманского течения, восьмая – в середине Центральной ветви Нордкапского течения. В годы с положительными температурными аномалиями вод (1995, 2000 и 2001 гг.) максимумы видового обилия хорошо выражены, их локализация остается неизменной. В “холодный” 1997 г. северный максимум обилия сместился к югу, а все пики видового разнообразия выражены очень слабо. В годы с положительными температурными аномалиями (2000–2001) количество видов резко возрастает (рис. 2б). Количество видов по станциям во времени варьирует умеренно ( $C_v = 22$  %).

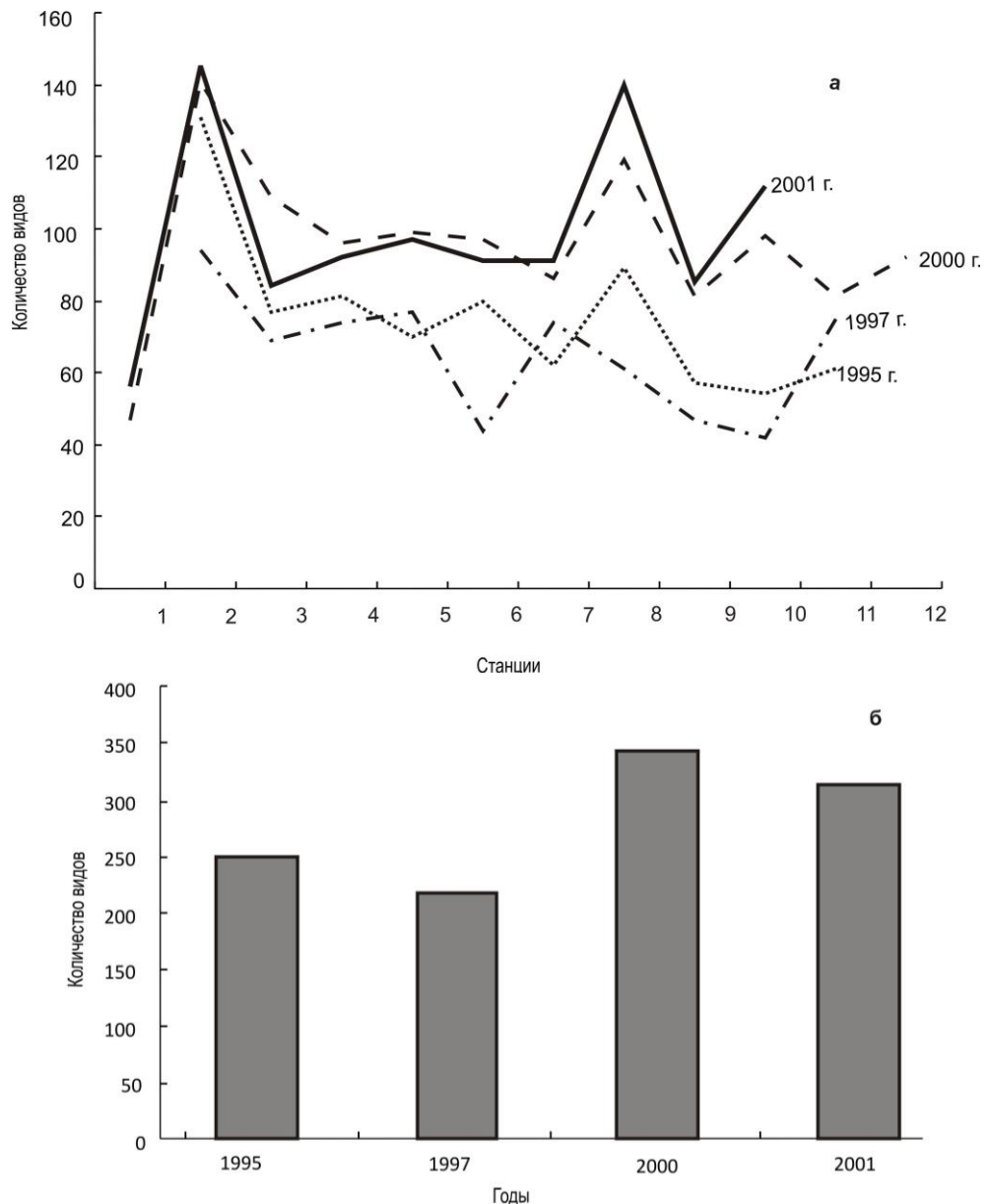


Рис. 2. Распределение видового богатства зообентоса на станциях разреза “Кольский меридиан” (а) и общая численность видов (б) в период исследований

Биомасса зообентоса на разрезе в среднем составляет  $35 \pm 3$  г/м<sup>2</sup> и изменяется от 4.2 до 447 г/м<sup>2</sup> (Cv = 21 %). Увеличение биомассы вдоль разреза происходит в направлении с юга на север (рис. 3а). Максимальная биомасса зообентоса в среднем по разрезу была отмечена в 2000 г., а минимальная – в последующем 2001 г. (рис. 3б) (Cv = 20 %).

Средняя плотность поселения донных организмов за исследованный период составила  $1900 \pm 300$  экз/м<sup>2</sup> при диапазоне варьирования от 500 до 5100 экз. (Cv = 38 %). Характер распределения плотности поселения бентосных организ-

мов вдоль разреза сходен с таковым видового богатства (рис. 4а). За период наблюдений минимальная численность зообентоса была отмечена в “холодном” 1997 г., а максимальная – в “аномально теплом” 2000 г. (рис. 4б) ( $Cv = 36\%$ ).

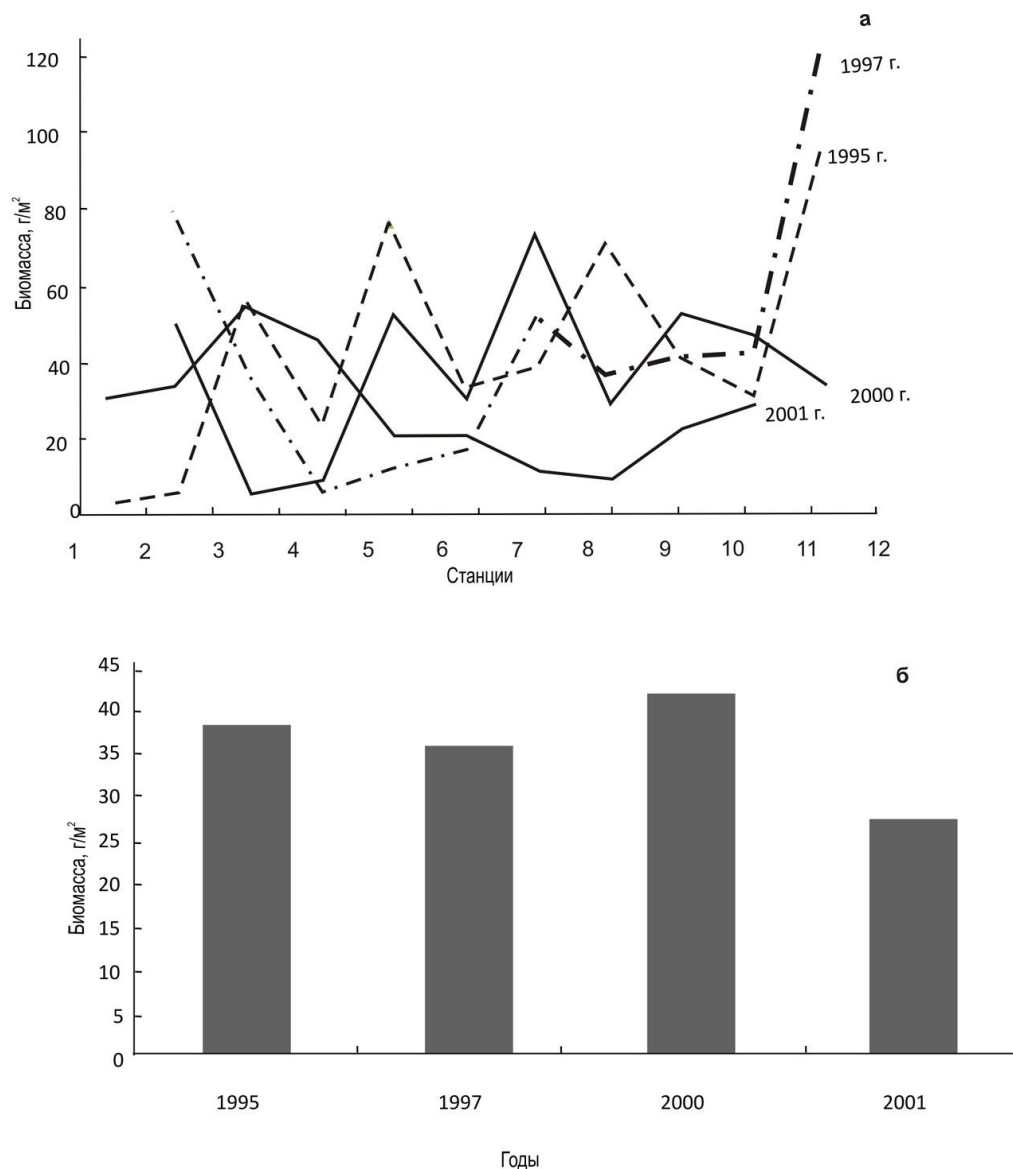


Рис. 3. Распределение биомассы бентоса на станциях разреза “Кольский меридиан” (а) и ее средние показатели (б) в период исследований

Анализ вариабельности состояния зообентоса в районе исследования выявил более значительную изменчивость всех оцениваемых количественных характеристик между станциями разреза, чем на одних и тех же станциях в разные годы наблюдений. Видовое богатство и биомасса зообентоса изменяются умеренно как вдоль разреза, так и во времени, что позволяет считать данные характеристики относительно стабильными. Общие показатели численности тесно связаны с популяционной структурой поселений отдельных видов, поэтому

сильно изменяются как вдоль разреза, так и во времени. Из этого следует, что биомасса и видовое богатство наиболее показательные характеристики для оценки долговременных изменений в донных сообществах.

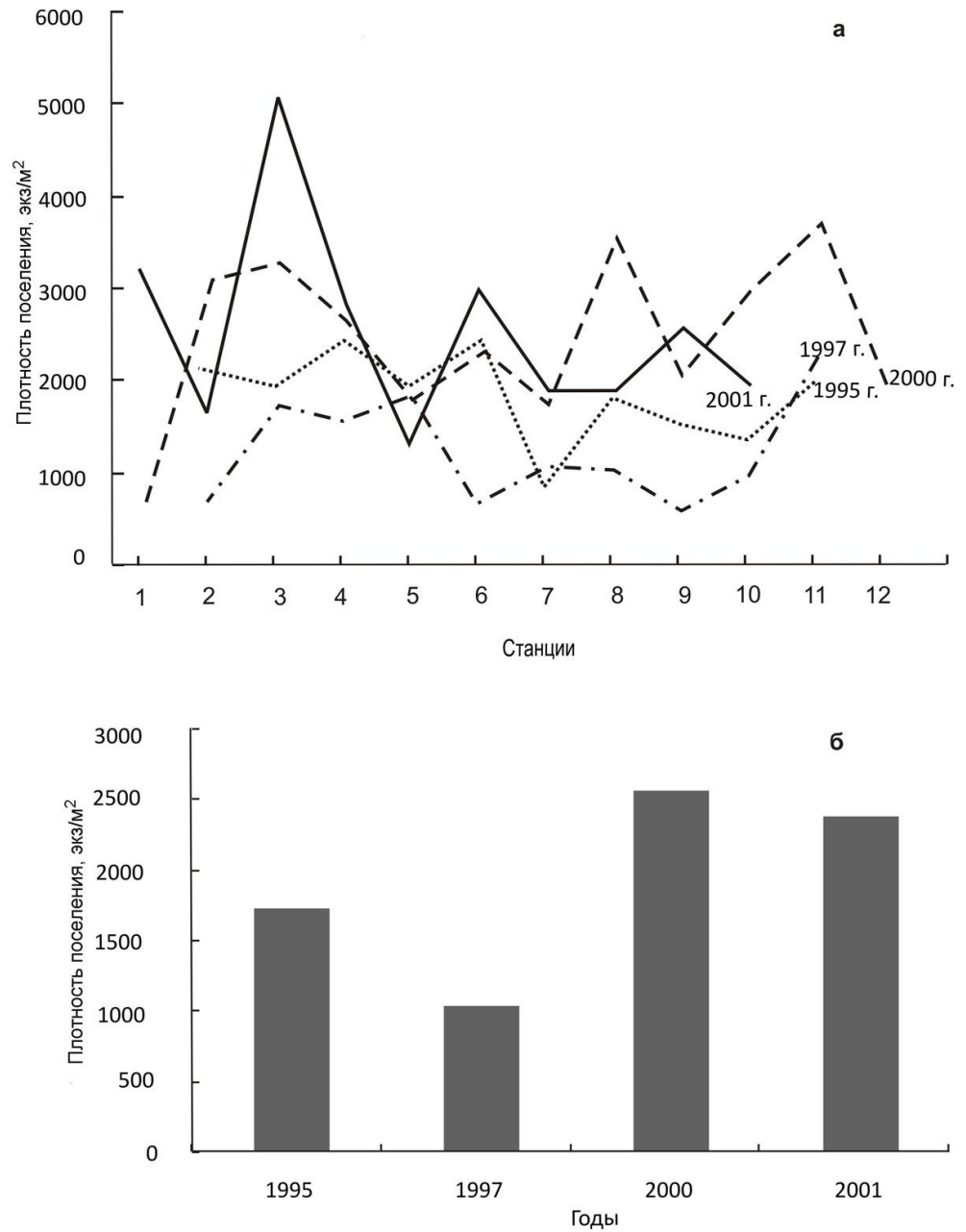


Рис. 4. Плотность поселения бентоса на станциях разреза “Кольский меридиан” (а) и ее средние показатели (б) в период исследований

Ранее на основе используемого в данной работе массива данных была установлена линейная корреляция между колебаниями усредненной биомассы отдельных видов зообентоса и изменениями среднегодовой температуры на разрезе



“Кольский меридиан” в слое 0–200 м. Было показано, что биомасса бореально-арктических видов возрастает при повышении температуры, а арктических – при понижении. Изменение биомассы проявляется с задержкой в 3–7 лет у разных видов (Влияние ..., 2007). Время задержки реакции на климатические изменения у различных видов зависит от продолжительности их жизни и особенностей размножения (Несис, 1960; Многолетние ..., 2000; Влияние ..., 2007). Бореальные и бореально-арктические виды, многие из которых имеют планктонную личинку в своем цикле развития, обладают более высоким потенциалом к расселению, чем арктические (чаще не имеющие пелагической личинки) (Несис, 1960). Этим можно объяснить различие во времени реакции биомассы бореальных и арктических видов на изменение условий среды.

**Биогеографический состав.** Вариабельность биогеографического состава фауны во времени была проанализирована К.Н.Несисом (1960) сравнением процентного соотношения количества бореальных и арктических видов на станциях. Виды указанных биогеографических групп в пределах разреза находятся на границе своих ареалов, а значит, наиболее чувствительны к колебаниям параметров среды. Такой подход позволяет выявить только наиболее важные тенденции происходящих изменений, не учитывая состояния самой обширной бореально-арктической группы видов (Несис, 1960).

В целом на разрезе “Кольский меридиан” по количеству видов преобладает бореально-арктическая фауна (52 %). На долю бореальных видов здесь приходится примерно 12 % и арктических – 8 %.

Самое высокое видовое разнообразие бореальных и субтропически-бореальных видов встречено на ст. 2 разреза, расположенной в зоне прохождения Прибрежной ветви Мурманского течения. Для арктических видов не установлено фиксированной точки с максимумом видового разнообразия (рис. 5).

Количество бореальных видов на разрезе, как правило, превышает численность арктических, что свидетельствует о значительном влиянии теплых атлантических вод на исследуемом участке моря. Однако в разные годы это соотношение может меняться на противоположное (рис. 5). Так, в относительно “теплом” 1995 г. только на станциях 6 и 7 разреза “Кольский меридиан” доля арктических видов превышала долю бореальных. В “холодном” 1997 г. соотношение арктических и бореальных видов повторяет тенденцию предыдущего периода, однако на всем протяжении разреза доля бореальных видов была выше. В последовавшем за холодным периодом теплом 2000 г. максимум разнообразия бореальных видов на разрезе сдвигается на юг к ст. 1. При этом в районе Прибрежной ветви значительно возрастает доля арктических видов. В этот период на станциях 5–8 количество бореальных видов превышает долю арктических. В последующем 2001 г. максимум обилия бореальных видов снова обнаружен в районе Прибрежной ветви Мурманского течения (ст. 2), а доля арктических видов лишь незначительно превышает процент бореальных на станциях 5 и 8.

Полученные результаты показывают, что максимумы видового обилия на станциях 2 и 8 созданы как бореальными и бореально-арктическими видами, так и арктическими, развивающимися в холодные периоды, когда наблюдается снижение разнообразия бореальных видов. Здесь высокий уровень видового разнообразия определяется не только температурными условиями, но и другими характеристиками среды обитания, такими как многообразие типов донных осадков и микрорельефа дна.

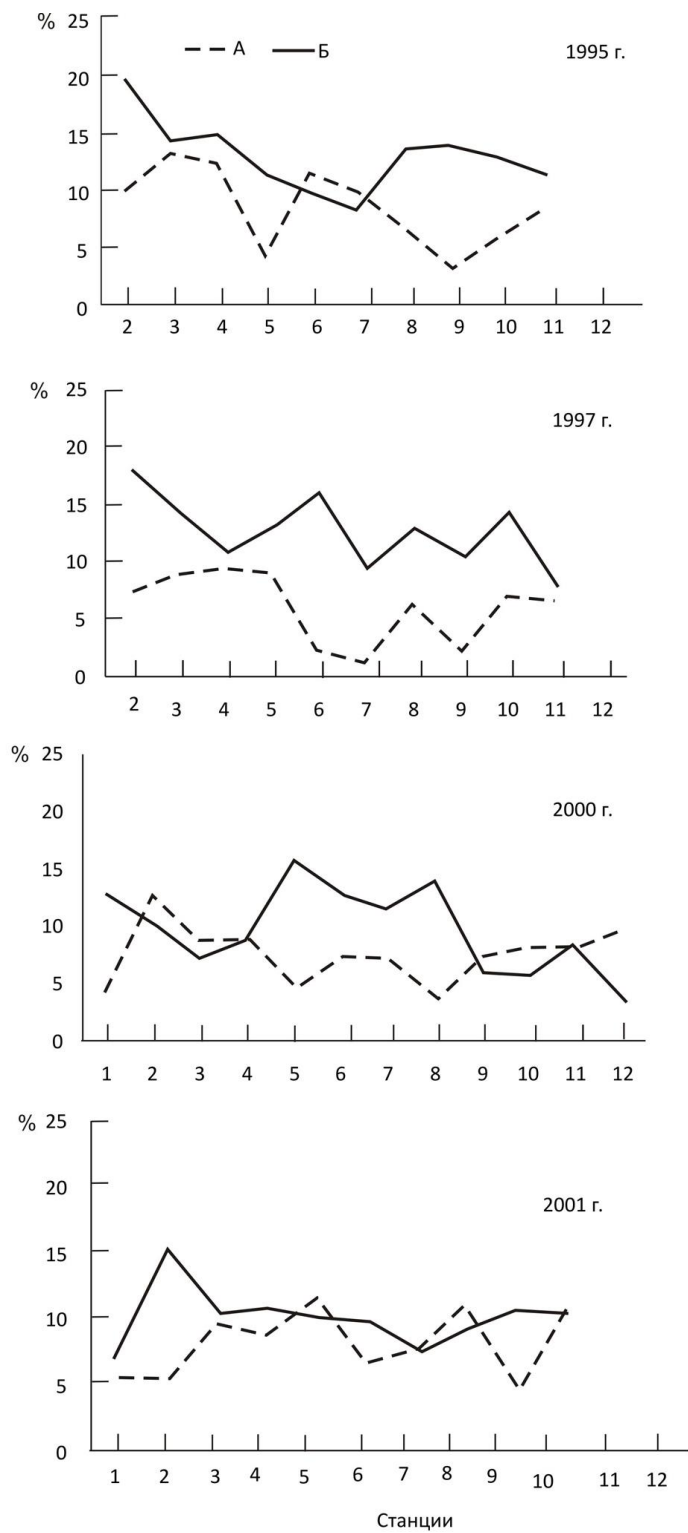


Рис. 5. Распределение доли арктических (А) и бореальных (Б) видов зообентоса от общего числа видов на станциях разреза “Кольский меридиан” в период исследований

Анализ полученных результатов подтвердил наличие задержки реакции зообентоса на изменение температурных условий. В целом проведенные наблюдения подтверждают влияние климата на биогеографическую структуру бентоса.

**Распределение донных сообществ.** За период наблюдений на разрезе выделено 5 видовых комплексов зообентоса (рис. 6).

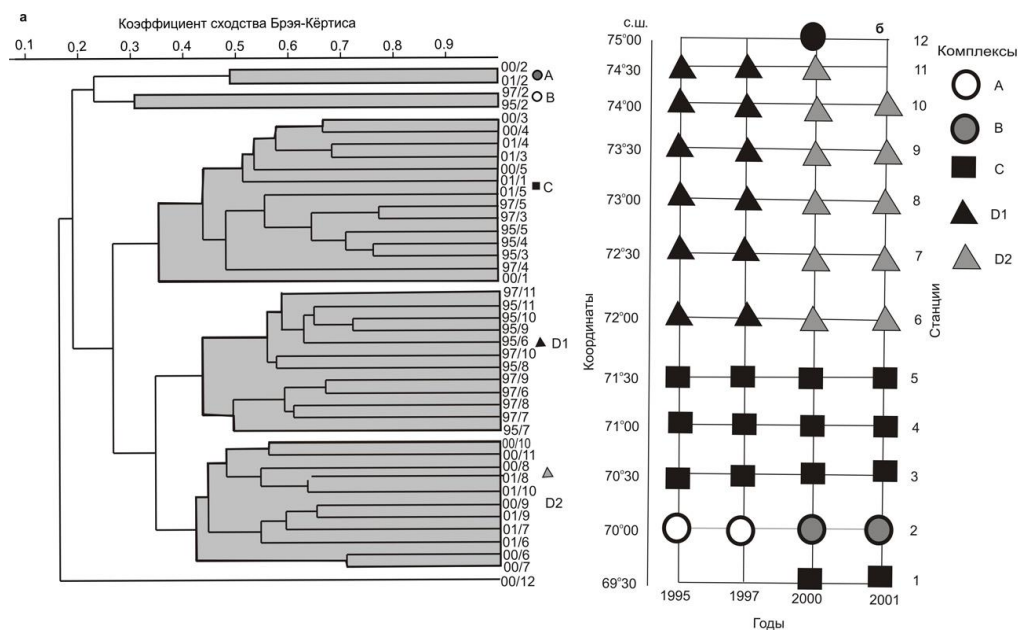


Рис. 6. Дендрограмма сходства видового состава зообентоса по коэффициенту Брэя-Куртиса на станциях разреза “Кольский меридиан” (а) и карта-схема распределения видовых комплексов зообентоса (б)

Донные сообщества, описанные на ст. 2 в 2000 и 2001 гг., объединены в комплекс А (рис. 6). Здесь по биомассе доминируют губки (35 %) и двустворчатый моллюск *Astarte crenata* (Gray, 1842) (12 %); по численности – двустворчатый моллюск *Mendicula ferruginosa* (Forbes, 1844), полихеты *Notoproctus oculatus* Arwidsson, 1906, *Pseudoscalibregma longisetosum* (Theel, 1879) и *Chone murmanica* Lucash, 1910. Однако степень их доминирования весьма незначительна: на долю каждого из этих видов приходится не более 4–5 % общей численности. В пределах распространения данного комплекса обнаружено 174 вида донных организмов. Видовое богатство очень высокое, в среднем  $143 \pm 2$  вида на станцию. Плотность поселения зообентоса в среднем составляет  $2700 \pm 300$  экз/м<sup>2</sup>, биомасса –  $14 \pm 6$  г/м<sup>2</sup>. По видовому составу, биомассе и численности в этом комплексе преобладают бореально-арктические виды (табл. 3). Бореальные виды превосходят долю арктических по всем количественным показателям (табл. 3).

На станции 2 в 1995 и 1997 г. донное население сгруппировано в комплекс В (рис. 6). По биомассе в этом комплексе преобладают голотурия *Molpadia borealis* (M.Sars, 1859) (32 %) и неправильный морской еж *Brisaster fragilis* (Duben, Koren, 1846) (18 %). По численности наибольшее значение имеют полихеты рода *Chone* (23 %), *N. oculatus* (4 %) и офиура *Ophiura sarsi* Lutken, 1855 (4 %). Здесь

отмечено 138 видов донных организмов. Видовое богатство в среднем составляет  $112 \pm 18$  видов на станцию. Средняя биомасса зообентоса составила  $60 \pm 15$  г/м<sup>2</sup>, плотность распределения –  $1300 \pm 700$  экз/м<sup>2</sup>. По количеству видов и численности особей здесь преобладают бореально-арктические виды (табл. 3). По биомассе выделяются арктические виды из-за доминирования крупной арктической голотурии *M. borealis* (M.Sars, 1859). Помимо этого, большое значение в биомассе имеют бореальные виды, за счет неправильного морского ежа *B. fragilis* (Duben, Koren, 1846) (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Биогеографический состав зообентоса в видовых комплексах, выделенных на разрезе “Кольский меридиан” по современным данным

Биогеографическая характеристика вида	Количество Видов	Биомасса, г/м <sup>2</sup>	Плотность поселения, экз/м <sup>2</sup>
Комплекс А			
Арктический	5	2	11
Бореально-арктический	50	35	43
Бореальный	16	16	19
Космополит	3	5	3
Субарктический	2	0.4	3
Неопределенный	25	41	20
Комплекс Б			
Арктический	8	34	4
Бореально-арктический	32	23	33
Бореальный	16	22	20
Космополит	3	1	2
Субарктический	2	0.1	4
Неопределенный	23	20	38
Комплекс С			
Арктический	11	2	4
Бореально-арктический	48	46	67
Бореальный	9	43	9
Космополиты	3	2	4
Субарктический	1	0.4	2
неопределенный	30	7	15
Комплекс D1			
Арктический	9	3	2
Бореально-арктический	49	79	76
Бореальный	10	3	7
Космополиты	4	4	3
Субарктический	1	0.1	1
Неопределенный	27	12	11
Комплекс D2			
Арктический	12	1.4	5
Бореально-арктический	52	83	58
Бореальный	7	5	17
Космополиты	3	2	7
Субарктический	2	0.1	1
Неопределенный	24	9	12

Комплекс С относительно стабилен в пространстве и времени. Он локализован на станциях 3, 4 и 5 в течение всего исследованного периода (рис. 6). Здесь постоянно встречаются двустворчатый моллюск *M. ferruginosa* (Forbes, 1844), полихеты *Maldane sarsi* Malmgren, 1867, *Asychis biceps* (M.Sars, 1861), *Scoloplos armiger* (O.F.Muller, 1776), *Paramphinoe jeffreysii* (McIntosh, 1868) и полихеты семейства Cirratulidae. В биомассу значительный вклад вносит неправильный

морской еж *B. fragilis* (39 %) и полихета *Spiochaetopterus typicus* M.Sars (13 %). По численности преобладают полихета *M. sarsi* (21 %) и двустворчатый моллюск *M. ferruginosa* (19 %). В комплексе отмечено 233 вида зообентоса. Видовое богатство составляет в среднем  $81 \pm 17$  видов на станцию, плотность поселения –  $2000 \pm 700$  экз/м<sup>2</sup>, биомасса –  $25 \pm 5$  г/м<sup>2</sup>. По всем количественным характеристикам преобладают бореально-арктические виды. Разнообразие арктических видов несколько выше, чем бореальных. По биомассе, напротив, доминируют бореальные виды (табл. 3).

Комплекс D отмечен в северной части разреза от 72° до 74°30' с. ш. (станции 6–11). Однако в разные годы в комплексе отмечены различия в структуре доминирования (рис. 6).

Комплекс D1 отмечен на станциях 6–11 в 1995 и 1997 гг. (рис. 6). Характерные виды: полихеты *S. typicus*, 1856, *Aglaophamus malmgreni* (Theel, 1879), *Galathowenia oculata* Zachs, 1923, *M. sarsi*, *P. jeffreysii*, *S. armiger*, *Terebellides stroemi* Sars, 1835, морская звезда *Ctenodiscus crispatus* (Retzius, 1805) и немертины. По биомассе и численности в пределах распространения комплекса доминирует полихета *S. typicus* (40 % биомассы и 34 % численности). Здесь встречено 169 видов. Видовое богатство составляло  $62 \pm 4$  вида на станцию, биомасса –  $45 \pm 7$  г/м<sup>2</sup>, плотность поселения –  $1300 \pm 160$  экз/м<sup>2</sup>. В данном фаунистическом комплексе доминируют по всем количественным показателям бореально-арктические виды. Доля в биомассе, численности и видовом разнообразии арктических и бореальных видов весьма незначительна (табл. 3).

Комплекс D2 обнаружен на тех же станциях в 2000–2001 гг. (рис. 6) и сходен по составу характерных видов с 1995 и 1997 гг. По биомассе в пределах комплекса доминирует полихета *S. typicus* (34 %). По численности преобладает двустворчатый моллюск *M. ferruginosa* (Forbes, 1844) (13 %). В этом комплексе обнаружено 239 видов. Видовое богатство зообентоса составляет  $98 \pm 5$  видов на станцию, биомасса –  $44 \pm 6$  г/м<sup>2</sup>, плотность поселения –  $2700 \pm 900$  экз/м<sup>2</sup>. Бореально-арктические виды значительно преобладают по всем количественным характеристикам. Разнообразие арктических видов в этом комплексе выше, чем бореальных (табл. 3).

## Обсуждение

Многочисленные исследования зообентоса в открытом море свидетельствуют об определяющей роли донных осадков, топографии дна и глубины обитания на видовой состав донной фауны (Зенкевич, 1963; Денисенко, 2006; Mapping ..., 2010). С другой стороны, установлено значительное влияние характеристик водных масс на формирование сходных по составу сообществ донных организмов, что было показано на примере ярко выраженных градиентных условий во фьордах Шпицбергена (Włodarska-Kovalczuk, Pearson, 2004; Структура ..., 2010). Установлена связь распределения отдельных видов, обитающих на границе своих ареалов от климатических флуктуаций (Несис, 1960; Galkin, 1998). Современные количественные наблюдения за зообентосом на разрезе “Кольский меридиан” также свидетельствуют о влиянии океанологических условий, таких как теплосодержание вод и их колебаний, на структуру комплексов зообентоса и их изменчивость. Доказательством тому является смена комплексов видов северной части разреза в разные годы наблюдений. В 1995–1997 годах в состав комплексов входило

большее количество бореальных видов, чем арктических, в то время как уже в 2000–2001 гг. количество арктических видов здесь выше. Вероятно, первая половина исследованного периода отражает “теплый этап”, предшествовавший 1995 г., вторая (2000–2001 гг.) – небольшое похолодание конца 1990-х гг. (1999 г). Полученные данные свидетельствуют о том, что биоценотический облик донных сообществ так же, как и их биомасса, реагирует на климатические изменения с определенным периодом задержки.

Севернее 72° с. ш., несмотря на сходный характер осадков и глубину, состав донных сообществ отличается от тех, что расположены южнее. Следовательно, на структуру фауны здесь могли оказать влияние только океанологические условия, в основном теплосодержание вод. Именно на этом участке разреза (севернее 72° с. ш.) придонная температура вод в течение года остается минимальной (Карсаков, 2009; Matishov et al., 2009).

Донное население на ст. 2 разреза, расположенной в районе прохождения самой теплой Прибрежной ветви Мурманского течения на илистых грунтах с высоким содержанием спикул губок, обладает уникальным видовым составом. Этот комплекс видов относительно стабилен во времени. Зообентос отличается максимальным для всего исследованного района видовым разнообразием. Теплые водные массы Прибрежного течения, поступающие с запада, на этом участке разреза проходят у дна, что позволяет многим тепловодным видам акклиматизироваться здесь. На этой станции разреза встречено максимальное количество бореальных видов, среди которых отмечены и новые для фауны Баренцева моря (Любина и др., 2012). Однако на ст. 2 широко представлены как бореальные, так и арктические виды. Вероятно, этому способствует высокая “емкость” самого биотопа, что приводит к значительному увеличению видового разнообразия.

В центральной части разреза “Кольский меридиан” в течение всего исследованного периода отмечена высокая стабильность характера донного населения. Вероятно, сходство структуры видовых комплексов здесь связано с постоянством гидрологических условий. Амплитуды колебаний придонной температуры и солености в этом районе минимальные (Карсаков, 2009).

Базовые исследования макрозообентоса, проведенные на разрезе “Кольский меридиан” показали, что донные сообщества реагируют на изменение состояния среды не только колебаниями количественных характеристик, но и сменой видового состава.

При анализе распределения и вариабельности зообентоса на разрезе мы не учитывали антропогенное воздействие на этот район моря, которое, возможно, оказывает влияние на донную фауну. Обеднение бентосных сообществ в районе ст. 1, расположенной в устье Кольского и Мотовского заливов, вероятно, может быть следствием повышенного уровня загрязнения здесь донных осадков (Состояние..., 2007). Помимо этого, в юго-западном районе Баренцева моря, где расположен разрез “Кольский меридиан”, ведется интенсивный траловый промысел, что не могло не отразиться на составе и обилии зообентоса (Денисенко, 2007). Мы предполагаем, что полученные количественные данные можно использовать для изучения влияния климата на донную фауну и ее структуру, поскольку все пробы были собраны дночерпателем по единой методике. Известно, что дночерпатель адекватно облавливает организмы инфауны, имеющие относительно небольшие размеры.

## Л и т е р а т у р а

*Бойцов В.Д.* Изменчивость температуры воды в Баренцевом море и ее прогнозирование. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2006. 292 с.

*Бочков Ю.А., Кудло Б.П.* Многолетние изменения температуры воды Баренцева моря и их влияние на общую биомассу бентоса // Состав распределение и экология донной фауны Баренцева моря: Тез. докл. Мурман. обл. науч. конф. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1973. С. 3–7.

*Влияние* климатических изменений на зообентос Баренцева моря (на примере нескольких массовых видов) / Е.А.Фролова, О.С.Любина, Д.Р.Дикаева и др. // Докл. РАН. 2007. Т. 416, № 1. С. 139–142.

*Денисенко С.Г.* Многолетние изменения донной фауны Баренцева моря и гидрологические флуктуации вдоль разреза “Кольский меридиан” // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе “Кольский меридиан”. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2005. С. 65–76.

*Денисенко С.Г.* Многолетние изменения зообентоса в Печорском море // Изв. РГО. 2006. Т. 138, вып. 2. С. 37–48.

*Денисенко С.Г.* Зообентос Баренцева моря в условиях меняющегося климата и антропогенного воздействия // Динамика морских экосистем и проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток: Дальнаука, 2007. С. 418–511.

*Дерюгин К.М.* Баренцево море по Кольскому меридиану (33°30' в. д.) // Тр. Сев. науч.-пром. экспедиции. 1924. Вып. 19. 105 с.

*Зенкевич Л.А.* Материалы по экологии руководящих форм зообентоса Баренцева моря // Биология северных и южных морей СССР. М.: Наука, 1927. С. 46–54.

*Зенкевич Л.А.* Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 739 с.

*Ивантер Э.В., Коросов А.В.* Введение в количественную биологию: учебное пособие. Петрозаводск.: Изд. ПетрГУ, 2003. 203 с.

*Карсаков А.Л.* Океанографические исследования на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море за период 1900–2008 гг. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2009. 139 с.

*Климатические* изменения морских экосистем Европейской Арктики / Г.Г.Матишов, С.Л.Дженюк, Д.В.Моисеев, А.П.Жичкин // Проблемы Арктики и Антарктики. 2010. № 3(86). С. 7–21.

*Любина О.С., Зимина О.Л., Анисимова Н.А.* Распределение и изменчивость фауны амфипод (Crustacea, Amphipoda) на Кольском разрезе (Баренцево море) // Докл. РАН. 2012. Т. 442, № 3. С. 426–429.

*Многолетние* изменения донной фауны Баренцева моря и гидрологические флуктуации вдоль разреза “Кольский меридиан” / С.Г.Денисенко, А.Рахор, Н.В.Денисенко и др. // Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2000. С. 57–58.

*Несис К.Н.* Изменения донной фауны Баренцева моря под влиянием колебаний гидрологического режима // Советские рыбохозяйственные исследования в морях Европейского Севера. М.: Рыбное хозяйство, 1960. С. 129–138.

*Состояние* геологической среды континентального шельфа Балтийского, Белого и Баренцева морей // Инф. бюл. ФГУП “Севморгео”. СПб., 2007. № 9. 55 с.

*Структура* зообентоса фьордов Западного Шпицбергена: влияние условий среды на распределение и состав / О.С.Любина, О.Л.Зимина, Е.А.Фролова и др. // Природа шельфа и архипелагов Европейской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена: Матер. Междунар. конф. Вып. 10. М.: ГЕОС, 2010. С. 422–429.

*Танасийчук Н.П.* Зоологические результаты рейса до 75° с. ш. по Кольскому меридиану в августе 1925 г. // Докл. АН СССР. 1927. № 21. С. 359–363.

Танцюра А.И. О течениях Баренцева моря // Тр. ПИНРО. 1959. Вып. 11. С. 35–53.

Терещенко В.В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солёности воды основных течений на разрезе “Кольский меридиан” в Баренцевом море // Тр. ВНИРО. 1997. С. 5–8.

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

ICES Report on Ocean Climate 2009: prep. by the Working Group on Oceanic Hydrography / S.L.Hugnes, N.P.Holliday (Eds.) // ICES Coop. Res. Rep. 2010. № 304 (Spec. Iss.). 67 p.

Galkin Yu.I. Long-term changes in the distribution of mollusks in the Barents Sea related to the climate // Berichte zur Polarforschung. 1998. V. 287. P. 100–143.

Gurevich V.I. Recent sedimentogenesis and environment on the arctic shelf of Western Eurasia. Oslo, 1995. Medd. 131. 92 p.

Hammer O., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // Palaeontologia Electronica. 2001. V. 4(1). P. 9–15.

Lyubina O.S. Atlantic current influence on the Barents Sea biodiversity on example of zoobenthos // Abstracts of the 13<sup>th</sup> annual Symposium for Biology Students of Europe – Kazan 2009 / T.Baltina (Ed.). Kazan: Printed Kazan State University, 2009. P. 38.

Mapping and monitoring of benthos in the Barents Sea and Svalbard waters: Results from the joint Russian-Norwegian benthic programme 2006–2008 / N.A.Anisimova, L.L.Joergensen, P.A.Lyubin, I.E.Manushin // IMR-PINRO Joint Report Ser. 1. 2010. 114 p.

Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // Oceanologia. 2009. V. 51(3). P. 321–340.

Piechura J., Walczows ki W. Warming of the West Spitsbergen Current and sea ice north of Svalbard // Oceanologia. 2009. V. 51(2). P. 147–164.

Wlodarska-Kovalczuk M., Pearson T. Soft-bottom faunal associations and factors affecting species distributions in an Arctic glacial fjord (Kongsfjord, Spitsbergen) // Polar Biol. 2004. V. 27. P. 155–167.



Научное издание

ТРУДЫ  
КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

ОКЕАНОЛОГИЯ  
Выпуск 1

Редактор Е.Н. Еремеева  
Технический редактор В.И. Бондаренко

Подписано к печати 16.04.2012  
Формат бумаги 60x84 1/8

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic  
Усл. Печ. л. 26.15 Заказ № 20. Тираж 200 экз.