

Российская Академия Наук

ВЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

2/2015



- естественные и технические науки
- contents

2/2015(21)

издается с декабря 2009 года

ISSN 2307-5228

ISBN 978-5-91137-296-5

Российская Академия Наук

ВЕЕСТНИК

Кольского научного центра РАН

Учредитель - Учреждение Российской академии наук Кольский научный центр РАН

Ответственный редактор -
д.г.-м.н. В.П. Петров
Заместитель главного редактора -
д.т.н. А.Я. Фридман (руководитель
редакции)

Редакционный совет:
академик Г.Г. Матишов,
академик Н.Н. Мельников,
чл.-корр. В.К. Жиров,
чл.-корр. А.И. Николаев,
д.г.-м.н. Ю.Л. Войтеховский,
д.т.н. Б.В. Ефимов,
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)

**Специальный выпуск журнала
посвящается 80-летию Мурманского морского биологического института
Кольского научного центра РАН**

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) с 2009 г.

184209, Мурманская область, г. Апатиты, ул. Ферсмана, д.14.
Кольский научный центр РАН, редакция журнала "Вестник Кольского научного центра РАН"
Тел.(81555)79226. Факс (81555)76425
E-mail: usov@admksk.apatity.ru

ЕСТЕСТВЕННЫЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

В.С. Зензеров	Мурманскому морскому биологическому институту – 80. Роль ММБИ КНЦ РАН в укреплении приоритета российской науки в Арктике.....	4
Г.Г. Матишов	Климат и океанографические исследования северных и южных морей.....	11
О.С. Любина, А.А. Фролов	Современные исследования зообентоса Баренцева моря и сопредельных вод.....	20
А.А. Олейник	Фитопланктон побережья архипелага Земля Франца-Иосифа.....	25
А.Г. Дворецкий	Вклад ученых Мурманского морского биологического института в изучение камчатского краба Баренцева моря.....	33
Г.М. Воскобойников, М.В. Макаров, С.В. Малавенда, И.В. Рыжик	Адаптация и регуляция роста у макрофитов Баренцева моря.....	40
М.М. Куклина, В.В. Куклин	Экспериментальное исследование особенностей физиологии и питания ленточных червей <i>Tetrabothrius minor</i> (Cestoda: Tetrabothriidae).....	49
А.В. Ежов	Итоги 15-летнего мониторинга крупнейших материковых колоний моевок и кайр побережья Мурманска.....	53
Н.Н. Кавцевич, Т.В. Минзюк, И.А. Ерохина	Эколого-физиологические параметры тюленей разного возраста....	59
Д.Г. Ишулов, А.Л. Михайлюк, М.В. Пахомов	Опыт лаборатории биотехнических систем в работе с арктическими ластоногими: от теории до практики.....	70
Е.Д. Облучинская	Методологические подходы к разработке биопрепаратов на основе фукусовых водорослей.....	78
Г.В. Ильин, И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина	Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок.....	82
С.Л. Дженюк	К обоснованию комплексной системы мониторинга морей Западной Арктики.....	94
Г.Г. Матишов, В.В. Денисов, А.П. Жичкин	Морское природопользование в западном секторе Арктики: проблемы и решения.....	103
А.А. Шавыкин	Методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Пример карт для Кольского залива.....	113
Г.А. Тарасов	Четвертичный осадочный чехол Западно-Арктического шельфа: литологическое строение, пространственное распределение.....	124
	CONTENTS	136

Редколлегия:

д.т.н. А.Я. Фридман (руководитель редакции), д.б.н. Н.К. Белишева, к.т.н. П.Б. Громов, д.ф.-м.н. В.Е. Иванов, д.б.н. Н.А. Кашулин, д.т.н. А.А. Козырев, д.б.н. П.Р. Макаревич, д.т.н. А.Г. Олейник, д.и.н. И.А. Разумова, к.г.-м.н. Т.В. Рундквист, д.э.н. В.С. Селин, к.т.н. А.Ф. Усов (ответственный секретарь)

Редактор А.С. Менделева

Информационная поддержка И.Г. Савчук

И.о. зав. издательством В.И. Бондаренко

Верстка, фото Е.Т. Мартыновой

Российская Академия Наук

Кольский научный центр

МУРМАНСКИЙ МОРСКОЙ
БИОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ



1935



2015

УДК 94 (47) (470.21).463

**МУРМАНСКОМУ МОРСКОМУ БИОЛОГИЧЕСКОМУ ИНСТИТУТУ – 80. РОЛЬ ММБИ
КНЦ РАН В УКРЕПЛЕНИИ ПРИОРИТЕТА РОССИЙСКОЙ НАУКИ В АРКТИКЕ**

В.С. Зензеров

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Представлены данные по 80-летней истории Мурманского морского биологического института, начавшейся с биологической станции в Дальних Зеленцах (1935 г.), а еще ранее – с биостанций на Соловецких островах (Белое море) и в Кольском заливе Баренцева моря. Отмечены основные направления исследований ММБИ КНЦ РАН, а также важнейшие результаты исследований по изучению арктических экосистем. Обоснована роль ММБИ в укреплении приоритета Российской науки в этом регионе.

Ключевые слова:

Баренцево море, история ММБИ, Дальние Зеленцы, основные результаты и перспективы исследований в Арктике.



Постановлением Совета Народных комиссаров РСФСР 10 марта 1935 года был принят Декрет о создании Мурманской биологической станции в Дальних Зеленцах (МБС) на Восточном побережье Баренцева моря. Именно эта дата – официальный день рождения Мурманского морского биологического института, а МБС создала все предпосылки для организации первого в Заполярье академического биологического института, которому в 2015 году исполнилось 80 лет.

Но история гидробиологических исследований на Севере России, включая работы Мурманского морского биологического института, началась в более ранние годы. По инициативе члена Санкт-Петербургского общества естествоиспытателей, профессора Н.П. Вагнера и при содействии настоятеля Соловецкого монастыря архимандрита Мелетия в 1881 г. была создана первая в России биологическая станция на Соловецких островах, положившая начало дальнейшим исследованиям российских ученых в Арктике.

Станция сыграла важную роль в развитии отечественной биологической науки на севере России, получила известность и признание за рубежом. А главное – на ее базе выросли многие известные российские ученые.

После закрытия биологической станции в 1899 году она перебазировалась в Екатерининскую гавань Кольского залива (г. Александровск). Выполняется широкий комплекс океанологических и гидробиологических исследований Кольского залива и побережья Баренцева моря. Уникальные данные получены по флоре и фауне Кольского залива. Следует указать, что на биостанции работали известные российские ученые, которые внесли весомый вклад в развитие отечественной гидробиологической науки: Г.А. Клюге, В.А. Догель, А.П. Заварзин, М.А. Ливанов, О.К. Линко, Е.С. Зинова и многие другие.

В 1933 году с созданием в г. Александровске (сегодня г. Полярный) базы Северного военного флота биологическая станция была закрыта. Однако новая биологическая станция на Баренцевом море была необходима. В 1934 г. под руководством профессора Е.М. Крепса, с участием профессора К.М. Дерюгина и других известных российских ученых была проведена экспедиция по выбору места новой биологической станции Академии наук.

Таким местом стала губа Дальнезеленецкая на Восточном побережье Баренцева моря. Организация станции была законодательно утверждена Декретом Совнаркома. Биологическая станция в Дальних Зеленцах не только продолжила славную традицию изучения Севера России в предыдущие годы, но и послужила основой создания в 1958 г. на ее базе Мурманского морского биологического института (ММБИ) – ведущего отечественного академического исследовательского центра по океанологии, биологии и экологии арктических экосистем. С первых дней небольшой коллектив еще строящейся Зеленецкой биостанции активно включается в изучение гидробиологии побережья и открытых морских акваторий Баренцева моря. Имея небольшие «маломерные» суда (т.н. «научный флот»), сотрудники станции выполняют значительный объем исследовательских работ по изучению гидрологии и гидрохимии побережья Баренцева моря, состояния планктона, бентоса и ихтиофауны в этих районах с учетом климатических воздействий на флору и фауну северных морей, решая при этом и прикладные задачи Мурманской области.

Оценивая значение организации Мурманской биологической станции в Дальних Зеленцах, профессор К.М. Дерюгин писал: «Можно быть уверенным, что Мурманская биологическая станция на новом месте, под высоким руководством АН СССР будет успешно развиваться и станет Всесоюзной базой для научных работников, а также продолжит то большое дело исследования Баренцева моря и подготовки кадров исследователей морей, которое долгие годы с успехом вела Мурманская биологическая станция в Кольском заливе» [1].

Работы, проводимые на Дальнезеленецкой биостанции в 1950-х гг., по своим фундаментальным и прикладным задачам, получаемым результатам создали основу для организации в 1958 г. Мурманского морского биологического института Академии наук (рис. 1).



Рис. 1. Мурманский морской биологический институт в Дальних Зеленцах (1980-е гг.)

В разные годы руководителями Мурманской биологической станции и Мурманского морского биологического института Российской академии наук являлись: академик С.А. Зернов, докторант Зоологического института АН СССР М.С. Зернов, профессор В.В. Кузнецов, профессор М.М. Камшилов, к.б.н. Ю.И. Галкин, д.б.н. И.Б. Токин, академик Г.Г. Матишов (директор ММБИ КНЦ РАН в настоящее время). Все они вместе с коллективом сотрудников способствовали развитию научных исследований, созданию необходимых условий для их реализации, включая обеспечение научных работ современным оборудованием, решение

социальных и «жизнейских» проблем. Главное, что все они внесли свой весомый вклад в историю Мурманского морского биологического института.

Последующее время – это годы напряженного труда коллектива по изучению биологии и экологии северных морей России. Совершенствуется и обновляется материально-техническая база Института, который в 1970–1980-х гг. получает новые экспедиционные НИС «Дальние Зеленцы» и «Помор». Экспедиционные исследования в арктических морях на НИС «Дальние Зеленцы» значительно расширяют акватории исследований ММБИ в морях Арктики (рис. 2).

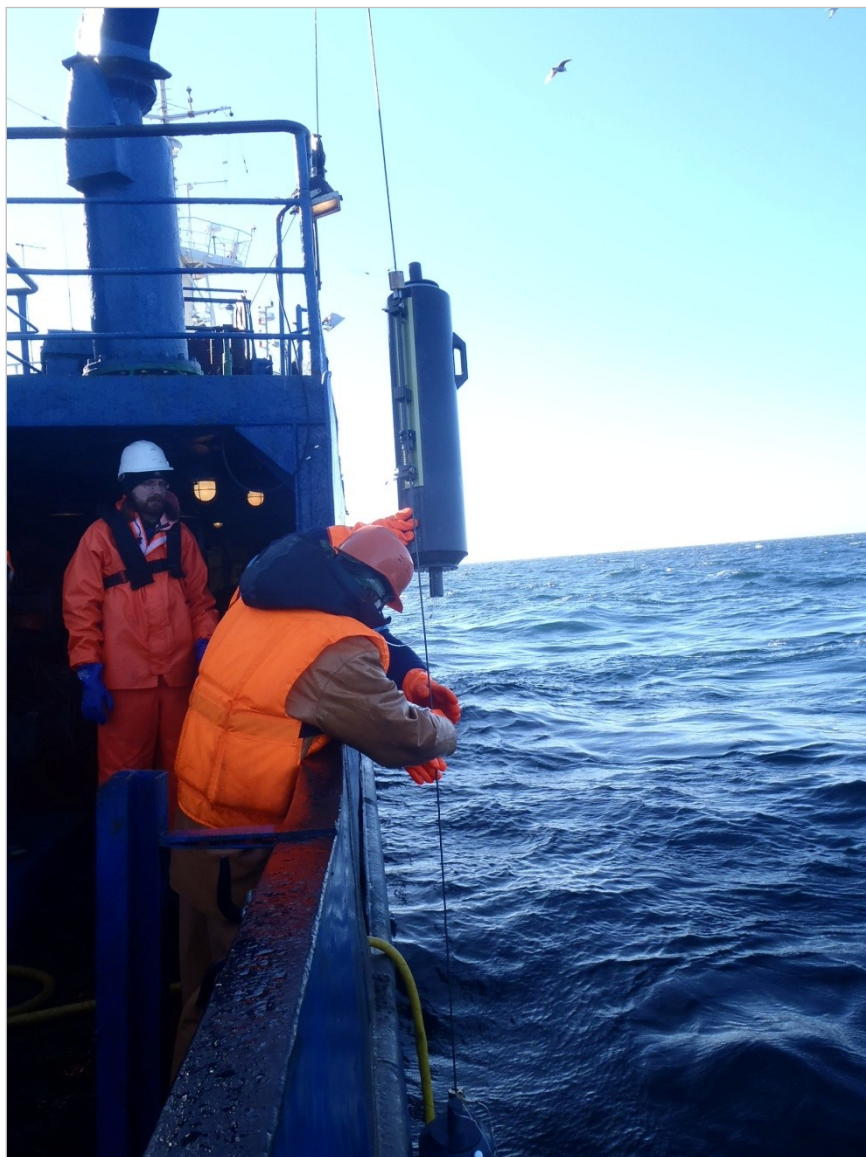


Рис. 2. Отбор проб на НИС «Дальние Зеленцы» в Баренцевом море

Институт совершенствует материально-техническую базу, приобретаются новейшие оптические микроскопы, спектрофотометры. Впервые в Заполярье в ММБИ установлен современный (по тем годам) японский трансмиссионный электронный микроскоп. Значительно улучшаются социальные условия жизни сотрудников ММБИ: введена в строй высоковольтная линия электропередачи (ЛЭП), построен многоквартирный жилой дом, школа, детский сад и другие объекты, обеспечивающие нормальные социальные условия жизни сотрудников Института. Выполняются эксперименты по разработке биотехнологий искусственного воспроизводства морских рыб и беспозвоночных [2]. Под

руководством профессора М.М. Камшилова, первого директора Мурманского морского биологического института АН СССР который определил основные задачи экосистемных исследований в северных морях России, впервые выполнены экспериментальные работы по адаптации камчатского краба в Баренцевом море, что послужило основой его акклиматизации к новой среде обитания [3]. На акватории губы Дальнезеленецкой под руководством и при активном участии к.б.н. В.Н. Макарова сотрудниками лаборатории альгологии впервые была создана опытная научно-промышленная плантация по выращиванию ламинарии. Проводятся уникальные эксперименты сотрудниками лабораторий эмбриологии, цитологии, физиологии, гидрологии, ихтиологии, альгологии в аквариальной Института и на акватории губы Дальнезеленецкой. По инициативе Г.Г. Матишова (директора ММБИ с 1981 г.) создается лаборатория морских млекопитающих, выполняются уникальные исследования по их биологии и физиологии при содержании в искусственных условиях, на базе которых начались разработки новых биотехнологий использования этих животных в прикладных целях, в том числе и для повышения боеспособности Северного флота [4] (рис. 3).



Рис. 3. Научно-экспериментальный полигон ММБИ по исследованиям морских млекопитающих в г. Полярный

Одним из главных направлений работы ММБИ за весь период его истории остаются экспедиционные исследования. Акватории исследований включают Баренцево, Печорское, Карское моря, море Лаптевых, архипелаги Новая Земля, Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и другие районы арктических морей, а также экспедиционные работы в южных морях России на базе Азовского филиала ММБИ в Ростове-на-Дону. Только за последние 5 лет (2009–2013 гг.) ММБИ провел и участвовал в более чем 100 морских и береговых экспедициях, в том числе в 22 международных, несмотря на известные трудности финансирования по проведению этих важных исследований. Следует сказать, что для выполнения такого большого объема работ ММБИ КНЦ РАН использует свои научные суда, а также суда других организаций, в том числе зарубежных партнеров, с которыми мы поддерживаем хорошие творческие связи. Особенно можно отметить участие наших ученых в рейсах на атомных ледоколах Мурманского пароходства по трассе «Севморпуть», которые успешно осуществляются на протяжении более 10 лет (рис. 4).

По результатам этих экспедиций получены новые данные о функционировании экосистем в ледовых условиях, показавшие высокую и еще недостаточно изученную степень адаптации арктической флоры и фауны к этим суровым условиям [5].

Важную роль в получении первичных данных для анализа современного состояния и динамики морских и прибрежных экосистем северных и южных морей России под воздействием климатических и антропогенных воздействий играют биостанции, научно-экспедиционные базы, экспериментальные полигоны, которыми на сегодняшний день располагает Институт (сезонная биостанция в Дальних Зеленцах, акваполигоны содержания морских млекопитающих в городах Гаджиево и Полярный, научно-экспедиционные базы в Кагальнике и Маныче (Азовский филиал Института), научная станция на арх. Шпицберген). Ежегодно на них работают сотрудники ММБИ КНЦ РАН, Азовского филиала Института, Южного научного центра РАН, ученые из других регионов России, зарубежные специалисты, аспиранты и студенты Мурманска и других городов России.



Рис. 4. Атомный ледокол «Советский Союз»

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН уделяет большое внимание подготовке квалифицированных научных кадров как за счет их обучения в системе высшего образования (создание специализированных кафедр ММБИ в вузах Мурманска), так и на основе созданного в ММБИ специализированного ученого совета по защите докторских и кандидатских диссертаций. За период 2005–2014 гг. защищено 6 докторских, 28 кандидатских диссертаций. Это неплохие показатели, но сотрудникам Института необходимо более эффективно использовать имеющиеся возможности для своего профессионального роста.

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН остается ведущим академическим учреждением России, участвующим в экологическом обосновании и реализации крупных проектов, связанных с освоением крупных запасов нефти и газа на Арктическом шельфе. Главная задача ученых Института – сохранение уникального биоразнообразия природы арктических морей, их биоресурсов в условиях возрастающей хозяйственной деятельности в этом регионе. Специалисты ММБИ КНЦ РАН постоянно участвуют в разработке инженерно-экологических сопровождений проектов освоения больших запасов нефти и газа на Арктическом шельфе для обеспечения экологической безопасности биоты арктических морей при строительстве, эксплуатации и транспортировке нефтегазового сырья.

Институт находится в постоянном движении и поиске. Наряду с уже имеющимися разрабатываются новые, отвечающие современным вызовам науки, направления. Прежде всего это радиационная экологическая океанология [6]. Учитывая значительный объем радиационных объектов, сосредоточенных на территории Мурманской области и на акватории северных морей России, таких как «Атомфлот», Атомная станция, Северный военный флот и другие, развитие этого направления в ММБИ явилось важным как в фундаментальном, так и прикладном значении. Исследования позволили оценить современное радиационное состояние Арктического региона, проследить динамику радионуклидов в зависимости от источников и путей их распространения.

Продолжаются исследования и по другим важным направлениям фундаментальной и прикладной исследовательской деятельности ММБИ: цитология и физиология морских организмов, исследования планктона, морская геология, орнитология и паразитология, альгология, зообентос, ихтиология, океанография, что нашло отражение во многих тематических изданиях ММБИ [7–12 и др.].

В связи с вселением в Баренцево море камчатского краба в 1960-х гг. в ММБИ проводятся работы по изучению биологии и физиологии вселенца. В береговых экспедициях и в морской аквариальной Института исследуются особенности его биологии и физиологии в новом районе обитания, динамики численности в прибрежье Баренцева моря. Экспериментально изучаются рационы питания, рост и развитие краба в искусственных условиях, выявляются механизмы его адаптации к изменению среды, впервые получены данные по уровням гормонов в гемолимфе, разрабатываются биотехнологии его аквакультуры [13, 14].

Многие результаты исследований ММБИ КНЦ РАН вошли в достижения Российской академии наук, опубликованы в ведущих российских и зарубежных изданиях. Только за последние 10 лет издано более 50 монографий, опубликовано 700 статей в центральных и зарубежных изданиях. Институт сотрудничает со многими российскими и зарубежными научными и научно-производственными организациями, что позволяет получать результаты мирового уровня.

В сложный перестроечный период, в годы реформирования науки Институт смог не только выжить, но сохранить и укрепить свой научный потенциал, отстоять позиции лидера в исследованиях Арктики. Словно предвидя эти трудные годы, еще в 1981 г., став руководителем ММБИ, будущий академик Г.Г. Матишов поставил перед коллективом основные задачи, позволившие Институту занять одно из ведущих мест в академической науке на Севере России:

- мы должны быть командой единомышленников с одной целью – служить интересам науки;
- фундаментальные исследования должны давать практические результаты;
- необходимо учиться зарабатывать деньги;
- в любой ситуации нужно надеяться на себя.

Хотелось бы подчеркнуть: историю ММБИ создавали люди разных поколений, все они развивали и укрепляли приоритет отечественной науки в Арктике. Успехи и достижения Института – это результат сохранения и развития научных идей, которые были заложены в работе биостанций на Соловецких островах, в Екатерининской гавани Кольского залива, в Дальних Зеленцах на Восточном побережье Баренцева моря.

Мурманский морской биологический институт прошел трудный, но плодотворный путь за 80 лет. И это наша история, которую нельзя изменить и забыть. И все мы, сотрудники Института разных поколений, просто делали свое дело, иногда в трудных условиях, вкладывали крупицу своего труда для будущего ММБИ.

Сегодня ММБИ, обладая большим опытом изучения северных морей, с успехом использует его в совместных исследованиях с коллегами Южного научного центра в Ростове-на-Дону, созданного при активном участии академика Г.Г. Матишова в 2003 г. Северяне из ММБИ и южане из Азовского филиала ММБИ и ЮНЦ РАН проводят совместные исследования в северных и южных морях России.

ММБИ КНЦ РАН располагает развитой научно-производственной инфраструктурой, высоким научным потенциалом (17 докторов и 41 кандидат наук), современной научной базой, что позволяет коллективу Института решать важные фундаментальные и прикладные задачи. В составе Института 14 научных и научно-технических лабораторий и отделов: лаборатории альгологии (зав. д.б.н. Г.М. Воскобойников), зообентоса (зав. к.б.н. А.Г. Дворецкий), планктона (зав. к.б.н. Е.И. Дружкова), ихтиологии и физиологии (зав. к.б.н. О.В. Карамушко), морских млекопитающих (зав. д.б.н. Н.Н. Кавцевич), орнитологии и паразитологии (зав. к.б.н. В.В. Куклин), океанографии и радиоэкологии (зав. к.г.н. Г.В. Ильин), геологии и геодинамики (зав. д.г.-м. н Г.А. Тарасов), инженерной экологии (зав. к.т.н. А.А. Шавыкин), океанографии и биологии южных морей (зав. д.г.н. С.В. Бердников); Азовский филиал (зав. чл.-корр. РАН Д.Г. Матишов); отделы научно-технической информации (зав. Ю.И.Ивакина), флота (зав. Н.М. Твердунов); лаборатория биотехнических систем и научно-технический аквакомплекс в городах Гаджиево и Полярный (зав. к.б.н. А.Л. Михайлюк), а также ряд других отделов и служб, обеспечивающих его научно-организационную деятельность. В Институте работает много молодых ученых, и сочетание их энтузиазма с опытом старшего поколения – основа его дальнейшей успешной работы.

На пройденном ММБИ научном и жизненном пути за 80 лет были не только успехи и достижения. Случались временные неудачи и потери, многие коллеги и друзья ушли из жизни. Но Институт будет помнить о них с чувством глубокого уважения и признательности к их труду.

«Смотреть вперед и помнить» – прекрасные слова, которые должны быть всегда с нами, если хотим сохранить и прошлое, и будущее Института [15]. Встречая свой юбилей, Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук с оптимизмом смотрит вперед, не забывая о своем славном, трудном, но прекрасном научном пути, а его сотрудники, как и раньше, будут оставаться одной семьей, жить и работать во благо науки России.

Автор поздравляет весь коллектив ММБИ КНЦ РАН и прежде всего ветеранов, всех, кто продолжает работать в ММБИ, а также всех бывших сотрудников Института, молодых исследователей с 80-летним юбилеем и желает всем новых творческих успехов, крепкого арктического здоровья, счастья и благополучия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дерюгин К.М.* Первые шаги организации новой Мурманской биологической станции // Труды Мурманской биологической станции АН СССР. 1948. Т. 1. С. 5–9.
2. *Журавлева Н.Г., Зензеров В.С.* Эколого-морфологические основы марикультуры рыб в Заполярье. Апатиты, 1998. 374 с.
3. *Зубкова Н.А. (Пахомова Н.А.)*. Опыт содержания камчатского краба в аквариуме // Труды Мурманской биологической станции АН СССР. 1964. Вып. 5(9). С.64–69.
4. Экспериментальные исследования морских млекопитающих в условиях Кольского залива. Апатиты, Изд. КСЦ РАН, 2007. 254 с.
5. Биология и океанография Северного морского пути. Баренцево и Карское моря. М.: Наука, 2007. 322 с.
6. *Матишов Д.Г., Матишов Г.Г.* Радиационная экологическая океанология. Апатиты, 2001. 417 с.
7. *Зайцев В.Б.* Строение цитоскелета клеток нефрона позвоночных животных и человека. Апатиты, 1999. 276 с.
8. Современный бентос Баренцева и Карского морей. Апатиты. 2000. 486 с.
9. *Экология промысловых видов рыб Баренцева моря.* Апатиты. 2001. 461 с.
10. *Денисов В.В.* Эколого-географические основы устойчивого природопользования в шельфовых морях (экологическая география моря). Апатиты, 2002. 502 с.
11. *Кузнецов А.А., Шошина Е.В.* Фитоценозы Баренцева моря. Физиологические и структурные характеристики. Апатиты, 2003. 308 с.
12. *Куклин В.В., Куклина М.М.* Гельминты птиц Баренцева моря. Фауна, экология, влияние на хозяев. Апатиты, 2005.
13. *Кузьмин С.А., Гудимова Е.Н.* Вселение камчатского краба в Баренцево море. Особенности биологии, перспективы промысла. Апатиты, 2002. 236 с.
14. Биология и физиология камчатского краба побережья Баренцева моря. Апатиты, 2008. 170 с.
15. *Чинарина А.Д.* Смотреть вперед и помнить... Очерки из истории ММБИ КНЦ РАН. Ростов-на-Дону, 2012. 325 с.

Сведения об авторе

Зензеров Виктор Сергеевич – д.б.н., ведущий научный сотрудник лаборатории зообентоса Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: zenzegov@mmbi.info

УДК 574.5

КЛИМАТ И ОКЕАНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕВЕРНЫХ И ЮЖНЫХ МОРЕЙ

Г.Г. Матишов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Обсуждаются современные тенденции климата, гидрологических и ледовых условий северных и южных морей России в контексте исследований ММБИ и его Азовского филиала. Показано, что в 2000-е годы на фоне волны потепления, наблюдавшейся в Арктике, в Азово-Черноморском регионе отмечались ярко выраженные холодные аномалии, обусловленные влиянием блокирующего антициклона. Данные последних двух лет свидетельствуют о смене знака климатической тенденции в арктических морях.

Ключевые слова:

климат, океанография, ледяной покров, аномалия, Арктика, Азово-Черноморский бассейн.



Исследование климатических изменений под влиянием естественных и антропогенных факторов – одно из важнейших направлений отечественной и мировой науки. Современные климатические процессы определяют динамику морских экосистем, условия ведения морской деятельности, возможности использования биоресурсного и минерально-ресурсного потенциала. Это актуально как для Арктики, где от климата зависит вся жизнедеятельность и экономическая активность, так и для южных морей России, где экосистемы уже длительное время находятся в нарушенном состоянии.

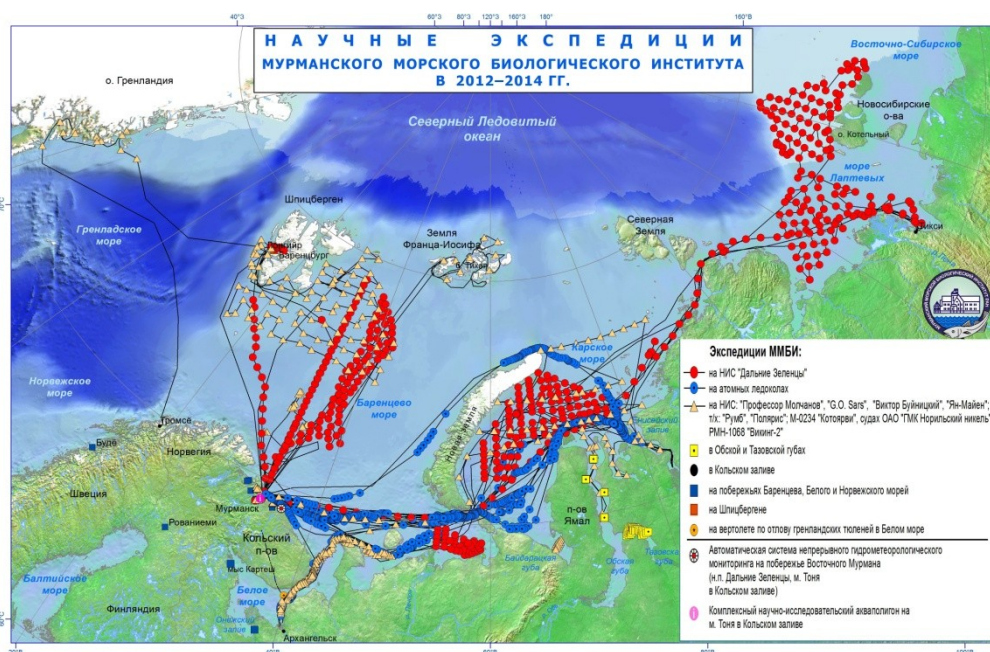


Рис. 1. Экспедиционные исследования ММБИ в 2012–2014 гг.

Мурманский морской биологический институт работает в Арктике уже 80 лет, со времени его основания в 1935 г. [1]. С конца 1990-х годов ММБИ и его Азовский филиал изучают Азовское, Черное и Каспийское моря. Такой широкий взгляд позволяет сравнивать климат разных географических зон, опираясь на океанологические исследования в Арктике и аридной зоне.

Ежегодно ММБИ проводит мониторинг морей Российской Арктики. В 2012–2014 гг. ареной исследований были все арктические моря от Баренцева до Восточно-Сибирского (рис. 1). Экспедиционные рейсы выполняются на собственном экспедиционном судне «Дальние Зеленцы», а также в попутных рейсах атомных ледоколов и судов ледового класса [2]. В морских экспедициях и при проведении прибрежных исследований используется современная измерительная техника – отрывные гидрозонды, стационарные океанографические буи (рис. 2).

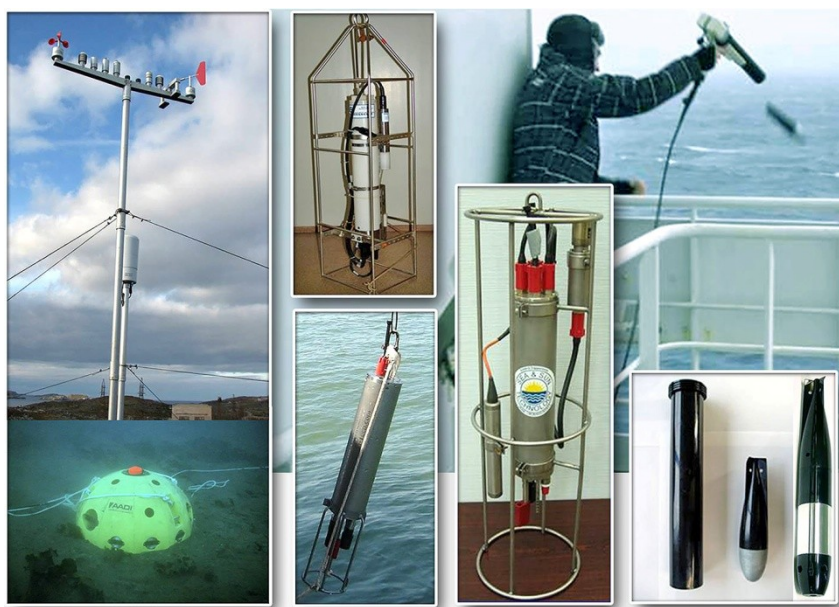


Рис. 2. Современные средства океанографических измерений: стационарный буй (слева) и отрывные гидрозонды

В южных морях ММБИ работает последние 15 лет. В 1999 г. был организован Азовский филиал института, а с 2003 г. нашими главными партнерами стали Южный научный центр РАН (ЮНЦ) в Ростове-на-Дону и действующий в его составе Институт аридных зон.

Обязательное требование к исследованиям климатических процессов в атмосфере и океане – наличие баз климатических данных, освещающих весь период инструментальных наблюдений. Более 20 лет ММБИ совместно с Национальным центром океанографических данных США и ЮНЦ создавали базу данных по климату и биологии морей Северного Ледовитого океана, а также южных морей России. В результате архивации получился колоссальный по объему труд, включающий данные за 150 лет о температуре и солености воды, ледовом режиме, содержании кислорода, ихтиофауне и рыбном промысле. С 1998 по 2013 гг. изданы 6 климатических атласов (рис. 3). В последнем из них наряду с обобщением многолетних данных сделан акцент на климатических изменениях морских экосистем [3].

Среди исследованных арктических морей самая высокая степень изученности у Баренцева и Белого морей – около четверти миллиона станций, выполненных на протяжении почти полутора столетий. Изученность других арктических морей значительно ниже (табл.). Поэтому для понимания глобальных изменений климата реперными являются океанографические разрезы Баренцева моря и прежде всего вековой разрез «Кольский меридиан» (рис. 4). Многолетние

наблюдения на этом разрезе позволяют непосредственно выявлять изменчивость океанологических параметров, а также оценивать интенсивность адвекции атлантических вод в Баренцево море. Именно этот процесс обуславливает специфику погоды, климата и биопродуктивности морей [4].

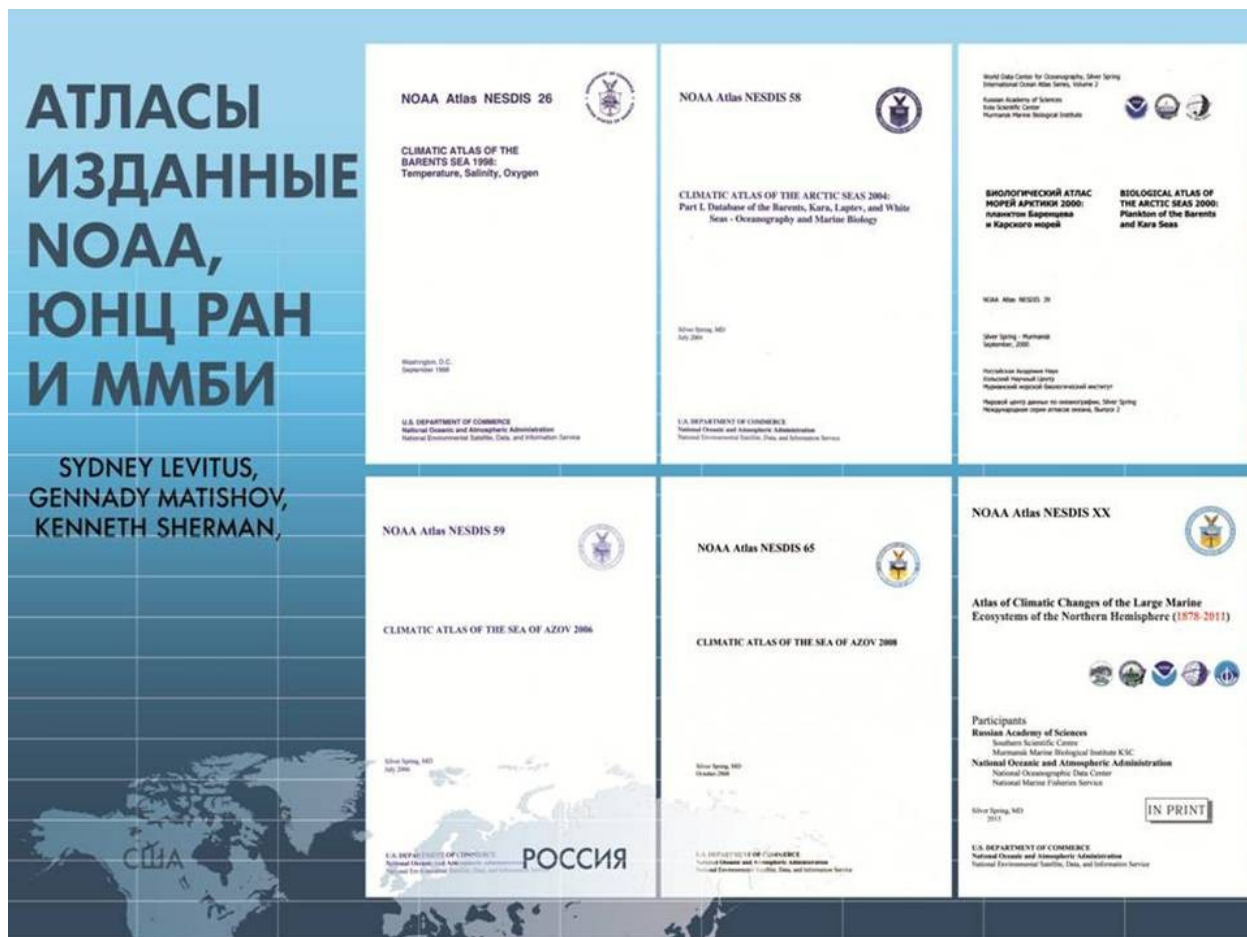


Рис. 3. Атласы океанографических и гидробиологических данных, опубликованные ММБИ, ЮНЦ и NOAA (США) в 1998–2013 гг.

Распределение станций по большим морским экосистемам восточной Арктики

Большие морские экосистемы	Число станций	Период, гг.
Баренцево и Белое моря	238 286	1870–2013
Карское море	38 445	1870–2013
Море Лаптевых	6 570	1878–2009
Восточно-Сибирское море	3 459	1878–2008
Чукотское море	50 858	1849–2012
Берингово море	81 298	1827–2012
Всего по северным морям	337 618	
Всего	418 916	

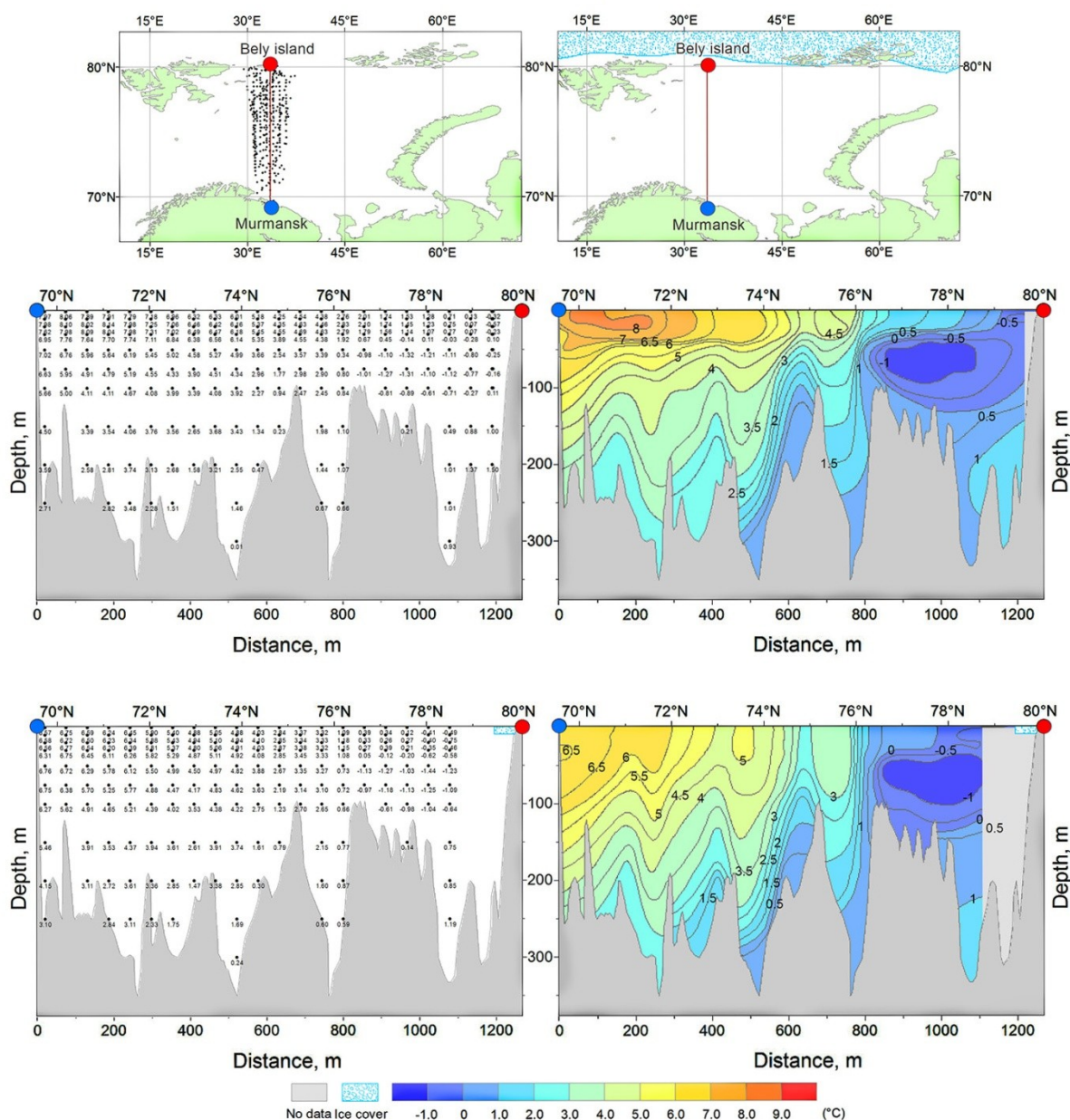


Рис. 4. Пример представления данных в атласе [3] для разреза «Кольский меридиан»: плотность наблюдений и среднее положение кромки льда (вверху), распределение средней месячной температуры воды в сентябре (в середине) и в октябре (внизу)

В начале XXI в., как и в 1930-е гг., в Баренцевом море и в целом в Арктике наблюдалось потепление. Эта фаза потепления обусловлена мощной адвекцией тепла из Атлантики, что породило разговоры о скором таянии арктических льдов. В 2006–2010 гг. на разрезе “Кольский меридиан” наблюдались в основном положительные аномалии температуры воды. Сравнение с имеющимися данными по аномалиям за прошлые годы [4–6] показывает, что наиболее теплым за последнее столетие в Баренцевом море был летний период 2006 г. (рис. 5). Вместе с тем поток тепла в Баренцево море с атлантическими водами, активно возраставший в период с 2001 по 2006 гг., в летний период 2007–2010 гг. устойчиво уменьшался [4].

Яркий показатель изменчивости климата – морской лед. Опыт мореплавания в Арктике свидетельствует, что изменения площади морских льдов в прошлые столетия не уступали современным. В 1878 г. Норденшельд на судне «Вега» прошел за лето от Стокгольма до Берингова пролива – практически всю трассу Севморпути.

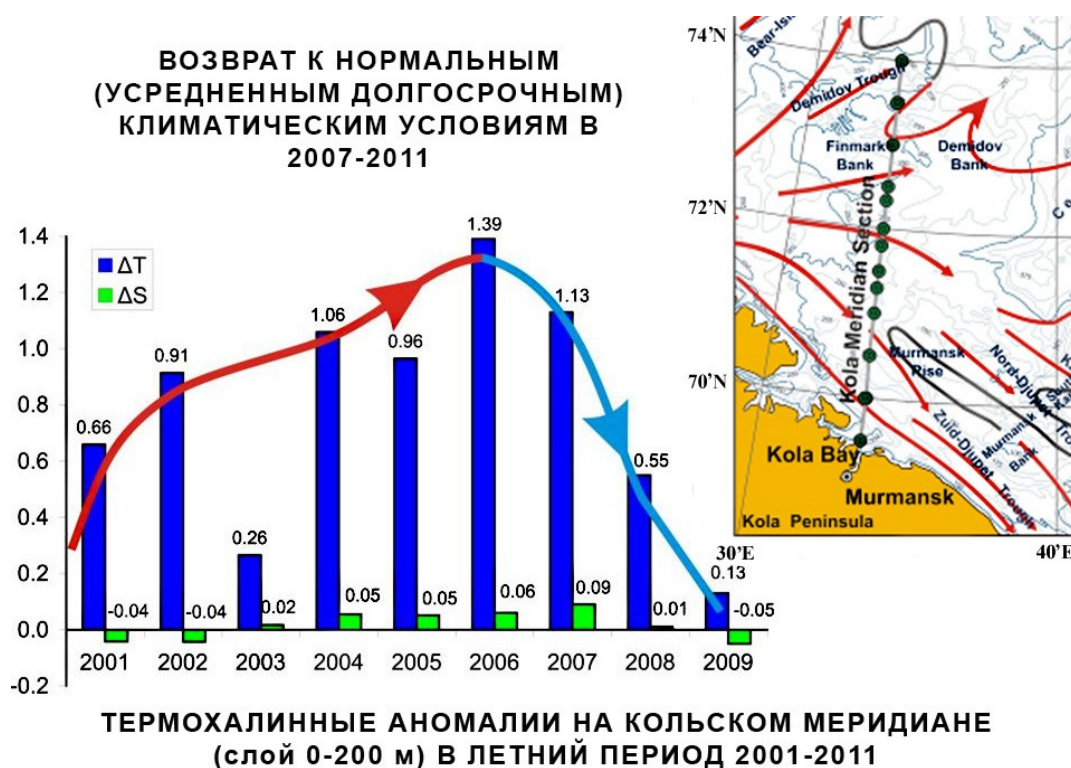


Рис. 5. Динамика теплового состояния вод на разрезе «Кольский меридиан» и схема поступления атлантических водных масс в Баренцево море

В начале 1930-х гг. (1932 и 1933) ледокольные пароходы «А. Сибиряков» и «Челюскин» совершили за одну навигацию переход по Севморпути до Берингова пролива. Выдающийся океанолог профессор Н.Н. Зубов в своей книге «Льды Арктики» [7] отметил, что в 1936 г. Севморпуть был свободен ото льда.

Потепление начала 2000-х гг. сопровождалось ярко выраженными ледовыми аномалиями в арктическом бассейне и на шельфе. В 2012 г. февральская площадь ледового покрова в Баренцевом море показала абсолютный минимум за историю наблюдений, составив 400 тыс. км² против «обычных» 860 тыс. Однако даже в этот период тенденции изменения площади льдов были неоднозначными. Так, по данным национальной метеорологической службы США, не по стандартной схеме ведут себя льды в Беринговом море уже не первый год. Льды продержались в 2012 г. рекордно долго – более 100 дней, продолжив серию «холодовых» рекордов в этом регионе. Площадь ледового покрова в Беринговом море оказалась на втором месте среди максимальных значений за историю наблюдений со спутника, ведущихся с 1979 г.

Несмотря на то, что климат цикличен, его периодичность не такая четкая, как у часового механизма. Этот тезис наглядно подтверждается анализом ледовых карт за каждый месяц XXI в. Холодная весна и лето 2013 г. привели к росту покрова льда в Арктике. Его площадь стала примерно в полтора раза больше, чем в 2012 г.

В сентябре 2013 г. ледовый барьер в проливе Вилькицкого шириной почти в 100 км, как тромб, стал преградой для судоходства. В середине сентября 2013 г. из-за сплоченных льдов эскадра кораблей Северного флота проходила пролив Вилькицкого в сопровождении четырех атомных

ледоколов. Обратное в Северном море в конце сентября их подстраховывали два ледокола. Причем прогноз по аналогии с сентябрем прошлых лет ориентировал на безледное плавание.

В связи с этим обращают на себя случаи столкновения с айсбергами и крупными торосами. В 2013 г. пробоины ниже ватерлинии получили ледоколы «50 лет Победы», танкер «Нордвик» и другие суда. В начале октября 2014 г. четыре айсберга обнаружили на севере моря Лаптевых. Таких случаев становится все больше.

Тенденция к похолоданию сохранялась и в 2014 г., о чем свидетельствует сопоставление ледовых карт. Если в начале июля 2012 г. Карское море почти освободилось ото льда, то в те же сроки 2014 г. более 70% его акватории, включая Обь-Енисейскую прибрежную зону, оставались подо льдом (рис. 6). В Баренцевом море на 10 декабря 2014 г. площадь льда была на 30% больше, чем на ту же дату 2014 г.

Мы не поймем климат Арктики, если наряду с Северной Атлантикой не будем учитывать глобальные процессы в Сибири, Беринговом море, Европе и южных морях. В противоположность ситуации в Арктике в XXI в. в южных морях отмечались экстремальные морозы и аномальный рост площади льда.

С начала XXI в. на юге России и в южной Европе в середине января устанавливается непривычно холодная погода. Снежные заносы, замерзание Бакинской бухты и другие форс-мажорные ситуации возникают ежегодно во второй половине зимы.

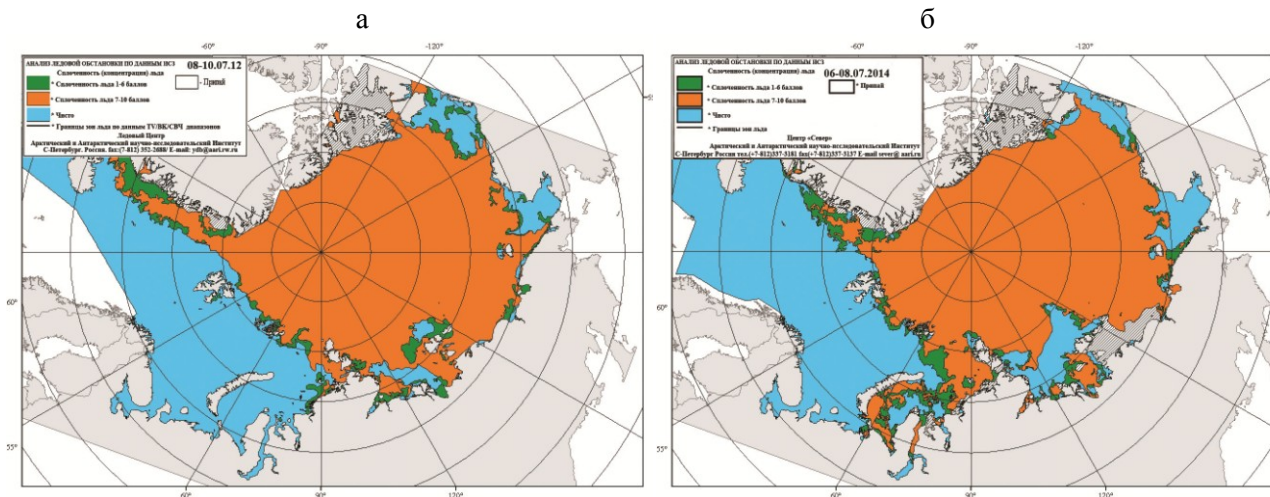


Рис. 6. Ледяной покров Северного Ледовитого океана в июле 2012 (а) и 2014 гг. (б)

Аномально суровые зимы были в 2007 и 2012 гг. Продолжительность ледостава на Каспии и в Азовском море достигала 50–80 дней. На два-три месяца прекращалось судоходство и работа паромной переправы в Керченском проливе. В связи с этим ЮНЦ наладил ежедневные гидрометеорологические и ледовые наблюдения в Таганрогском заливе.

На основе исследований динамики ледообразования были откорректированы известные формулы расчетов толщины льда Азовского моря. Это позволяет повысить точность расчетов и уменьшить относительную погрешность с 30–40 до 10–20%.

Нами установлено [8], что причиной аномально суровых зим и тяжелых ледовых условий на южных морях была экстремальная адвекция холода Сибирского антициклона к Пиренеям, а тепла Гольфстрима – в направлении земли Франца-Иосифа и Карского моря (рис. 7). Морозный атмосферный барьер Сибирского максимума высокого (до 1 080 миллибар) давления – ось Воейкова – блокировала поступление более теплых воздушных масс из Атлантики к морям Средиземноморья.

Экстремальные природные ситуации в Азово-Черноморском регионе участились и в другие сезоны. По своим масштабам и тяжести последствий выделяется наводнение в Крымске (Краснодарский край) 6–7 июля 2012 г., вызванное сочетанием метеорологических и геоморфологических факторов [9, 10]. Ураганная адвекция черноморских вод в мелководный азовский водоем также приводит к сильным наводнениям и даже потопам. Так было 24 сентября 2014 г., когда в водопроводы Азова и Ростова поступала морская вода, соленостью до 4–6%. Еще более неприятным был эффект внезапного подъема на 4 м уровня моря и потоп в дельте Дона. Следует отметить, что с начала XXI в. в Азово-Черноморском регионе ни одно стихийное бедствие не было предсказано.



Рис. 7. Схема формирования термических и ледовых аномалий противоположного знака в арктических и южных морях

С 2013 года ЮНЦ проводит инструментальную регистрацию эпизодов возникновения и развития чрезвычайных природных явлений. В Таганрогском заливе выставляется сеть гидрозондов. Они позволяют заранее по градиенту солености определять масштаб грядущей черноморской адвекции, а следовательно, амплитуду колебаний уровня Азовского моря (рис. 8). Важно выявлять предвестников экстремальных затоков соленых черноморских вод в дельте Дона.

Таким образом, климатические тенденции начала XXI в. не поддаются однозначной оценке. На фоне ярко выраженных продолжительных аномалий отмечаются процессы, достигающие масштаба локальных природных катастроф. Поэтому необходимо объективно оценивать весь диапазон факторов воздействия в глобальном масштабе. Так, не следует забывать, что в Антарктиде сконцентрировано 92% льда и холода на Земле. Именно здесь формируется глобальная донная циркуляция холодных вод Мирового океана. Надо подчеркнуть, что процессы в Антарктиде по своим масштабам несопоставимы с флуктуациями льда в Арктике. Несоизмеримы толщины ледникового щита (3–4 км) и дрейфующего пакового льда (3–4 м).

Теплый цикл в Арктике в начале XXI в. очевиден. Но также очевидно, что с начала спутниковых наблюдений идет резкое нарастание льда в Антарктиде (рис. 9). Нам представляется, что прогнозы климата Северного Ледовитого океана без увязки с явлениями в Южном океане будут являться упрощенной теоретической моделью.

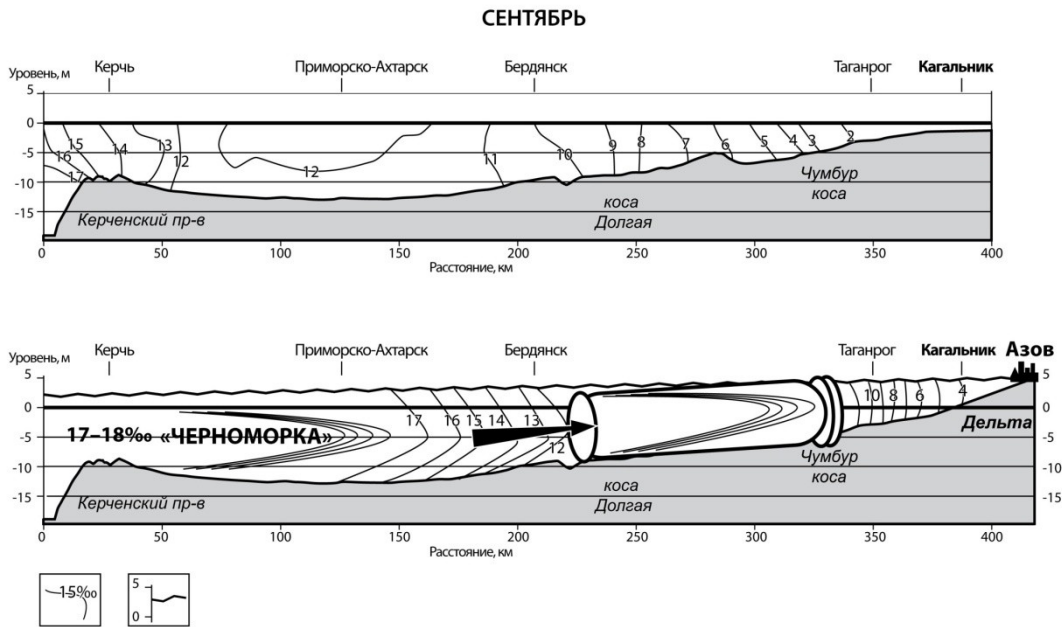


Рис. 8. Схема адвекции черноморских вод в Азовское море

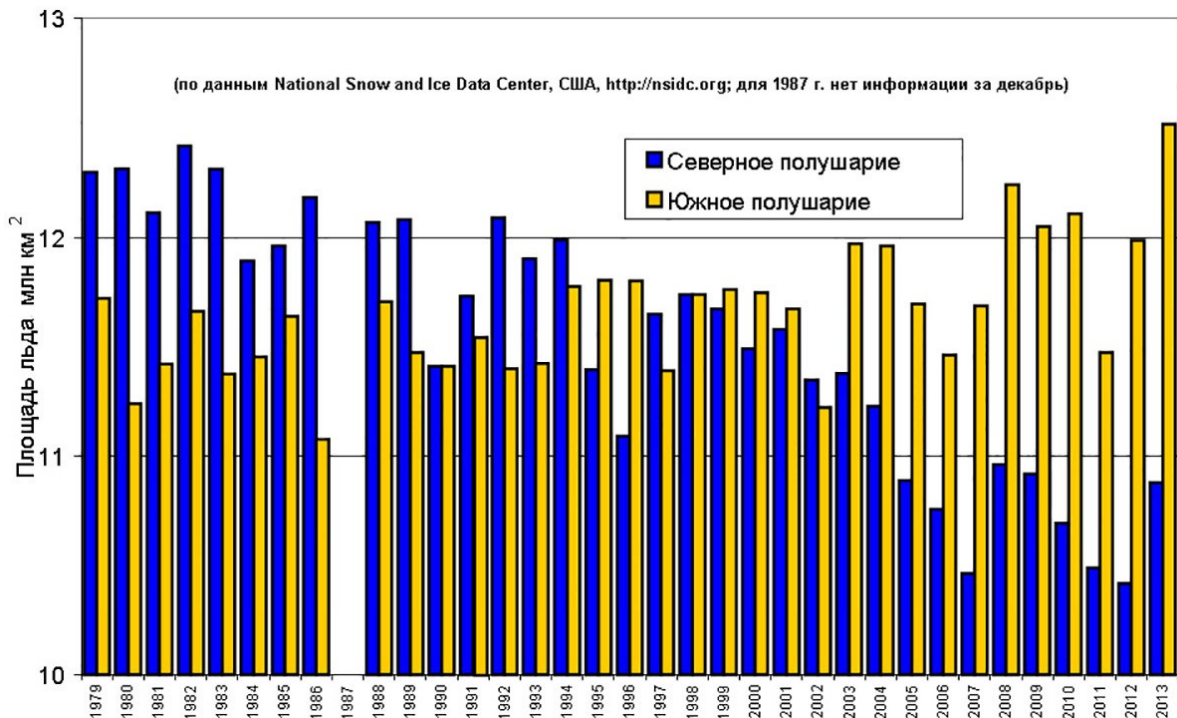


Рис. 9. Динамика среднегодовой площади морского льда в северном и южном полушариях с 1979 по 2013 гг.

Наш опыт в экосистемной климатологии подсказывает, что теплый период в Арктике завершился. За последние два года вектор климата меняется в сторону холодного цикла. Надо ждать обычной суровой погоды и расширения площади льда, добавления техногенных и климатических рисков. Без ледоколов Севморпуть не пройти.

Разумеется, предсказать природную изменчивость с желаемой точностью нереально. Но экономике нужны ориентиры и возможность опираться на разумные климатические шаблоны. Поэтому важно ускорить разработку новых технологий и программного обеспечения для расчета климатических норм и аномалий, учета ошибок в вычислительных алгоритмах.

Разработчикам климатических моделей при расчетах необходимо основываться на реальной базе данных, на вековых разрезах наблюдений, это является далеко не простой задачей. С ней могут справиться только научные коллективы, включающие теоретиков, специалистов по морским приборам и информационным технологиям, практиков с экспедиционным опытом. Это требует объединения усилий академической и отраслевой науки, вузов и всех организаций, участвующих в гражданской и военной морской деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Ишкулов Д.Г. Развитие гидробиологических исследований в Евро-арктическом регионе в XIX-XX веках и в перспективе // Вестник КНЦ РАН. 2009. № 1. С. 17–23.
2. Комплексные исследования Арктики на трассе Северного морского пути на атомных ледоколах (20 лет опыта ММБИ) / Г.Г. Матишов, Ю.А. Баданин, А.А. Дерябин, С.Л. Дженюк, Д.Г. Ишкулов, Д.В. Моисеев. Ростов н/Д: Изд. ЮНЦ РАН, 2014. 96 с.
3. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878-2013). Регион 1. Моря Восточной Арктики. Регион 2. Черное, Азовское и Каспийское моря / Г.Г. Матишов, С.В. Бердников, А.П. Жичкин и др. Ростов н/Д: Изд. ЮНЦ РАН, 2014. 256 с.
4. Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // Oceanologia. 2009. № 51(3). P. 293–312.
5. Терещенко В.В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солёности воды основных течений на разрезе "Кольский меридиан" в Баренцевом море. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. 71 с.
6. 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.
7. Зубов Н.Н. Льды Арктики. М.: Изд. Главсевморпути, 1945. 360 с.
8. О природе крупных гидрометеорологических аномалий в арктических и южных морях России / Г.Г. Матишов, С.Л. Дженюк, Д.В. Моисеев, А.П. Жичкин // Изв. РАН. Сер. геогр. 2014. № 1. С. 36–46.
9. Матишов Г.Г., Клещенков А.В. Кубанский паводковый кризис. Климат, геоморфология, прогноз. Крымск, июль 2012 г. Ростов н/Д: Изд. ЮНЦ РАН, 2012. 128 с.
10. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г. Современные природные и социальные риски в Азово-Черноморском регионе // Вестник РАН. 2013. Т. 83, № 12. С. 1059–1067.

Сведения об авторе

Матишов Геннадий Григорьевич – академик РАН, директор Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: matishov@mmbi.info

УДК 574.587 (268.45+504.45)

СОВРЕМЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООБЕНТОСА БАРЕНЦЕВА МОРЯ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ВОД

О.С. Любина, А.А. Фролов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Современные исследования охватывают как отдельные таксономические группы зообентоса, так и донные сообщества в целом. Проведены съемки в центральном и других районах Баренцева моря. Обнаружено более 60 новых для фауны видов. Проведена оценка распределения мегабентоса в Кольском заливе и в Карском море. Оценено влияние камчатского краба на донные сообщества. Изучение двустворчатых моллюсков в пресных водоемах Кольского полуострова осуществляется в ходе круглогодичного мониторинга. На примере морских двустворчатых моллюсков разрабатывается система непрерывного биосенсорного мониторинга.

Ключевые слова:

зообентос, донные сообщества, видовое разнообразие, распределение, экология, Баренцево море, мегабентос, новые виды, биосенсорный мониторинг, пресные воды.



С момента основания Мурманской биологической станции в поселке Дальние Зеленцы, ставшей впоследствии Мурманским морским биологическим институтом, одним из основных направлений гидробиологических исследований было изучение донной фауны. За всё время работы МБС-ММБИ выполнен большой фронт работ по исследованию зообентоса шельфа Баренцева моря в целом и прилегающих к нему акваторий, в частности. Разработаны основные методы и принципы проведения количественных съемок, мониторинговых наблюдений и экспериментальных работ [1]. Накопленный объем знаний послужил фундаментом, позволяющим планировать и проводить исследования на современном уровне.

В конце 1990-х гг. в лаборатории зообентоса проведена реорганизация и упорядочивание архивов, установлены основные принципы хранения экспедиционных материалов и результатов определений, что крайне важно для сохранения данных, полученных ранее и поступающих в настоящее время с целью их использования в дальнейших исследованиях. Для получения сравнимых данных, участия в международных проектах, проведения собственных мониторинговых наблюдений и обобщения полученной информации методы сбора фактического материала приведены к международным стандартам.

В настоящее время в составе лаборатории зообентоса 14 сотрудников, каждый из которых разрабатывает одно из направлений лабораторной тематики, посвященных изучению отдельных таксономических групп донных организмов и процессов, происходящих как на организменном уровне, так и на уровне сообществ. Изучением многочетинковых червей-полихет занимаются к.б.н. Е.А. Фролова и к.б.н. Д.Р. Дикаева. Морских и пресноводных моллюсков исследуют к.б.н. А.А. Фролов и И.О. Нехаев. Придонные ракообразные и отдельные группы членистоногих – сфера интересов к.б.н. О.С. Любиной и О.Л. Зиминой. Предмет исследований Е.А. Гарбуля – небольшие группы беспозвоночных, а также черви, объединяемые ранее в группу гифереи. Обширные исследования ведутся Н.Н. Пантелеевой по изучению колониальных организмов

гидроидов и О.Ю. Ахметчиной – мшанок. Биологию, распределение и физиологию вида-вселенца – камчатского краба – изучают д.б.н. В.С. Зензеров и к.б.н. А.А. Дворецкий. Донные сообщества прибрежной экосистемы Кольского залива и влияние на них крупного хищника камчатского краба исследует к.б.н. Л.В. Павлова. Разработкой новых методов исследования физиологии двустворчатых моллюсков и их использованием в биоиндикации занимается к.б.н. А.В. Гудимов. Качество получаемых в лаборатории фактических материалов, их сравнимость, а соответственно, и их ценность, зависят от начального этапа обработки проб – их первичной сортировки по таксономическим группам. Эту работу выполняет лаборант В.Н. Паюсова.

Исследования, проводимые лабораторией за последние 10 лет, охватывают широкий спектр научных проблем. Так, большое значение имеет ряд разноплановых исследований макро- и мегабентоса, выполненных в Кольском заливе, экосистема которого находится под сильным антропогенным прессом. Здесь в отдельных районах среднего и южного колен отмечено значительное загрязнение. Установлено, что в южном колене залива местами при высокой биомассе, умеренном видовом богатстве и огромной численности донных беспозвоночных встречаются участки дна с сильно деградированной бентофауной. Общими индикаторами угнетенного состояния макрозообентоса Кольского залива является перестройка трофической структуры с исчезновением безвыборочных детритофагов и увеличением доли хищников, а также изменение таксономического состава с подавляющим преобладанием доли многощетинковых червей, появлением супердоминантов, таких как полихеты *Laonice cirrata* и *Alitta virens* [2].

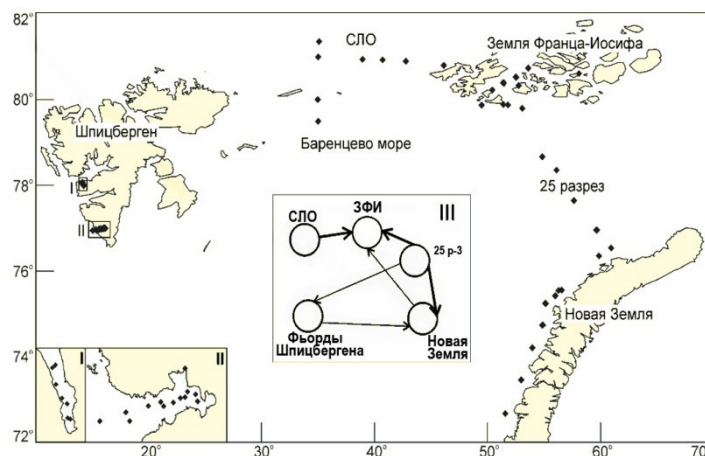
В эстуарии р. Тулома в южной части Кольского залива в условиях приливной литорали было показано влияние солености и времени экспозиции на воздухе на распределение двустворчатых моллюсков. Установлено, что границей распространения морских и солоноватоводных моллюсков является соленость, равная 3.1 ‰ (при кратковременных опреснениях до 0.03 ‰), а пресноводных – 2.3 ‰ (при кратковременных осолонениях до 15 ‰). Зона с критической соленостью 2.3–3.1 ‰ двустворчатыми моллюсками не заселена. Наибольшее обилие двустворок отмечено в нижнем горизонте литорали, где время экспозиции на воздухе минимально – не более 1 часа во время сизигийных отливов [3].

В верхней сублиторали южного и среднего колен Кольского залива изучено распределение и обилие крупных представителей донной фауны – мегабентоса [4], оценено влияние на донные сообщества крупного хищника – камчатского краба. Установлено, что сообщества мягких грунтов в Кольском заливе с небольшой биомассой (не более 40 г/м²) наиболее сильно подвержены выеданию крабом. Зообентос твердых грунтов с биомассой выше 100 г/м² более устойчив к этому фактору [5].

Многочисленные губы и заливы, расположенные в различных районах побережья северной части Кольского п-ова, уникальны тем, что находятся под значительным влиянием теплой прибрежной ветви Мурманского течения. Это, наряду с малой изученностью, обуславливает интерес к их исследованию. В частности, важной задачей была оценка распределения видовых комплексов зообентоса, как индикаторов состояния среды [6]. Проведенные современные исследования охватывали побережье Мурмана от Ура-губы до губ Ивановская и Дроздовка. Биогеографический состав донной фауны побережья характеризуется значительным количеством бореальных видов (25 %), на долю арктических приходится 10 %. В группах раковинных брюхоногих и двустворчатых моллюсков выявлены субтропическо-бореальные виды, многие из которых найдены в Баренцевом море впервые. Эти виды распространяются на восток вдоль побережья до 38° в.д. и маркируют районы максимального воздействия теплого течения. Наибольшая доля бореальных видов обнаружена в районе губ Ярнышная и Зеленецкая, где прибрежное течение наиболее близко подходит к берегу.

Одно из направлений исследований лаборатории сфокусировано на оценке видового разнообразия зообентоса в краевых зонах моря – у берегов арктических архипелагов Новая

Земля, Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) и во фьордах Шпицбергена. В проливах ЗФИ выявлен максимальный уровень видового богатства зообентоса среди этих районов. Наибольшая численность организмов характерна для фьордов Шпицбергена. Установлено высокое сходство фаун акваторий, прилегающих к арх. ЗФИ. Фауна фьордов Шпицбергена более близка по составу к фауне побережья арх. Новая Земля (рис.) [7, 8]. На примере донных сообществ и отдельных таксономических групп зообентоса установлено, что во фьордах Шпицбергена от внешних районов к внутренним снижается уровень биомассы и разнообразия донных организмов при возрастании их численности. Распределение сообществ зообентоса отражает структуру водных масс и тесно связано с наличием порогов в устье фьордов [9].



Карта-схема бентосных исследований в районе арктических архипелагов, выполненных в рейсах ММБИ в 2001–2007 гг.: I – залив Грен-фьорд, II – залив Хорнсунн, III – оргграфы отношений видового сходства исследуемых районов при уровнях значимости 70 % (жирная линия) и 60 % (тонкая линия)

На основе материалов разных лет проанализировано распределение отдельных таксономических групп червей сипункулид и ракообразных амфипод в центральной части Баренцева моря [10]. Мониторинговые исследования зообентоса выполнялись в этой части моря на двух площадках: в центральной впадине Баренцева моря и на Кольском разрезе [11, 12]. В результате предварительного анализа показано, что в северной части Кольского разреза и в центральной впадине Баренцева моря в сообществе полихеты *Spiochaetopterus typicus* устойчивость биомассы бентоса зависит от степени преобладания доминирующего вида. Уменьшение степени доминирования руководящего вида позволяет сообществу эффективно восстанавливать биомассу за счет конкурентных видов. На Кольском разрезе определены периоды задержки изменения биомассы бентоса, в целом, и отдельных массовых видов, в частности, при изменении температурных условий. Кроме того, исследовано пространственное распределение отдельных таксономических групп на Кольском разрезе и оценены уровни видового разнообразия мшанок, полихет и бокоплавов [13–15].

За последние 10 лет исследований зообентоса в фауне выявлено большое количество новых для Баренцева моря видов: 12 видов раковинных брюхоногих моллюсков, 12 видов двустворчатых моллюсков, 2 вида мшанок, 42 вида ракообразных надотряда Peracarida. Большинство находок новых видов сосредоточено в районах моря, подверженных влиянию прибрежной ветви Мурманского течения: в прибрежной зоне Кольского п-ова и на второй станции Кольского разреза [14, 16–21]. Обнаружение новых видов обусловлено, с одной стороны, недостаточной изученностью отдельных таксономических групп зообентоса и некоторых районов Баренцева моря, а также методическими различиями в обработке проб.

С другой стороны, большинство новых видов относительно тепловодны, и их обнаружение может быть связано с происходящими в настоящее время климатическими изменениями. Этими же причинами объясняются участвовавшие находки видов, считавшихся ранее редкими [22].

Последнее десятилетие отмечено активным сотрудничеством лаборатории с иностранными учеными. Так, совместно с польскими учеными изучались особенности размножения кидарий (соотношение полового и бесполого способов) в прибрежной зоне Кольского п-ова с применением генетического анализа [23]. Вместе с норвежским институтом морских исследований (IMR, Bergen, Tromsø) проводятся работы по изучению мегабентоса в западной части Баренцева моря. В рамках совместного проекта ММБИ с нефтегазовой французской компанией «Total» в лаборатории проводятся исследования по разработке системы непрерывного биосенсорного онлайн-мониторинга, подбираются тест-объекты, проводятся эксперименты в условиях арктических и южных морей [24].

Помимо исследований в Баренцевом море, за обозначенный период опубликованы две обобщающие сводки по фауне и распределению бокоплавов (Crustacea, Amphipoda) и многощетинковых червей (Annelida, Polychaeta) в юго-западной части Карского моря [25, 26]. Для этих групп проанализирован таксономический, трофический и биогеографический составы, а также количественное распределение. Последние исследования в Карском море проведены в 2012 г. По результатам съемки мегабентоса здесь впервые обнаружены несколько особей тихоокеанского вселенца в Баренцево море – снежного краба (*Chionoecetes opilio*) [27].

Кроме того, в рамках базовой темы лаборатории зообентоса изучается фауна, распределение и биология двустворчатых моллюсков в пресноводных водоемах и водотоках бассейна Баренцева моря. В свете новых таксономических ревизий для водных объектов севера Кольского п-ова идентифицировано 35 видов двустворок надсемейства Pisidioidea, из них 3 вида рода *Euglesa* (*E. korniushini* Frolov, 2010, *E. lyudmilae* Frolov, 2010, *E. shcherbinai* Frolov, 2010) описаны как новые для науки [3, 28–30].

В ходе выполненного детального исследования влияния основных экологических факторов на видовой состав и распределение пресноводных моллюсков установлено, что наиболее значительное влияние оказывают: соленость воды (в эстуариях), концентрация растворенной углекислоты, течение, прибой и тип субстрата. Лимитирующими в распределении Pisidioidea являлись: pH < 4.5, концентрация углекислоты > 20 мг/л, соленость > 3‰, скорость течения > 0.3 м/с, каменисто-валунные субстраты и высота прибоя > 0.5 м. Оптимальные условия для моллюсков: слабокислая и нейтральная среда (pH = 5.5–7.5), концентрация CO₂ от 5 до 7.5 мг/л, а также илистые грунты в прибрежье больших проточных водоемов с достаточно развитой береговой линией и при наличии прибоя, высотой не более 0.15 м и продолжительностью не более 3 % времени безледного периода, или водотоках со скоростью течения не более 0.1 м/с [3].

Впервые изучены особенности биологии *Euglesa ponderosa*, *E. curta*, *E. obliquata*, *E. shcherbinai*, *Hiberneuglesa bodamica*, *Roseana borealis*, *Conventus conventus* и *Henslowiana lilljeborgii*. Отмечено, что некоторые из этих видов (*Euglesa obliquata*, *E. shcherbinai* и *Roseana borealis*) способны в зимний период до 4 месяцев находиться в промерзшем грунте. Были установлены четыре репродуктивные стратегии Pisidioidea, когда размножение: 1) растянуто во времени и происходит в течение всего года; 2) ограничивается летним периодом; 3) происходит летом, но продолжительность его не превышает 1.5 мес.; 4) происходит только в холодный период [30].

В ходе лабораторных и полевых экспериментов, проведенных по оригинальной методике, впервые выявлены причины и механизм миграции моллюсков. На примере широко распространенного в литоральной зоне эстуария р. Тулома вида *Euglesa ponderosa* выявлены основные типы миграции моллюсков: массовая, локальная, двусторонняя и поисковая [31].

ЛИТЕРАТУРА

1. Зообентос морей северо-западного сектора Арктики: результаты многолетних исследований / В.С. Зензеров, Е.А. Фролова, С.А. Кузьмин, Н.В. Денисенко, Н.А. Анисимова // Океанологические и биологические исследования арктических и южных морей России (к 70-летию Мурманского морского биологического института). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 277–298.
2. Павлова Л.В., Зуев Ю.А., Фролов А.А. Особенности биоценозов верхней сублиторали // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование / отв. ред. Г.Г. Матишов. М.: Наука, 2009. С. 142–161.
3. Фролов А.А. Видовой состав и особенности распределения моллюсков надсемейства Pisidioidea (Mollusca, Bivalvia) в прибрежье Нижнетуломского водохранилища и эстуария р. Тулома (Кольский п-ов, Россия) // Биол. внутр. вод. 2009а. № 4. С. 73–80.
4. Зуев Ю.А., Павлова Л.В. Особенности распределения мегабентоса в верхней сублиторали Кольского залива (Баренцево море) // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 5. С. 713–717.
5. Павлова Л.В. Влияние молодежи камчатского краба на зообентос Кольского залива (Баренцево море) // Докл. РАН. 2008. Т. 422, № 1. С. 138–141.
6. Распределение зообентоса на мягких грунтах в губах Ивановская и Дроздовка Восточного Мурмана (Баренцево море) / О.С. Любина, О.Л. Зимица, Е.А. Фролова, А.А. Фролов, Д.Р. Дикаева, Н.Н. Пантелеева, И.О. Нехаев, Е.А. Гарбуль // Докл. РАН. 2012. Т. 447, № 2. С. 230–234.
7. Зимица О.Л., Любина О.С. Новые исследования фауны донных ракообразных (Crustacea) в районе Земли Франца-Иосифа // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 6. С. 841–843.
8. Донные сообщества у берегов арктических архипелагов / Е.А. Фролова, О.С. Любина, О.Ю. Зимица, Д.Р. Дикаева, А.А. Фролов, О.Ю. Ахметчина, Е.А. Гарбуль, И.О. Нехаев // Наземные и морские экосистемы. М. Изд-во: Paulsen, 2011. С. 368–394.
9. Особенности распределения бентосных сообществ во фьордах Западного Шпицбергена / О.С. Любина, О.Л. Зимица, Е.А. Фролова, П.А. Любин, А.А. Фролов, Д.Р. Дикаева, О.Ю. Ахметчина, Е.А. Гарбуль // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. № 1 (87). С. 28–40.
10. Garbul E.A., Anisimova N.A. Some features of the quantitative distribution of sipunculan worms (Sipuncula) in the central and southern Barents Sea // Oceanologia. 2012. № 54 (1), P. 1–16.
11. Влияние климатических изменений на зообентос Баренцева моря (на примере нескольких массовых видов) / Е.А. Фролова, О.С. Любина, Д.Р. Дикаева, О.Ю. Ахметчина, А.А. Фролов // Докл. РАН. 2007. Т. 416, № 1. С. 139–141.
12. Динамика донных сообществ в районе центральной впадины Баренцева моря / О.С. Любина, Д.Р. Дикаева, Е.А. Фролова, А.А. Фролов, О.Л. Зимица, О.Ю. Ахметчина, Е.А. Гарбуль // Изв. РАН. Сер. биол. 2010. № 5. С. 610–618.
13. Дикаева Д.Р. Современное распределение полихет вдоль разреза Кольский Меридиан (Баренцево море) // Докл. РАН. 2009. Т. 426, № 6. С. 838–840.
14. Предварительные результаты мониторинга зообентоса на разрезе «Кольский Меридиан» (Баренцево море) / О.С. Любина, Е.А. Фролова, Д.Р. Дикаева, Н.А. Анисимова, П.А. Любин, А.А. Фролов, Е.А. Гарбуль, О.С. Зимица, О.Ю. Ахметчина, И.О. Нехаев // Тр. КНЦ РАН. 2013. № 1 (14). С. 208–223.
15. Ахметчина О.Ю., Захаров Д.В. Видовой состав и распределение мшанок (Bryozoa) вдоль разреза "Кольский меридиан" (Баренцево море) в 2010-2011 годах // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 415–424.
16. Особенности распределения зообентоса в прибрежной зоне Кольского п-ова / О.С. Любина, О.Л. Зимица, Е.А. Фролова, А.А. Фролов, И.О. Нехаев, Д.Р. Дикаева // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 4. С. 776–785.
17. Nekhaev I.O. Two species of parasitic molluscs new for Russian seas // Ruthenica. 2011. № 21 (1). P. 69–72.
18. Nekhaev I.O., Kantor Yu.I. The first record of *Thesbia nana* (Lovén, 1846) (Gastropoda: Conoidea) in Russian waters // Ruthenica. 2012. № 22. P. 51–54.
19. Bivalves *Abra prismatica* (Montagu, 1808) and *Gari fervensis* (Gmelin, 1791) – Species New to the Fauna of the Russian Sector of the Barents Sea / Yu.V. Deart, A.A. Frolov, I.E. Manushin // Russian Journal of Biological Invasions. 2013. № 3. Vol. 4. P. 139–148.
20. Nekhaev I.O. The first record of *Alvania punctura* from Russian waters (Gastropoda: Rissoidae) // Marine Biodiversity Records. 2013. № 6. P. 1–3.
21. Nekhaev I.O. Marine shell-bearing Gastropoda of Murman (Barents Sea): an annotated check-list // Ruthenica. 2014. № 24 (2). P. 75–121.
22. Пантелеева Н.Н. Новые и редкие виды гидроидов для фауны Баренцева моря // Природа морской Арктики: современные вызовы и роль науки: тез. докл. межд. науч. конф. (10-12 марта 2010 г., г. Мурманск). Апатиты, 2010. С. 187–188.
23. Internal brooding affects the spatial structure of intertidal sea anemones in the Arctic-boreal region / A. Kaliszewicz, N. Pantelieva, I. Olejniczak, P. Boniecki, M. Sawicki // Polar Biology. 2012. Vol. 35 (September). P. 1911–1919.
24. Гудимов А.В. Непрерывный биомониторинг по поведенческим реакциям мидий: первый опыт в условиях Кольского залива, Баренцево море // Докл. РАН. 2011. Т. 439, № 1. С. 132–134.
25. Любина О.С. Саяпин В.В. Амфиподы (Amphipoda, Gammaridea) из разных географических районов: видовой состав, распределение, экология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2008. 182 с.
26. Фролова Е.А. Фауна и экология многощетинковых червей (Polychaeta) Карского моря. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2009. 141 с.
27. Зимица О.Л. Находка краба стригуна *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius, 1788) (Decapoda: Majidae) в Карском море // Биология моря. 2014. Т. 40, № 6. С. 497–499.
28. Фролов А.А. Двустворчатые моллюски надсемейства Pisidioidea (Bivalvia, Lamellibranchia) малых водоемов севера Мурманской области // Вестник ЮНЦ РАН. 2009б. Т. 5, № 4. С. 71–78.
29. Фролов А.А. Новые виды двустворчатых моллюсков рода *Euglesa* (Mollusca, Bivalvia) из водоемов северной части Кольского полуострова // Вестник зоологии. 2010а. Т. 44 (5). С. 393–402.
30. Фролов А.А. Биология некоторых видов двустворчатых моллюсков надсемейства Pisidioidea из водоемов и водотоков Мурманской области: мат. докл. межд. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения Филарета Дмитриевича Мордухай-Болтовского (Борок, ИБВВ РАН, 30 октября–2 ноября 2010 г.). Борок, 2010б. С. 318–321.
31. Фролов А.А. Миграции пресноводных двустворчатых моллюсков семейства Euglesidae и Pisidiidae (Bivalvia, Pisidioidea) на приливной литорали эстуария реки Тулома // Вестник зоологии 2008. Т. 42, № 3. С. 369–372.

Сведения об авторах:

Любина Ольга Станиславовна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории зообентоса Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: lubina@mmbi.info

Фролов Александр Александрович – к.б.н., научный сотрудник лаборатории зообентоса Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: fly1616@yandex.ru

УДК 581.9 (268.45)

ФИТОПЛАНКТОН ПРИБРЕЖЬЯ АРХИПЕЛАГА ЗЕМЛЯ ФРАНЦА-ИОСИФА

А.А. Олейник

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Приведен список из 153 видов фитопланктона, отмеченных в период с 1992 по 2008 гг. в прибрежных и внутренних водах архипелага Земля Франца-Иосифа, представлены микрофотографии некоторых редких и малоизвестных форм.

Ключевые слова:

фитопланктон, Земля Франца-Иосифа.



Введение

До настоящего времени побережье архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) представляет собой слабоизученную область Арктики в отношении планктонной биоты, что связано с труднодоступностью акватории и удаленностью от основных транспортных путей. Предварительный анализ данных, собранных за последние десятилетия, позволил установить определенные особенности этой акватории в сравнении с открытым морем в аспекте функционирования различных групп планктона, формирования его продукционного потенциала [1, 2].

В развитие проводимых исследований по изучению структурно-функциональной организации прибрежной пелагической экосистемы в районе арх. ЗФИ проведена инвентаризация таксономического состава планктонных микроводорослей.

Материалы и методы

Материалом послужили результаты обработки автором планктонных сборов, выполненных в 1992, 2006, 2007, 2008 гг. Кроме того, использованы первичные данные за 1993, 1994, 1996 и 1998 гг., взятые из опубликованной базы [3]. Положение планктонных сборов показано на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения планктонных сборов в районе архипелага Земля Франца Иосифа

Всего проанализировано 88 проб. Все работы по сбору проведены в период чистой воды, преимущественно в августе; пробы 1996 г. взяты в последнюю декаду июля, пробы 1998 г. – в первую половину октября.

Результаты и обсуждение

Всего в составе микропланктона идентифицировано 153 таксона микроводорослей видового ранга (таблица), преимущественно динофлагелляты (77 видов) и диатомеи (60).

Как показано ранее [1], в период с конца июля по начало октября пелагический альгоценоз в прибрежье ЗФИ находится на поздневесенней или летней стадии сукцессионного цикла. Поэтому из состава всей флоры планктонных водорослей с наибольшим постоянством отмечаются именно характерные виды весеннего и летнего планктона: *Bacterosira bathyomphala*, *Chaetoceros borealis*, *Ch. convolutus*, *Ch. decipiens*, *Fragilariopsis oceanica*, *Thalassiosira bioculata*, *Th. gravida*, *Th. nordenskiöldii* (возможно, также, *Thalassiosira antarctica*), *Dinobryon balticum*. Из видов осенней стадии регулярно отмечаются *Protoperidinium bipes*, *Pr. brevipes*, *Pr. islandicum*, *Pr. pellucidum*, которые в августе–сентябре формируют основу альгоценоза на акватории открытого моря.

Список микроводорослей, отмеченных в прибрежных водах архипелага Земля Франца Иосифа

Таксон	Год								
	1992	1993	1994	1996	1998	2006	2007	2008	
Bacillariophyta: всего 60 видовых названий									
<i>Achnanthes taeniata</i> Grunow	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Asterionella formosa</i> Hassall	–	–	–	–	–	X	X	X	
<i>Attheya longicornis</i> Crawford & Gardner	–	–	–	–	–	X	X	X	
<i>Aulacoseira distans</i> Simonsen	–	–	–	–	–	X	–	–	
<i>Aulacoseira granulata</i> Simonsen	–	–	–	–	–	–	–	X	
<i>Bacterosira bathyomphala</i> Syvertsen & Hasle	–	–	X	X	X	X	X	–	
<i>Chaetoceros atlanticus</i> Cleve	–	–	–	–	–	X	X	X	
<i>Chaetoceros borealis</i> Bailey	X	X	X	–	X	X	X	X	
<i>Chaetoceros cinctus</i> Gran	–	X	–	X	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros compressus</i> Lauder	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros concavicornis</i> Mangin	–	–	–	–	–	X	X	–	
<i>Chaetoceros convolutus</i> Castracane	–	–	X	X	X	X	X	X	
<i>Chaetoceros curvisetus</i> Cleve	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros decipiens</i> Cleve	X	X	X	X	X	X	X	X	
<i>Chaetoceros fragilis</i> Meunier	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros furcillatus</i> Bailey	–	–	X	X	–	X	X	X	
<i>Chaetoceros holsaticus</i> Schütt	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros karianus</i> Grunow	–	–	–	–	–	–	X	–	
<i>Chaetoceros septentrionalis</i> Østrup	–	–	–	X	X	–	–	–	
<i>Chaetoceros similis</i> Cleve	–	–	X	–	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros simplex</i> Ostenfeld	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Chaetoceros socialis</i> Lauder	–	–	X	–	–	–	X	–	
<i>Coscinodiscus oculus-iridis</i> Ehrenberg	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Coscinodiscus stellaris</i> Roper	–	–	–	X	–	–	–	–	
<i>Cylindrotheca closterium</i> Reiman & Lewin	–	–	–	X	X	–	–	–	
<i>Diatoma elongatum</i> Agardh	–	–	–	–	–	–	–	X	
<i>Eucampia groenlandica</i> Cleve	–	–	–	–	–	X	X	X	
<i>Eucampia zodiacus</i> Ehrenberg	–	X	X	–	–	–	–	–	

Фитопланктон прибрежья архипелага Земля Франца-Иосифа

Таксон	Год							
	1992	1993	1994	1996	1998	2006	2007	2008
<i>Fragilaria islandica</i> Grunow	–	–	X	–	–	–	–	–
<i>Fragilariopsis cylindrus</i> Krieger	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Fragilariopsis oceanica</i> Hasle	–	X	X	X	–	–	X	X
<i>Gyrosigma fasciola</i> Griffith & Henfrey	X	–	–	–	–	–	–	–
<i>Hantzschia weyprechtii</i> Grunow	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Lennoxia faveolata</i> aff. Thomsen & Buck	–	–	–	–	–	X	–	–
<i>Navicula granii</i> Gran	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Navicula pelagica</i> Cleve	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Navicula septentrionalis</i> Gran	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Navicula vanhoeffenii</i> Gran	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Nitzschia frigida</i> Grunow	–	–	X	X	–	–	–	–
<i>Nitzschia longissima</i> Ralfs	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Porosira glacialis</i> Jørgensen	–	X	–	X	–	–	–	–
<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> Heiden	–	–	–	X	X	–	X	–
<i>Pseudo-nitzschia seriata</i> Peragallo	–	–	X	X	–	–	X	X
<i>Rhizosolenia hebetata</i> (вкл. f. <i>semispina</i>) Bailey	–	X	–	–	–	X	X	X
<i>Rhizosolenia setigera</i> Brightwell	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Synedra tabulata</i> Kützing	X	–	–	X	X	–	–	–
<i>Synedropsis hyperborea</i> aff. Hastle, Medlin & Syversten	–	–	–	–	–	–	X	X
<i>Tabellaria fenestrata</i> Kützing	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Tabellaria flocculosa</i> Kützing	–	–	–	–	–	–	X	–
<i>Thalassionema nitzschioides</i> Mereschkowsky	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Thalassiosira angulata</i> Hasle	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Thalassiosira anguste-lineata</i> Fryxell & Hasle	–	–	X	–	–	–	–	–
<i>Thalassiosira antarctica</i> aff. Comber	X	–	–	–	–	–	X	X
<i>Thalassiosira baltica</i> Ostenfeld	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Thalassiosira bioculata</i> Ostenfeld	–	X	X	X	–	–	X	–
<i>Thalassiosira bulbosa</i> Syvertsen	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Thalassiosira gravida</i> Cleve	–	X	X	X	X	–X	X	–
<i>Thalassiosira hispida</i> Syvertsen	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Thalassiosira hyalina</i> Gran	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Thalassiosira nordenskioeldii</i> Cleve	–	X	X	X	X	X	X	X
Chlorophyta: всего 2 видовых названия								
<i>Dunaliella tertiolecta</i> Butcher	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Monoraphidium convolutum</i> Komárková-Legnerová	–	–	–	–	X	–	–	–
Chrysophyta, вкл. Dictyochophyceae и Ebridae: всего 5 видовых названий								
<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg	–	–	–	–	–	–	–	X
<i>Dictyocha speculum</i> Ehrenberg	–	X	–	X	X	X	X	X
<i>Dinobryon balticum</i> Lemmerman	X	–	X	X	–	X	X	X
<i>Ebria tripartita</i> Lemmermann	–	–	–	–	–	X	–	X
<i>Ochromonas cosmopolita</i> Ruinen	–	–	–	X	X	–	–	–
Cryptophyta: всего 2 видовых названия								
<i>Cryptomonas acuta</i> Butcher	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Leucocryptos marina</i> Butcher	–	–	–	X	X	–	–	–
Dinophyta: всего 77 видовых названий								
<i>Amphidinium carterae</i> Hulburt	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Amphidinium crassum</i> Lohmann	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Amphidinium extensum</i> Wulff	–	–	–	X	X	–	–	–

Таксон	Год							
	1992	1993	1994	1996	1998	2006	2007	2008
<i>Amphidinium lacustre</i> Stein	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Amphidinium sphenoides</i> Wulff	-	-	-	X	X	X	X	-
<i>Amylax triacantha</i> Sournia	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Aureodinium pigmentosum</i> Dodge	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Cachonina hallii</i> Dodge	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Ceratium arcticum</i> Cleve	-	-	-	X	-	X	X	X
<i>Ceratium longipes</i> Gran	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Ceratium tripos</i> Nitzsch	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Cochlodinium pupa</i> Lebour	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Cochlodinium vinctum</i> Koifoid & Swezy	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Corythodinium belgicae</i> F.J.R. Taylor	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Corythodinium diploconus</i> F.J.R. Taylor	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Corythodinium michaelsarsii</i> F.J.R. Taylor	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Dicroerisma psilonereiella</i> F.J.R. Taylor & Cattell	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Dinophysis acuminata</i> Claparède & Lachmann	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Dinophysis acuta</i> Ehrenberg	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Dinophysis arctica</i> Mereschkowsky ?	-	-	-	-	-	X	-	X
<i>Dinophysis contracta</i> Balech	-	-	-	-	-	X	X	-
<i>Dinophysis norvegica</i> Claparède & Lachmann	-	X	-	-	-	-	-	-
<i>Dinophysis punctata</i> Jorgensen ?	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Dinophysis rotundata</i> Claparède & Lachmann	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Dinophysis semen</i> Meunier	-	-	-	-	-	-	X	-
<i>Dinophysis sphaerica</i> Stein	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Gonyaulax spinifera</i> Diesing	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Gymnodinium agiliforme</i> Schiller	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gymnodinium arcticum</i> Wulff	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gymnodinium fusus</i> Schütt	-	-	-	X	X	-	X	-
<i>Gymnodinium heterostriatum</i> Koifoid & Swezy	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gymnodinium marinum</i> Saville-Kent	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Gymnodinium simplex</i> Koifoid & Swezy	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Gymnodinium veneficium</i> Ballantine	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gymnodinium wulffii</i> Schiller	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gyrodinium flagellare</i> Schiller	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gyrodinium fusus</i> Akselman	-	-	-	X	X	X	X	-
<i>Gyrodinium lachryma</i> Kofoid & Swezy	-	-	-	X	-	X	X	-
<i>Gyrodinium nasutum</i> Schiller ?	-	-	-	-	-	X	X	-
<i>Gyrodinium pellucidum</i> Schiller	-	-	-	X	-	-	-	-
<i>Gyrodinium pingue</i> Kofoid & Swezy	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gyrodinium prunus</i> Lebour	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Gyrodinium wulffii</i> Schiller	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Heterocapsa rotundata</i> Hansen	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Heterocapsa triquetra</i> Stein	-	-	-	X	-	-	X	-
<i>Lessardia elongata</i> Saldarriaga & F.J.R. Taylor ?	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Micracanthodinium claytonii</i> Dodge	-	-	-	-	-	X	X	X
<i>Micracanthodinium setiferum</i> Deflandre	-	-	-	-	-	X	-	-
<i>Nematodinium armatum</i> Kofoid & Swezy	-	-	-	-	X	-	-	-
<i>Oxytoxum laticeps</i> Schiller	-	-	-	X	X	-	-	-
<i>Oxytoxum caudatum</i> Schiller	-	-	-	-	-	-	X	-

Фитопланктон прибрежья архипелага Земля Франца-Иосифа

Таксон	Год							
	1992	1993	1994	1996	1998	2006	2007	2008
<i>Oxytoxum variabile</i> Schiller ?	–	–	–	–	–	X	–	X
<i>Oxytoxum milneri</i> Murray & Whitting	–	–	–	X	X	–	–	–
<i>Peridiniella danica</i> aff. Okolodkov & Dodge	–	–	–	–	–	X	–	–
<i>Peridinium inconspicuum</i> aff. Lemmermann	–	–	–	–	–	X	–	–
<i>Polykrikos lebourae</i> Herdman	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Pronoctiluca pelagica</i> Fabre-Domerque	–	–	–	X	X	X	X	–
<i>Prorocentrum balticum</i> Loeblich III	–	–	–	X	X	–	–	–
<i>Prorocentrum compressum</i> Abé ex Dodge	–	–	–	X	X	–	–	–
<i>Prorocentrum minimum</i> Schiller	–	–	–	–	–	X	X	X
<i>Protoceratium reticulatum</i> Bütschli	–	–	–	–	–	–	X	–
<i>Protooperidinium arcticum</i> Okolodkov	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Protooperidinium bipes</i> Balech	X	–	–	X	X	X	X	X
<i>Protooperidinium brevipes</i> Balech	X	–	–	X	X	X	X	X
<i>Protooperidinium cerasus</i> Balech	–	–	X	–	–	X	X	X
<i>Protooperidinium conicoides</i> Balech	–	–	–	–	–	X	–	X
<i>Protooperidinium curvipes</i> Balech	–	–	–	–	–	X	–	–
<i>Protooperidinium granii</i> Balech	–	–	–	–	–	X	–	–
<i>Protooperidinium islandicum</i> Balech	X	X	X	–	–	X	X	X
<i>Protooperidinium mite</i> Balech	–	–	–	–	X	X	X	–
<i>Protooperidinium monacanthum</i> Balech	–	–	X	–	–	X	–	–
<i>Protooperidinium ovatum</i> Pouchet	–	–	X	X	X	–	–	–
<i>Protooperidinium pellucidum</i> Bergh	–	X	X	X	–	X	X	–
<i>Protooperidinium quarnerense</i> Balech	–	–	–	–	–	X	X	–
<i>Protooperidinium thorianum</i> Balech	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Scrippsiella trochoidea</i> Loeblich III	–	–	–	X	X	–	–	–
<i>Torodinium robustum</i> Kofoid & Swezy	–	–	–	–	X	–	–	–
Euglenophyta: всего 2 видовых названия								
<i>Eutreptia globulifera</i> Van Goor	–	–	–	X	–	–	–	–
<i>Eutreptiella marina</i> da Cunha	–	–	–	X	–	–	–	–
Haptophyta: всего 3 видовых названия								
<i>Chrysochromulina hirta</i> Manton	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Imantonia rotunda</i> Reynolds	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Phaeocystis pouchetii</i> Lagerheim	–	–	X	–	–	–	–	–
Prasinophyta: всего 2 видовых названия								
<i>Pterosperma nationalis</i> Lohmann	–	–	–	–	X	–	–	–
<i>Pyramimonas grossii</i> Parke	–	–	–	–	X	–	–	–
Всего 153 видовых названия								

За период исследований в планктоне прибрежья ЗФИ отмечены редкие и малоизвестные виды микроводорослей: *Attheya longicornis* Crawford & Gardner и *Synedropsis hyperborea* aff. (Grunow) Hasle, Medlin & Syvertsen (рис. 2) – мелкие эпифитные диатомеи, субстратом для которых служат крупные диатомеи рода *Chaetoceros* и *Thalassiosira* в период их массовой вегетации.

Dicroerisma psilonereilla Taylor & Cattel (рис. 3) – до сих пор в арктических водах не отмечался; ранее был найден в водах бореальной зоны Тихого (Британская Колумбия, Камчатка) и Атлантического (Скагеррак) океанов. По нашим данным, встречается регулярно в Баренцевом и Карском морях.

Dinophysis contracta (Kofoid & Skogsberg) Valech (рис. 4) считается бореальным видом, ближайшие к архипелагу ЗФИ находки – в Норвежском море; по нашим данным, летом и осенью регулярно встречается в Арктике, от фьордов Западного Шпицбергена до Карского моря.

Lessardia elongata Saldarriaga & F.J.R.Taylor (рис. 5) – недавно описанный малоизвестный вид из вод северных частей Тихого и Атлантического океанов [4]. Такого облика клетки (более тонкая структура нами не изучена) встречаются регулярно в Баренцевом и Карском морях.

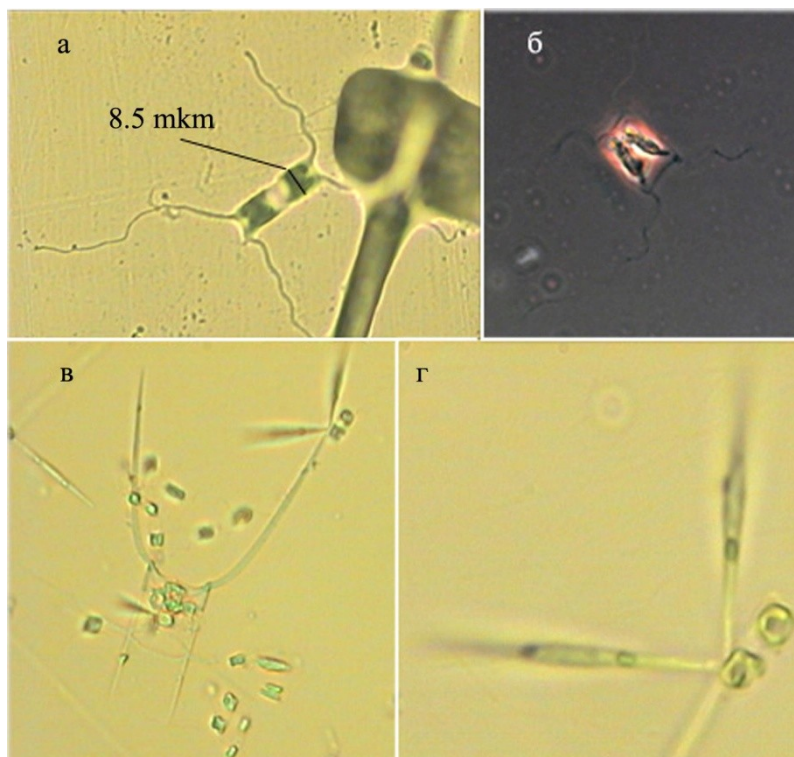


Рис. 2. Мелкие эпифитные диатомеи:

а, б – *Attheya longicornis* (а – на подсыхшем препарате, б – в УФ-свете); в – *Chaetoceros decipiens*, обросший *A. longicornis* и *Synedropsis hyperborea* aff.; г – *S. hyperborea* aff.

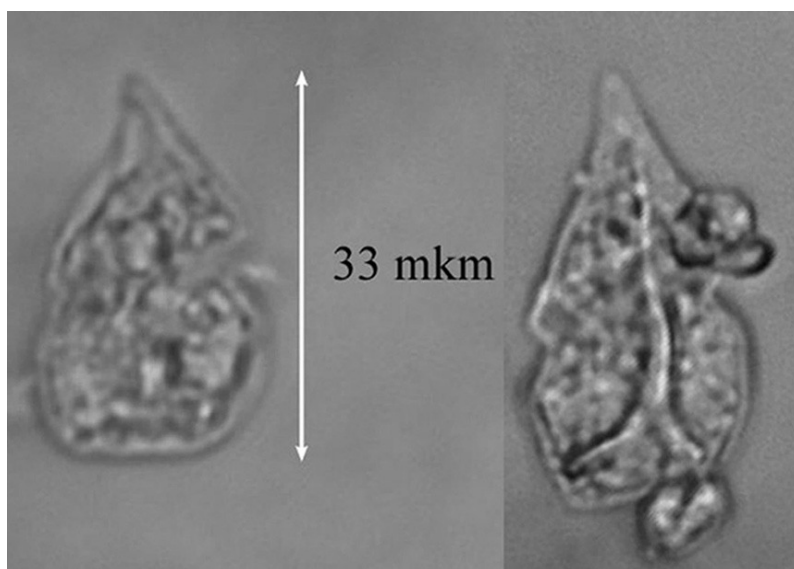


Рис. 3. *Dicroerisma psilonereiella*

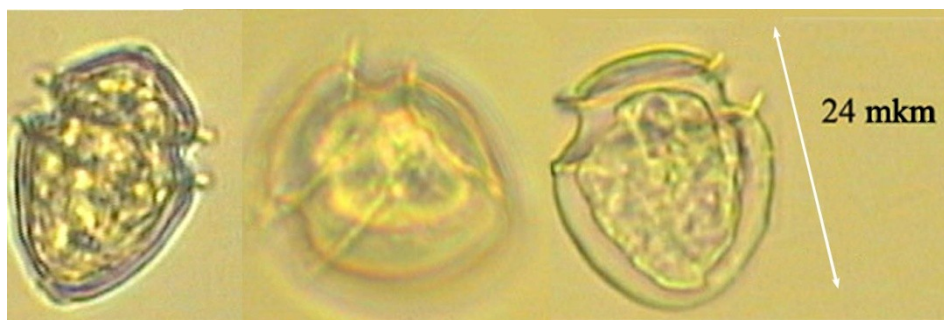


Рис. 4. *Dinophysis contracta*

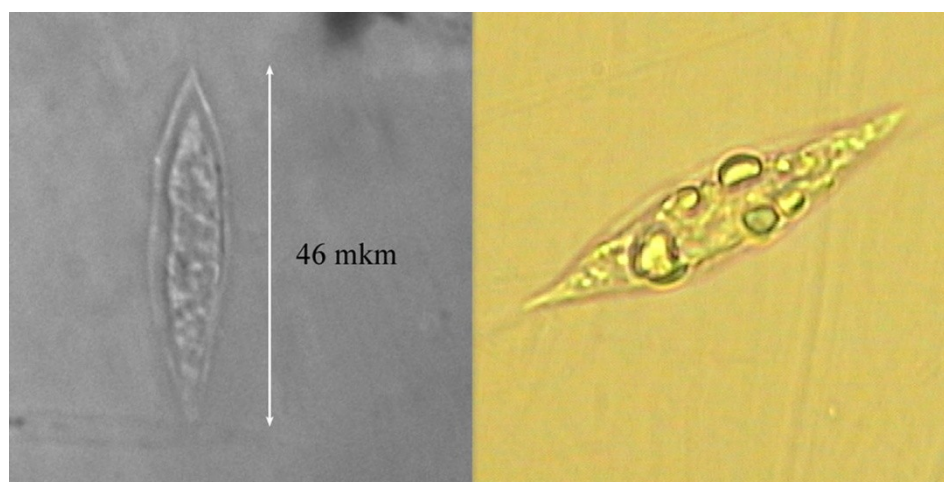


Рис. 5. *Lessardia elongata* ?

Oxytoxum caudatum Schiller (рис. 6а) – тропическо-бореальный вид, нами отмечен не только в районе ЗФИ, но и по всему Баренцевому морю.

Micracanthodinium claytonii (Holmes) Dodge (рис. 6б) – характерная форма летнего планктона не только в районе ЗФИ, но и по всему Норвежскому, Баренцевому и Карскому морям.

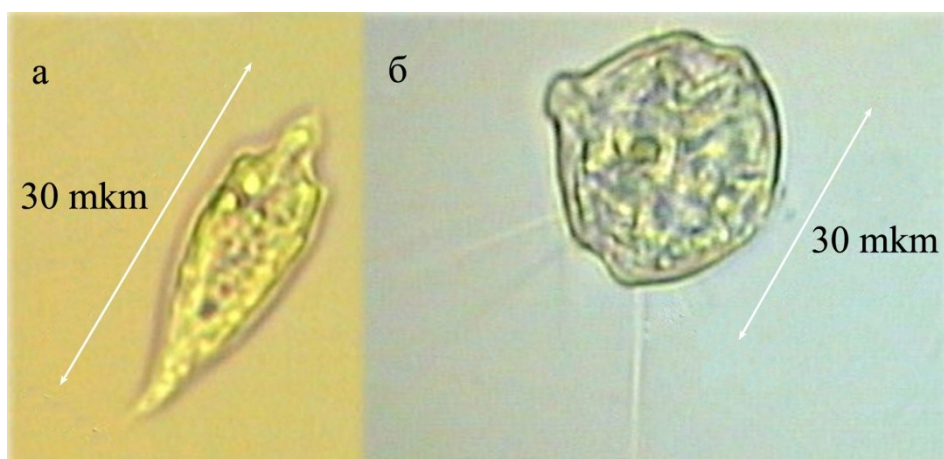


Рис. 6. *Oxytoxum caudatum* (а); *Micracanthodinium claytonii* (б)

Protoperidinium arcticum (Grøntved & Seidenfaden) Okolodkov (рис. 7) – вид недавно описанный [5], очень сходный по общему облику с *Protoperidinium mite* и *P. granii*, и потому, возможно, ошибочно определявшийся. Четко отличается от этих видов табуляцией теки. Также сходен с *Protoperidinium ovatum*. Был указан ранее для района ЗФИ, как *P. aff. marukawai* [1].

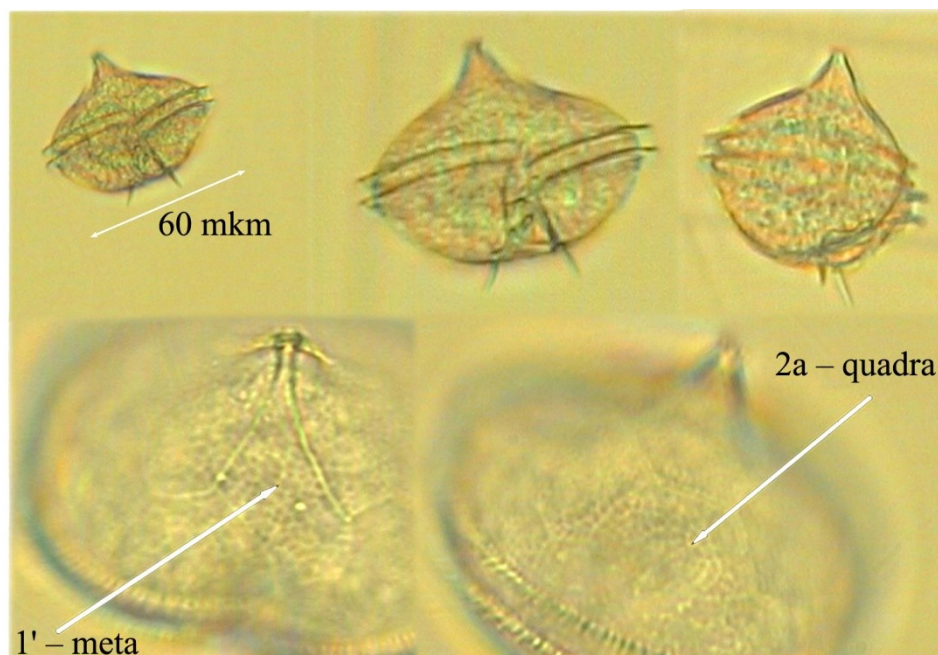


Рис. 7. *Protoperidinium arcticum*

ЛИТЕРАТУРА

1. Олейник А.А. Сезонное развитие фитопланктона в водах желоба Франц-Виктория и на прилегающей акватории архипелага Земля Франца-Иосифа // Наземные и морские экосистемы. М., 2011. С. 166–180.
2. Дружкова Е.И. Особенности пространственного распределения нанофитопланктона в районе архипелага Земля Франца-Иосифа в летний период // Докл. РАН. 2009. Т. 427, № 5. С. 707–709.
3. *Biological Atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas*. National Oceanographic Data Center/NOAA.: Silver Spring, MD, USA, 2000. 356 p. (+CD, +Internet).
4. *Lessardia elongata* gen. et sp. nov. (Dinoflagellata, Peridinales, Podolampaceae) and the taxonomic position of the genus *Roscoffia* / J.F. Saldarriaga, B.S. Leander, F.J.R. Taylor "Max", P.J. Keeling // J. Phycol. 2003. Vol. 39. P. 368–378.
5. Okolodkov Y.B. A new combination and new species of *Gymnodinium*, *Gyrodinium* and *Protoperidinium* (Dinophyceae) from the Arctic and N.E. Atlantic // Бот. журн. 1997. Т. 82, № 5. С. 97–106.

Сведения об авторе

Олейник Анатолий Анатольевич – к.б.н., научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: oleinik@mmbi.info

УДК 595.384 (268.45)

ВКЛАД УЧЕНЫХ МУРМАНСКОГО МОРСКОГО БИОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА В ИЗУЧЕНИЕ КАМЧАТСКОГО КРАБА БАРЕНЦЕВА МОРЯ*

А.Г. Дворецкий

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Камчатский краб – ценный промысловый вид. Исследования вселенца учеными Мурманского морского биологического института затрагивают изучение его популяционной динамики в прибрежье Баренцева моря, влияние природных и антропогенных факторов на динамику численности. Впервые построена модель роста молоди краба, изучены его симбионты и обрастатели. Исследуется физиология камчатского краба, развиваются методики его искусственного содержания. Разработана методика проведения биологических экспертиз по камчатскому крабу.

Ключевые слова:

зообентос, камчатский краб, Баренцево море.



Особую роль в донных сообществах Баренцева моря играет камчатский краб *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), мероприятия по интродукции которого проводились в период с 1961 по 1969 гг. С 1974 г. крупные крабы регулярно отмечались в прибрежной зоне Кольского п-ова.

В последние годы краб стал активно распространяться за пределы прибрежных вод на север, вплоть до 71°30' с.ш. (Финмаркенская банка) на западе и Южного склона Гусиной банки на востоке [1]. При этом в восточном направлении граница его распространения достигла о-ва Колгуев, 51° в.д. В прибрежных водах *P. camtschaticus* стал встречаться

в Воронке Белого моря.

Исследования биологии камчатского краба в Баренцевом море можно условно разделить на две большие группы:

- изучение прикладных аспектов, важных для добычи вида и его искусственного воспроизводства (размерный, возрастной, половой состав, особенности линьки и роста, болезней и паразитов и т.д.);
- изучение камчатского краба как чужеродного вида (влияние на местные биоценозы, адаптация краба к новым условиям и др.).

В связи с высокой промысловой ценностью камчатского краба, а также учитывая его чужеродный статус, ММБИ КНЦ РАН проводит регулярные исследования этого вида, которые направлены на изучение его популяционных характеристик, роста, симбиотических связей, физиологии. Важной частью исследований является оценка воздействия вида-вселенца на донные сообщества.

Полевые исследования камчатского краба проводятся в прибрежье Восточного Мурмана, где обитает значительная часть популяции. Исследованиями были охвачены акватории губ Сайда, Долгая и Дальнезеленецкая. В последние годы соотношение полов камчатского краба в этих районах зависело от размеров особей. Среди неполовозрелых крабов (ширина карапакса, ШК < 100 мм) самцы и самки встречались одинаково часто, тогда как среди половозрелых, как правило, преобладали самки [2–5]. Наибольшая разница отмечена в губе Дальнезеленецкая, где среди крупных особей самцы встречались очень редко [4, 5]. Такая картина соотношения

* Работа поддержана грантом Президента РФ МК-52.2014.4.

полов довольно типична для камчатского краба в различных районах его обитания и связана с особенностями сезонных миграций данного вида.

Размерный состав особей, отловленных в разных районах, варьировал в широких пределах. Он определялся как селективностью орудий лова (например, донные ловушки не облавливали особей с ШК < 50 мм), так и особенностями разных биотопов [2, 3, 6]. В губе Сайда ширина карапакса самцов варьировала от 58.9 до 202.7 мм, составив в среднем 94.8 ± 1.3 мм, у самок минимальная ширина панциря составила, мм: 55.6, максимальная – 160.7, средняя – 89.1 ± 0.8 . В губе Долгая ШК самцов составила, мм: 2.1–166.0 (63.8 ± 3.6), самок – 5.9–161.0 (63.8 ± 3.3). В губе Дальнезеленецкая ШК самцов варьировала, мм: от 9.1 до 226.0, в среднем 53.3 ± 1.7 . Для самок указанные величины равнялись, мм: 7.9, 181.7, и 94.4 ± 1.8 соответственно. В большинстве случаев у неполовозрелых крабов не прослеживается достоверных отличий в морфометрических показателях особей разного пола и в соотношении ширины к длине карапакса (ДК) [2, 6], что объясняется схожим уровнем роста ювенильных самцов и самок [7]. В случае половозрелых крабов отношение ШК/ДК больше у самцов, чем у самок, которые тратят значительную часть энергии на формирование икры [2–5].

Созревание самок зависит от влияния разных факторов, как природных (температура воды), так и антропогенных (влияние вылова). Размер 50%-й половозрелости самок в губах Сайда, Долгая и Дальнезеленецкая составил 104.0, 104.2 и 110.2 мм по длине карапакса [8].

Исследование частоты встречаемости крабов, имеющих повреждения конечностей, позволило установить, что в прибрежных районах травмированность особей выше, чем в открытом море [9]. Основное влияние на высокий уровень аутоомии конечностей камчатского краба оказывают хищники (преимущественно для неполовозрелых особей) и вылов, в том числе нелегальный [9, 10]. Особо отметим, что травмированность крабов существенно повысилась из-за развития рекреационного дайвинга [2, 6, 10].

Согласно расчетам, рост молоди камчатского краба в губах Дальнезеленецкая и Долгая адекватно описывается уравнением Гомперца [7, 11, 12]. Ранее такой же результат получен для ювенильных камчатских крабов из Берингова и Охотского морей. Выявлено, что расчётные значения длины панциря, полученные для камчатского краба из Баренцева моря, отличались от установленных в Тихом океане [7, 11, 12]. При парном сравнении полученных нами показателей с теми, которые были рассчитаны для молоди *P. camtschaticus*, отловленной в Бристольском заливе (Берингово море), получены достоверные различия в обоих случаях, при этом особи из губ Долгая и Дальнезеленецкая достигали более крупных размеров. Обратная картина наблюдалась при сравнении роста краба в губах Восточного Мурмана с акваторией о-ва Уналашка (Алеутские о-ва). Здесь рост крабов был более интенсивным, чем в Баренцевом море. Рост молоди камчатского краба на Западной Камчатке также идет более низкими темпами, чем в Баренцевом море (рис. 1).

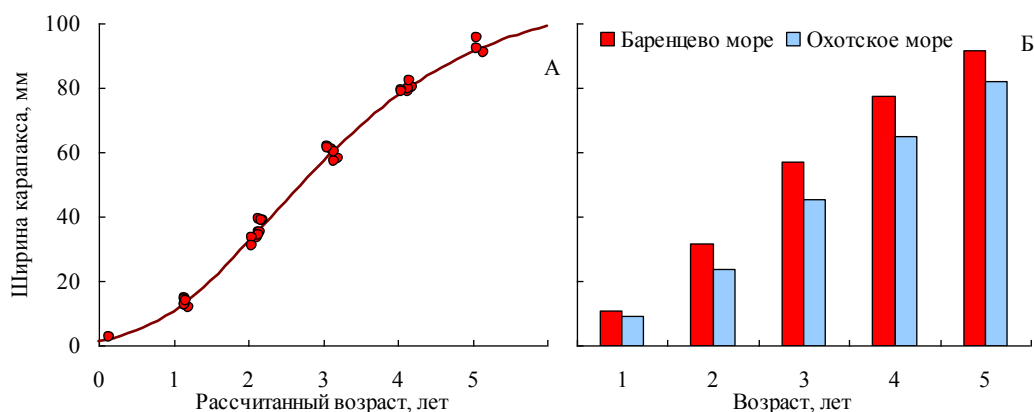


Рис. 1. Кривая роста молоди камчатского краба Баренцева моря (А) и сравнение темпов роста молоди в Баренцевом и Охотском морях (Б)

Выявленные различия в росте крабов отражают различия в гидрологическом режиме исследованных акваторий [7, 11, 12].

Недавние исследования, проведенные ММБИ КНЦ РАН, показали, что в качестве возможного индикатора потепления или похолодания можно использовать различные показатели [13], в том числе численность молоди камчатского краба. Регрессионный анализ выявил, что запас возрастной группы 0–2 года достоверно возрастал при увеличении температуры воды. Численность более зрелых крабов (3–5 лет) не зависела от температуры воды текущего года, но статистически значимо снижалась при рассмотрении данных по температуре со сдвигом на 1 год назад [14].

В результате проведенных анализов гемолимфы камчатского краба в ней обнаружены два экистероида: 20-гидроксиэкизон и экизон. Впервые для Баренцева моря определены их концентрации. Оказалось, что эти концентрации выше, чем у многих других декапод [15]. Также выявлены вариации в содержании экистероидов в зависимости от размера и пола краба. У краба впервые установлены уровни содержания тиреоидных гормонов (тироксин – 483.7 ± 174.4 нмоль/л, трийодтиронин – 4.64 ± 1.66 нмоль/л, тиреотропный гормон гипофиза – 1.81 ± 0.73 мМЕ/л) [16].

В ходе исследований ММБИ детально исследованы экзосимбионты камчатского краба [17, 18]. В губе Сайда на камчатских крабах обнаружено 12 видов ассоциированных организмов [19], в губе Долгая – 13 [20, 21]. Наиболее часто на крабах встречали усонюгих рачков *Balanus crenatus*, амфипод *Ischyrocerus commensalis* и двустворчатых моллюсков *Mytilus edulis* [21]. В губе Дальнезеленецкая на глубинах 5–40 м в августе 2004–2008 гг. на крабах зарегистрировано 43 вида ассоциированных организмов, на глубинах 120–180 м – 17 видов [22]. В период работ с 2009 по 2012 гг., когда исследования проводили в начале–середине июля, на камчатских крабах, выловленных с глубин 5–38 м, обнаружено 59 таксонов ассоциированных организмов [23, 24]. Наиболее часто на крабах встречали амфипод *Ischyrocerus commensalis* и *Ischyrocerus anguipes* и копепод *Tisbe furcata* и *Harpacticus uniremis* [20, 21, 23–28].

Проведенная нами оценка влияния симбионтов и обрастателей на хозяина показала, что отрицательные для краба эффекты регистрируются при массовой концентрации симбионтов в жабрах, где поселяется значительное количество амфипод *Ischyrocerus commensalis* [29].

В аквариальных условиях нами впервые проведены экспериментальные исследования, изучающие питание бокоплавов *I. commensalis* икрой камчатского краба (рис. 2). Эти работы установили, что амфиподы *I. commensalis* не являются специализированными паразитами икры камчатского краба и оказывают минимальное воздействие на смертность икры [30–32].

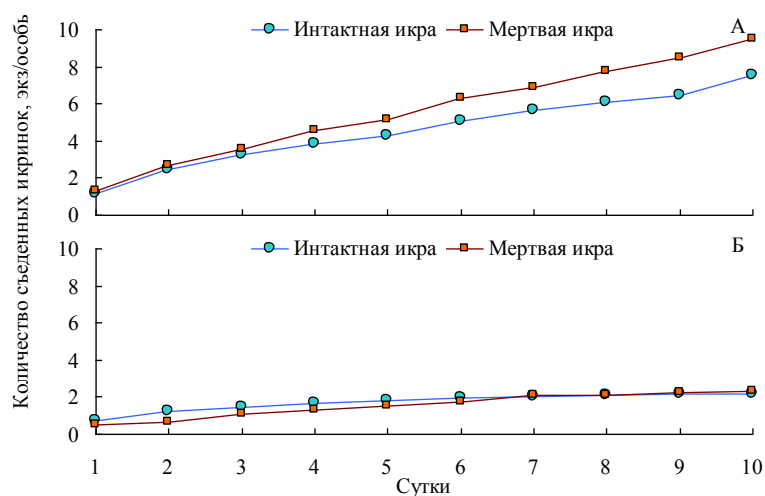


Рис. 2. Кумулятивные кривые потребления интактной и мертвой икры камчатского краба разных стадий зрелости амфиподами *Ischyrocerus commensalis*:

А – икра фиолетовая, Б – икра с глазком

Заселенность камчатских крабов симбионтами и обрастателями определяется комплексным влиянием абиотических и биотических факторов [33]. Существенное значение имеет интенсивность водообмена на акватории и глубина [22, 33], а также, вероятно, уровень загрязнения среды обитания крабов [34]. Из биотических факторов наиболее влияет на заселенность крабов ассоциированными организмами размер хозяина, а также возраст экзоскелета [17, 22]. Симбиотические сообщества, формирующиеся на поверхности тела декапод, представляют собой интерес с точки зрения изучения некоторых важных аспектов биологии ассоциированных видов, которые были известны с разной степенью детальности [18]. На основе анализа особенностей локализации массовых видов симбионтов и обрастателей камчатского краба установлено, что при высокой плотности заселения хозяина в популяциях амфипод *Ischyrocerus commensalis* и *I. anguipes* в губе Дальнезеленецкая и усонюгих раков *Balanus crenatus* в губе Долгая наблюдаются отрицательные внутривидовые взаимодействия [35]. В то же время нами не выявлено межвидовой конкуренции между двумя видами симбиотических амфипод [36, 37]. Это, по всей видимости, объясняется отличиями в питании обоих видов.

Сравнительный анализ установил различия в сообществах ассоциированных организмов камчатского краба и местного близкородственного вида (*Lithodes maja*), обусловленные отличиями в размерах, питании, химических и физических свойствах панцирей [38].

В ходе работы впервые показано, что удаление шипов на конечностях молоди *P. camtschaticus* ведёт к снижению продолжительности межлиночных интервалов. У крабов с длиной карапакса 75–85 мм линька особей с удалёнными шипами на конечностях проходила в среднем на 40–45 сут. раньше, чем у интактных особей [39]. Хотя эффект от удаления шипов с конечностей на продолжительность межлиночных интервалов менее выражен, чем при использовании альтернативных подходов, наш метод не имеет таких отрицательных последствий для физиологии камчатского краба, какие наблюдаются в случае применения множественной аутономии и удаления глазных стебельков, и не такой затратный, как инъекция гормонов линьки [39]. Мы использовали в опытах относительно небольших крабов, поэтому перспектива использования нашей разработки на практике может быть связана с культивированием молоди и её дальнейшим выпуском в море для пополнения естественных популяций [39].

За 1994–2003 гг. промысловый запас камчатского краба вырос с 230 тыс. экз. до 13.3. млн экз. (рис. 3). Промышленный лов камчатского краба в Баренцевом море ведется с 2004 г.

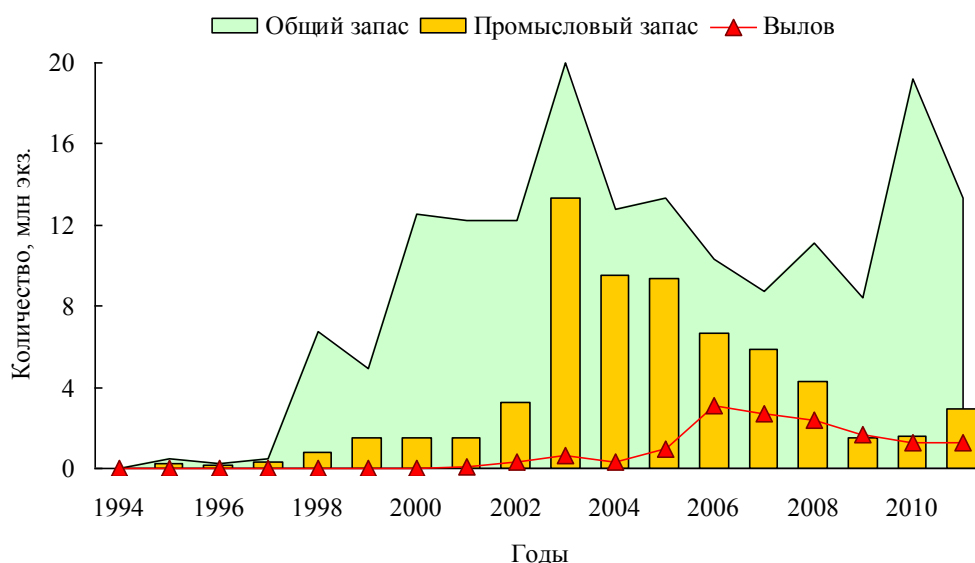


Рис. 3. Динамика общей численности промыслового запаса и вылова камчатского краба в Баренцевом море в 1994–2011 гг.

Промысловый запас (численность самцов с шириной карапакса более 150 мм) снизился с 9.5 млн экз. в 2004 г. до 4.3 млн экз. в 2008 г. В последующие два года этот показатель оставался на уровне 1.5 млн экз., а в 2011 г. составил почти 3 млн экз. В дальнейшем тенденция к повышению численности промысловых самцов сохранилась. Вылов камчатского краба в 2012 и 2013 гг. находился на уровне 1.75 млн экз. [8].

Влияние камчатского краба на бентос может быть связано с выеданием донных организмов, конкуренцией с местными видами, а также со вторичной инвазией симбионтов и обрастателей [1, 40, 51]. На примере акваторий Восточного Мурмана было показано, что в структуре бентосных сообществ мягких грунтов произошли некоторые изменения, однако в целом сообщества находятся в ненарушенном или слабонарушенном состоянии [1]. Конкуренция с рыбами и другими ракообразными также не оказала заметного влияния на численность массовых видов и функционирование экосистем [40]. Вселение камчатского краба привело к повышению биоразнообразия акваторий за счет распространения ассоциированных с ним организмов в новые биотопы. Вторичная инвазия чужеродных видов-симбионтов с крабом не отмечена [41]. Основные выгоды от появления нового ценного биологического вида, имеющего промысловую ценность, состоят в следующем: а) высокие доходы от реализации крабовой продукции; б) появление новых рабочих мест; в) развитие аквакультуры; г) развитие любительского лова и спортивного туризма (дайвинг) [42]. Ухудшение промысла некоторых видов рыб из-за попадания крабов в сети, а также активизация нелегального промысла также вызваны вселением камчатского краба в Баренцево море [42].

На основе имеющегося опыта биологических исследований нами разработана методика проведения судебных биологических экспертиз по оценке ущерба, нанесенного государству нелегальным выловом камчатского краба (рис. 4) [43, 44]. Эта методика успешно применяется на практике.

I этап (внелабораторный)		Формулы	
1. Видовая идентификация		$N_1 = 0.5 \cdot N_c$	(1)
Осмотр продукции, отбор биологических объектов для лабораторного анализа		$N_0 = (m_0/m_1) \cdot N_1$	(2)
II этап (лабораторный)		$K = D - t$	(3)
Секции конечностей	Вид продукции	$N_1 = N' / K$	(4)
или отдельные конечности	Варено-мороженое мясо камчатского краба (мероподиты)	$ШК = 1.1925 ДМ + 4.5113$	(5) ^а
2. Определение количества использованных крабов		$ШК = 1.4431 ДМ - 0.3675$	(6) ^б
Формулы 1 и 2	Формулы 2-4	$ШК = 1.272 ДМ + 5.2883$	(7) ^в
3. Определение полового состава крабов		$M = 0.0009 \cdot ШК^{2.9108}$	(8) ^а
Осуществляется на основе морфологических признаков	Не проводится	$M = 0.0008 \cdot ШК^{2.2597}$	(9) ^б
4. Определение размеров и массы крабов		$M = 0.0008 \cdot ШК^{2.9452}$	(10) ^в
Формулы 5-10	Формулы 5-10	$C = N_0 \cdot T$	(11)
Формула 11	5. Расчет ущерба Формула 11	$Mc = M_0 \cdot KPC$	(12)
Экспертиза по документам Формулы 11-13		$N_1 = Mc/M_1$	(13)

Рис. 4. Общая схема проведения экспертиз по камчатскому крабу Баренцева моря

N_1 – число особей краба, необходимого для производства отобранного на исследование количества биологических объектов; N_c – число секций конечностей краба в отобранном количестве; N_0 – искомое количество крабов для производства всей продукции; m_0 – общая масса секций конечностей; m_1 – масса секций, отобранных для лабораторного анализа; D – коэффициент, равный 6 (если в партии присутствуют только ходильные конечности) или 8 (если в партии присутствуют ходильные и клешненоносные конечности); t – частота потери одной конечности в популяции (в нашем случае $t = 0.12$); N' – количество мероподитов (или отдельных конечностей в отобранном на исследование количестве); C – сумма ущерба; T – такса исчисления ущерба за незаконный вылов одного краба, которая на начало 2012 г. составляет 835 руб/экз.; Mc – масса сырца, кг; M_0 – масса изъятой продукции; KPC – коэффициент расхода сырья; M_1 – масса одной особи камчатского краба

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворецкий А.Г. Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). Выедание бентоса // Вопросы рыболовства. 2012. Т. 13. С. 18–34.
2. 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. С. 100–111.
3. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Исследования биологии камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* в губе Долгой (Баренцево море) // Изв. ТИНРО. 2010. Т. 160. С. 44–56.
4. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Некоторые черты биологии камчатского краба в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море) в летний период // Рыбное хозяйство. 2013. № 5. С. 79–84.
5. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Особенности биологии камчатского краба в прибрежье Баренцева моря в летний период // Вестник СПбГУ. 2014. Сер. 3. Вып. 1. С. 5–13.
6. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Population dynamics of the invasive lithodid crab, *Paralithodes camtschaticus*, in a typical bay of the Barents Sea // ICES Journal of Marine Science. 2013. Vol. 70. P. 1255–1262.
7. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Size-at-age of juvenile red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the coastal Barents Sea // Cahiers de Biologie Marine. 2014. Vol. 55. P. 43–48.
8. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Size at maturity of female red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, from the costal zone of Kola Peninsula (southern Barents Sea) // Cahiers de Biologie Marine. 2015. Vol. 56. P. 49–54.
9. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Limb autotomy patterns in *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), an invasive crab, in the coastal Barents Sea // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2009. Vol. 377. P. 20–27.
10. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Аутоотомия конечностей камчатского краба в прибрежье Баренцева моря // Докл. РАН. 2009. Т. 429. С. 701–704.
11. Дворецкий А.Г. Модель роста молоди камчатского краба в Баренцевом море // Тр. ЗИН РАН. 2011. Т. 315, № 1. С. 75–84.
12. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Рост молоди камчатского краба в двух губах Восточного Мурмана (Баренцево море) // Изв. ТИНРО. 2011. Т. 164. С. 185–195.
13. Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G. Epiplankton in the Barents Sea: Summer variations of mesozooplankton biomass, community structure and diversity // Continental Shelf Research. 2013. Vol. 52. P. 1–11.
14. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Влияние климатических факторов на молодь камчатского краба в прибрежье Баренцева моря // Вопросы рыболовства. 2014. Т. 15.
15. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Hemolymph molting hormone concentrations in red king crabs from the Barents Sea // Polar Biology. 2010. Vol. 33. P. 1293–1298.
16. Зензеров В.С., Типисова Е.В. Первые данные об уровнях тиреоидных гормонов (тироксин, трийодтиронин) и тиреотропного гормона гипофиза в гемолимфе камчатского краба Баренцева моря // Докл. РАН. 2009. Т. 428. С. 835–837.
17. Дворецкий А.Г., Кузьмин С.А. Симбионты камчатского краба в прибрежье Мурмана Баренцева моря // Вопросы рыболовства. 2008. Т. 9, № 3(35). С. 526–535.
18. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Эпифауна крабов-литодид в Баренцевом море. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2012. 410 с.
19. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Эпibiонты камчатского краба *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) в губе Сайда Кольского залива // Биология внутренних вод. 2009. № 3. С. 93–97.
20. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Обрастатели и симбионты камчатского краба (*Paralithodes camtschaticus*) в губе Долгая Баренцева моря // Зоол. журн. 2009. Т. 88. С. 1320–1325.
21. 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 Biology. 2009. Vol. 32. P. 1047–1054.
22. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Epifauna associated with an introduced crab in the Barents Sea: a 5-year study // ICES Journal of Marine Science. 2010. Vol. 67. P. 204–214.
23. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Видовой состав макросимбионтов и обрастателей камчатского краба в прибрежье Баренцева моря (губа Дальнезеленецкая) в 2010 году // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16. С. 452–459.
24. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Сообщество обрастателей камчатского краба в губе Дальнезеленецкая (Восточный Мурман, Баренцево море): сравнительный анализ сезонных особенностей // Тр. КарНЦ РАН. 2013. Т. 13. С. 78–85.
25. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Population biology of *Ischyrocerus commensalis*, a crab-associated amphipod, in the southern Barents Sea: a multi-annual summer study // Marine Ecology. 2011. Vol. 32. P. 498–508.
26. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Copepods associated with the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) in the Barents Sea // Zoological Studies. 2013b. Vol. 52:17. P. 1–7.
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 Biology. 2009. Vol. 32. P. 463–469.
28. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Некоторые черты биологии амфипод *Ischyrocerus anguipes*, обитающих на камчатском крабе (*Paralithodes camtschaticus*) в Баренцевом море // Зоол. журн. 2010. Т. 89. С. 1062–1069.
29. 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. 2009. Vol. 82. P. 390–396.
30. 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. 2010. Vol. 298. P. 185–189.
31. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Новые данные о симбиозе амфипод *Ischyrocerus* и камчатского краба при поселении бокоплавов на икре хозяина // Докл. РАН. 2012. Т. 445. С. 360–362.
32. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Особенности пищевого поведения симбиотических амфипод, обитающих на камчатском крабе Баренцева моря // Вестник ЮНЦ РАН. 2014. Т. 10. С. 52–58.
33. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Влияние гидродинамического режима акватории на сообщества обрастателей камчатского краба в Баренцевом море // Океанология. 2014. Т. 54. С. 193–199.
34. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Сравнительный анализ сообществ обрастателей камчатского краба во фьордах Баренцева моря // Изв. ТИНРО. 2012. Т. 169. С. 100–109.
35. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Межвидовая конкуренция симбионтов и обрастателей камчатского краба в Баренцевом море // Докл. РАН. 2011. Т. 440. С. 283–285.
36. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Внутривидовые взаимоотношения симбионтов камчатского краба Баренцева моря // Докл. РАН. 2008. Т. 422. С. 424–426.
37. Дворецкий А.Г., Дворецкий В.Г. Межвидовые взаимоотношения симбиотических амфипод на камчатском крабе в Баренцевом море // Докл. РАН. 2010. Т. 433. С. 715–717.
38. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Epifauna associated with the northern stone crab *Lithodes maia* in the Barents Sea // Polar Biology. 2008. Vol. 31.

P. 1149–1152. **39.** *Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.* Does spine removal affect molting process in the king red crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the Barents Sea? // *Aquaculture*. 2012. Vol. 326–329. P. 173–177. **40.** *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). Конкуренция с местными видами // *Вопросы рыболовства*. 2013. Т. 14. С. 16–25. **41.** *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). Ассоциированные организмы // *Вопросы рыболовства*. 2013. Т. 14. С. 406–420. **42.** *Дворецкий А.Г.* Вселение камчатского краба в Баренцево море и его воздействие на экосистему (обзор). Промысел и социально-экономические аспекты // *Вопросы рыболовства*. 2014. Т. 15. С. 7–20. **43.** *Дворецкий А.Г.* О проведении судебных биологических экспертиз по камчатскому крабу (на примере Баренцева моря) // *Вопросы рыболовства*. 2011. Т. 12. С. 175–181. **44.** *Дворецкий А.Г.* К методике расчета ущерба от нелегального вылова камчатского краба Баренцева моря // *Рыбное хозяйство*. 2014. № 4. С. 64–68.

Сведения об авторе

Дворецкий Александр Геннадьевич – к.б.н., зав. лабораторией Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: vdvoretzkiy@mmbi.info

УДК 582.26

АДАПТАЦИЯ И РЕГУЛЯЦИЯ РОСТА У МАКРОФИТОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

Г.М. Воскобойников, М.В. Макаров, С.В. Малавенда, И.В. Рыжик

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

В результате многолетних исследований макрофитов Баренцева моря определены: 1) оптимальный фотопериод (16:8 – свет-темнота) для роста большинства водорослей, а также его компенсаторная роль в регуляции роста макрофитов; 2) негативное воздействие ультрафиолета Б на развитие водорослей; 3) оптимальные для роста температуры и механизмы холодоустойчивости макроводорослей; 4) влияние гидростатического давления на вертикальное распределение макрофитобентоса в сублиторальной зоне; 5) значение интенсивности движения воды, типа субстрата и солености для размножения, роста и распределения водорослей-макрофитов.

Ключевые слова:

водоросли-макрофиты Баренцева моря, адаптация и регуляция роста у макрофитов Баренцева моря, фотопериод, ультрафиолет, температура, гидростатическое давление, движение воды, соленость, субстрат.

Водоросли арктических морей живут в условиях уникального природного эксперимента, испытывая смену фотопериода от полярного дня до полярной ночи, температуры воздуха на литорали во время отливов (от +20 °С летом и до -20 °С зимой), ультрафиолета, осушения, замерзания и истирания льдом в зимний период.

Какие факторы определяют географию распространения многолетних видов в высокие широты, каковы механизмы адаптации к данным факторам и чем определяется видовое разнообразие морских макрофитов в Арктике? Какие изменения возможны в биологическом разнообразии флоры арктических морей в случае ожидаемого изменения климата? Ответы на эти вопросы входят в задачи исследований альгологов Мурманского морского биологического института КНЦ РАН.

В связи с тем, что в природных условиях влияние отдельных факторов выделить достаточно сложно, натурные наблюдения сочетаются с проведением лабораторных экспериментов, позволяющих проследить адаптационные процессы у водорослей на разных уровнях организации: от клеточного до фитоценотического, популяционного. Естественно, что проведение таких исследований возможно при сочетании рутинных подходов с новыми или модифицированными методами наблюдений, анализов.

Фотопериод

В большинстве исследований по физиологии водорослей за основной критерий состояния водорослевого организма принимается относительная скорость роста [1–3]. Результаты многолетних наблюдений в природе и лабораторных экспериментов показали, что относительная скорость роста площади таллома у большинства исследованных многолетних водорослей различных систематических групп в условиях Баренцева моря увеличивается в начале февраля, достигает максимума весной. Затем, к середине лета, наблюдается снижение скорости роста, которая достигает минимума к ноябрю месяцу. Но даже в полярную ночь (ноябрь–январь) у ряда видов водорослей сохраняется ростовая активность. Так, у двулетних талломов ламинарии молодая пластина появляется в декабре. Вместе с тем, как отмечалось выше, период интенсивного роста водорослей начинается в феврале–марте с увеличением фотопериода [3, 4].

В это время у многих водорослей, в том числе и у ламинариевых, появляются проростки. Учитывая, что в феврале–марте температура воды имеет самый низкий среднегодовой показатель (-1.2°C), можно говорить о компенсаторной роли фотопериода в регуляции роста макрофитов, когда при низкой температуре окружающей среды за счет увеличения фотопериода усиливается скорость роста водорослей.

Результаты совместных опытов с альгологами Университета г. Гронингена (Нидерланды), Гельголандской биологической станции (Германия) по исследованию влияния фотопериода и температуры на рост макрофитов, круглогодичные наблюдения за водорослями на Мурманском побережье Баренцева моря позволяют предполагать, что для роста большинства исследованных водорослей оптимален фотопериод: 16:8 (свет:темнота).

Изучение сезонных морфо-функциональных перестроек у водорослей показало снижение скорости роста в конце июня и в июле месяце, когда фотопериод 24:0 (свет:темнота). Предположительно, это связано с минимальным содержанием биогенов в морской воде по сравнению с весенним периодом – временем интенсивного роста макрофитов, что подтверждается экспериментами, проведенными на плантации ламинариевых водорослей на побережье Баренцева моря. Добавление азотных и фосфорных удобрений в окружающую среду в июле месяце вызвало усиление скорости роста водорослей.

До настоящего времени остается гипотетичным механизм переживания водорослями-макрофитами полярной ночи в арктических морях. Если 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^2 , то на широте Шпицбергена продолжительность полярной ночи около 4 мес., из них 2 мес. освещение полностью отсутствует. Феномен выживания водорослей в условиях темноты не мог не привлечь внимание ученых, так как водоросли относятся к автотрофам, жизнь которых обеспечивается светом.

Со времени первых исследований по физиологии водорослей на Мурманском побережье до работ, выполненных на Дальнезеленецкой биостанции в начале XXI в., считалось, что у водорослей на Мурманском побережье отсутствует фотосинтез, и они в зимний период переходят в состояние мезабиоза, характеризующегося снижением метаболизма, – процесса, описанного для одноклеточных организмов и найденного нами у таких водорослей [5–8].

Однолетние водоросли при недостатке освещения и понижении температуры находятся в покоящейся стадии, и большинство видов зимний период переживают в виде микроскопических стадий жизненного цикла (гаметофитов или спор). Для многолетних макрофитов предположение о переходе в состояние мезабиоза вступало в противоречие с данными, полученными в нашей лаборатории методом электронной микроскопии. В клетках макрофитов в январе месяце, т.е. в конце полярной ночи, выявлялись запасные вещества и отсутствовали какие-либо повреждения в ультраструктуре.

Полярная ночь на Мурманском побережье Баренцева моря характеризуется наличием минимального освещения: даже в декабре месяце интенсивность света 3–4 часа в сутки составляет до 3 Вт/м^2 . Механизм перестройки фотосинтетического аппарата у водорослей в полярную ночь на Мурманском побережье аналогичен адаптации к затенению, описанной у большой группы макроводорослей [9]. Изотопным методом показано наличие фотосинтеза в зимний период у водорослей-макрофитов Мурманского побережья Баренцева моря [10]. Нельзя говорить о «полной темноте» зимой и на побережье Грен-фьорда архипелага Шпицберген. По данным Полярного геофизического института РАН (личное сообщение к.т.н. В.К. Ролдугина), падающий на поверхность воды рассеянный лунный свет доступен для водорослей.

Эксперименты по влиянию полной темноты, проведенные на побережье губы Зеленецкой с использованием светонепроницаемого контейнера и на защищенном от проникновения лунного света полигоне в Грен-фьорде, показали, что несмотря на определенное угнетение растений, из-за уменьшения водообмена в контейнере ряд водорослей: *Saccharina latissima*, *Fucus vesiculosus*, *Palmaria palmata* способны более 3 мес. находиться в темноте без признаков

повреждения. На экспериментальном полигоне в Грен-фьорде ламинариевые и фукусовые водоросли также пережили период полярной ночи в полной темноте, и после пересадки на свет в период 27–30 января все экспериментальные талломы проявили ростовую активность.

Выяснилось, что у *S. latissima* при длительном отсутствии освещения (пребывание в контейнере до 60 сут.) клетки фототрофного слоя остаются в интактном состоянии. При отсутствии освещения сохранение зоны роста происходило за счет ближнего транспорта запасных веществ из гетеротрофных слоев клеток центральной части и дальнего транспорта ассимилятов от разрушающихся клеток волана и дистальной части пластины. По-видимому, данный механизм позволяет запускать ростовые процессы в период полярной ночи.

У фукусовых водорослей зона роста апикальная, и они не могут подобно ламинариевым водорослям активно использовать органические вещества, образующиеся при автолизе таллома. Однако через 6 мес. нахождения водорослей в темноте, в большом числе клеток их фотосинтетический аппарат сохраняется в интактном состоянии, количество и соотношение фотосинтетических пигментов остаются неизменными. Интенсивность фотосинтеза и дыхания меняется незначительно, уровень фотосинтеза в 6–8 раз выше, чем дыхания. На внешней стороне корового слоя водорослей наблюдается скопление бактерий, а в отдельных образцах бактерии обнаруживаются и в межклеточниках. В цитоплазме клеток отмечается уменьшение размеров и снижение электронной плотности гранул полисахаридной природы, увеличение удельной доли митохондрий и крист в митохондриях. При более длительном нахождении в условиях «экспериментальной» темноты (до 9 мес.) большое число бактерий обнаруживается уже в межклетниках *F. vesiculosus* и внутри клеток, что, по-видимому, связано с наблюдаемыми литическими процессами. Лишь отдельные фрагменты таллома выглядят неповрежденными.

Электронно-микроскопический анализ образцов *F. vesiculosus*, отобранных для исследований в июле и первой половине января на литорали центральной части Грен-фьорда в районе Баренцбурга и из дополнительно затененного полигона, не выявил каких-либо нарушений в ультраструктуре клеток у водорослей зимой и при полной темноте. Более того, у ряда клеток наблюдался процесс деления. Ультраструктура клеток *F. vesiculosus* при переживании в полной темноте, сопровождаемом сменой энергетического метаболизма, характеризуется развитием митохондрий, объединением их в единый митохондриальный ретикулум, контактами с хлоропластами, т.е. сопряжением энергетической системы клетки. Параллельно с этим отмечается развитие транспортной системы. Такие перестройки происходят на фоне отсутствия каких-либо деградационных изменений в клетках водорослей. По-видимому, смена энергетического метаболизма: возможность перехода морских макрофитов на эндогенное питание и продолжительность существования в темноте зависят от толщины таллома, степени развития гетеротрофных слоев клеток, расположенных глубоко внутри таллома.

Можно предположить, что если на Мурманском побережье, побережье Грен-фьорда возможность существования водорослей при минимальном освещении в период полярной ночи обеспечивается адаптацией фотосинтетического аппарата к низкому уровню освещения, то переживание при полной темноте осуществляется за счет потребления запасных веществ, продуктов автолиза таллома и внешних растворенных органических веществ [11, 12]. Способность фукоидов при длительном отсутствии освещения сохранять тканевые и клеточные структуры без признаков деградации свидетельствует о возможности их перехода с фотоавтотрофного на гетеротрофный способ питания.

Ультрафиолетовая радиация

В связи с уменьшением озонового слоя и, вследствие этого, увеличением количества ультрафиолета (UV), достигающего поверхности Земли, особое значение приобретает изучение влияния UV на различные функции живых организмов. Так как UV с длиной волн менее 280 нм (UV-C) задерживается верхними слоями атмосферы, на водоросли воздействуют две составляющие ультрафиолета: UV-A (320–400 нм) и UV-B (280–320 нм). Опыты с отсечением

различных частей UV-радиации при помощи избирательных фильтров показали, что скорость роста водорослей максимальна при отсутствии радиации, остается на том же уровне или немного снижается под воздействием UV-A и заметно уменьшается под воздействием UV-B.

Виды, обитающие в нижней литорали и верхней сублиторали и имеющие пластинчатую организацию таллома, оказываются наиболее чувствительными к UV-B, что, скорее всего, связано с нарушением работы фотосинтетического и белоксинтезирующего аппаратов. Степень устойчивости разных видов к UV-B зависит от содержания экранирующих и UV-абсорбирующих пигментов, а также активности репарационных процессов [13].

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

UV-облучение зооспор *S. latissima* не оказывало значительного влияния на их прорастание, тогда как облучение эмбриоспор вызывало задержку или нарушение развития. Вероятная причина в том, что, в отличие от зооспор, у эмбриоспор белоксинтезирующий аппарат находится в активном состоянии.

Проведенные исследования показали, что ультрафиолетовая радиация является фактором, оказывающим значительное воздействие на репродукцию водорослей и процессы восстановления природных зарослей.

Температура

Температура – один из основных факторов, определяющих биогеографические границы произрастания водорослей [14–18]. Однако несмотря на многочисленные экспериментальные исследования температурной толерантности водорослей, механизмы их тепло- и, что особенно актуально для северных морей, холодоустойчивости до настоящего времени не ясны.

Результаты наших наблюдений показывают, что для большинства водорослей Баренцева моря оптимальная температура для вегетативного роста $10\text{--}15\text{ }^\circ\text{C}$, реже $5\text{--}10\text{ }^\circ\text{C}$, для единичных видов $20\text{--}22\text{ }^\circ\text{C}$. Среди них имеются эвритермные виды, приспособленные к значительным колебаниям температур, к которым относится большинство литоральных водорослей, и stenothermные, способные существовать в узком температурном диапазоне. Сходные результаты получены и для других видов водорослей [1, 4, 17].

Температура воздуха на побережье Баренцева моря, которую испытывают в период отлигов литоральные водоросли, зимой может опускаться до $-25\text{ }^\circ\text{C}$, а летом достигать $+30\text{ }^\circ\text{C}$. Самая низкая температура воды (до $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$) отмечается в феврале–марте. Максимальная температура у поверхности воды в губах Баренцева моря достигает $12\text{ }^\circ\text{C}$ в сентябре месяце, а на глубине 10 м не поднимается выше $5\text{ }^\circ\text{C}$.

Проведенные нами исследования показали, что водоросли Баренцева моря способны в течение месяца существовать при температуре $-1.5\text{ }^\circ\text{C}$. Первые повреждения у *Phycodris rubens* и *S. latissima* отмечались при $-2.0\text{ }^\circ\text{C}$, однако часть из них была обратима. У сублиторальных водорослей образование кристаллов внутри клетки начинается при температуре ниже $-1.8\text{ }^\circ\text{C}$ (температура замерзания морской воды). Наибольшая устойчивость к низким температурам обнаружена у *F. vesiculosus*: необратимые повреждения начинали проявляться при температуре $-20\text{ }^\circ\text{C}$. У водорослей *P. palmata* и *Porpyra umbilicalis* при температуре $-20\text{ }^\circ\text{C}$ лишь единичные фрагменты сохраняли жизнеспособность.

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 подобных веществ. В частности, бурая водоросль *S. latissima*, содержание маннита у которой значительно

выше по сравнению со многими литоральными водорослями, 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 обеспечивает сохранность тканей некоторых видов литоральных водорослей зимой. Эксперименты последних лет, выявившие наличие большого процента связанной воды в клетках фукуса пузырчатого, также свидетельствуют в пользу данного предположения. На опытах с водорослями *P. palmata* и *Porphyra* sp. показано, что понижение температуры вызывает увеличение концентрации в них полиненасыщенных жирных кислот [20], способствующих сохранению текучести клеточных мембран. Не исключается и наличие других механизмов, способствующих переживанию литоральных водорослей в условиях холода [21, 22].

На основании экспериментальных данных, полученных, в том числе и на установке программной заморозки, построен ряд холодоустойчивости фукусовых водорослей: *F. vesiculosus* > *F. distichus* > *F. serratus*, который совпадает с вертикальным расположением водорослей на литорали.

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

Гидростатическое давление

Для сублиторальных видов морских макрофитов долгое время считалось, что нижняя граница их произрастания определяется недостатком ФАР. Однако при увеличении глубины не только снижается освещенность и меняется спектральный состав света, но и линейно возрастает гидростатическое давление. Исследования влияния этого фактора на макроводоросли не проводились, хотя еще в середине прошлого века – у *Cystoseira barbata* в Черном море отмечено снижение скорости роста, уменьшение густоты и уплощение веточек и воздушных пузырей у «глубоководных» растений, что связывалось не только со снижением освещенности, но и с увеличением давления [23]. Экспериментальное исследование влияния гидростатического давления на движущиеся зооспоры, эмбриоспоры и прорастающие споры *S. latissima* показало, что на характер движения и скорость оседания зооспор давление не оказывает влияния. Наиболее чувствительны прорастающие споры, давление в 3 атм (соответствует давлению на глубине 30 м) значительно тормозит или нарушает их развитие. Выявлено, что освещенность не лимитирует распространение *S. latissima* на большие глубины.

Негативное влияние гидростатического давления малых уровней (до 4–5 кгс/см²) на фототрофные организмы может заключаться в воздействии на клетки растений внешней гипербарической среды с измененным парциальным давлением газов и, самое главное, в значительном увеличении концентрации кислорода в клетке. У ранних стадий развития водорослей фотосинтетический аппарат активно формируется и функционирует, поскольку для их дальнейшего развития необходимо большое количество энергии. Возможно, что защитные антиоксидантные механизмы в этот период еще недостаточно сформированы. При значительном

увеличении концентрации и парциального давления кислорода, что происходит при увеличении гидростатического давления, наблюдается оксигенная интоксикация и разрушение органоидов клетки.

Результаты исследований показали, что при достаточном уровне освещения гидростатическое давление может оказывать существенное влияние на вертикальное распределение макрофитобентоса в сублиторальной зоне.

Интенсивность движения воды, тип субстрата и соленость

В заливах Баренцева моря, особенно в кутовых частях, снижению интенсивности движения воды (ИДВ), как правило, сопутствуют распреснение и смена субстрата на песчаный или заиленный, что может негативно сказываться на росте водорослей [24, 25].

Проведенные экспериментальные исследования устойчивости к распреснению промысловых видов водорослей Мурмана (массовые фукусовые и ламинариевые) позволили составить ряд устойчивости видов к данному фактору: *F. vesiculosus* > *Fucus distichus* > *Ascophyllum nodosum* > *F. serratus* > *S. latissima*. Хорошо выдерживает распреснение до 2.5 ‰ *F. vesiculosus*, а *S. latissima* погибает при 17 ‰. *A. nodosum*, *F. distichus* и *F. serratus* занимают промежуточное место по уровню резистентности. Было отмечено, что физиологический оптимум солености *F. vesiculosus* из местообитаний Баренцева моря с постоянной морской соленостью воды составляет 25.5 – 34 ‰, а из солоноватоводных – 17 ‰, то есть для данного вида доказаны наибольшие адаптивные возможности. Экспериментально определено, что через 8–10 сут. постоянного нахождения при солености 2.5 ‰ и ниже у апексов *F. vesiculosus* наблюдается остановка роста и появление некротических пятен, для *F. distichus* и *A. nodosum* нижняя граница диапазона толерантности к солености 10–15 ‰, а для *F. serratus* – 15 ‰. Также продемонстрирована большая устойчивость *F. vesiculosus* к колебаниям солености по сравнению с постоянными солоноватоводными условиями.

Исследование устойчивости вида к отдельным абиотическим факторам показало, что распространение *F. vesiculosus* на литорали Мурмана определяется размерным составом грунта, интенсивностью движения воды и соленостью. Поэтому именно в градиенте этих факторов исследовалась возрастная, размерно-массовая и половая структура вида.

Структура популяции *F. vesiculosus* изучалась на 10 пробных площадках в литоральной зоне губ Восточного Мурмана (табл.). В местах исследования определялись соленость, ИДВ, в том числе волноприбойная активность, и тип субстрата. Пробы водорослей отбирались в среднем горизонте литорали (1.8–2.6 м над уровнем моря), что позволило считать интенсивность освещения и температуру одинаковыми во всех участках отбора проб. Субстрат в местах отбора проб был однороден (валунные грунты и скальные выступы). При описании структуры популяции *F. vesiculosus* использовались следующие характеристики: средняя и максимальная продолжительность жизни растений, численность на 1 м², длина, масса и удельная поверхность талломов, доля фертильных растений от общего числа особей, соотношение полов.

Анализ возрастной структуры популяции *F. vesiculosus* выявил, что наибольший средний возраст растений (2.9 года) наблюдается в условиях слабозащищенного участка берега и распреснения воды в период отлива до 24–25 ‰. При аналогичной ИДВ, но постоянной солености 33–34 ‰ (средний котел губы Ярнышная) средний возраст макрофитов несколько ниже (2.4 года). У фукусов с открытого берега и внутреннего котла губы Ярнышная средний возраст на год ниже, чем на слабозащищенных участках.

На открытом побережье и в эстуарной зоне (внутренний котел губы Ярнышная) очень высока смертность особей 0–2 лет (более 60 %). В бухте Оскара отмечены колебания численности в разных возрастных группах, но значительная часть растений доживает до 6 лет. Во всех местообитаниях растения старше 8–9 лет встречаются в единичных экземплярах. Вероятно, на открытом побережье элиминирующим фактором является волноприбойная активность, а в эстуарной зоне – распреснение ниже 5–8 ‰.

Характеристика мест отбора проб

Место отбора проб	Координаты	Тип берега	Соленость, ‰	Прибойность, балл	ИДВ, мг·г/ч
Бухта Прибойная	69°07.957' с.ш. 36°03.900' в.д.	Открытый	33.0–34.0	I–II	0.029
Мыс Пробный	69°07.051' с.ш. 36°04.376' в.д.	Слабо- защищенный	31.5–34.0	II–III	0.017
Красная скала	69°07.290' с.ш. 36°03.065' в.д.	То же	33.5–33.7	II–III	0.019
Средний котел губы Ярнышная	69°06.704' с.ш. 36°03.248' в.д.	—«—	—«—	III–IV	0.010
Бухта Оскара	69°07.044' с.ш. 36°04.555' в.д.	—«—	24.5–34.0	—«—	0.010
Дальний пляж	69°06.534' с.ш. 36°05.970' в.д.	Защищенный	2.0–30.0* 12.0–25.0**	V–VI	0.007
Кут губы Ярнышная	69°05.128' с.ш. 36°03.012' в.д.	То же	—«—	—«—	0.006
Внутренний котел губы Ярнышная	69°05.067' с.ш. 36°02.993' в.д.	—«—	0.1–12	—«—	

* В период сизигийных приливов.

**В период квадратурных приливов.

В эстуарной зоне отмечено снижение линейных размеров слоевища, возможно, обусловленное распреснением ниже 5–10 ‰, которое является критическим для морских организмов. Экспериментальные исследования показали, что длительное существование *F. vesiculosus* в эстуарных зонах возможно лишь благодаря постоянным колебаниям солености (табл.) на литорали, так называемым, "приливным окнам".

Полученные нами результаты выявляют экспоненциальную зависимость изменений массы талломов *F. vesiculosus* при низкой ИДВ. На открытом берегу волноприбойная активность вызывает обрывы частей талломов и, как, следствие, линейное увеличение массы в онтогенезе.

Во всех биотопах первые фертильные растения появляются в возрасте 2 лет, изначально соотношение полов равное. С возрастом процент фертильных растений и соотношение полов изменяются в зависимости от места обитания. Доминирование женских особей (до 93 %) в старших возрастных группах, по-видимому, обусловлено их большей устойчивостью к стрессовым факторам. Показано, что при распреснении выживаемость сперматозоидов и проростков *F. vesiculosus* снижается. Для нормального воспроизводства популяции на 1 яйцеклетку фукусовых должно приходиться около 400 сперматозоидов. Часть энергии мужских растений, которая могла бы быть использована для адаптивных процессов, тратится на продуцирование гамет. Так как распреснение для фукоидов является стрессором, можно предположить увеличение скорости старения мужских организмов и сокращение продолжительности их жизни.

Таким образом, оптимальны для роста *F. vesiculosus* условия слабозащищенного берега с колебаниями солености 24–34 ‰. В подобных местообитаниях наблюдаются наибольшие биомасса, численность, средний возраст *F. vesiculosus* и наименьшая смертность. Распреснение ниже 5–10 ‰ и высокая волноприбойная активность снижают среднюю продолжительность жизни до 1 года и приводят к преобладанию женских особей среди растений старше 3–4 лет.

В представленном выше обзоре мы попытались обобщить результаты природных и лабораторных экспериментов последних лет, посвященных изучению влияния абиотических

факторов на водоросли–макрофиты Баренцева моря и проведенных в лаборатории альгологии. В работе мы не касались антропогенного воздействия на водоросли, в частности, нефтяного загрязнения, хотя этой проблеме в лаборатории уделяется большое внимание. Полученные по данному направлению результаты стали основой разработки новой технологии борьбы с нефтяным загрязнением в прибрежных акваториях Баренцева моря. Технология успешно апробирована, отражена в нескольких патентах.

Несомненно, специального обсуждения требует проблема влияния на жизнь водорослей–макрофитов биотических факторов, таких, как конкуренция, симбиоз, в том числе обрастание. Эти направления также нашли свое место в исследованиях сотрудников лаборатории.

В основе практически всех направлений научных работ, развиваемых в настоящее время в лаборатории альгологии ММБИ, которой в 2014 г. исполнилось 30 лет, лежат исследования ученых–альгологов, которые начали трудиться на побережье Баренцева моря с первых лет создания Мурманской биологической станции, а затем Мурманского морского биологического института КНЦ РАН: З.П. Тиховская, Т.Ф. Щапова, А.Р. Гринталь, Г.К. Барашков, К.М. Хайлов, М.В. Пропп, В.Е. Джус, В.Н. Макаров, В.Л. Шмелева, Е.В. Шошина, К.Б. Хохряков, С.А. Прохорова, Л.Л. Кузнецов, С.Е. Завалко. В разные годы на базе лаборатории выполняли исследования отечественные и зарубежные альгологи: Е.И. Блинова, О.Д. Быков, К.Л. Виноградова, В.В. Ильинский, Т.Г. Маслова, Л.П. Перестенко, Н.А. Родова, И.В. Тропин, С. Ноек, Н. Rietema, K. Danton.

Работа посвящается всем исследователям, внесшим вклад в развитие познания биологии водорослей Баренцева моря.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Luning, K.* Seaweeds, their environment, biogeography, and ecophysiology. John Wiley, New York, 1990. 527 p.
2. *Hoek C. van den, Mann D.G., Jans H.M.* Algae. An introduction to phycology. Cambridge: University Press, 1995. 614 p.
3. 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. Vol. 39. P. 83–93.
4. *Voskoboinikov G.M., Breeman A.V., Hoek C. van den, Makarov V.N., Shoshina E.V.* Influence of temperature and photoperiod on survival and growth of north east Atlantic isolates of *Phycodrys rubens* (Rhodophyta) from different latitudes // Bot. Mar. 1996. Vol. 39. P. 341–346.
5. Воскобойников Г.М. Морфофункциональные изменения одноклеточной водоросли *Euglena gracilis* Klebs при длительном содержании в темноте на минеральной среде: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1980. 22 с.
6. *Leedale G.F.* Euglenoid flagellates. New York, 1967. 242 p.
7. *Тиховская З.П.* Сезонные изменения продуктивности и фотосинтеза *Laminaria saccharina* в губе Дальнезеленецкой Баренцева моря // Докл. АН СССР. 1940. Т. 29, № 2. С. 122–126.
8. *Тиховская З.П.* Первичная продуктивность фукоидов в губах Восточного Мурмана // Тр. МБС. 1948. Т. 1. С. 164–189.
9. Новый тип адаптации водных растений к свету / *Э.А. Тумлянов, П.В. Колмаков, В.А. Лелеткин, Г.М. Воскобойников* // Биология моря. 1987. № 2. С. 48–57.
10. *Быков О.Д.* Фотосинтез и темновая фиксация CO₂ литоральных макроводорослей Баренцева моря в условиях полярной ночи // Бот. журн. 2003. Т. 88, № 12. С. 68–73.
11. *Тропин И.В., Макаров М.В.* Фотосинтетический аппарат представителей Fucales (Phaeophyta) Баренцева моря после полярной ночи // Альгология. 2004. Т. 14, № 4. С. 393–401.
12. *Хайлов К.М., Фирсов Ю.К.* Фотосинтез и органотрофия морских макрофитов как функция индивидуального веса их талломов // Биология моря. 1976. № 6. С. 47–51.
13. *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.
14. *Hoek van den C.* Phytogeographic distribution groups of benthic marine algae in the North Atlantic Ocean. A review of experimental evidence from life history studies // Helgoland Marine Research. 1982b. Vol. 35, № 2. P. 153–214.
15. *Luning K.* Temperature tolerance and biogeography of seaweeds: The marine algal flora of Helgoland (North Sea) as an example // Helgoland Marine Research. 1984. Vol. 38, № 2. P. 305–317.
16. *Перестенко Л.П.* О происхождении и эволюции ламинариевых водорослей (Laminariales, Phaeophyta) // Бот. журн. 1998. № 5. С. 1–11.
17. *Cambridge M.L., Breeman A.M., Hoek van den C.* Temperature limits at the distribution boundaries of four tropical to temperate species of *Cladophora* (Cladophorales: Chlorophyta) in the North Atlantic ocean // Aquatic Bot. 1990. Vol. 38, № 2–3. P. 135–151.
18. Macroecology meets macroevolution: evolutionary niche dynamics in the seaweed *Halimeda* / *H. Verbruggen, L. Tyberghein, K. Pauly, C. Vlaeminck, van den K. Nieuwenhuyze, W.H.C.F. Kooistra, F. Leliaert, De O. Clerck* // Global Ecology and Biogeography. 2009. Vol. 18, № 4. P. 393–405.
19. *Гринталь А.Р.* Состав и распределение сообществ водорослей на литорали губ Ярнышной и Подпахты (Восточный Мурман) // Тр. ММБИ. 1965. Вып. 8(12). С. 23–40.
20. *Хотимченко С.В.* Липиды морских водорослей–макрофитов и трав: структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука, 2003. 234 с.
21. *Галочка Л.Д.* Об адаптации водорослей. М.: изд. МГУ, 1981. 80 с.
22. *Климов С.В.* Пути адаптации растений к низким температурам // Успехи

современ. биол. 2001. Т. 121, № 1. С. 3–22. **23. Сабинин Д.А., Щапова Т.Ф.** Темп роста, возраст и продукция *Cystoseira barbata* в Черном море // Тр. Института океанологии АН СССР. 1954. Т. VIII. С. 119–146. **24. Петров Ю.Е.** Распределение морских бентосных водорослей как результат влияния системы факторов // Бот. журн. 1974. Т. 59, № 7. С. 955–961. **25. Рыжик И.В.** Морфо-функциональные особенности промысловых водорослей из разных биотопов Баренцева моря: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Мурманск, 2005. 24 с.

Сведения об авторах

Воскобойников Григорий Михайлович – д.б.н., профессор; зав. лабораторией альгологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: grvosk@mail.ru.

Макаров Михаил Владимирович – д.б.н., заместитель зав. лаб. альгологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: zelentsy@yandex.ru

Малавенда Светлана Владимировна – к.б.н., старший научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: malavenda@yandex.ru

Рыжик Инна Валериевна – к.б.н., старший научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: alaria@yandex.r

УДК 598.2:576.895.1+591.111.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ФИЗИОЛОГИИ И ПИТАНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ ЧЕРВЕЙ *Tetrabothrius minor* (Cestoda: Tetrabothriidae)

М.М. Куклина, В.В. Куклин

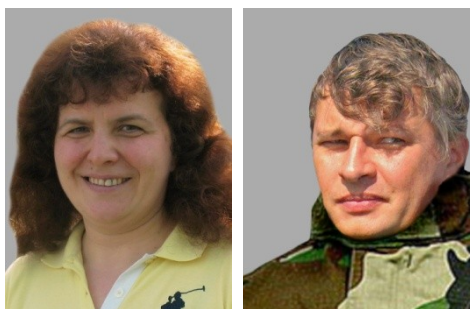
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Изучена интенсивность поглощения глюкозы тетработридами и ее кинетика. Показано, что высокие концентрации растворов глюкозы в большей степени, чем температурный режим, влияют на физиологические процессы тетработриид. Установлено существование системы активного транспорта глюкозы у ленточных червей *Tetrabothrius minor* (Cestoda: Tetrabothriidae). Вычислены константы абсорбции глюкозы: V_{max} – максимальная скорость транспорта и K_m – константа Михаэлиса для транспортных процессов при + 40 °С. V_{max}^{40} составила 1.01 мМ, K_m^{40} достигала 0.5 мМ.

Ключевые слова:

ленточные черви, Tetrabothrius minor, физиология питания, глюкоза, интенсивность поглощения, константа Михаэлиса.



Введение

Физико-географические и экологические условия в высоких широтах арктических морей оказывают значительное влияние на состав, структуру и функционирование морских биоценозов. В полной мере это относится и к северной части Баренцева моря, где к тому же климатические и гидрологические режимы заметно различаются между районами (прибрежье Шпицбергена, Земли Франца-Иосифа, Северного острова Новой Земли), что обусловлено разной степенью взаимодействия арктических и атлантических водных масс. Многие виды баренцевоморской биоты, обычные в субарктической зоне, в арктических районах либо отсутствуют, либо встречаются в незначительном количестве; у других, напротив, видовое разнообразие и количественные показатели обилия (численность, биомасса, первичная продукция) достигают высоких значений. Большое влияние на сообщества морских организмов оказывают также особенности приливно-отливного режима и длительное наличие ледового покрова, обуславливающие, в частности, относительную бедность литоральной флоры и фауны. По этим причинам взаимные связи между основными компонентами арктических экосистем имеют свою специфику. Не представляют исключения и паразито-хозяйинные отношения. Согласно ранее проведенным работам по изучению гельминтофауны морских птиц у побережья Шпицбергена и Новой Земли, выявлен целый ряд особенностей в их зараженности – низкое видовое разнообразие трематод, отсутствие гельминтов с пресноводными и наземными жизненными циклами, успешное развитие некоторых паразитов в неспецифичных хозяевах. Поскольку большое влияние на результаты оказывали такие факторы, как ослабление резистентности хозяев из-за обитания в экстремальных условиях, а также низкая межвидовая конкуренция между паразитами, на очередном этапе паразитологических исследований в арктической зоне Баренцева моря основное влияние уделялось изучению физиологических взаимоотношений в системе «гельминты – морские птицы».

Ленточные черви *Tetrabothrius minor* (Cestoda: Tetrabothriidae) у глупышей *Fulmaris glacialis* встречаются, как правило, в больших количествах. «Черви так многочисленны,

что просвет кишечника заполнен ими ...», – так писал о заражении глупыша Бэр [1]. В Баренцевоморском регионе на арх. Шпицберген показатели зараженности этих птиц видом *T. minor* достигают высоких значений: экстенсивность инвазии – 100%, а интенсивность инвазии – 83 – 1531 экз. [2]. Тетработрииды используют глупыша в качестве окончательного хозяина и паразитируют в тонкой кишке пищеварительного тракта птицы. Другие виды кишечных гельминтов у глупышей встречаются очень редко, поэтому указанные цестоды могут служить удобным объектом для экспериментальных исследований.

Цель настоящей работы состояла в экспериментальном изучении особенностей физиологии и питания *T. minor* с использованием растворов глюкозы в качестве субстрата.

Материал и методика исследований

В августе 2009 г. в научной лаборатории на НИС «Дальние Зеленцы» во время проведения рейса в высокоширотных районах Баренцева моря выполнена серия экспериментов.

Из кишечника глупыша *F. glacialis* извлечены цестоды *Tetrabothrius minor*. Червей отмывали в физиологическом растворе и помещали в пробирки с субстратами: 25, 50 и 100 мМ растворы глюкозы. Продолжительность эксперимента составила 24 ч. Червей инкубировали в растворах глюкозы при температурах: +40 °С, +20 °С и +5 °С (рис. 1). Отбор субстратов в течение эксперимента производили через каждые 1, 3, 5, 10, и 20 ч. Пробы замораживали, впоследствии обрабатывали в лабораторных условиях.

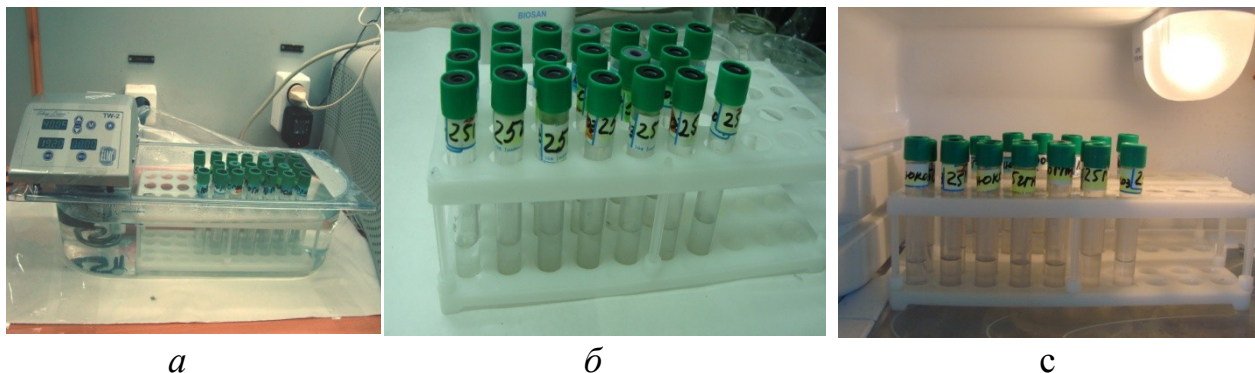


Рис. 1. Инкубация цестод *T. minor* в растворах глюкозы при +40 °С (а), +20 °С (б) и +5 °С (с)

Все пробы обследованы на наличие зрелых члеников и яиц *T. minor*. Кроме того, в субстратах измерена концентрация глюкозы с помощью гексокиназо-глюкозо-6-фосфатдегидрогеназного метода [3].

Наряду с этим с целью изучения процессов аккумуляции глюкозы тетработриидами проведена следующая серия экспериментов. Червей также извлекали из кишечника глупыша и тщательно промывали в физиологическом растворе. Затем тетработриид инкубировали при температуре +40 °С в течение 1 ч. В качестве инкубационных смесей использовали растворы глюкозы в концентрации от 2.0 до 12.0 мМ, приготовленных на растворе Рингера для теплокровных животных. Интенсивность аккумуляции глюкозы определяли по накоплению гексоз за 60 мин инкубации в расчете на 100 мг сырого веса гельминтов и выражали в мМ глюкозы. Концентрацию гексоз определяли модифицированным методом Нельсона [4]. Значения константы Михаэлиса (K_m) для процессов аккумуляции и максимальной скорости реакции (V_{max}) определяли методом двойных обратных величин.

Результаты и их обсуждение

В результате эксперимента установлено, что наиболее благоприятная среда обитания для тетработриид – субстрат с концентрацией глюкозы 25 мМ (табл. 1). В этих условиях у паразитов наблюдалось быстрое достижение половозрелого состояния, выметывание яиц

и дестробилизация. Следует подчеркнуть, что вышеуказанные физиологические процессы протекают в широком диапазоне температур в 25 мМ растворе глюкозы.

Любопытно отметить, что дестробилизация ленточных червей происходит после 24 ч эксперимента при +40 °С и +20 °С в 25 мМ растворе глюкозы (табл. 2). При содержании тетработриид при +5 °С наличие яиц зарегистрировано уже через 5 ч инкубации.

В ходе настоящей работы изучена интенсивность поглощения глюкозы тетработриидами и ее кинетика. Полученные данные позволили определить, что абсорбция глюкозы тетработриидами носит характер типичной кинетики насыщения при +40 °С (рис. 2). С увеличением концентрации глюкозы в среде от 2.0 до 12.0 мМ абсорбция ее повышается от 0.1 до 0.63 мМ. Кроме того, вычислены константы абсорбции глюкозы: V_{\max} – максимальная скорость транспорта и K_m – константа Михаэлиса для транспортных процессов при +40 °С. V_{\max}^{40} составила 1.01 мМ, K_m^{40} достигала 0.5 мМ.

Таблица 1

Наличие зрелых члеников или яиц ленточных червей *T. minor* при экспериментальном исследовании (субстрат-глюкоза)

Температура инкубации, °С	Концентрация глюкозы, мМ		
	25	50	100
+40	+	–	–
+20	+	–	–
+5	+	–	–

Таблица 2

Наличие зрелых члеников или яиц ленточных червей *T. minor* при экспериментальном исследовании (субстрат-глюкоза концентрации 25 мМ)

Время инкубации, ч	Температура инкубации, °С		
	+40	+20	+5
1	–	–	–
3	–	–	–
5	–	–	+
10	–	–	+
15	–	–	+
20	–	–	+
24	+	+	+

Хорошо известно, что ленточные черви способны поглощать питательные вещества (моносахариды, аминокислоты) из окружающей среды. Поскольку эти животные лишены пищеварительной системы, все питательные элементы поступают через покровы тела. Как ранее установлено, тегумент у цестод как морфологически, так и функционально имеет определенную схожесть с щеточной каймой кишечника позвоночных. В связи с этим изучение поглощения нутриентов у цестод представляет значительный интерес. Спектр усвояемых пищевых веществ ленточными червями очень широк, однако едва ли не самая важная роль принадлежит углеводам, к нехватке которых паразиты особенно чувствительны. Установлено, что уменьшение количества полисахаридов в рационе питания хозяина приводит к резкому снижению массы обитающих в нем цестод [5, 6]. Значительная часть углеводов, по-видимому, немедленно используется червями для покрытия энергетических потребностей (у гельминтов в течение их жизненного цикла имеет место быстрый рост и высокая скорость образования яиц). Однако экспериментальные исследования показали, что слишком высокие концентрации

глюкозы в среде (50 и 100 мМ) неблагоприятно влияют на жизнедеятельность ленточных червей. Возможно, концентрированные растворы глюкозы обладают значительным осмотическим давлением и вязкостью, что не способствует нормальной жизнедеятельности цестод. В то же время низкая температура (+5 °С) для тетработриид из теплокровных животных, возможно, играет роль стрессового фактора, вызывающего интенсивное выметывание яиц. Наряду с этим установлено, что кинетика насыщения свидетельствует о наличии активного транспорта глюкозы из среды внутрь тела *T. minor* (рис. 2). При исследовании половозрелых форм ленточных червей *Hymenolepis diminuta* и *H. microstoma* из кишечника крыс, *Calliobothrium verticillatum* из пищеварительного тракта акулы и *Eubothrium rugosum* из кишечника налима также установлено, что глюкоза поступает в стробилу червей путем активного транспорта [7–9].

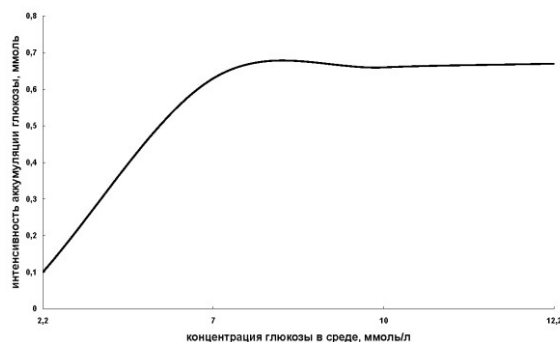


Рис. 2. Интенсивность аккумуляции глюкозы в зависимости от ее концентраций в среде цестодой *T. minor*

Выводы

Таким образом, ленточные черви *T. minor*, паразитирующие в кишечнике глупыша, способны поглощать глюкозу из среды путем активного транспорта при температуре до +40 °С, максимальная скорость транспорта составила 1.01 мМ, константа Михаэлиса достигала 0.5 мМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Темирова С.И., Скрябин А.С. Основы цестодологии. Тетработриаты и мезоцистоидаты. М.: Наука, 1978. 186 с.
2. Куклин В.В., Куклина М.М. Гельминты птиц Баренцева моря: фауна, экология, влияние на хозяев. Апатиты, 2005. 289 с.
3. Ammon J., Richterich R. The determination of normal values of glucose, protein and cell concentrations in the cerebrospinal fluid of children // Schweiz. Med Wschr., 1970. Vol. 100. P. 1317–1320.
4. Уголев А.М., Иезуитова Н.Н. Определение активности инвертазы и других дисахаридаз // Исследование пищеварительного аппарата у человека (обзор совр. методов). Л.: Наука, 1969. С. 187–192.
5. Read C.P. The role of carbohydrates in the biology of cestodes: Some conclusions and hypothesis // Exp. Parasitol. 1959. Vol. 25. P. 365–382.
6. Dunkley L.C., Metrick D.F. *Hymenolepis diminuta*: effect of quality of host dietary carbohydrate on growth // Exp. Parasitol. 1969. Vol. 25. P. 146–161.
7. Извекова Г.И. Характеристика транспорта глюкозы у цестоды *Eubothrium rugosum* (Pseudophyllidea, Amphicotylidae) // Паразитология. 1988. Т. 22, № 3. С. 210–215.
8. Phifer K.O. Permeation and membrane transport in animal parasites; the absorption of glucose by *Hymenolepis diminuta* // J. Parasitol. 1960. Vol. 46. P. 51–62.
9. Pappas P.W., Read C.P. Membrane transport in helminth parasites: a review // Exp. Parasitol. 1975. Vol. 37, № 3. P. 469–530.

Сведения об авторах

Куклина Марина Михайловна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории орнитологии и паразитологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН;

e-mail: MM_Kuklina@mail.ru

Куклин Вадим Владимирович – к.б.н., зав. лабораторией орнитологии и паразитологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: Kuklin@mmbi.info

УДК 598.2(268.45)

ИТОГИ 15-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА КРУПНЕЙШИХ МАТЕРИКОВЫХ КОЛОНИЙ МОЕВОК И КАЙР ПОБЕРЕЖЬЯ МУРМАНА

А.В. Ежов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Подводятся итоги мониторинга крупнейших на северном побережье Кольского п-ова колоний моевок, толстоклювых и тонноклювых кайр. Рассматриваются результаты учётов численности гнездящихся птиц-базарников, репродуктивные показатели и трофические условия в гнездовой период. Обсуждаются основные угрозы устойчивому состоянию колоний морских птиц в южной части Баренцева моря в современный период. Показаны изменения в колониях, происходящие за последние годы, и основные причины их возникновения.

Ключевые слова:

колониальные птицы, побережье Мурмана, моевка, толстоклювая и тонноклювая кайры, численность, средняя кладка, трофические условия, гнездовой период.



Введение

Колониальные птицы, а именно моевка (*Rissa tridactyla*), тонноклювая и толстоклювая кайры (*Uria aalge* и *U. lomvia*), находясь на вершине пищевой пирамиды, играют значительную роль в функционировании морских прибрежных экосистем. Традиционно изучение птиц-базарников проводилось в колониях арх. Семь островов (Кандалакшский заповедник, Восточный Мурман) [1-4]. Рекогносцировочные обследования материковых колоний были крайне редки [5]. Вследствие значительной величины этих гнездовых поселений и особенностей их локализации, полученная здесь информация представляет особый интерес для контроля популяций птиц в южной части Баренцева моря.

Детальное изучение морских колониальных видов птиц – задача, особенно актуальная для данного региона в свете интенсивного рыболовства, активной военной деятельности (усиливающейся в последние годы) и разработки проектов по добыче нефти и газа на акватории Баренцева моря.

При проведении учётов морских колониальных птиц использованы стандартные методы [2, 6].

Исследование питания моевок в гнездовой период проводилось методом анализа содержимого отрыжек и в некоторых случаях содержимого желудка. Питание кайр изучалось по содержимому желудков.

Что касается репродуктивных показателей моевок, то при проведении исследований измерялись количественные характеристики успеха размножения (средняя кладка/выводок) данного вида.

Целью работы было определение современного состояния гнездовых поселений моевок и кайр в крупных материковых колониях Мурмана.

В соответствии с целью ставились следующие задачи: проведение ежегодных количественных и качественных учётов гнездящейся колониальной авифауны в материковых колониях, изучение кормовой базы моевок и кайр (по возможности) и репродуктивных показателей моевок, определение факторов, влияющих на устойчивое состояние колоний морских птиц на побережье Мурмана, оценка дальнейших перспектив существования поселений моевок и кайр на протяжении северного побережья Кольского п-ова.

Материал и методы

В настоящее время на побережье Мурмана существуют несколько крупных материковых колоний типично морских птиц – моевок, тонкоклювых и толстоклювых кайр. Данная работа посвящена исследованиям колониальной орнитофауны в районах на п-ове Рыбачий (колония «Городецкие птичьи базары»), п-ове Средний (колония мыса Крутик) и Восточном Мурмане (колония губы Дворовая) (рис.). Исследования проводились в гнездовой период с 2000 по 2014 гг. Изучались численность, репродуктивные показатели и спектры питания колониальных птиц, а также рассматривались основные причины изменений, происходящих в указанных колониях.



Карта-схема расположения районов работ

Колония «Городецкие птичьи базары» расположена на 10–12 км участке побережья в юго-восточной части п-ова Рыбачий. В 2000 г. в ходе первичного обследования проведён тотальный учет птиц, размножавшихся в колониях данного поселения. В период наблюдений собрана информация о размере кладки в 1484 гнездах моевки. Исследования питания моевок проводились с 2000 по 2014 гг. (табл. 1). Всего для получения отрывков было отловлено 959 птиц, из которых 192 (20 %) дали пробу питания в виде отрывки. Помимо этого, в 2006–2008 гг. было исследовано содержимое желудков 30 птиц.

Регулярные наблюдения и учеты морских птиц в колониях в районе м. Крутик проведены в период 2000–2014 гг. За это время получены данные о размере кладки в 1465 гнездах моевки и составе 257 отрывков взрослых птиц, что составило 17.6 % отловленных 1460 экз. В 2007–2008 гг. и 2014 г. исследовано содержимое желудков 43 птиц.

Обследование наиболее восточного поселения морских птиц на Мурмане, расположенного в районе губы Дворовой, проведено в 4 этапа. Регистрировали жилые гнезда моевки и особей кайр, находившихся на заселенных участках колоний. В 2003 г. впервые проведен тотальный

учет всех видов птиц с берега. За период наблюдений получены данные о размерах кладок в 579 гнездах моевки. Для исследования питания моевок в данной колонии в 2003, 2005, 2008 и 2013 гг. отловлено 355 птиц, из них 63 (17.7%) дали пробу питания – отрывки. Помимо этого, в 2008 и 2013 гг. исследовано содержимое желудков 15 птиц.

Таблица 1

Район и сроки проведения исследований питания моевок и кайр
в материковых колониях Мурмана

Сроки проведения исследований		
«Городецкие птичьи базары»	мыс Крутик	губа Дворовая
20–28 июня 2000 г.	29–31 июля 2000 г.	11–20 июля 2003 г.
19–28 июня 2002 г.	3–7 августа 2001 г.	21–25 июля 2005 г.
15 июня–05 июля 2006 г.	29–31 июля 2002 г.	27 июля 2008 г.
8–11 июня 2007 г.	1–6 июля 2003 г.	21–26 июня 2013 г.
9–21 июня 2008 г.	15–20 июня 2004 г.	
26–30 мая 2009 г.	13–16 июля 2007 г.	
29–30 июля 2011 г.	9–19 июля 2008 г.	
31 мая–05 июня 2013 г.	2–9 июля 2009 г.	
4–8 июля 2014 г.	25 июня–8 июля 2011 г.	
	25 июня–17 июля 2010 г.	
	25 июня–08 июля 2013 г.	
	09–15 июня 2014 г.	

Результаты и обсуждения

Результаты учетов численности моевки, тонкоклювых и толстоклювых кайр в различных колониях побережья Мурмана представлены в табл. 2.

За период 2000–2014 гг. в указанных колониях зарегистрированы периодические колебания численности размножающихся птиц [7], иногда достигающие очень значительных показателей. Так, в 2010 и 2014 гг. отмечено резкое увеличение численности моевок в колониях мыса Крутик, что было связано с массовым подходом нерестовых скоплений мойвы в прибрежные районы Восточного Мурмана. Этот факт подтверждался как нашими наблюдениями (прямыми и косвенными), так и данными опроса местных жителей. Разумеется, положительные изменения трофических условий в предгнездовой период позволили большему числу птиц накопить достаточное количество энергетических запасов и приступить к гнездованию. Предполагается, что аналогичный рост численности гнездящихся птиц в 2010 г. должен был наблюдаться и в других колониях побережья. Указанное предположение подтверждается данными, полученными в 2013 г., когда, при схожих с 2010 г. трофических условиях в предгнездовой период во всех колониях Мурмана наблюдался рост числа гнездящихся моевок. Такая ситуация с количеством загнездившихся моевок во всех трех крупных материковых колониях может говорить о том, что в период выхода на гнездование, на протяжении всего северного побережья Кольского п-ова, птицы не испытывали затруднений с наличием массовых видов корма. Так, по некоторым (неопубликованным) данным о проведении лова мойвы в Баренцевом море в феврале–марте 2013 г., её скопления продвинулись далеко на восток вдоль побережья Мурмана, что было связано с относительно высокой температурой прибрежных вод. Но при этом не наблюдалось значительного увеличения среднего размера кладки во всех обследованных колониях, что говорит об отсутствии крупных скоплений мойвы и прочих видов мелкой пелагической рыбы в весенне-летний период.

Таблица 2

Результаты учетов моевки (в парах) в крупных колониях Мурмана в период 2000–2014 гг.

Год	“Городецкие птичьи базары”	Мыс Крутик	Губа Дворовая
2000	50175	4286	–
2002	47666 (-5%)	3420 (-20%)	–
2003	–	3547 (+3.7%)	32330
2004	–	3549 (0%)	–
2005	–	–	36889 (+14%)
2006	37850 (-20.6%)	–	–
2007	33308 (-12%)	3065 (-13.6%)	–
2008	27746 (-16.7%)	2528 (-17.5%)	25357 (-31.3%)
2009	24105 (-13.12%)	2017 (-20.2%)	–
2010	–	4504 (+123.3%)	–
2011	11168 (-53.67%)	2364 (-47.5%)	–
2013	29589 (+164.9%)	3860 (+63.3%)	31663 (+24.9%)
2014	33546 (+13.4%)	3983 (+3.2%)	–

Примечание. В скобках указаны масштабы изменения численности учтенных пар птиц по сравнению с предыдущим сезоном исследований.

В целом, общая генеральная тенденция снижения численности гнездящихся моевок в колониях побережья сохранялась. В колонии на п-ове Рыбачий численность гнездящихся моевок в 2011 г. сократилась на 77.7 % (беспрецедентно низкий уровень), но уже в 2014 г. сокращение численности по сравнению с 2000 г. составило 33.1 %. В колонии мыса Крутик сокращение числа гнездящихся пар моевок к 2014 г. – 7.1 %, в 2009 г. отмечено катастрофическое снижение численности на 52.3 % по сравнению с 2000 г. В районе губы Дворовая наименьшая численность гнездящихся моевок отмечена в 2008 г. – к этому периоду численность моевок снизилась на 21.6 %. Но в 2013 г. снижение численности составило лишь 2 % по сравнению с 2003 г.

Наиболее крупные скопления кайр отмечены в колонии “Городецкие птичьи базары”, где численность тонкоклювой кайры превышала 1.5 тыс. особей, а число толстоклювых кайр – 1.3 тыс. особей. К 2014 г. число кайр во всех колониях резко сократилось (в 2011 г. в колонии на п-ове Рыбачий полностью отсутствовали толстоклювые кайры), хотя в промежуточные сезоны в некоторых колониях отмечено увеличение числа особей порой в несколько раз (табл. 3, 4).

Исследование репродуктивных показателей выявило, что во всех колониях лишь четырежды средний размер кладки моевки превысил уровень 1.7 яйца на гнездо. Низкий средний размер кладки характерен лишь для “голодных” сезонов [2].

В 2014 году доля гнездящихся пар моевок без потомства на “Городецких птичьих базарах” составила 11.8 %, в колонии мыса Крутик – 15 %, а в колонии губы Дворовая в 2013 г. – 22.1%.

Примечательно и то, что очень часто наблюдается существенная асинхронность начала размножения моевок внутри колонии. Отмечена значительная разница в возрасте птенцов. Представляется, что основной фактор, влияющий на синхронность начала размножения, – это достаточное количество доступных кормов (стайных пелагических рыб) в течение всего гнездового периода.

Таблица 3

Результаты учетов тонноклювых кайр (экз.) в крупных колониях Мурмана
в период 2000–2014 гг.

Год	Район наблюдений		
	«Городецкие птичьи базары»	Мыс Крутик	Губа Дворовая
2000	1 503	105	-
2002	1 458 (-3%)	75 (-29%)	-
2003	-	52 (-30.7%)	1 063
2004	-	43 (-17.3%)	-
2005	-	-	682 (-35.8%)
2006	538 (-52.3%)	-	-
2007	418 (-22.3%)	139 (+223.2%)	-
2008	381 (-8.9%)	106 (-32.8%)	581 (-14.8%)
2009	374 (-1.8%)	98 (-7.5%)	-
2010	-	331 (+227.6%)	-
2011	112 (-70.1%)	65 (-80.4%)	-
2013	418 (+373.2%)	439 (+675.4%)	609 (+4.8%)
2014	513 (+22.7%)	441 (+0.5%)	-

Примечание. Здесь и в табл.4 в скобках указаны масштабы изменения численности учтенных птиц по сравнению с предыдущим сезоном исследований.

Таблица 4

Результаты учетов толстоклювых кайр (экз.) в крупных колониях Мурмана
в период 2000–2014 гг.

Год	Район наблюдений		
	«Городецкие птичьи базары»	мыс Крутик	губа Дворовая
2000	1 380	35	-
2002	394 (-71.4%)	90 (+157%)	-
2003	-	76 (-15.6%)	23
2004	-	64 (-15.8%)	-
2005	-	-	17 (-26%)
2006	64 (-93.8%)	-	-
2007	46 (-28.2%)	43 (-23.7%)	-
2008	42 (-8.7%)	41 (-4.6%)	11 (-35.3%)
2009	46 (+9.5%)	36 (-12.2%)	-
2010	-	53 (+42.2%)	-
2011	0 (-100%)	15 (-71.7%)	-
2013	207 (+207%)	183 (+1220%)	193 (+1754.5)
2014	327 (+57.9%)	209 (+14.2%)	-

Состав кормов взрослых моевок во всех обследованных колониях отличался разнообразием и изменчивостью. В питании птиц периодически преобладали то один, то другой вид стайных пелагических рыб. Лишь в поселении моевок на п-ове Рыбачий наблюдалось относительное постоянство в спектре питания (за исключением 2009 г.), где доминировали либо молодь сельди, либо мойва. В более восточных колониях у моевок при редком доминировании мойвы отмечен высокий уровень встречаемости мелких ракообразных – эвфаузиид.

При исследовании желудков моевок найдены такие корма, как моллюски, полихеты и икра рыб. Ранее подобные случаи встречались крайне редко, сегодня они трактуются как использование моевками случайных и дополнительных источников корма в “голодный” период [7]. Такие данные свидетельствуют о том, что в отсутствии основных видов кормов птицы вынуждены искать альтернативные источники питания. В большей степени это касается колонии губы Дворовая, где подходы нерестовых скоплений мойвы случаются только в тёплые годы [8–10].

Результаты исследования содержимого желудков кайр обоих видов показывают, что, помимо сельди и песчанки, птицы активно использовали в пищу молодь трески. И хотя для толстоклювой кайры использование молоди тресковых рыб является обычным, имеются данные, что при наличии более доступных скоплений пелагических видов рыб птицы добывают именно их [2, 7].

Присутствие массовых скоплений пелагической рыбы значительно влияет на выживаемость птенцов [11].

Ранее среди факторов, лимитирующих состояние колоний моевок и кайр, имелось и прямое антропогенное влияние в виде сбора птичьих яиц [12]. В настоящее время данный вид промысла отсутствует, следовательно, нет и прямого антропогенного влияния на состояние колоний.

Выводы

В последнее время на Мурмане за исключением отдельных лет продолжается устойчивый процесс деградации колоний моевок и кайр. Основная причина снижения численности гнездящейся колониальной орнитофауны и низкого успеха размножения – ухудшение трофических условий. Исследования питания колониальных птиц показали, что в отсутствии основных объектов питания птицы вынуждены искать не свойственные им альтернативные источники. В западной части Российского ареала обитания колониальных птиц процесс деградации колоний несет более выраженный характер. При нынешней ситуации с кормовыми ресурсами, используемыми птицами-базарниками, существует серьезная угроза функционированию крупнейших колоний морских птиц в дальнейшем, что может привести к их регрессу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белопольский Л.О. Экология морских колониальных птиц Баренцева моря. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 460 с.
2. Морские колониальные птицы Мурмана / Ю.В. Краснов, Г.Г. Матишов, К.В. Галактионов, Т.Н. Савинова. СПб.: Наука, 1995. 226 с.
3. 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, 1998. С. 180–260.
4. Модестов В.М. Экология колониально гнездящихся птиц (по наблюдениям на Восточном Мурмане и в дельте Волги) // Тр. Кандалакш. заповедника. М.: Лесная промышленность, 1967. Вып. 5. С. 49–154.
5. Герасимова Т.Д. Состояние птичьих базаров Мурманского побережья // Орнитология. 1962. Вып. 4. С. 11–14.
6. Краснов Ю.В., Барретт Р.Т. Мониторинг морских птиц в Баренцевом море. Програмное предложение // Рус. Орнитол. Журн. (Экспресс-выпуск). 2000. № 113. С. 3–22.
7. Краснов Ю.В., Ежов А.В. Современное состояние моевок (*Rissa tridactyla*) и кайр (*Uria aalge* и *U. lomvia*) на Мурмане // Птицы северных и южных морей России: фауна, экология / отв. ред. П.Р. Макаревич; ММБИ КНЦ РАН. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2013. С. 102–117.
8. Жичкин А.П. Динамика климатических колебаний и миграции промысловых скоплений рыб в Баренцевом море // 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. 63–65.
9. Лука Г.И., Ожигин В.К., Панасенко А.Д. Ихтиофауна и условия её существования в Баренцевом море. Апатиты, 1986. С. 7–12.
10. Рекомендации по рациональной эксплуатации баренцевоморской мойвы / Г.И. Лука, Н.Г. Ушаков, В.К. Ожигин и др. Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1991. С. 53.
11. Suryan Robert M., Irons David B., Benson Jeb. Prey switching and variable foraging strategies of Black-legged Kittiwakes and the effect on reproductive success // Condor. 2000. 102, № 2. P. 374–384.
12. Экспедиции для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана / сост. Н.М. Книпович. СПб., 1902. Т. I, ч. 1–3. С. 113.

Сведения об авторе

Ежов Алексей Викторович – научный сотрудник лаборатории орнитологии и паразитологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН;
e-mail: ezhov@mmbi.info

УДК 599.745.3:591.111.1

ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ТЮЛЕНЕЙ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

Н.Н. Кавцевич, Т.В. Минзюк, И.А. Ерохина
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Представлены результаты исследования плазмы и клеток крови морского зайца, серого и гренландского тюленей морфологическими, цитохимическими и биохимическими методами. Показана стабильность метаболического статуса и состояния главных клеточных факторов, определяющих уровень неспецифической резистентности организма потомства серых тюленей в 2006 и 2013 гг. Установлено, что активность лимфоидной системы диких морских зайцев ниже, а уровень показателей, отражающих неспецифические бактерицидные функции, – выше, чем у содержащихся в неволе животных. Уровень сорбционной способности эритроцитов крови различных видов тюленей значительно варьирует. Определены факторы, влияющие на изменчивость данного показателя – возраст, сезон, стресс в период первичной адаптации к неволе.

Ключевые слова:

морские млекопитающие, ластоногие, гематология, биохимия, адаптации, онтогенез.



Введение

Первые сравнительные эколого-физиологические исследования водных животных проведены Е.М. Крепсом в 1923–1933 гг. на Мурманской биологической станции [1]. Впоследствии они были продолжены в Мурманском морском биологическом институте, а с 1984 г. после организации лаборатории

морских млекопитающих, осуществляются также на китообразных и ластоногих.

У морских животных для обеспечения процесса ныряния наибольшее значение имеют адаптивные изменения тех систем, которые ответственны за снабжение и перераспределение в организме кислорода: дыхательная, сердечнососудистая и крови. Кроме того, система крови участвует в реализации защитно-приспособительных реакций организма, обеспечивающих выживаемость и дальнейшее успешное развитие особей.

Помимо клинической диагностики, кровь и органы гемопоза – объекты для исследования организмов разного филогенетического уровня, обитающих в различных экологических условиях. Имеющиеся в научной литературе данные и результаты собственных исследований свидетельствуют, что проявления адаптивных структурных и функциональных признаков организма у разных видов животных обнаруживаются на различных стадиях онтогенеза. Интерес к сравнению наземных и водных млекопитающих связан с тем, что они обитают в разных средах, что, несомненно, отразилось на механизмах кроветворения, транспорта кислорода, антиоксидантной и иммунной защиты.

В настоящей работе рассматриваются некоторые результаты исследования эколого-физиологических параметров крови арктических ластоногих в раннем постнатальном онтогенезе на примере серого и гренландского тюленей и морского зайца.

Материалы и методы исследования

Материал для исследования получен во время береговых экспедиций в Баренцевом и Белом морях, на зверобойном промысле и от содержащихся в условиях океанариума ММБИ тюленей. Кровь брали из экстрадуральной вены в шприц с гепарином. Мазки изготавливали общепринятым способом, для морфологического исследования окрашивали по Романовскому-Гимза. Для выявления бактерицидных катионных белков (КБ) применяли также окрашивание прочным зеленым. Активность миелопероксидазы (МПО) выявляли в реакции с бензидином. Белки районов организаторов ядрышка (ЯОР) окрашивали нитратом серебра (AgЯОР). Препараты изучали, используя масляную иммерсию (объектив 100×, окуляр 10×). Количественные параметры клеток определяли при помощи видеосистемы и программного обеспечения Axio Vision 4.5 фирмы Zeiss.

Для оценки активности организаторов ядрышка устанавливали: отношение площади ядрышкообразующего района к площади ядра лимфоцита (AgЯОР/Ядро), число AgЯОР в одном лимфоците, диаметр, площадь и показатель округлости ядра и AgЯОР. Активность МПО и содержание КБ оценивали в 200 гранулоцитах на каждом исследованном мазке крови. Вычисляли средний цитохимический коэффициент (СЦК), показатель заполнения клетки (ПЗК) и интегральный цитохимический показатель (ИЦП). ПЗК – доля площади измеряемых объектов в площади клетки; ИЦП – произведение суммарной площади продукта цитохимической реакции в клетке и его оптической плотности, соответствующее количеству окрашенного вещества. При определении показателей обмена белков, углеводов, липидов и минеральных веществ использовали общепринятые биохимические методы [2].

Результаты исследования и их обсуждение

Серый тюлень

Атлантический серый тюлень (*Halichoerus grypus grypus* Erxleben, 1777), обитающий в прибрежной зоне Баренцева моря, – один из редких и малоизученных видов ластоногих России. В Мурманской области, где его промысел запрещен с 1958 г., вид подлежит полной охране [3]. По всему побережью СССР любительскую и спортивную охоту на тюленей запретили в 1970 г., а коммерческий промысел, доля которого была невелика, – в 1975 г. В 1978 г. серого тюленя внесли в Красную книгу СССР (III категория).

Размножающиеся колонии этих животных расположены у восточной границы видового ареала, где адаптивные возможности могут проявляться наиболее ярко. Внимание к таким колониям обусловлено и все еще недостаточной их изученностью, и тем, что после завершения периода размножения животные мигрируют к берегам Норвегии, где являются объектами охоты. Кроме того, в условиях климатических флуктуаций и усиления факторов беспокойства, связанных с деятельностью человека в регионе, необходима оценка состояния животных во времени. Ее можно осуществлять на разных уровнях организации, в частности, на молекулярно-клеточном, где реализуются первые защитные реакции организма при поддержании гомеостаза в условиях экстремальных воздействий факторов среды.

Восточно-атлантическая популяция, к которой относятся серые тюлени, обитающие в Баренцевом море, самая многочисленная и занимает наибольший ареал, который включает побережье Бретани, Исландию, Ирландию, Фарерские и Британские острова, побережье Норвегии и Кольского п-ова. Наряду с исландскими и норвежскими колониями серых тюленей мурманские наименее изучены.

Авторами настоящей статьи исследовалась кровь серых тюленей различного возраста в крупнейшей размножающейся колонии на о. Большой Айнов (Баренцево море, Западный Мурман) и в аквариальном комплексе ММБИ: I – новорожденные; II – питающиеся молоком (2–3 недели), "бельки"; III – завершившие молочное вскармливание и ювенильную линьку (1–1.5 мес.), "серки"; IV – серки, самостоятельно питающиеся рыбой (возраст – 3–4 мес.) (см. рис. 1); серки – 1 год; взрослые – 3.5 года.

Принадлежность лейкоцитов серых тюленей к одному из известных типов, как правило, не вызывает сомнений. Исключение составляют клетки с сегментированным ядром и розовыми цитоплазматическими гранулами неправильной формы с размытыми границами. Подобные лейкоциты выявлены у собак [4]. Их число у обследованных серых тюленей составляет 0–2.5 % от всех гранулоцитов. Положительная реакция на миелопероксидазу позволяет отнести эти клетки к нейтрофильным гранулоцитам.

Другая заметная особенность клеточного состава крови серых тюленей – наличие гигантских тромбоцитов. При повышении потребностей в тромбоцитах костный мозг начинает вырабатывать тромбоциты больших размеров. Поэтому логично было бы связать это явление у тюленей с процедурой взятия крови, однако у других исследованных видов морских млекопитающих подобные гигантские формы не обнаружены. Гигантские или макротромбоциты – обычный компонент крови кошек, вне зависимости от состояния животных [4]. Не исключено, что продуцирование макротромбоцитов – видовая либо возрастная особенность кроветворения серого тюленя.



Рис. 1. Щенки серого тюленя:

*I – новорожденный (видна пуповина); II – кормящийся молоком;
III – после лактации и ювенильной линьки; IV – кормящийся рыбой*

Среди нейтрофильных и эозинофильных лейкоцитов встречаются клетки с ядрами необычной формы (рис. 2в): отдельные сегменты соединены друг с другом нитями хроматина, сходящимися в одной точке (рис. 2в, д), а не последовательно, как у изученных в данном отношении млекопитающих. Такие же лейкоциты обнаружены у гренландских тюленей, тюленей-хохлачей и морских зайцев. По-видимому, это одна из особенностей дифференцировки клеток миелоидного ростка кроветворения тюленей. Размеры и число гранул эозинофилов щенков серых тюленей (рис. 2г) меньше, чем у представителей китообразных (афалина, белуха, обыкновенная морская свинья), изучавшихся авторами.

Кровь новорожденных серых тюленей содержит "юные" нейтрофилы, метамиелоциты (рис. 2г). У питающихся молоком и завершивших молочное вскармливание щенков эти клетки более редки, а у кормящихся рыбой не выявлены. Базофильные лейкоциты – наименее постоянная часть лейкоцитарной формулы крови. Их число колеблется от 0 до 1.5 %, что согласуется с результатами, ранее полученными для тюленей других видов [5]. Кроме отсутствия метамиелоцитов у питающихся рыбой тюленей, они отличаются наиболее низким содержанием

палочкоядерных, т.е. не вполне дифференцированных нейтрофилов, а также, наряду с закончившими молочное питание щенками более высоким, чем остальные тюлени, содержанием эозинофилов. Последнее, вероятно, есть следствие алергизации веществами, поступившими из воздуха и пищи.

Большинство лимфоидных клеток крови серых тюленей – малые лимфоциты, но у всех щенков в значительном количестве (5–10 % от числа лимфоцитов) встречаются и большие лимфоциты с признаками активированных клеток (сильно базофильная цитоплазма, светлое ядро) (рис. 2д). Часть моноцитов с лопастевидным ядром (рис. 2б) также имеют сильно базофильную цитоплазму, что отражает высокую интенсивность синтетических процессов в рибосомах этих клеток.

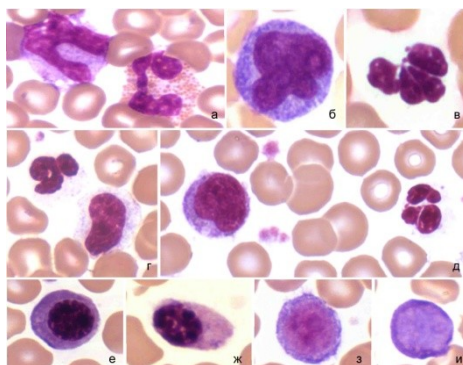


Рис. 2. Лейкоциты и предшественники эритроцитов щенков серых тюленей: а – моноцит и эозинофил; б – моноцит; в – нейтрофил; г – нейтрофил и метамиелоцит; д – большой лимфоцит и нейтрофил; е, ж – базофильный и полихроматофильный нормоциты; з, и – нормоциты

Выявлены лимфоциты, содержащие в цитоплазме азурофильные гранулы, "большие гранулярные лимфоциты". Доля таких клеток от числа лимфоцитов составила 1.19 ± 0.42 % у новорожденных; 1.56 ± 0.45 % – у бельков; 2.43 ± 0.85 % – у серков и 1.03 ± 0.42 % – у щенков, начавших самостоятельно питаться рыбой. Различия между группами низкодостоверны ($p > 0.05$) из-за высокого уровня варибельности данного показателя. Последнее можно рассматривать как дополнительное свидетельство нестабильного состояния развивающейся лимфоидной системы щенков тюленей. У новорожденных, кормящихся молоком и завершивших молочное вскармливание тюленей, встречаются также предшественники эритроцитов, содержащие ядро, – нормоциты и даже пронормоциты (рис. 2з-и).

Определение лейкоцитарной формулы крови щенков серых тюленей различных возрастных групп позволило выявить существенные различия между ними. Заслуживает внимания величина соотношения числа нейтрофилов (С) и лимфоцитов (Л) в третьей группе животных (табл. 1).

Таблица 1

Лейкоцитарная формула крови серых тюленей ($M \pm m$)

Группы тюленей	Типы лейкоцитов, %						
	Ю	П	С	Э	Б	М	Л
1	0.8 ± 0.3	3.8 ± 0.6	63.7 ± 2.8	1.7 ± 0.2	0.6 ± 0.2	6.1 ± 1.3	23.3 ± 2.2
2	0.5 ± 0.3	2.4 ± 0.5	62.9 ± 1.7	2.4 ± 0.4	0.4 ± 0.2	7.5 ± 0.6	23.9 ± 2.1
3	0.2 ± 0.1	1.6 ± 0.3	43.3 ± 4.7	6.3 ± 2.8	0.5 ± 0.2	5.5 ± 0.7	42.6 ± 5.1
4	0	0.6 ± 0.2	58.7 ± 2.1	6.2 ± 1.6	0	6.4 ± 1.2	28.1 ± 2.4
5	0	1.4 ± 0.6	60.3 ± 4.1	3.1 ± 0.7	0.1 ± 0.1	1.4 ± 0.7	33.7 ± 4.7
6	0.8 ± 0.8	1.3 ± 0.3	54.4 ± 6.0	7.0 ± 0.1	0.8 ± 0.8	1.5 ± 1.0	34.2 ± 7.3

К возрастным особенностям состава крови животных относится уравнивание количества лимфоцитов и нейтрофилов в определенные периоды онтогенеза, "физиологический перекрест лейкоцитарной формулы крови". Наиболее детально это явление исследовано у человека. Оно отмечается на 4-е сутки после рождения и в 4 года [6]. Позднее окончательно устанавливается нейтрофильный профиль крови. В картине крови лошадей, крупного рогатого скота, свиней, кур в процессе онтогенеза также известны периоды сближения числа нейтрофилов и лимфоцитов. У щенков гренландского тюленя физиологический перекрест выявлен у "бельков", детенышей, кормящихся молоком матери, т.е. в более ранний период онтогенеза, чем у серых тюленей [7].

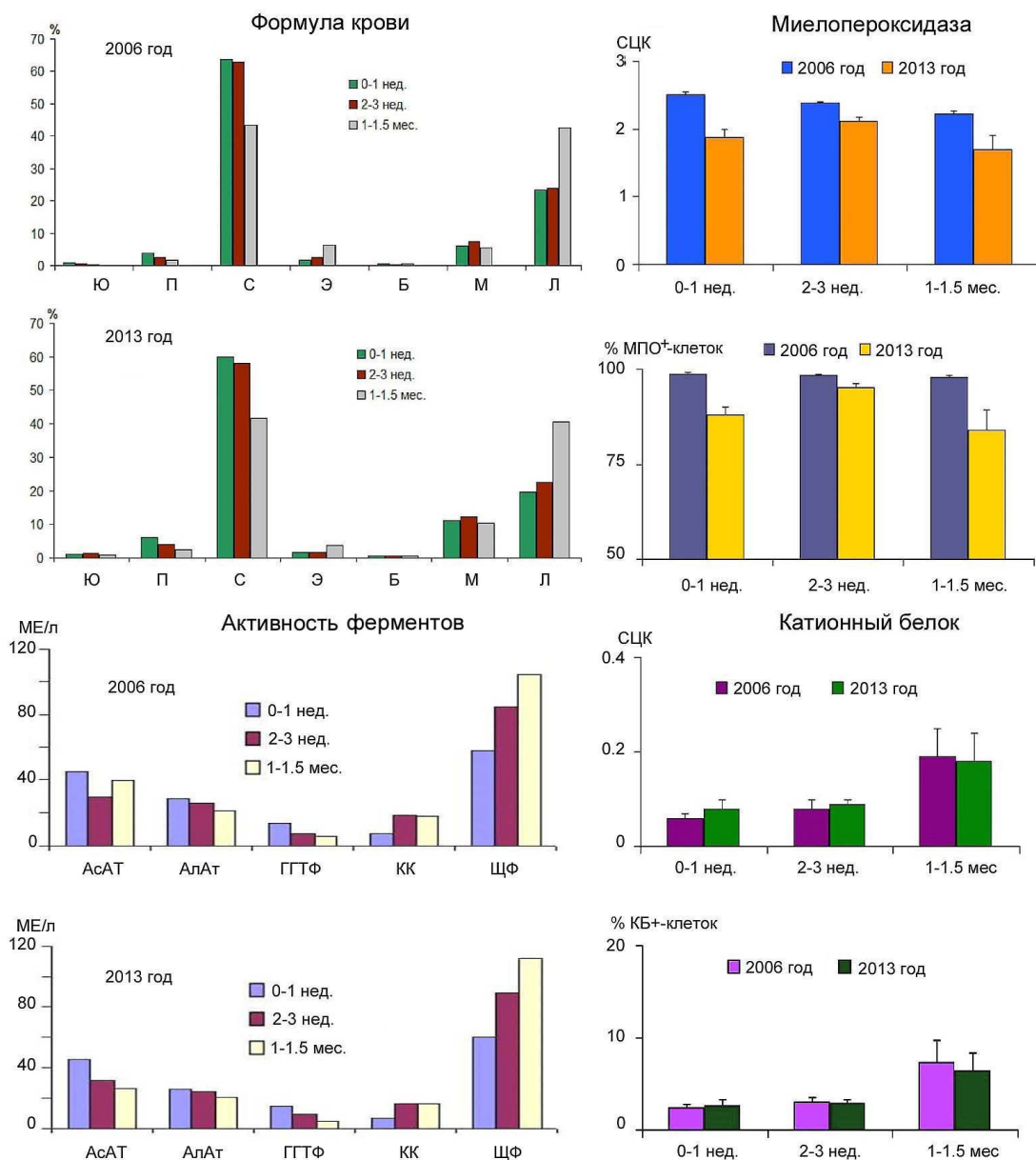


Рис. 3. Некоторые показатели клеточного состава и метаболические параметры крови серых тюленей в раннем периоде постнатального развития:
 АсАТ – аспаратаминотрансфераза, АлАТ – аланинаминотрансфераза, ГГТФ – гамма-глутамилтрансфераза, КК – креатинкиназа, ЩФ – щелочная фосфатаза

Нами изучены показатели крови, позволяющие оценить физиологическое состояние животных на уровне норма – патология в 2006 и 2013 гг. Особое внимание уделялось показателям функциональной активности клеток, характеризующим уровень неспецифической бактерицидной активности: содержание в гранулоцитах миелопероксидазы и катионного белка, лейкоцитарной формуле крови активности ключевых ферментов метаболизма, включая индикаторы пассивного переноса иммуноглобулинов от матери к детенышу (гаммаглутамилтрансфераза, ГГТФ) и показатели степени упитанности детенышей (щелочная фосфатаза, ЩФ). Представленные на рис. 3 данные свидетельствуют об отсутствии за последние 7 лет заметных изменений в метаболическом статусе, уровне неспецифической резистентности щенков серого тюленя в период от рождения до завершения молочного питания.

Таким образом, сравнение результатов исследований 2006 г. и 2013 г. показало стабильность метаболического статуса и состояния основных клеточных факторов, определяющих уровень неспецифической резистентности организма детенышей серых тюленей.

Морской заяц

Морской заяц (*Erignathus barbatus barbatus* Erxleben, 1777) по кариологическим данным стоит особняком среди всех настоящих тюленей. Кроме того, кариотип морского зайца (а также тюленя-монаха и хохлача) содержит 34 хромосомы, у остальных настоящих тюленей (сем. Phocidae) — 32 [8]. Это может свидетельствовать о сравнительно большей древности рода *Erignathus*. Имея в виду последнее, а также особенности географического распространения морского зайца, перспективно искать у него и особые признаки на разных уровнях организации [9].

У взрослых (5–6 лет) морских зайцев, обитающих в природе, число лимфоцитов оказалось необычно высоким (45.50 ± 5.29 % против 19.17 ± 1.83 % у содержащихся в неволе). На основании имеющихся данных можно предположить, что такое отличие – одна из физиологических особенностей крови морских зайцев, либо период формирования лимфоидной системы у них более продолжителен, чем у других настоящих тюленей. В то же время метаболическая активность лимфоидных клеток диких тюленей ниже, чем у содержащихся в неволе, о чем свидетельствует величина относительной площади районов-организаторов ядрышка (табл. 2). Морские зайцы, обитающие в естественной среде, характеризуются также более низкими показателями абсолютного размера АгЯОР ($p < 0.05$) и преобладанием среди них "полиморфных" (неправильной формы, со складчатым контуром).

Таблица 2

Форма и размер ядра и АгЯОР лимфоцитов морского зайца

Группа животных	Число АгЯОР в одном лимфоците	SAгЯОР/Сядра	Ядро			АгЯОР		
			диаметр, мкм	показатель округлости	неровность контура	диаметр, мкм	показатель округлости	неровность контура
В неволе	1.10 ± 0.03	0.094 ± 0.002	8.66 ± 0.37	0.756 ± 0.003	1.78 ± 0.08	2.47 ± 0.11	0.825 ± 0.019	0.53 ± 0.02
Дикие	1.09 ± 0.03	0.066 ± 0.001	7.79 ± 0.15	0.803 ± 0.040	1.65 ± 0.02	1.86 ± 0.40	0.812 ± 0.004	0.39 ± 0.01

Катионные белки и миелопероксидаза – важные составные части антимикробной защиты организма. Определение содержания катионных белков (КБ) и активности миелопероксидазы (МПО) в гранулоцитах крови имеет значение при оценке уровня неспецифической резистентности [10]. Бактерицидный катионный белок в лейкоцитах морского зайца локализован в цитоплазматических гранулах. Лейкоциты животных в естественной среде обитания отличаются более крупными гранулами, бóльшим их числом и интенсивностью окраски (табл. 3).

Так же, как у гренландского тюленя [11], у морского зайца в условиях неволи уровень КБ ниже, чем у диких животных, что, вероятно, свидетельствует об угнетении бактерицидной функции лейкоцитов в результате воздействия неблагоприятных факторов (состав корма, отличающийся от естественного, гиподинамия, стрессовые ситуации).

Максимальный бактерицидный эффект достигается при совместном действии миелопероксидазы и катионного белка [10]. При этом МПО – также фермент антиоксидантной системы (АОС) и принимает участие в регуляции уровня свободнорадикального окисления, обеспечивая защиту организма от "окислительного стресса". Миелопероксидаза при окрашивании гранулоцитов крови морского зайца демонстрирует диффузно-гранулярное распределение. При визуальной оценке (по величине СЦК) активность фермента диких морских зайцев сравнима с таковой у здоровых людей (1.99 ± 0.15 и 1.84 ± 0.10 соответственно). Однако морфометрические показатели свидетельствуют о значительно более высокой активности МПО в лейкоцитах лахтака (56.91 ± 2.1 у.е. против 24.70 ± 0.84 у.е. у человека).

Таким образом, впервые проведенное морфофункциональное исследование крови морского зайца показало, что свободноживущие особи отличаются от настоящих тюленей других видов повышенным содержанием лимфоцитов. В то же время активность лимфоидной системы диких морских зайцев ниже, а уровень показателей, отражающих неспецифические бактерицидные функции, выше, чем у содержащихся в неволе животных.

Таблица 3

Содержание катионного белка в гранулоцитах морского зайца и дельфина-афалины

Группа животных	Размер гранул, $\mu\text{км}^2$	Число гранул	КБ ⁺ -лейкоциты, %	СЦК	ИЦП	ПЗК
Дикие	0.28 ± 0.08	160.6 ± 9.4	28.33 ± 5.85	0.63 ± 0.18	11.44 ± 0.80	29.44 ± 3.37
В неволе	0.21 ± 0.05	78.3 ± 4.3	5.92 ± 1.74	0.09 ± 0.03	2.04 ± 1.58	13.34 ± 1.58
Афалины	0.29 ± 0.03	128.2 ± 5.1	35.45 ± 2.80	0.77 ± 0.07	4.38 ± 0.34	36.19 ± 1.83

Примечание. Афалины рассмотрены по работе [11].

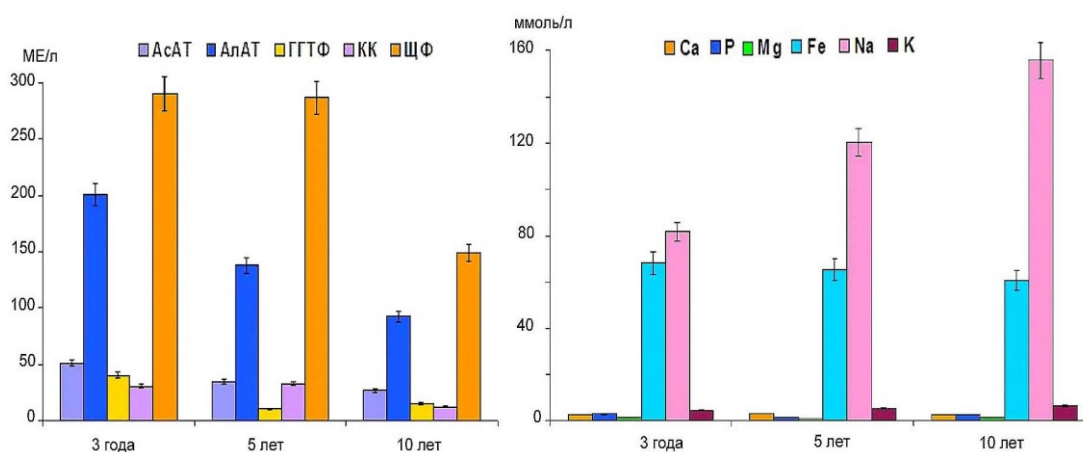


Рис. 4. Активность ферментов и содержание минеральных веществ в плазме крови морских зайцев различного возраста:

AsAT – аспаратаминотрансфераза; AlAT – аланинаминотрансфераза; GGT – гамма-глутамилтрансфераза; CK – креатинкиназа; ЩФ – щелочная фосфатаза. Для магния и железа концентрация приводится в мкмоль/л

Исследование основных показателей метаболизма белков, углеводов, липидов и минеральных веществ в плазме крови морских зайцев различного возраста выявило, что закономерности возрастных изменений биохимических показателей морских зайцев сходны с таковыми у других изученных видов морских млекопитающих [12], а также наземных животных и человека: с возрастом интенсивность анаболических процессов снижается, катаболических – повышается (рис. 4).

Некоторые физиологические особенности эритроцитов тюленей

В адаптивных реакциях организма изменения в структуре и функциях мембран рассматриваются как одно из основных универсальных звеньев. Эритроциты наиболее удобны в качестве естественной модели для исследования общих характеристик всех биологических мембран, поскольку доказана корреляция между изменениями свойств эритроцитов и клеточных мембран внутренних органов. К тому же метаболические процессы, протекающие в этих клетках крови в процессе развития и в аномальных условиях, отражают реакцию клеток на уровне всего организма. Один из способов исследования эритроцитарных мембран – определение их сорбционной способности (ССЭ). Указанный показатель определяли у гренландского тюленя, серого тюленя и морского зайца методом, основанным на представлении об эритроците как универсальном адсорбенте [13].

У изученных нами видов морских млекопитающих установлена значительная вариабельность ССЭ – в пределах 4–57%. У гренландских тюленей ССЭ относительно стабильна в течение первых трех лет жизни и находится в пределах 15–22%, достоверно увеличиваясь к 5-летнему возрасту до 36% (рис. 5). У изученных нами морских зайцев в естественной среде обитания (возраст около 5 лет) ССЭ составила $24.27 \pm 2.69\%$, а значения выше 30% регистрировались только у больных животных этого вида, содержащихся в неволе.

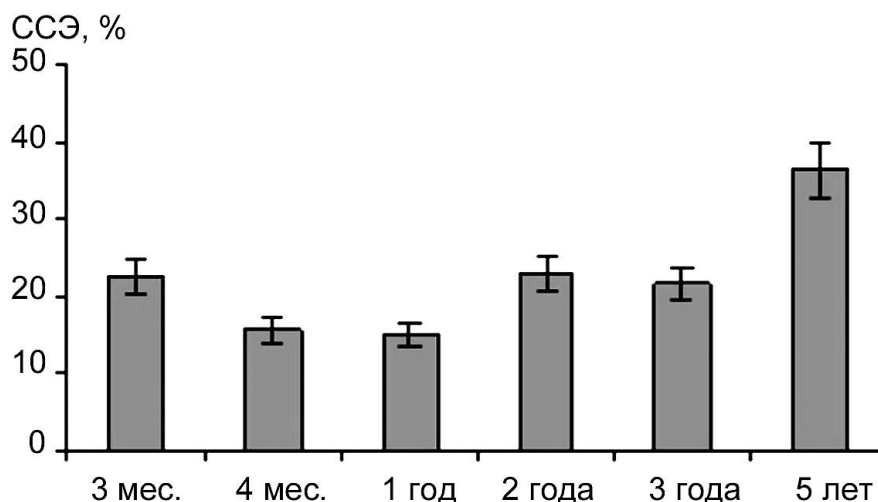


Рис. 5. Сорбционные способности эритроцитов гренландских тюленей разного возраста

У морских млекопитающих по сравнению с наземными и человеком следовало бы ожидать более высоких уровней ССЭ как следствие повышенной адсорбционной функции эритроцитов для поддержания низкой вязкости крови. Так, величина этого показателя у человека в норме составляет около 45% [13]. В наших исследованиях нет данных о ССЭ у животных старше 5 лет, в связи с этим можно лишь предположить, что в дальнейшем с возрастом не исключено повышение ССЭ. Основанием служат сведения из литературы об изменениях морфофизиологических показателей эритроцитов при старении животных, а также о снижении стабильности эритроцитарных мембран вследствие возрастной интенсификации свободнорадикальных процессов в крови [14].

Сорбционная способность эритроцитов тюленей характеризуется выраженной сезонной изменчивостью – снижение в весенне-летний период и повышение в осенне-зимний (рис. 6). Наиболее вероятным представляется объяснение этого факта с позиции вышеупомянутой связи ССЭ с уровнем свободнорадикальных процессов. Имеются данные об интенсификации процессов перекисного окисления липидов у животных, обитающих в северных широтах, а также экспериментальные доказательства усиления свободнорадикального окисления при понижении температуры окружающей среды [15].

Динамика уровня ССЭ в период адаптации к неволе имеет волнообразный вид и характеризуется у всех обследованных животных резким снижением (в 4–6 раз) в течение первой недели содержания в неволе. К концу четвертой недели пребывания в неволе показатели ССЭ в целом приближаются к исходным. Очевидно, в данном случае наблюдается усиление адсорбционно-транспортной функции эритроцитов для стабилизации уровня метаболитов в плазме крови [16] в условиях развития стресс-реакции в начальный период содержания животных в неволе. В дальнейшем интенсивность адсорбции снижается на фоне активизации компенсаторно-приспособительных механизмов стабилизации состава крови при стрессе, описанных у морских млекопитающих при адаптации к условиям неволи [17].

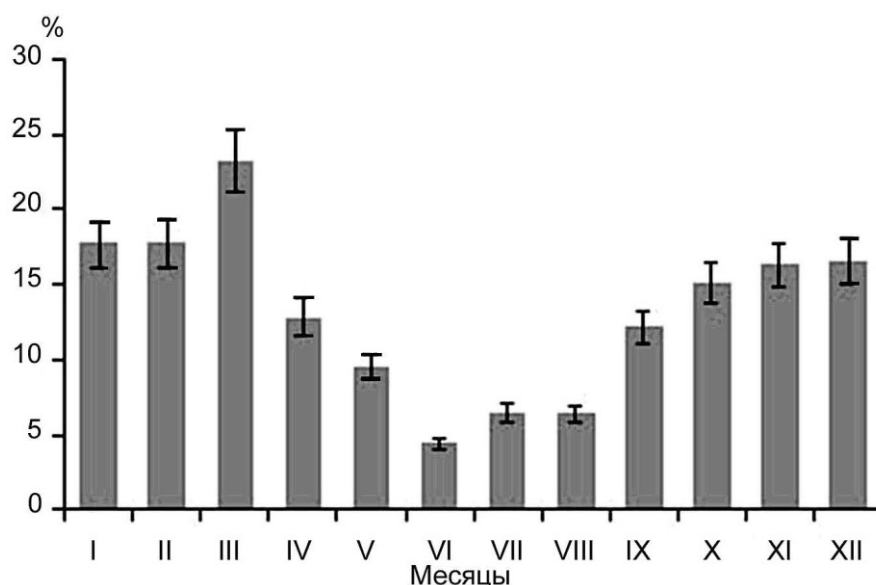


Рис. 6. Сорбционные способности эритроцитов гренландских тюленей в течение года

Значительные изменения ССЭ (в 1.5–2 раза) наблюдаются в процессе адаптации животных к условиям неволи (рис. 7) независимо от возраста.

Нами определялись значения ССЭ у тюленей при заболеваниях различной этиологии. Отмечены закономерности, описанные и для наземных животных [18], в частности повышение ССЭ пропорционально тяжести течения процесса. Так, например, у самца морского зайца с многочисленными кожными высыпаниями и язвами уровень ССЭ составлял 32.14 %. В результате лечения через 25 суток внешние поражения исчезли, гематологические и биохимические исследования показали нормализацию показателей крови. ССЭ в этот период снизилась до 21.74 %, практически до уровня, отмечаемого до заболевания. В это же время в крови установлено уменьшение содержания продуктов перекисного окисления липидов с 1.1 до 0.35 нмоль/мг.

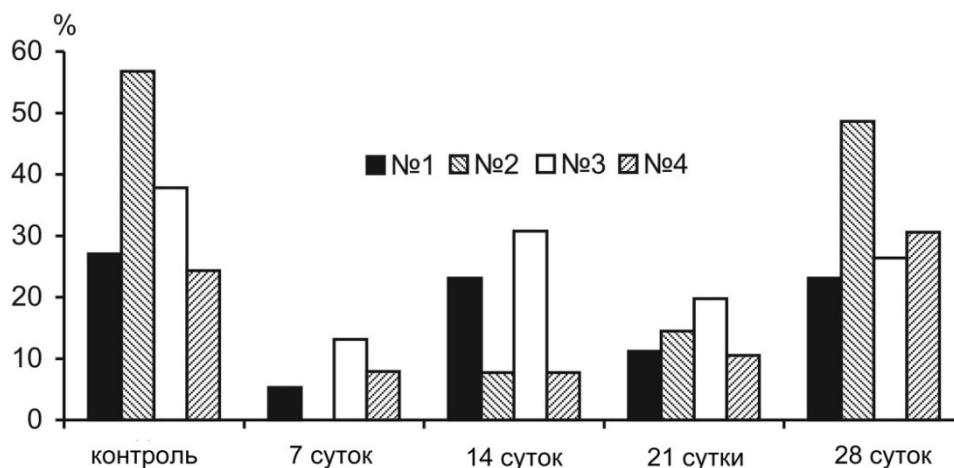


Рис. 7. Сорбционные способности эритроцитов гренландских тюленей в период адаптации к неволе

Таким образом, в ходе исследований установлена значительная вариабельность уровня сорбционной способности эритроцитов крови различных видов морских млекопитающих. Для ластоногих определены естественные факторы, влияющие на изменчивость данного показателя – возраст, сезон, стресс в период первичной адаптации к неволе. У больных животных отмечено его повышение, в ходе лечения – снижение, при выздоровлении – стабилизация на уровне, зафиксированном до заболевания. Установленные факты приводят к заключению, что в настоящее время определение ССЭ для характеристики состояния морских млекопитающих наиболее достоверно в условиях длительного содержания их в неволе, где возможно определение индивидуальной нормы данного показателя.

Заключение

В наших исследованиях крови животных сформирован и применен комплекс биохимических, цитологических и цитохимических методов оценки метаболических и иммунологических адаптаций морских млекопитающих. Дана характеристика известных к настоящему времени показателей крови, отражающих реакции организма на различные внутренние и внешние воздействия.

Впервые у ластоногих изучены показатели, характеризующие бактерицидную функцию фагоцитирующих лейкоцитов. Установлен более низкий уровень естественной неспецифической резистентности у тюленей по сравнению с наземными млекопитающими, а также изменение с возрастом соотношения кислородзависимого (миелопероксидаза) и кислороднезависимого (катионные белки) ее звеньев. Высокая активность миелопероксидазы у новорожденных животных обусловлена, вероятно, жизненно важной ролью этого фермента антиоксидантной системы в период внутриутробного развития. После рождения возрастает значение бактерицидного действия указанного фермента, которое дополняется повышающейся с возрастом активностью неферментного компонента бактерицидной защиты – лизосомных катионных белков. Достоверное увеличение содержания катионных белков происходит с 1–1.5 мес., когда тюлени начинают самостоятельно питаться рыбой.

Имеющиеся в литературе данные и результаты собственных исследований показывают, что проявление адаптивных структурных и функциональных признаков организма у разных видов обнаруживаются на различных стадиях онтогенеза. В связи с этим требует решения вопрос об обусловленности особенностей формирования структурно-функциональных адаптаций в процессе развития и разные темпы их становления у тех или иных видов. Представляется перспективным дальнейшее изучение физиолого-биохимических параметров морских млекопитающих в онтогенезе с целью установления особенностей периодизации и этапности метаболизма у этих животных, обусловленных вторичноводным образом жизни, и выявления критических фаз в постнатальном периоде развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Слоним А.Д.* Экологическая физиология животных. М.: Высшая школа, 1971. 448 с.
2. Справочник по лабораторным методам исследования / под ред. *Л.А. Даниловой*. СПб.: Питер, 2003. 736 с.
3. Красная книга Мурманской области / коллектив авторов. Мурманск: Мурманское книжное изд-во, 2003. 400 с.
4. *Риган В.Дж., Сандерс Т.Г., Деникола Д.Б.* Атлас ветеринарной гематологии. М.: ООО "Аквариум ЛТД", 2000. 136 с.
5. Engelhardt F.R. Haematology and plasma chemistry of captive pinnipeds and cetaceans // *Aquat.Mamm.* 1979. Vol. 7, № 1. P. 11–21.
6. *Бобова Л.П., Кузнецов С.Л., Сапрыкин В.П.* Гистофизиология крови и органов кроветворения и иммуногенеза. М.: ООО "Изд-во Новая волна", 2003. 157 с.
7. *Кавцевич Н.Н.* Особенности клеточного состава крови гренландских тюленей (*Pagophilus groenlandicus*) различного возраста // *Зоол. журн.* 2003. Т. 82, № 6. С. 758–761.
8. *Arnason U.* Comparative chromosome studies in Pinnipedia // *Hereditas.* 1974. Vol. 76, № 2. P. 179–225.
9. *Анбиндер Е.М.* Кариология и эволюция ластоногих. М.: Наука, 1980. 152 с.
10. *Пигаревский В.Е.* Зернистые лейкоциты и их свойства. М.: Медицина, 1978. 128 с.
11. *Минзюк Т.В., Кавцевич Н.Н.* Бактерицидный катионный белок в лейкоцитах морских млекопитающих // *Вестник МГТУ.* 2013. Т. 16, № 3, С. 506–511.
12. *Ерохина И.А., Кавцевич Н.Н.* Новые данные к характеристике метаболического статуса тюленя-хохлача (*Cystophora cristata* Erxleben, 1777) и гренландского тюленя (*Pagophilus groenlandica* Erxleben, 1777) в раннем постнатальном периоде развития // *Докл. РАН.* 2011. Т. 440, № 3. С. 420–422.
13. *Тогайбаев А.А.* Способ диагностики эндогенной интоксикации / *А.А.Тогайбаев, А.В. Кургузкин, И.В. Рикун, Р.М. Карибжанова* // *Лаб. дело.* 1988. № 9. С. 22–24.
14. *Теплый Д.Д.* Особенности морфофизиологических показателей эритроцитов белых крыс на этапах онтогенеза в норме и при оксидативном стрессе: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2011. 21 с.
15. *Куликов В.Ю., Семенюк А.В., Колесникова Л.И.* Перекисное окисление липидов и холодовой фактор. Новосибирск: Наука, 1988. 192 с.
16. Взаимосвязь между эндогенной интоксикацией и анемией / *К.П. Ошакбаев, О.Р. Хан, Б.Н. Кажабекова, А.Н. Сейтбай, Б.А. Дукенбаева, Г.Р. Ищанова* // *Профилактик. медицина.* 2007. № 1. С. 21–25.
17. *Каганова Н.В., Коношенко С.В., Ларина М.В.* Состояние внутриэритроцитарного метаболизма у дельфинов-афалин при адаптации к условиям океанариума // *Морские биотехнические системы.* Севастополь, 2002. Вып. 2. С. 173–181.
18. Клинико-гематологический и биохимический статус коров при гестозе / *А.Г. Нежданов, М.И. Рецкий, Ю.Н. Алехин и др.* // *Сельскохозяйственная биология.* 2010. №4. С. 118–123.

Сведения об авторах

Кавцевич Николай Николаевич – д.б.н., зав. лабораторией Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: chiv1@front.ru

Минзюк Татьяна Владимировна – к.б.н., научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: minzyuk@mail.ru

Ерохина Ирина Анатольевна – к.б.н., зам. зав. лабораторией Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: irina.erohina58@mail.ru

УДК 599.745 (98)

ОПЫТ ЛАБОРАТОРИИ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ В РАБОТЕ С АРКТИЧЕСКИМИ ЛАСТОНОГИМИ: ОТ ТЕОРИИ ДО ПРАКТИКИ

Д.Г. Ишкулов, А.Л. Михайлюк, М.В. Пахомов
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Рассматривается преимущество применения настоящих тюленей в биотехнических системах при работах в условиях Арктики. Обоснованы преимущества и недостатки методов содержания и изучения ластоногих. Описаны условия содержания ластоногих в условиях аквакомплексов ММБИ, расположенных на акватории Кольского залива. Описаны основные этапы работ, проводимых ММБИ по созданию биотехнических систем двойного назначения, в которых задействованы аборигенные виды арктических тюленей. Представлены основные научные и научно-практические результаты, полученные в лаборатории биотехнических систем ММБИ КНЦ РАН.

Ключевые слова:

арктический тюлень, биотехническая система, биотехнический аквакомплекс



В современном мире отчетливо прослеживается возрастающий интерес к природным запасам углеводородов, залегающих в шельфовых зонах Арктики. Активно разрабатываются проекты буровых платформ, газонефтепроводов, танкеров, судов обеспечения, подводной и прибрежной инфраструктуры. Из области теории

в практическую сферу сместился вопрос подледного бурения и добычи углеводородов в Арктике [1].

На сегодняшний день уже осуществлены океанологические подледные исследования в арктическом регионе. Так, автономный беспилотный аппарат AUTOSUB, разработанный лабораторией подводных технологий британского Национального Океанографического Центра в Саутгемптоне при финансировании Национальным научно-исследовательским советом Великобритании, проделал путь в 500 км в течение 6 погружений в рамках своей миссии. Полярные исследователи из германского Института Альфреда Вегенера также осуществили погружение автономного подводного робота (модернизированная версия AUV Bluefin-21) под лед Северного Ледовитого океана всего в 1 тыс. км от географического полюса. Робот, который может проплыть под водой около 70 км со скоростью до 6 км/ч, погружаясь на глубину до трех километров, достиг максимальной глубины.

В то же время подводные шельфовые разработки и сопутствующая инфраструктура нуждаются в обслуживании и охране. Например, Корпорация BAE Systems разработала автономного подводного робота Talisman L для борьбы с минами и другими подводными угрозами в акваториях портов и морских баз. Другой представитель – Explosive Ordnance Disposal Hull Unmanned Underwater Vehicle Localization System («Роботизированная подводная система удаления взрывчатых боеприпасов с корпуса корабля» – EOD HULS) продемонстрирован американским Центром военно-морских разработок (ONR), который курирует проект. Характеристики EOD HULS пока не раскрываются: имеются лишь отрывочные сведения: в ходе эксперимента в 2009 г. он сумел осмотреть крупный корабль со скоростью 40–50 м²/мин.

Наравне с роботами-саперами ведутся разработки универсальных подводных боевых машин, способных не только обнаружить и ликвидировать враждебные элементы, но и вести диверсионную деятельность.

Например, компания Columbia Group представила многоцелевую роботизированную подводную платформу, которая меняет концепцию будущей войны на просторах мирового океана. Робот, названный Proteus, имеет длину 7.6 м, весит почти 3 т и может передвигаться под водой со скоростью до 10 узлов (18 км/ч). Характеристики Proteus позволяют ему выполнять множество функций: от патрулирования акватории до незаметной слежки за ядерными субмаринами с межконтинентальными баллистическими ракетами.

Однако стоит отметить и минусы подобных разработок. Современный автономный робот способен выполнять только заранее запрограммированную относительно несложную задачу. При нештатных ситуациях, вероятнее всего, у робота не найдется нужного алгоритма действий, что в итоге приведет к провалу поставленных задач и возможной поломке аппарата. При этом выход из строя управляющей или ходовых систем автономного робота при глубоководной подледной работе равнозначен его потере. И, пожалуй, основной минус таких систем – их цена, а также уникальность каждого экземпляра. На сегодняшний день массовое производство подобных робототехнических систем нерентабельно и практически невозможно. К тому же для подводного технического обслуживания и охраны объектов добычи углеводородов требуется целый парк таких автоматов, причем способных выполнять широкий спектр задач.

Развитие современной робототехники сдерживают два основных фактора: искусственный интеллект и движители. Сегодня в качестве «мышц» роботов используются роторные, гидравлические или пневматические приводы, и при проектировании робототехнического изделия приходится выбирать между скоростью, силой и точностью. Приводы, основанные на электроактивных полимерах, пока еще находятся на стадии изобретения и позволяют лишь грубо имитировать работу настоящих – органических мышц.

Другая проблема – способность робота самостоятельно принимать решения и корректировать поведение в зависимости от обстановки. Самые прогрессивные автономные роботы сами могут лишь выполнять заранее запрограммированные элементарные действия, любая нестандартная ситуация ставит «нервную систему» этих автоматов в тупик. ЭВМ, построенные по архитектуре фон Неймана, даже теоретически не способны решить проблему автономности. Современный уровень развития искусственных нейросетей, которые могли бы решить проблему автономности робота, также недостаточен [2].

Единственная существующая альтернатива – создание систем, в которых используется живой организм. Такие системы полностью адаптированы к работе в среде обитания животного, частично решается проблема автономности. В нештатной ситуации нервная система животного сама выработает новую схему поведения, а для решения стандартных задач животное можно обучить.

При использовании животных в биотехнических системах в наше распоряжение поступают их сенсорные системы, которые, как и весь организм, приспособлены к среде, где обитает животное. Также не стоит забывать, что любая сенсорная система животного – часть его нервной системы, следовательно, недостатки чувствительности сенсора могут компенсироваться возможностями самой нервной системы. Например, у человека умеренный дальтонизм компенсируется увеличением количества нейронов, задействованных в обработке зрительной информации. Таким образом, мозг «жертвует» одними малозначимыми функциями ради обеспечения других, более значимых.

В то же время ластоногие и китообразные имеют объем мозга явно больший, чем необходимо для нормальной жизнедеятельности этих животных. Например, и серый волк, и серый тюлень принадлежат к семейству псовых, оба вида ведут достаточно схожий образ жизни хищников-универсалов, но у серого волка достаточно сложная социальная иерархия и сложные методы охоты. Серый тюлень создает подобие гаремной структуры только в период

спаривания, а охота на рыбу и моллюсков – основные пищевые объекты – менее сложна, чем охота на крупных наземных млекопитающих. При этом мозг серого тюленя на 20–25 % больше мозга волка. Данное явление можно объяснить «запасом прочности» мозга тюленя, так как при его образе жизни не исключено пищевое и кислородное голодание, которые ведут к гибели нейронов головного мозга. В естественной среде обитания тюлени редко используют свои дополнительные вычислительные мощности, но они явно проявляются при дрессировке, когда животные ради добычи пищи вынуждены выполнять несвойственные им действия [3].

Таким образом, сочетание возможностей нервной системы животного и технических средств позволяют биотехнической системе адаптироваться фактически к любой возникающей ситуации.

Для полноценного использования морских млекопитающих в качестве рабочего элемента биотехнической системы необходимо комплексное исследование этих животных. Требуется знать особенности функционирования их сенсорных систем, физические возможности животных, процессы адаптации к среде обитания и многое другое. Эти же данные позволят в будущем создавать подводные роботехнические системы, основанные на бионических принципах морских млекопитающих.

В настоящее время исследования морских млекопитающих в основном ведутся либо в естественной среде обитания, где изучаются дикие животные, либо в океанариумах, где животных приручают и обучают выполнению команд.

Изучение морских млекопитающих в естественных условиях позволяет установить маршруты миграции, места лежек, особенности пищедобывательного, социального и репродуктивного поведения животных. Возможен отбор биологических жидкостей и тканей для исследования физиологических характеристик животных. Но в естественных условиях фактически невозможно изучать сенсорные и когнитивные способности животных. Подобные исследования связаны со значительными трудностями: необходимо организовывать дорогостоящие и достаточно опасные экспедиции; невозможно долговременно и непрерывно изучать конкретное животное, есть сложности с постановкой и проведением поведенческих экспериментов.

Достаточно много работ, связанных с поведением морских млекопитающих, их физиологией и экспериментальных исследований сенсорных возможностей этих животных проводятся в стационарных океанариумах. Однако и океанариумы имеют свои минусы. Наиболее важный из них – стабильность и искусственность условий содержания. Если в естественных условиях параметры окружающей среды постоянно меняются, то в океанариуме они постоянны. Так, например, изменение освещенности в течение суток в природе неравномерно – зимой светлое время суток сокращается, летом возрастает, в арктических широтах проявляются полярный день летом и полярная ночь зимой. Также освещенность сильно зависит от погодных условий, которые и сами влияют на жизнедеятельность морских млекопитающих. В океанариуме зачастую присутствует только искусственное освещение, которое, во-первых, отличается от естественного спектральным составом, а во-вторых, строго периодически в сутки. Кроме того, в океанариумах отсутствуют такие значимые для морских млекопитающих факторы, как ветер, волнение моря, изменения физико-химических свойств воды, воздействие естественных органических веществ моря. Стоит отметить, что большинство океанариумов и дельфинариев – коммерчески ориентированные предприятия. Это означает, что время научной работы с животными ограничено, животные обучаются наиболее зрелищным командам, которые зачастую не представляют научно-практического интереса. Постоянный контакт с посетителями приводит к тому, что поведение животного достаточно сильно изменяется, вместе с ним изменяется и нормальная физиология организма. Таким образом, данные, полученные в ходе физиологических и поведенческих экспериментов, достаточно сложно экстраполировать на диких сородичей domesticated морского млекопитающего. И, наконец, в изолированных условиях

океанариума не может идти и речи о создании полноценной биотехнической системы с морскими млекопитающими, способной решать вопросы военной и хозяйственной направленности в открытом море.

Наиболее перспективным в данном случае представляется создание биотехнических комплексов на открытой морской акватории, где животные содержатся практически в естественных условиях, то есть подвержены воздействию тех же факторов окружающей среды, что и их дикие сородичи. При этом физиологические отклонения будут минимальны, это в свою очередь позволяет экстраполировать результаты физиологических и поведенческих экспериментов на всю популяцию в целом.

С другой стороны, в условиях аквакомплекса возможен полноценный дрессировочный процесс, причем животных можно обучать только тем командам, которые необходимы для проведения экспериментальных работ.

Только в условиях биотехнического комплекса на открытой акватории возможно проверить специально обученное животное в условиях, максимально приближенных к реальным местам работы биотехнической системы.

В развитии использования морских млекопитающих с 1984 г. особое место занимает Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН.

В 1990-х гг., в связи с развалом СССР, морские биотехнические системы оказались невостребованными и выпали из гособоронзаказа. Специалисты рассеялись по всему миру, но мурманскую лабораторию удалось сохранить. В Мурманске построили научный океанариум на Семеновском озере – открытые вольеры, где тюлени содержались в условиях, близких к естественным.

С 1997 г. начался новый этап работы с животными – подготовка к действиям в естественных условиях с выходом в акваторию военно-морской базы. Благодаря помощи командования Северного флота был создан акваполигон «Красные камни». Так удалось максимально приблизиться к реалиям военно-морского флота, к подводным кораблям – объектам охраны.

Основой стало закрытое озеро, во время прилива сообщающееся с Сайда-губой. Здесь круглый год во взаимодействии с военнослужащими, в первую очередь, из антитеррористических подразделений, в типичных северных условиях ведутся исследования и тренировки.

В 2007 г. открыт экспериментальный акваполигон на м. Тоня, который стал стационарной базой для проведения круглогодичных исследований морских животных.

Аквакомплекс расположен в 7 км от г. Полярный, на акватории Кольского залива. Наличие грунтовой автодороги позволяет круглогодично транспортировать на акваполигон оборудование и материалы, рыбный корм для морских млекопитающих, персонал и животных. Аквакомплекс включает в себя хозяйственно-жилые помещения, лабораторию, вольеры для содержания морских млекопитающих, транспортные средства и загон для адаптации вновь прибывших ластоногих.

Вольеры располагаются в бухте, прикрытой сопками, что позволяет избежать воздействия штормовых ветров и сильного волнения Кольского залива. Вольерный комплекс собран из пластиковых труб ("питьевая", ГОСТ 18599-83): для понтонов диаметром 21 см, для опор и перил ограждения диаметром 8 см, толщина стенок – 1 см. Трубы соединены друг с другом при помощи пластиковых муфт и нержавеющей болтов. В вольере 7 секций: 6 для содержания животных и 1 – для работы с ними. Комплекс оборудован деревянным дощатым настилом для передвижения персонала и работы с животными. В каждом садке имеется также деревянный помост. Садки – прямоугольной формы из сети с ячейей 5 см, вдоль ребер садка в качестве основы проходит фал диаметром 1 см. Садок привязывается к перилам, расправляется при помощи прямоугольной металлической рамки, сваренной из стального прута диаметром 1 см и располагающейся на дне садка (рис. 1).

Испытанная в течение 7 лет конструкция плавучего вольерного комплекса для содержания и исследования морских млекопитающих, в отличие от металлических прототипов, имеет следующие преимущества:

- 1) не подвержена коррозии, значительно легче, чем аналогичные металлические изделия;
- 2) позволяет осуществлять быструю разборку и сборку для изменения конфигурации вольерного комплекса путем перекомпоновки его элементов (перемещение понтонных основ вольеров целиком либо по частям) либо для транспортировки водным путем при помощи маломерных судов;
- 3) имеет высокую устойчивость по отношению к действию волн благодаря равномерному распределению по площади элементов, обеспечивающих плавучесть комплекса;
- 4) обеспечивает комфортное и безопасное перемещение людей и животных при работе в различных местах вольерного комплекса;
- 5) обладает необходимым запасом механической прочности и эластичности, не повреждается при значительных силовых напряжениях (обледенение в зимнее время, шторм, приливные колебания уровня моря);
- 6) оригинальный способ распрвления сетевых садков при помощи вставной металлической рамки обеспечивает их нетрудоемкое техническое обслуживание (ремонт и замена садков, очистка от обрастания), не требующее водолазных работ.



Рис. 1. Вольерный комплекс

Опыт эксплуатации вольеров различных конструкций в ММБИ на протяжении 24 лет показывает, что вольеры из полимерных материалов оптимальны для круглогодичных исследований поведенческих и физиологических адаптаций ластоногих в условиях Севера [4].

Тренировки с морскими млекопитающими проводятся два раза в день: утром (9:00 – 11:00) и вечером (18:00 – 19:00). При наступлении полярной ночи, в зависимости от метеорологических условий, тренировку проводят только днем.

Перед тренировками проводится ветеринарный осмотр животных, оценивается состояние слизистых оболочек и шерсти, подвижность животного, уровень пищевой мотивации. В ходе тренировок с животными отрабатываются команды общего и специального назначения (рис. 2).

Общий курс подготовки морских млекопитающих включает отработку элементов поведения, общих для всех служебных животных независимо от их специализации. Кроме того, он включает обучение навыкам, заведомо необходимым в дальнейшей подготовке. Животные в процессе обучения осваивают команды "погладить", "в воду", "рядом", "выход на акваторию", "лежать", "перевернись", "зубки", "апортировка", "поиск", "передача предмета", "следование за лодкой", "транспортировка в лодке", "заход в ящик", "одевание сбруи". Обучение направлено на отработку навыков от простых к более сложным, поскольку каждый последующий элемент требует применения уже имеющихся навыков.

В ходе работ, проводимых на биотехническом аквакомплексе ММБИ в период 2007–2014 гг., в экспериментах были задействованы три вида арктических тюленей: кольчатые

нерпы (*Pusa hispida* Schreber, 1775), гренландские тюлени (*Pagophilus groenlandica* Erxleben, 1777) и серые тюлени (*Halichoerus grypus* Fabricius, 1791).

Изучение воздействия различных акустических шумов на жизнедеятельность арктических тюленей показало, что антропогенное шумовое загрязнение океана существенно влияет на жизнедеятельность морских млекопитающих, включая арктических ластоногих (рис. 3).



Рис. 2. Отработка захода в лодку гренландского тюленя



Рис. 3. Изучение влияния умеренных подводных взрывов на физиологию кольчатой нерпы

В ходе исследований на аквакомплексе определены индивидуальные параметры суточной активности кольчатой нерпы, особенности реализации и устойчивости навыков обусловленного поведения в конкретных океанологических условиях. Для каждой кольчатой нерпы получены «портретные характеристики» поведенческой активности: суммарное время пребывания под водой за каждые последующие 30 мин., количество всплытий в минуту; время удержания целевого указателя (команда «таргет»), время выполнения поиска по команде «ищи».

Отмечено угнетающее действие повышенного шума фоновой природы на поведение нерп. При высоком уровне шума снижается частота всплытий, большую часть времени животное

находится под водой. Показано, что использованные параметры шумового воздействия с частотой 600 Гц оказывают существенное раздражающее, тревожащее воздействие на ластоногих, при этом улучшается их работоспособность в модели обусловленного поведения.

Описаны феномены реактивности кольчатой нерпы в ответ на импульсное шумовое воздействие (подводный взрыв). Выяснилось, что при таком импульсном шумовом воздействии животные отказываются от контакта с человеком на временной период, зависящий от мощности воздействия (297 секунд при мощности звуковой составляющей импульсного воздействия 186.73 дБ); время удержания цели (команда «таргет») непосредственно после взрыва достоверно укорачивается. Отчетливо проявляются отдаленные эффекты воздействия: у экспериментального животного в ночной период активности, более чем через четыре часа после взрыва достоверно увеличивалось время пребывания под водой.

Для разработки мероприятий по снижению шумовой нагрузки на морских млекопитающих в регионах их естественного обитания создана тест-система контроля допустимых уровней шумового загрязнения [5].

Проведенные эксперименты по выработке обонятельных и цветовых условных рефлексов у арктических тюленей, а также исследования особенностей их поведения показали перспективность дальнейшего изучения этой области, что должно стать основой для разработки и эксплуатации биотехнических систем, включающих настоящих тюленей (рис. 4).



Рис. 4. Экспериментальное исследование обонятельной чувствительности серого тюленя

Знания об обонятельной чувствительности тюленей позволят привлекать их к работам по поиску разлива нефтепродуктов в море как при авариях на газо- и нефтепроводах, так и при крушениях различных судов. По запаху тюлень способен отыскать место аварии при пониженной освещенности и в таких погодных условиях, когда поиск техническими средствами ограничен или невозможен. Найдя место аварии, тюлень может «сообщить» об этом людям, привести за собой спасательную команду, установить GPS-маяк, а в случае, когда погодные условия не позволяют действовать спасательной команде, доставлять пострадавшим средства спасения, пищу и медикаменты, а также осуществлять транспортировку пострадавших с места аварии на береговую или плавучую базу. Тюлень способен обнаружить плавсредство и следовать за ним по оставленному им шлейфу из слитых или отработанных горюче-смазочных материалов [6].

Цветовое зрение у служебных тюленей позволяет обучать их поиску предметов по цветовому признаку. Так, экспериментально установлено, что для подобных работ наиболее целесообразно использовать серых тюленей, у которых хорошо развито дихроматическое зрение, позволяющее использовать в работе с ними широкий спектр цветов [6, 7].

На сегодня одна из основных проблем при использовании морских млекопитающих для противодействия подводным диверсантам – проблема распознавания животным человека по признаку «свой – чужой», которая приводит к тому, что тюлень не может отличить дружественного водолаза от врага и, как следствие, может его атаковать (рис. 5).



Рис. 5. Имитация захвата серым тюленем подводного диверсанта

Применяя различные маркеры для своих водолазов, можно обучить тюленя атаковать только водолазов, у которых либо нет маркера, либо он другой. Также возможно обозначать различными цветными маркерами маршрут обследования протяженных подводных объектов и подводных частей судов и строений.

Основываясь на экспериментальных данных, полученных за годы существования биотехнического аквакомплекса, созданы полностью работоспособные прототипы биотехнических систем двойного назначения, рабочим элементом которых являются арктические тюлени. Основные задачи таких систем – взаимодействие с водолазом, поиск и подъем затонувших предметов и телеметрическое обследование акватории.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матишов Г.Г. Перспективы освоения Мирового океана и арктических морей // Морские млекопитающие на службе человеку: материалы научно-практического семинара (4 октября 2010 г. Североморск) / отв. ред. акад. Г.Г. Матишов. Ростов-на Дону: Изд. ЮНЦ РАН, 2011. С. 5–17.
2. Автономные подводные роботы. Системы и технологии / под общ. ред. акад. М.Д. Агеева. М.: Наука, 2005. 398 с.
3. Worthy A.J., Hickie J.P. Relative brain size in marine mammals // The American Naturalist. 1986. Vol. 128, № 4. P. 445–459.
4. Морские млекопитающие в биотехнических системах двойного назначения / Г.Г. Матишов, В.Б. Войнов, Е.В. Вербицкий, А.Л. Михайлюк, А.Р. Трошичев, А.С. Гладких, В.Н. Светочев. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2010. 131 с.
5. Михайлюк А.Л. Техногенное шумовое загрязнение Баренцева моря и его влияние на биологию кольчатой нерпы: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 25.00.28. Мурманск, 2012. 23 с.
6. Сенсорные возможности арктических тюленей в морских биотехнических системах / В.Б. Войнов, А.А. Зайцев, Ю.В. Литвинов, А.Л. Михайлюк, М.В. Пахомов // Вестник ЮНЦ РАН. 2013. Т. 9, № 4. С. 87–95.
7. Ишкулов Д.Г., Михайлюк А.Л., Пахомов М.В. Особенности цветовосприятия у серых тюленей // Вестник КНЦ РАН. 2013. №4 (15). С. 88–94.

Сведения об авторах

Ишкулов Дмитрий Геннадиевич – к.б.н., зам. директора по науке Мурманского морского биологического института; e-mail: ishkulov@mmbi.info

Михайлюк Александр Леонидович – к.б.н., зав. лабораторией биотехнических систем, Мурманский морской биологический институт; e-mail: sasha-mihailyuk@yandex.ru

Пахомов Мирон Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории биотехнических систем, Мурманский морской биологический институт; e-mail: edr750v@yandex.ru

УДК 615.072:582.272.7

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ БИОПРЕПАРАТОВ НА ОСНОВЕ ФУКУСОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ

Е.Д. Облучинская

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Предложены методологические подходы к созданию биопрепаратов из биологически активных веществ фукусковых водорослей, основанные на комплексе теоретических и собственных экспериментальных данных, реализованные при разработке конкретных биопрепаратов из фукусковых водорослей Баренцева моря.

Ключевые слова:

фукусковые водоросли, Баренцево море, Белое море, биологически активное вещество, методология.



Введение

Фукусковые водоросли – перспективное сырье для получения биологически активных веществ (БАВ). Они содержат полисахариды (фукоидан, альгинаты), полифенолы, липиды и другие биологически активные компоненты. Спектр применения препаратов из фукусковых водорослей широк и обусловлен их фитохимическим составом. В основном препараты из водорослей используются в лечебно-профилактической практике в виде нутрицевтиков (рис. 1).

При комплексной переработке бурых водорослей, включая фукусковые, можно выделить липидно-пигментные комплексы (ЛПК), содержащие полиненасыщенные жирные кислоты, стерины, пигменты. Считается давно установленным факт участия различных полиненасыщенных жирных кислот в обеспечении ряда физиологических процессов. Недостаток в пище ненасыщенных высших жирных кислот подобно дефициту витаминов вызывает снижение иммунитета, поражения кожи, морфологические изменения митохондрий печени и т.д. Имеются сведения об антиканцерогенной, противоопухолевой, антимиастатической активности полиненасыщенных жирных кислот. Стерины водорослей, фукостерин и саргостерол существенно снижают повышенную концентрацию холестерина в плазме крови.

Полисахаридные комплексы – это основные компоненты переработки как ламинариевых, так и фукоидов. Фукусковые водоросли Белого и Баренцева морей содержат значительные количества фукоидана, более чем на 50 % состоящего из фукозы. Фукоидан обладает иммуномодулирующим свойством, гепариноподобным действием, противовирусной и противомикробной активностью. Полифенолы оказывают антиоксидантное действие, наличие фукозы повышает иммуностимулирующее действие.

Применяя различные технологические приемы, можно в рамках комплексной переработки водорослей получать йодсодержащие препараты, поливитаминные и минеральные комплексы.

На сегодняшний день актуально создание современных эффективных и безопасных лекарственных средств природного, в первую очередь, растительного происхождения.

Для разработки биопрепаратов на основе водорослей необходимо применять методологические подходы, основанные на комплексе технологических, физико-химических, химических и биофармацевтических исследований. При этом требуется совершенствование методов стандартизации и контроля качества как исходного водорослевого сырья, так и его лекарственных субстанций по основным группам биологически активных веществ.



Рис. 1. БАВ бурых водорослей, целевые продукты на их основе и практическое применение

Цель данной работы – создание методологических подходов к разработке биопрепаратов из БАВ фукусовых водорослей на основании теоретических и экспериментальных исследований.

Согласно нашим исследованиям в области биохимии, технологии БАВ водорослей, выявлены сезонные изменения содержания полисахаридов (альгиновой кислоты и фукоидана) у фукусовых водорослей Баренцева моря: *F. vesiculosus*, *F. distichus*, *F. serratus*, *Ascophyllum nodosum* [1]. Проведено сравнительное исследование фитохимического состава наиболее распространенных видов бурых водорослей Баренцева моря [2]. Установлено, что фукусовые водоросли сем. *Fucaceae* по содержанию БАВ не уступают ламинарии сахаристой, а по количеству полисахарида фукоидана превосходят как ламинариевые виды, так и фукусовые дальневосточных морей. Исследованы некоторые биохимические показатели фукусовых водорослей Баренцева, Белого и Балтийского морей [3]. Определено, что в водорослях, собранных в Белом море, содержится больше белка и свободных аминокислот, чем в остальных исследуемых растениях. Наибольшее количество полисахаридов (альгинатов и фукоидана) найдено в фукусе пузырчатом из Балтийского моря, где сочетаются низкая соленость и минимальная интенсивность движения воды. Максимальное содержание полифенолов обнаружено в *F. vesiculosus* из Белого моря. При изучении содержания полифенолов бурых водорослей Баренцева моря на примере *Fucus distichus* L. дана высокая оценка перспективности этого вида сырья как продуцента полифенолов – растительных антиоксидантов [4]. Кроме того, разработана технология комплексного использования фукусовых водорослей Баренцева моря с учетом биохимических особенностей каждого вида сырья. В едином технологическом цикле получены четыре субстанции – альгинат натрия, маннит, сухой экстракт

фукуса, содержащий фукоидан, липидно-пигментный комплекс (ЛПК) [5]. Также созданы биопрепараты: сухой экстракт фукуса в виде гранул в твердых желатиновых капсулах [6], обладающий иммуномодулирующим действием, и антикоагулянтная мазь на основе экстракта из фукуса пузырчатого [7].



Рис. 2. Методология создания биопрепаратов из водорослевого сырья

содержится поли-ненасыщенных жирных кислот ω -3, обладающих высокой антиоксидантной активностью [8]. По нашим данным, у фукоидов с понижением солености увеличивается содержание фукоидана, аминокислот, но снижается количество маннита [9–10]. Поэтому еще одно слагаемое первого этапа есть паспортизация мест сбора водорослей, включающая определение факторов среды в конкретном месте добычи водорослей. Необходимо также разработать методику рационального изъятия водорослей, обеспечивающую восстановление природных зарослей, сохранение водорослевых популяций. Из-за наличия сезонных колебаний в содержании БАВ водорослей важно выбрать наиболее подходящий сезон сбора водорослей

Выполненные исследования позволили нам сформулировать методологические подходы к созданию биопрепаратов на основе фукусов Баренцева и Белого морей, включающие два основных направления. Первое – определение рациональной схемы (сценария) получения оригинальных фукусовых биопрепаратов. Второе – создание современных, качественных, эффективных и безопасных лекарственных средств на основе комплексных и индивидуальных субстанций из фукусов.

Предлагаемая методология включает четыре этапа (рис. 2), каждый из которых завершается получением промежуточного результата, обеспечивающего постановку задач последующего этапа.

На первом этапе определяются нормы сбора и заготовки водорослей-производителей БАВ, включая цели и задачи по дальнейшему получению индивидуальных и комплексных БАВ. Наиболее значимой на данном этапе является характеристика мест обитания водорослей по абиотическим факторам среды с выявлением наиболее значимых факторов. Так, на основании литературных данных известно, что чем выше соленость воды, тем больше в ней

в соответствии с целевыми БАВ. Выбор способа заготовки водорослей (сушка, замораживание, фиксация) будет также определять возможность получения тех или иных БАВ. Например, при сушке сырья существенно меняется состав липидных экстрактов; получение индивидуальных полисахаридов рациональнее осуществлять из свежего или замороженного сырья.

На втором этапе для стандартизации водорослей как сырья необходимо изучить их физико-химические и технологические свойства, что позволит составить паспорт сырья, выявить критерии стандартизации по наибольшему содержанию целевых БАВ. Этот этап завершается разработкой нормативной документации на водорослевое сырье.

На следующем этапе проводится поиск рациональных приемов экстрагирования водорослевого сырья, обеспечивающих извлечение необходимого количества и спектра БАВ, изучение показателей стандартизации субстанций. Предлагаемая нами последовательность этапов комплексной переработки фукусов приводит к получению липидно-пигментных комплексов, маннита, полифенольных, аминокислотных и йодсодержащих комплексов, а также полисахаридов – фукоидана и альгиновой кислоты.

Заключительный этап – стандартизация комплексных препаратов и индивидуальных БАВ из водорослей с разработкой методов и выбором критериев стандартизации биопрепаратов. Главный результат этого этапа – получение стандартизованных активных субстанций, которые станут основой готовых лекарств, а также разработка комплекта нормативной документации, полностью их нормирующей. Конечной целью применения вышеуказанных подходов становится создание из водорослей лекарственных форм биопрепаратов на основе индивидуальных БАВ и их комплексов.

Заключение

Предложены методологические подходы к созданию биопрепаратов из БАВ фукусовых водорослей, основанные на комплексе физико-химических, химических, технологических и биофармацевтических исследований и реализованные при разработке конкретных биопрепаратов из фукусовых водорослей Баренцева моря. Предлагаемая методология включает четыре этапа, каждый из которых завершается получением промежуточного результата, обеспечивающего постановку задач для последующего этапа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Облучинская Е.Д. Технологии лекарственных и лечебно-профилактических средств из бурых водорослей / ред. акад. Г.Г. Матишов // Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2005. 164 с.
2. Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование бурых водорослей Баренцева моря // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, № 3. С. 377–342.
3. Клиндух М.П., Облучинская Е.Д. Сравнительное исследование химического состава бурых водорослей *Fucus vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* // Вестник МГТУ. 2013. Т. 16, № 3. С. 466–471.
4. Obluchinskaya E.D. Physical and chemical properties, anticoagulant and antioxidant activity of Fucus Dry Extract // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2012. Т. 10, № 2. С. 85М.
5. Облучинская Е.Д. Сухой экстракт фукуса, способ его получения и антикоагулянтная мазь на его основе. Патент РФ № 2506089 // Бюллетень Изобретений. 10.02.2014. № 4.
6. Облучинская Е.Д. Оптимизация состава и технологии капсул, содержащих сухой экстракт фукуса // Хим.-фарм. журн. 2009. Т. 43, № 6. С. 22–26.
7. Облучинская Е.Д. Способ комплексной переработки фукусовых водорослей (варианты). Патент РФ № 2337571 // Бюллетень Изобретений. 10.11.2008. № 31.
8. Хотимченко С.В. Липиды морских водорослей-макрофитов и трав: Структура, распределение, анализ. Владивосток: Дальнаука, 2003. 234 с.
9. Облучинская Е.Д. Влияние факторов внешней среды на содержание полисахаридов фукуса пузырчатого *Fucus vesiculosus* L. // Химия раст. сырья. 2011. № 3. С. 47–51.
10. Клиндух М.П., Облучинская Е.Д., Матишов Г.Г. Сезонные изменения содержания маннита и пролина в бурой водоросли *Fucus vesiculosus* (L.) Мурманского побережья Баренцева моря // Докл. РАН. 2011. Т. 441, № 1. С. 1–4.

Сведения об авторе

Облучинская Екатерина Дмитриевна – кандидат фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН;
e-mail: okaterine@yandex.ru

УДК 551.46(268.4)+574.4:504.05 +574.4:546.027

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ СРЕДЫ МОРЕЙ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА АРКТИКИ В УСЛОВИЯХ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОГЕННЫХ НАГРУЗОК

Г.В. Ильин, И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Исследован уровень загрязнения природной среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок. Арктические моря остаются относительно мало загрязненными. Очаги загрязнения в акватории морей и связанные с этим экологические риски определяется развитием хозяйственной деятельности на акватории и на территории водосборных бассейнов. Отмечено снижение радиоактивного загрязнения морской среды по сравнению с периодом неконтролируемой эмиссии 1960-х гг.

Ключевые слова:

трансграничный перенос, нефтепродукты, пестициды, радионуклиды, полиароматические углеводороды, парафины, тяжелые металлы, донные осадки, речной сток.



Введение

Потребность в ресурсах для экономичного развития приводит к возрастающему вовлечению арктических морских акваторий в сферу хозяйственного освоения. Климатические условия, наличие биологических и ископаемых ресурсов формируют спектр хозяйственного использования водоемов.

Интенсивное природопользование генерирует рост экологических рисков и техногенного загрязнения. На поступление и распределение загрязняющих веществ во многом влияют природные условия. Система североатлантических течений, атмосферная циркуляция, речной сток определяют трансграничный перенос загрязняющих веществ из Западной Европы и континентальной Азии в арктические морские бассейны. Импактное (очаговое) загрязнение арктических окраинных морей и связанные с этим экологические риски формируются эмитентами регионального и локального масштаба. Их активность зависит от хозяйственной деятельности на акватории морей и на территории водосборных бассейнов. В этом контексте следует упомянуть Новоземельский испытательный полигон ядерного оружия и захоронения радиоактивных отходов в Карском море. Норильский и Кольский горнопромышленные комплексы как региональные источники оказывают влияние на загрязнение морских воздушных масс и морской акватории. Перенос антропогенных аэрозолей в Арктику наиболее интенсивен в зимне-весенний период [1]. Каналы переноса и источники загрязнителей имеют различную значимость для каждого из морей (рис.).

Более всего изучена роль речного стока как источника поллютантов. Она адекватна объему стока и уровню промышленно-социального развития расположенных в водосборе хозяйственных центров. Наиболее опасными для экологии морей поллютантами, которые устойчиво циркулируют в компонентах морской среды, остаются пестициды группы ДДТ и ГХЦГ, полихлорированные бифенилы, нефтепродукты, полиароматические углеводороды (ПАУ), радионуклиды, тяжелые металлы. Но, по данным ММБИ за 2003–2013 гг., значимость речного стока как источника радионуклидов снизилась на порядок по сравнению с 1950–1990 годами [2, 3].

Изученность загрязненности арктических морей неодинакова. В большей степени исследованы хозяйственно освоенные бассейны – Баренцево и Белое моря.

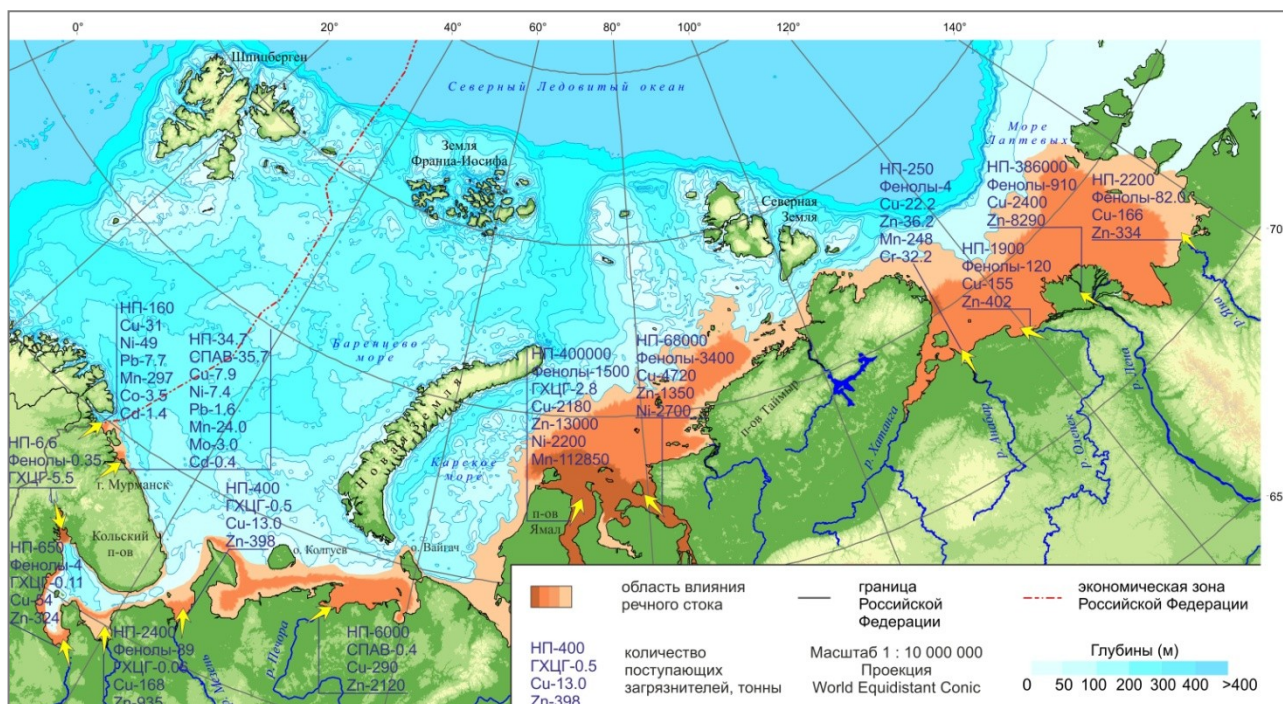


Рис. 1. Объемы выноса загрязняющих веществ с речным стоком и распространение в прибрежной зоне арктических морей

Материалы и методы

Материалом исследований формирования качества морской среды послужили данные, полученные ММБИ в экспедициях в разные годы последнего десятилетия, в том числе в рамках выполнения международных исследовательских проектов. Анализ собранных в экспедициях проб воды, донных отложений, приповерхностного слоя воздуха, определение концентрации компонентов химического и радионуклидного загрязнения выполнен в аттестованных лабораториях.

Результаты и их обсуждение

Баренцево море

Баренцево море имеет свободный водообмен с Норвежским и Гренландским морями. Система теплых атлантических течений формирует гидрофизическую и геоэкологическую ситуацию в южной части моря. Близость европейских промышленных центров определяет высокую значимость трансграничного океанического переноса поллютантов для баренцевоморской экосистемы. С северо-атлантическими водами в бассейн поступают тяжелые металлы, пестициды, нефтепродукты, радионуклиды. Важна роль атмосферного переноса загрязняющих веществ. В виде аэрозолей они приносятся с территорий Северной Европы и Кольского п-ова. Спектр тяжелых металлов, мигрирующих в атмосфере моря, пополняется из региональных источников аэрозолями Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, Cr и Hg, ПАУ. Эффект от их поступления возможен в полосе таяния дрейфующего льда, аккумулировавшего атмосферные выпадения в зимний период [4].

В прибрежных районах экологически значима адвекция поллютантов с водами Норвежского прибрежного течения и со стоками Мурманского промышленного узла через

Кольский и Мотовский заливы, губу Печенга. Месторождения руд на территории водосбора определяют повышенный геохимический фон меди, марганца, никеля, железа, алюминия в пресноводном стоке. В юго-восточной части бассейна (Печорское море) источниками загрязнения являются р. Печора и портово-хозяйственный комплекс «Варандей» [4, 5].

Загрязнение водной среды. К числу наиболее распространенных загрязнителей морской среды относятся нефтепродукты (НП) или нефтяные углеводороды. Их распространение происходит, главным образом, в поверхностном слое вод. Содержание НП в воде варьирует на разных участках акватории от 0 до 0.1 мг/л (2 ПДК). Их среднегодовое содержание составляет 0.01 мг/л [5, 6]. Неравномерность концентрации обусловлена, в большей степени, гидрологическими процессами – течениями и гидрофронтами.

В прибрежной зоне концентрации НП, превышающие ПДК (0.05 мг/л), отмечаются в обжитых бухтах, иногда в зонах прибрежных гидрофронтов. В воде Кольского и Мотовского заливов, губы Териберской в единичных случаях наблюдали концентрации выше 5 ПДК. В Печорском море через морские терминалы осуществляется круглогодичная перевалка нефти, добываемой на материковых месторождениях (терминал «Варандей») и Песчаноозерском месторождении (о. Колгуев). На акватории этого моря содержание НП меняется от 0 до 0.02 мг/л, но в локальных участках иногда повышается до 0.1 мг/л [4, 5].

Состав парафиновой группы углеводородов представлен соединениями от C_{10} до C_{30} . Их суммарное содержание – от 1 до 20 мкг/л. В локальных участках отмечается концентрация около 90 мкг/л. В структурном ряду парафинов преобладают короткоцепочные алканы C_{12} – C_{22} . Углеводороды растительного и бактериального происхождения (C_{20-25}) составляют 30–33%. В зоне побережья, особенно в водах Мотовского и Кольского заливов, преобладают легкие парафины нефтяного происхождения.

Суммарное содержание ПАУ в воде низкое (12–80 нг/л), а их композиционный состав беден. Рост концентрации происходит в прибрежных районах и у западной окраины моря. Повсеместно отмечены перилен, пирен, фенантрен, флуорен, флуорантен и бенз(b+k)флуорантен. По концентрации и частоте встречаемости доминируют перилен и бенз(b+k)флуорантен – индикаторы техногенных выбросов. Бенз(a)пирен и другие канцерогенные ПАУ наблюдаются эпизодически. В районах нефтегазовых структур содержание ПАУ в придонном слое воды растет до 260–330 гн/л [4, 6].

Несмотря на отдаленность Баренцева моря от сельскохозяйственных районов, в водной среде локально обнаруживаются пестициды. Распространены метаболиты ДДТ: *p'p'*-ДДЕ, *p'p'*-ДДД, *o'p'*-ДДД, *o'p'*-ДДТ, *p'p'*-ДДТ. Их суммарное количество (1.84–3.25 нг/л) ниже уровня ПДК. Повышение концентраций регистрируется эпизодически на участках фронтальных зон и в прибрежье Западного Мурмана. Соотношение метаболитов ДДТ/ДДЕ (≈ 2) характерно для малотрансформированного препарата. Очевидно, что ДДТ поступает в Баренцево море в основном с атлантическими водами и водами Норвежского прибрежного течения. В Печорском море концентрация ДДТ снижается до 0.05–0.5 нг/л [4, 5].

Другой распространенный комплексный пестицид – гексахлорциклогексан (ГХЦГ) – также распространен в южной части моря, но имеет более низкие концентрации. В составе ГХЦГ обнаруживаются α -, β -, γ - изомеры. Соотношение метаболитов смещено в сторону γ -изомера. По-видимому, с атлантическими водами периодически поступает препарат ГХЦГ недавнего применения. Отмечена тенденция снижения концентраций с 1.7 до 0.7 нг/л от западной периферии моря на восток, к мысу Святой Нос.

Полихлорированные бифенилы (ПХБ) – распространенный техногенный загрязнитель. По наблюдениям, эти соединения обнаруживаются на локальных участках акватории. Их содержание в воде намного ниже ПДК [7]. Вода Мотовского залива может содержать около 2.5 нг/л в поверхностном слое и около 1.2 нг/л – в придонном. Повышение концентраций до 4.5 нг/л отмечено во фронтальных зонах моря и в прибрежье. В придонном слое участков

открытого моря концентрация ПХБ не превышает 0.5 нг/л и увеличивается в прибрежной зоне до 0.7–0.9 нг/л. Загрязненность вод Печорского моря составляет 0.05–1.8 нг/л [4].

Ветви Северо-Атлантического течения служат основным каналом поступления радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в Баренцево море. Речной сток, атмосферные выпадения играют в настоящее время второстепенную роль в загрязнении водоема. В период с 1950 по 2009 гг. по указанным каналам в море поступило около $37.5 \cdot 10^3$ ТБк ^{137}Cs и $24.8 \cdot 10^3$ ТБк ^{90}Sr . Большая часть поступивших изотопов ($26 \cdot 10^3$ ТБк ^{137}Cs и $19.5 \cdot 10^3$ ТБк ^{90}Sr) выведена из бассейна в процессе водообмена через северные и восточные границы моря. Вынос и рассеяние радионуклидов, сокращение их эмиссии определили снижение концентрации и сглаживание различий в распределении. Современная активность ^{137}Cs в областях распространения атлантических вод: Рыбачья, Мурманская, Демидовская банки, Центральное плато варьирует от 0.4 до 2.5 Бк/м³, а активность ^{90}Sr – от 0.5 до 9 Бк/м³. В полярной водной массе на возвышенностях Персея и Центральной активности ^{137}Cs составляет 0.9–2.5 Бк/м³, ^{90}Sr – 1.8–6.5 Бк/м³.

Донные отложения. Морские донные отложения накапливают загрязняющие вещества (ЗВ), растворенные в водной среде и сорбированные взвесью. Неравномерность их накопления определяется гидродинамическим переносом и аккумуляцией осадочного материала. При изменении условий начинается обратный процесс – десорбция и поступление поллютантов в водную среду, так называемое «вторичное загрязнение».

Накопление нефтепродуктов в донных отложениях открытых районов Баренцева моря весьма мозаично, а их концентрация меняется в интервале от следовых величин до 80 мкг/г сухого осадка. Наиболее высокие концентрации отмечены в отложениях прибрежной зоны и Центрального желоба, где происходит аккумуляция тонкодисперсных фракций. Близ Кольского и Мотовского заливов концентрации НП повышены до 120–700 мкг/г.

Для оценки указанных величин в качестве нормирующего показателя приведем норматив агентства по контролю загрязнения Норвегии (SFT) – ориентировочно допустимую концентрацию (ОДК) НП в незагрязненных морских осадках, 50 мг/г сухого осадка [8].

Структурный состав парафинов в донных осадках шире, чем в водной среде. В области Мурманского мелководья для осадков характерно смешение углеводородов нефтяного и биогенного генезиса. Здесь доминируют две группы парафинов C_{12} – C_{17} и C_{18} – C_{24} (30% и 45% общей массы соответственно). Рост концентрации биогенных парафинов C_{20} – C_{21} и C_{25} – C_{26} обычно отмечается в период развития микроводорослей. Короткоцепочные соединения C_{10} – C_{14} нефтяного генезиса фрагментами обнаруживаются на всех участках дна, но более всего они распространены в отложениях Центрального желоба, что может быть вызвано элиминацией легких углеводородов из осадочного чехла [4].

Распределение ПАУ в донных осадках неравномерно. В южной и центральной частях моря их содержание составляет 20–400 нг/г сухого осадка. Для открытых районов моря характерно накопление ПАУ природного генезиса – хризена и фенантрена. Незначительную долю в композиционном составе на всех участках дна составляет группа типично нефтяных ПАУ – нафталины, антрацен, инден. Близ устья Кольского залива, в Мотовском заливе, в Варангер-фиорде концентрация ПАУ (до 150 нг/г) многократно ниже порога «загрязнения» по классификации SFT (выше 2 тыс. нг/г). Доминируют соединения нефтяного генезиса нафталин и флуорантен – индикаторы антропогенного пресса на прибрежную зону. Повышенное накопление происходит в отложениях Центрального желоба и губ с инфраструктурой портов. Осадки внутренней части губ Печенга, Ура, южного и среднего колен Кольского залива загрязнены больше, чем устьевые части заливов. На локальных участках губ содержание ПАУ временами повышается до уровня «слабого загрязнения».

Еще более высокое накопление ПАУ происходит в прибрежье Шпицбергена – до 7000 нг/г сухого осадка. В составе ПАУ преобладают пирогенные соединения: пирен, бенз- и дибенз-антрацены, флуорантен, и прочие, обладающие канцерогенными свойствами. Концентрация бенз(а)пирена – от 0 до 14 нг/г [4, 6].

В Печорском море концентрация ПАУ составляет 5–80 нг/г сухого осадка. На участках нефтегазовых структур доминируют нафталин (5–40 нг/г) и флуорантен (0.2–0.4 нг/г). Концентрация бенз(а)пирена в этом районе мала – 0.0–5.2 нг/г сухого осадка [4].

Накопление ПХБ в донных отложениях открытых районов моря составляет в среднем 0.3 нг/г сухого осадка. В 35 % проб эти соединения не были обнаружены. Повышение концентрации до 1.0–1.5 нг/г происходит в осадках Центрального желоба и в прибрежье – до 2.5 нг/г. Состав ПХБ в отложениях шире, чем в воде, представлен соединениями № 28, 31, 52, 101, 105, 118, 138, 153, 180. Основную массу образуют конгинеры № 52, 118, 138, 153.

В прибрежной зоне отмечен рост концентрации ПХБ в западном направлении. В осадках Варангер-фьорда концентрация загрязнителя местами возрастает до 4.0 нг/г. Повышенные концентрации (4–19 нг/г сухого осадка) наблюдали в осадках губы Печенга. В осадках Мотовского залива накапливается около 2.5 нг/г. В осадках Печорского моря концентрация ПХБ варьирует от 0.05 до 2.3 нг/г сухого осадка.

Накопление стойких хлорорганических пестицидов в баренцевоморских осадках также ниже ОДК для незагрязненных осадков (< 500 нг/г сухого осадка по SFT). Суммарная концентрация ДДТ варьирует от 0.4 до 15.8 нг/г, составляя в среднем 3.3 нг/г. Максимальные концентрации характерны для отложений Центрального желоба. Основную массу ДДТ (в среднем 55 %) составляет изомер *p'p'*-ДДТ. В осадках прибрежной зоны концентрация ДДТ понижена (0.5–1.5 нг/г сухого осадка) по сравнению с открытыми районами.

Концентрация ГХЦГ в осадках открытого моря изменяется от 1.5 до 5.2 нг/г, составляя в среднем 3.1 нг/г. Содержание γ -изомера ГХЦГ (линдана) превышает 50% общей суммы ГХЦГ. Максимум концентраций отмечен в осадках Мурманского мелководья. В Мотовском заливе суммарная концентрация ГХЦГ около 0.65 нг/г, доля линдана составляет 73% как результат инвазии препарата недавнего применения.

С водами теплых течений ксенобиотики распространяются в удаленные высокоширотные районы моря и обнаруживаются в осадках желобов Персея, Франца-Виктории, прибрежья ЗФИ, Шпицбергена, Новоземельской банки. Концентрация ДДТ и ГХЦГ меняется в разных районах от нуля до 7–8 нг/г сухого осадка. Неравномерное соотношение хлорорганических пестицидов на этих участках отражает изменчивое влияния океанографических факторов.

Тяжелые металлы, за исключением железа и марганца, не образуют в осадках высоких концентраций (табл. 1). Их относительное увеличение отмечено в глубоководном Центральном желобе. Для осадков Печорского моря характерны пониженные концентрации. Мозаичность их распределения зависит от доли пелитовой и алевроитовой фракций осадка.

В узкой прибрежной зоне, особенно в губах, медь, кобальт, цинк, никель и хром образуют второй максимум концентраций. Формирование этого максимума определяется материковым стоком и осаждением металлов в зоне смешения вод.

Содержание радиоизотопов в донных отложениях низкое: ^{137}Cs – 0.2–7 Бк/кг; ^{90}Sr – 0.1–2. Бк/кг сухого осадка. Вследствие сорбционной подвижности цезия его концентрация в осадках изменяется более динамично, чем концентрация ^{90}Sr . Между долей пелитовой фракции в осадке (размер зерен < 0.01 мм) и накоплением ^{137}Cs существует корреляционная связь [9]. Поэтому в отложениях желобов, накапливающих глинистые илы и служащих каналами распространения атлантических вод, количество ^{137}Cs повышено. В алевроито-илисто-песчаных осадках Центральной возвышенности, Персея и Центрального плато ^{137}Cs собирается до 0.8–2.9 Бк/кг сухого осадка. В Печорском море разнотернистые пески содержат 0.2–1.7 Бк/кг сухого осадка [2, 3].

Концентрация тяжелых металлов и микроэлементов в осадках Баренцева моря, мкг/г сухого осадка

Район локализации	Pb	Co	Cu	Ni	Cd	Fe*	Cr	Mn	Zn	As	Hg	Sn
Центральный желоб	7–18	1–5	12–35	20–50	0.0–0.3	38–60	32–54	160–470	70–85	7–67	0.03–0.07	1–7
Южная часть моря	2–18	1–3	10–20	18–31	0.0–0.10	14–30	18–38	151–280	40–70	2–24	0.0–0.07	0.7–3.0
Печорское море	1–6	0.4–1.5	3–8	1–3	0.0–0.1	–	1.4–4.0	21–115	4–10	0.4–1.2	0.01–0.02	0.0
Прибрежная зона и губы	5–10	3–30	4–80	12–24	0.0–0.15	9–17	18–57	128–240	26–150	1–15	0.03–0.10	1–4
ОДК ₀ **	<30	–	<35	<30	<0.25	–	<70	–	<150	<20	<0.15	–

* Концентрации железа приведены в мг/г сухого осадка.

**ОДК₀ – ориентировочно допустимые концентрации для незагрязненных осадков по SFT [8]

Баланс радионуклидов. В результате расчета годовых балансов радионуклидов их современное содержание в Баренцевом море оценено величинами $11.6 \cdot 10^3$ ТБк ^{137}Cs и $5.3 \cdot 10^3$ ТБк ^{90}Sr . Большая часть радиоизотопов поступает по системе течений через Норвежское море как следствие сбросов западноевропейских радиохимических заводов. Годовой приток ^{90}Sr с водами и взвешенным веществом превышает расход. Поступление ^{137}Cs было выше его выведения до 1980-х гг., в последние два десятилетия баланс отрицателен. Донные отложения депонируют в настоящее время около 447 ТБк ^{137}Cs и 75 ТБк ^{90}Sr .

В пищевую сеть вовлекается лишь незначительная часть изотопов. Их накопление морской биотой рассчитано как сумма активности ^{137}Cs и ^{90}Sr в компонентах пищевой сети. Суммарная активность ^{137}Cs составляет около 0.1 ТБк, а ^{90}Sr – 0.9 ТБк. Основная масса поглощенного ^{137}Cs заключена в зоопланктоне и бентосе. Рыбы накапливают ^{90}Sr в костных скелетах. Удельная активность ^{137}Cs в рыбе по данным 2010–2014 гг. не превышает 0.1 Бк/кг. Макрофиты прибрежной зоны моря содержат ^{137}Cs около 1.5 Бк/кг сухой массы.

Белое море

Распространение загрязняющих веществ в Белом море происходит, главным образом, со стоковыми течениями крупных рек (рис.). Через устьевые участки рек в прибрежную зону моря сбрасывается около 250.5 млн м³ сточных вод. Зонами аккумуляции поллютантов становятся Онежский, Двинской, Кандалакшский и Мезенский заливы, а также центральная глубоководная область моря – бассейн с замкнутой системой циркуляции вод. Сброс поверхностных и коммунальных стоков формирует в заливах устойчиво повышенный уровень концентраций железа и молибдена (до 2 ПДК), эпизодически – меди. Загрязняющие вещества частично выносятся в Печорское море.

Для Белого моря повышена роль атмосферного переноса загрязняющих веществ. Зимой система преобладающих ветров образует в Баренцево-Карском регионе циркуляцию циклонической направленности, при которой в район Белого моря затягиваются воздушные массы с Кольского п-ова и Северной Европы. Концентрация металлов (кроме меди) в атмосфере над Белым морем значительно выше, чем в Норвежском и Баренцевом морях [1].

Водная среда. Белое море, в отличие от Баренцева, принимает значительно больший объем материкового стока. Северная Двина служит наиболее значимым источником загрязняющих веществ. Вода в устьевых участках и взморье рек Северная Двина, Онега в среднем содержит около 0.04 мг/л нефтепродуктов. Меньшая загрязненность характерна для Мезенского залива – около 0.01 мг/л. Временами содержание НП в заливах может повышаться до двух ПДК.

В центральной части моря концентрация нефтяных углеводородов варьирует от 0 до 0.08 мг/л. Но эпизодически отмечаются повышенные концентрации [5].

Алифатические углеводороды в беломорской воде содержатся в меньшем количестве, чем в воде Баренцева моря – от 5 до 30 мкг/л. Парафины имеют преимущественно биогенное происхождение. В Двинском и Кандалакшском заливах, где концентрация алканов повышена, идентифицируются соединения нефтяного генезиса [10].

В составе растворенных в воде ПАУ обнаруживаются антрацен, бенз(а)пирен, бенз(б)флуорантен, фенантрен, пирен. Доминируют пирен и бенз(а)пирен, что является следствием выбросов аэрозолей промышленным узлом Архангельск–Новодинск [10].

Распространение пестицидов в воде Беломорского бассейна недостаточно исследовано, и по современным данным ограничивается прибрежной частью моря. Даже максимальные концентрации пестицидов, наблюдаемые в водной среде Белого моря, ниже уровня ПДК (10 нг/л). Их нахождение в бассейне обусловлено стоком Северной Двины. В Двинском заливе обнаруживаются пестициды группы ГХЦГ. Средняя и максимальная концентрация изомера α -ГХЦГ составляет 0.2 и 0.4 нг/л соответственно, а изомера γ -ГХЦГ – 0.4 и 0.8 нг/л. Пестициды группы ДДТ в воде регистрируются эпизодически [5].

Уровень концентрации тяжелых металлов в воде известен по исследованию Кандалакшского залива, в котором аккумулируется сток рек Кольского п-ова. Для вод залива характерно устойчивое превышение рыбохозяйственных норм (около 2 ПДК) по содержанию меди, молибдена и железа [5, 7].

Радиоактивное загрязнение вод Белого моря низкое. По данным ММБИ за 2011–2014 гг. среднее содержание ^{137}Cs составляет 1.2 Бк/м³, ^{90}Sr – 1.5 Бк/м³.

Донные отложения. Распределение нефтяных углеводородов в донных отложениях имеет сходство с их распределением в воде. Максимальные концентрации НП отмечаются в осадках Двинского и Кандалакшского заливов. Суммарное содержание нефтяных углеводородов варьирует от 4 до 33 мг/кг сухого осадка.

Концентрация парафинов в донных осадках изменяется от 0.8 до 12.5 мкг/г сухого осадка. Это соответствует их содержанию в незагрязненных арктических районах – в море Бофорта, Лаптевых и др. В Двинском и Кандалакшском заливах алканы имеют нефтяное происхождение. В устьевых частях заливов состав алканов представлен преимущественно терригенными соединениями, а центральной части моря – биогенными [10].

Суммарное содержание ПАУ варьирует в диапазоне 13–208 нг/г сухого осадка. Для осадков Белого моря характерны ПАУ пирогенного происхождения – бензфлуорантен, бензпирены, бензперилен, типичных для атмосферных выпадений промышленных центров. В глинистых осадках Двинского и Кандалакшского заливов повышено суммарное содержание ПАУ и бенз(а)пирена (10 нг/г сухого осадка). В то же время в осадках заливов значительна доля ПАУ типично терригенного происхождения – перилена и хризена. Концентрация терригенных ПАУ резко повышается в зонах разгрузки речного стока – в вершинных частях заливов. От центральной части моря (бассейна) к Горлу концентрация ПАУ снижается соответственно от 80 нг/г до 47, а далее, к устью Воронки – до 16 нг/г. И даже в южной прибрежной части моря накопление ПАУ (около 60 нг/г) ниже, чем в осадках депрессии бассейна. В целом, накопление ПАУ существенно ниже уровней, допустимых для незагрязненных осадков – < 300 мкг/г сухого осадка [8].

Уровень тяжелых металлов накопления низкий, мкг/л: Cu – 0.5–16; Pb – 1.9–63; Co – 0.7–19.9; Cr – 1.2–17.1; Ni – 1.6–34.1; Hg – 0.04–0.1; Ni – 30 сухого осадка. В отложениях Кандалакшского и Двинского заливов отмечено повышение концентрации тяжелых металлов по сравнению с осадками бассейна.

Средняя удельная активность радионуклидов в осадках Белого моря по наблюдениям ММБИ невысока, Бк/кг: ^{137}Cs – 3; ^{90}Sr – 0.4 сухой массы. Однако отмечены участки импактного загрязнения изотопами – Двинская губа, впадина Кандалакшского залива, Горло Белого моря.

На этих участках удельная активность ^{137}Cs повышена на порядок, до 22–31 Бк/кг сухой массы, что связано с поступлением радионуклидов от местных источников [9].

Карское море

Загрязняющие вещества в Карское море поступают с обильным стоком рек, обладающих обширными хозяйственно освоенными водосборными бассейнами. Речные воды участвуют в формировании устойчивой системы ветровых и плотностных течений в морском бассейне, образуя ветви Обь–Енисейского и Западно-Таймырского течений. Летом воды поверхностного стока проникают далеко в море (рис.). Реками Обь, Надым, Таз, Енисей в Карское море переносится от 470 до 535 тыс. т нефти и нефтепродуктов; от 3 до 83.5 т ГХЦГ (α - и γ -изомеры); около 9.5 т ДДТ и ДДЕ, соли тяжелых металлов и фенолы. С материковым стоком поступает около 1 % ^{137}Cs и 4.7 % ^{90}Sr [1, 2].

Водообмен с Баренцевым морем – источник загрязняющих веществ в локальных участках проникновения этих вод в Карское море. Источником поллютантов служит также поток атлантических вод по желобам Святой Анны и Воронина. В районе их распространения отмечены повышенные концентрации нефтяных углеводородов и ПАУ. Через новоземельские проливы осуществляется трансграничный перенос приблизительно 64 % ^{137}Cs и 47 % ^{90}Sr поступающих в Карское море радионуклидов.

В зимний период Норильский ГМК воздействует на воздушную среду Карского моря вплоть до высокоширотных районов благодаря господству северных ветров. В спектре загрязнителей присутствуют Pb, Ni, Cu, Cr, Hg, Cd, Co, Mn, хлорорганические пестициды – ГХЦГ и ДДТ. Некоторые поллютанты содержатся в аэрозолях в большей концентрации, чем в Печорском море. В частности, это пестициды, хром, кадмий, кобальт, марганец. Влияние золотого переноса определяет и загрязненность ледового покрова прибрежных участков.

Воздействие атмосферных выпадений ^{137}Cs и ^{90}Sr на современное радиоактивное загрязнение Карского моря незначительно.

Водная среда. Основной поток нефтепродуктов поступает со стоками Оби и Енисея. Распределение нефтепродуктов на акватории неравномерно. Их концентрация варьирует от 0.00 до 0.04 мг/л, а в среднем составляет 0.02 мг/л, т.е. ниже уровня ПДК.

В воде регистрируется относительно широкий спектр ПАУ, их средняя суммарная концентрация около 115 нг/л. В комплексе ПАУ преобладают нафталины (27 %) – типично нефтяные соединения. Пирен, флуорантен и алкилзамещенные ПАУ пирогенного генезиса составляют лишь около 2 %. Доля ПАУ естественного геохимического фона (фенантрен) в среднем около 15 %. Оставшаяся часть ПАУ представлена техногенными полиаренами. Доля бенз(а)пирена в воде ниже 1 % от суммарного количества ПАУ. Общее содержание ПАУ в воде Карского моря ниже, чем в прибрежной зоне Баренцева моря, а их качественный состав практически такой же, хотя водоем и удален от крупных промышленных центров. Основное поступление ПАУ в бассейн обеспечивается, по-видимому, поверхностным стоком с территории водосбора и атмосферными выпадениями.

Хлорорганические пестициды групп ДДТ и ГХЦГ обнаруживаются лишь в очень небольших количествах в верхнем слое воды. Содержание метаболитов ДДТ составляет около 1 нг/л, на порядок ниже уровня ПДК. В группе ГХЦГ преобладает изомер α -ГХЦГ – 0.4 нг/л. Изомер γ -ГХЦГ содержится в количестве около 0.3 нг/л. По соотношению метаболитов ($\text{ДДТ/ДДЕ} < 1$; $\alpha\text{-ГХЦГ}/\gamma\text{-ГХЦГ} < 1$) видно, что пестициды поступают в бассейн уже в метаморфизированном виде по отношению к исходным техническим препаратам. Средняя концентрация семи основных («голландских») конгинеров ПХБ составила 1.0 нг/л.

Концентрация тяжелых металлов в верхнем слое воды Карского моря ниже ПДК для рыбохозяйственных водоемов (табл. 2) и ниже, чем в водах Баренцева моря [5, 7]. Тем самым подчеркивается роль геохимии водосборных территорий и водообмена с Баренцевым морем.

Диапазон активности ^{137}Cs относительно узок, от следовой активности ($\text{мда} < 1 \text{ Бк/м}^3$) до 2.5 Бк/м^3 . Повышенные концентрации ^{137}Cs (до 2.5 Бк/м^3) наблюдали в водах Восточно-Новоземельского желоба, что вызвано особенностями океанографического режима – адвекцией вод из Баренцева моря через пролив Югорский Шар, материковым стоком с побережья Новой Земли. Низкая активность ^{137}Cs (до $0.8\text{--}1.7 \text{ Бк/м}^3$) характерна для мелководных участков центральной части моря и Обь-Енисейского мелководья.

Диапазон активности ^{90}Sr варьирует в интервале $1\text{--}15 \text{ Бк/м}^3$. Повышенные концентрации радионуклида отмечены в мелководных частях моря, подверженных воздействию стока Оби и Енисея. В водах Восточно-Новоземельского желоба, как и у северо-восточной границы моря, активность изотопа, наоборот, понижена – $1.5\text{--}3.5 \text{ Бк/м}^3$.

Таблица 2

Концентрация тяжелых металлов в поверхностном слое воды Карского моря, мкг/л

Металл	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cd	Sn
Средняя концентрация	1.9	1.7	0.82	0.14	0.5	0.1	0.13	0.14
ПДК	50	50	5	10	10	10	10	112

Многолетний ряд наблюдений позволил выявить тенденции к снижению концентраций цезия-137 и стронция-90 в воде Карского моря, которые описываются экспоненциальными кривыми:

$$y = 12.116e^{-0.0735x}, R^2 = 0.6465 \text{ (для } ^{137}\text{Cs)};$$

$$y = 20.119e^{-0.0394x}, R^2 = 0.5327 \text{ (для } ^{90}\text{Sr)},$$

где x – количество лет, прошедших после максимума загрязнения.

Период уменьшения объемной активности ^{137}Cs в воде в 2 раза происходит за 9.5 лет, ^{90}Sr – за 17.5 лет. Для сравнения: в Баренцевом море эти показатели составляют 6 и 12 лет соответственно [3].

Донные отложения. В донных отложениях южной части моря уровень накопления нефтепродуктов изменяется от 6.5 до 8 мкг/г сухого осадка. Их средняя концентрация составляет 7.5 мкг/г сухого осадка. Такой низкий уровень соответствует наиболее «чистым» участкам Баренцева моря.

Накопление парафинов в осадках Карского моря существенно выше, чем в осадках различных зон Баренцева моря. Распределение парафинов в осадках мало зависит от их литотипа и в большей степени определяется потоками атлантических и речных вод. Для осадков прибрежных мелководий характерна наиболее низкая концентрация парафинов – от 150 до 400 нг/г сухого осадка. Доминируют соединения преимущественно биогенного происхождения, входящие в состав липидов планктонных организмов ($\text{C}_{15}\text{--}\text{C}_{19}$) и восков наземных растений ($\text{C}_{23}\text{--}\text{C}_{29}$). Гидродинамика этой области обусловлена распространением прибрежных и смешанных вод Восточно-Новоземельского и Обско-Енисейского течений. В осадках северо-западной периферии моря уровень накопления парафинов выше – 500–800 нг/г. Гидрологический режим этой части определяется поступлением вод из Баренцева моря и Арктического бассейна. Повышенная концентрация короткоцепочных, типично нефтяных парафинов $\text{C}_{12}\text{--}\text{C}_{14}$ отмечена во фронтальной области атлантических вод, поступающих из пролива Святой Анны, что может быть следом антропогенного загрязнения атлантических вод нефтепродуктами. Осадки центральной части моря, которая включает нефтегазоносные структуры: Русановскую, Ленинградскую и Обручевскую, выделяются максимальным содержанием парафинов – 1–7 тыс. нг/г. Резкие отклонения концентраций в районе нефтяных месторождений обусловлены природными эпигенетическими процессами – миграционным потоком углеводородов из недр осадочного чехла. Преобладают парафины $\text{C}_{20}\text{--}\text{C}_{26}$, компоненты метаморфизации органического вещества.

Распределение ПАУ в осадках неравномерно – от 6 до 90 нг/г сухого осадка. Выделяются два участка повышенного содержания, которые локализованы в области устья части Оби и в прибрежье о. Вайгач. На большей части морской акватории доминируют антрацен и флуорантен – полиарены преимущественно антропогенного генезиса. Типично нефтяные биядерные ПАУ – нафталин и его метиллированные гомологи, обнаруживаются на всей акватории моря. Суммарное содержание нафталинов около 10% ΣПАУ. Высокий уровень их накопления (до 48 %) характерен для ареалов смешения Обь–Енисейского стока с морскими водами. Распределение бенз(а)пирена (0.0–2.4 нг/г сухого осадка) в отложениях Карского моря в целом совпадает с закономерностями о распределения ΣПАУ [6].

Хлорорганические соединения содержатся в очень малых количествах в осадках южной части моря. Суммарная концентрация соединений ГХЦГ составляет от 0.25 до 1.0 нг/г сухого осадка (среднее содержание 0.5 нг/г). Пространственная изменчивость концентраций ДДТ незначительна – от 0.3 до 0.6 нг/г. Средняя суммарная концентрация ДДТ – 0.4 нг/г. Гексахлорбензолы накапливаются в осадках в концентрациях 0.1–0.4 нг/г сухого осадка. В целом уровень накопления пестицидов ниже, чем в осадках Баренцева моря и много ниже ориентировочного уровня для незагрязненных осадков (< 500 нг/г по SFT).

В композиционном составе ПХБ обнаруживается до 15 конгинеров, их суммарная концентрация изменяется от 2.7 до 4.2 нг/г сухого осадка. Наиболее широко распространены конгинеры № 28, 31, 52, 101, 105, 118, 138, 153. Накопление ПХБ в южной части моря определяется влиянием речного стока [5].

Также влиянием поверхностного стока определяется накопление тяжелых металлов. В южной части моря отмечено повышенное накопление меди, никеля, кадмия, олова и мышьяка, что может быть связано с особенностями геохимического фона водосборного бассейна и воздействием Норильского ГМК (табл. 3) [5].

Таблица 3

Концентрация тяжелых металлов и микроэлементов в поверхностном слое донных отложений Карского моря, мкг/г сухого осадка

Металл	Mn	Zn	Cu	Ni	Pb	Co	Cd	Sn	Cr	Hg	As
Средняя концентрация	214	28.3	36.2	34.7	14.2	5.37	0.18	33.5	12.6	0.001	18.7
ОДК ₀	---	<150	<35	<30	<30	---	<0.25	---	<70	<0.15	<20

Удельная активность ¹³⁷Cs в донных отложениях варьируется на участках дна от следовых значений до 12 Бк/кг. Неравномерность распределения обусловлена главным образом морфологией дна, а, следовательно, гидродинамикой и литотипом осадков. Донные отложения в районе Восточно-Новоземельского желоба представлены в основном глинисто-илистыми отложениями с примесью песка. Для этих осадков характерны участки повышенной активности ¹³⁷Cs – до 12 Бк/кг сухого осадка. На мелководных участках моря концентрация ¹³⁷Cs ниже минимально детектируемой активности (МДА < 1 Бк/кг). Гидродинамический режим придонных вод создает условия интенсивного промывания осадков на мелководье и низкий уровень накопления радионуклидов в промытых песчаных осадках. Лишь на локальных участках регистрируется активность до 5 Бк/кг.

Удельная активность ⁹⁰Sr в донных отложениях ниже, чем в водной среде, что вызвано низкой сорбционной способностью радионуклида. В основном он остается в водной фазе и слабо накапливается взвесью. Поэтому даже в зоне смешения речных и морских вод, в так называемой зоне маргинального фильтра, не происходит накопление ⁹⁰Sr.

Анализ многолетней динамики среднегодовой активности изотопов цезия и стронция в донных отложениях Карского моря выявил, что за прошедшие тридцать лет произошло снижение концентраций ^{90}Sr в 3 раза, ^{137}Cs почти в 5 раз.

Море Лаптевых

Источники загрязнения этого водоема изучены мало. Основным из них следует считать сток р. Лена. Относительно крупный промышленный источник поллютантов в бассейне – порт Тикси. Характерные загрязняющие вещества – нефтепродукты, фенолы, соединения железа, меди и свинца. Среднегодовая концентрация большинства загрязняющих веществ в реках не превышает 1–3 ПДК. Вынос нефтепродуктов в прибрежье отдельными реками варьируется, а в целом может достигать 390 тыс. т. Более 98 % этого количества попадает в море с водами р. Лена (рис.) [5].

Водная среда. Среднее содержание нефтепродуктов в водах моря Лаптевых не превышает 0.04 мг/л. Максимальные концентрации нефтепродуктов наблюдаются в воде губы Буор-Хая в районе п. Тикси – до 0.08 мг/л – около 1.5 ПДК.

Концентрация пестицидов много ниже ПДК. Сток хлорорганических пестицидов с речными водами не отмечен. Тем не менее, соединения ДДТ обнаруживаются в воде южной части моря – 0–1.3 нг/л; а соединения ГХЦГ – 0.03–2.05 нг/л. Повышенные концентрации свойственны прибрежным районам, устьям рек.

Радиоактивное загрязнение моря Лаптевых в современный период характеризуется как низкое. Среднее содержание ^{137}Cs в поверхностных водах по данным 2013 гг. составляет около 1.6 Бк/м³, ^{90}Sr – около 3.5 Бк/м³.

Донные отложения. Повышенной концентрацией нефтяных углеводородов и ПАУ в осадках выделяются приустьевые области, область материкового склона и подножия. Устьевые области рек формируют вдоль побережья обширную зону маргинального фильтра. По желобам, секущим материковый склон, «мутьевые потоки» переносят загрязненные шельфовые осадки к подножию и определяют ареалы повышенной концентрации нефтепродуктов и ПАУ на больших глубинах. В донных отложениях шельфовой части моря уровень накопления нефтепродуктов составляет от 10 до 180 мкг/г сухого осадка. Наиболее высокие концентрации нефтепродуктов отмечены в осадках губы Буор-Хая – до 180 мкг/г, и в Хатангском заливе – до 86 мкг/г [5]. Эти концентрации значительно выше, чем в других арктических морях и соответствуют хозяйственно развитым участкам побережья Баренцева моря. В мелководной части моря суммарная концентрация ПАУ варьирует в пределах 13–40 нг/г сухого осадка. Основу композиционного состава ПАУ составляют пирогенные полиарены и петрогенные арены, принесенные речным стоком. Максимальное содержание ПАУ локализовано в устьевой зоне р. Лена. В осадках глубоководной части моря общее содержание ароматических углеводородов варьирует от 1 до 66 мкг/г, но лишь в осадках материкового подножья у желобов концентрации ПАУ повышены.

В осадках устьевого взморья р. Лена образуются наиболее высокие концентрации тяжелых металлов. Содержание свинца может повышаться до 25.0 мкг/г сухого осадка; кадмия – до 2.1, меди – до 20.0, а цинка – до 220 мкг/г сухого осадка.

Концентрация ^{137}Cs в донных отложениях варьирует в диапазоне от следовой активности (МДА < 0.2 Бк/кг) до 5.7 Бк/кг сухой массы, ^{90}Sr – от 0.1 до 1.7.

Выводы

Современный уровень исследований не позволяет дифференцированно с балансовой точностью оценить роль трансграничного переноса и местных источников загрязняющих веществ в окраинных бассейнах Российской Арктики. Можно отметить снижение объемов загрязняющих веществ, поступающих по глобальной системе морских течений в направлении с запада на восток. Роль речного стока наиболее значима в морях Карском и Лаптевых, тогда как

в Баренцевом море, напротив, значительна роль морских течений в транспорте загрязнителей извне. В него попадает больше техногенных ЗВ, чем в другие моря Российской Арктики. Концентрация антропогенных загрязнителей происходит на участках фронтальных зон, включая локальные прибрежные и эстуарные гидрофронты, в понижениях донного рельефа, заливах и губах, аккумулирующих материковые и коммунальные стоки. Очаги импактного загрязнения в акватории морей и связанные с этим экологические риски определяются развитием хозяйственной деятельности на акватории и территории водосборных бассейнов.

Очевидна важная роль атмосферных выпадений как источника тяжелых металлов, стойких хлорорганических соединений, ПАУ. Максимальное поступление поллютантов в воздушную среду морей от региональных эмитентов происходит в зимний период. Развитие хозяйственной деятельности на акваториях и в водосборных бассейнах морей диктует необходимость расширения исследований экологического статуса арктических водоемов, мониторинга антропогенных и природных воздействий на экосистемы в изменяющихся климатических условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин Г.В., Голубева Н.И. Антропогенные нагрузки и риски химического загрязнения морской среды в Арктике // Морские экосистемы и сообщества в условиях современных климатических изменений. СПб.: Реноме, 2014. С. 50–76.
2. Многолетняя динамика радиоактивного загрязнения Баренцево-Карского региона (1960-2013 гг.) / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, И.С. Усягина, Н.Е. Касаткина // Докл. РАН. 2014. Т. 458, № 4. С. 473–479.
3. Усягина И.С. Распределение и пути миграций искусственных радионуклидов в экосистеме Баренцева моря: автореф. дис. ... геогр. наук, специальность 25.00.28. Мурманск. 22 с.
4. Ильин Г.В. Распространение загрязняющих веществ в шельфовых морях Российской Арктики // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М.: ГЕОС, 2009. Вып. 1. С. 124–163.
5. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2002 г. СПб.: Гидрометеиздат, 2005. С. 126.
6. Жилин А.Ю., Плотичина Н.Ф. Алифатические и полициклические ароматические углеводороды в донных осадках Медвежинско-Шпицбергенского района Баренцева моря // Проблемы морской палеоэкологии и биогеографии в эпоху глобальных изменений. Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген. М.: ГЕОС, 2009. Вып. 9. С. 248-256.
7. Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд. ВНИРО, 1999. 305 с.
8. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning / J. Molvaer, J. Knutsen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, J. Serensen // SFT Veiledning. 1997. Vol. 97, № 3. 36 p. (in Norwegian).
9. Искусственные радионуклиды в экосистеме / Д.Г. Матишов, Н.Е. Касаткина, И.С. Усягина, Е.В. Павельская // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2009. С. 313–332.
10. Немировская И.А. Углеводороды в экосистеме Белого моря // Океанология. 2005. Т. 45, № 5. С. 678–688.

Сведения об авторах

Ильин Геннадий Васильевич – к.г.н., зав. лабораторией океанографии и радиоэкологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: ilyin@mmbi.info

Усягина Ирина Сергеевна – к.г.н., старший научный сотрудник лаборатории океанографии и радиоэкологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: usjagina@mmbi.info

Касаткина Надежда Евгеньевна – к.х.н., ученый секретарь Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: kasatkina@mmbi.info

УДК 504.002

К ОБОСНОВАНИЮ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА МОРЕЙ ЗАПАДНОЙ АРКТИКИ

С.Л. Дженюк

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Обсуждаются состояние и перспективы развития системы океанологического мониторинга с позиций информационной концепции. Изложены требования к информационному обеспечению в различных отраслях морской деятельности, сформирован перечень индикаторов устойчивого развития больших морских экосистем Арктики. Сопоставлены возможности использования контактных и дистанционных данных для получения информации об океанологических параметрах. Даны рекомендации по организации системы мониторинга.

Ключевые слова:

мониторинг, Западная Арктика, морская среда, экосистема, индикатор, контактные методы, дистанционное зондирование.



Задачи организации комплексного океанологического мониторинга постоянно включаются в академические и федеральные научные программы, представлены в тематике научных конференций, рассматриваются в обзорах состояния окружающей среды. Тем не менее, целостная методология мониторинга до настоящего времени не разработана. Больше того, понимание мониторинга в определенной мере регрессирует. Свыше 20 лет назад были предложены научно-методические принципы, которые легли в основу Единой государственной системы экологического мониторинга и хорошо резюмируются в определении, данном авторами этой концепции [1]:

«экологический мониторинг представляет собой систему регламентированных наблюдений с запрограммированным пространственным, временным и компонентным разрешением, оценки и прогнозирования состояния природной среды и природных ресурсов, включая биотическую составляющую, а также антропогенного воздействия».

С точки зрения организации мониторинга ключевые требования здесь: разработка регламентов наблюдений, а также стандартизация их разрешения по объектам (или показателям состояния среды) в пространстве и во времени. Если требования первой группы, как правило, строго контролируются, то вторая – часто остается без внимания. Показательно, что в работе [2], близкой по постановке задач к теме представленной статьи, авторы приводят более примитивное определение: «мониторинг – комплексная система наблюдений за состоянием окружающей среды, оценки и прогноза изменений окружающей среды под воздействием природных и антропогенных факторов».

Из указанной формулировки выпали требования к пространственному, временному и покомпонентному разрешению, что представляется не случайным упущением, а существенным недостатком, обесценивающим многие результаты наблюдений. Это особенно важно для интерпретации дистанционных данных, которые запрограммированы не запросами на информацию, а параметрами космических аппаратов и их орбитального движения. Пользователи спутниковых данных вынуждены подстраиваться к потоку информации, неоднородной по освещаемым характеристикам, временным интервалам и пространственному усреднению. В значительной степени это относится и к усвоению данных судовых наблюдений.

Специализированное или попутное судно – платформа, предназначенная для сбора данных из разных тематических областей, не совпадающих по масштабам изменчивости. Так, например, сетки стандартных гидрологических разрезов разработаны исходя из требований к построению полей температуры воды и совсем не обязательно оптимальны для описания гидрохимических и гидробиологических параметров.

Подобные ограничения можно преодолеть с использованием информационной концепции мониторинга, основанной на вероятностной интерпретации мониторинговых данных [3, 4]. Предполагается, что для любого выделенного объекта мониторинга должна быть предварительно задана модель временного ряда, полученная по результатам ранее выполненных наблюдений, косвенных расчетов или экспертных оценок. В ходе мониторинга эта модель корректируется, вырабатываются дополнительные требования к методам и средствам наблюдений, пространственной и временной дискретности. Важно то, что в практике морской деятельности (как и любой другой) используются не собственно данные наблюдений, а результаты их интерпретации, хотя во многих случаях это делается интуитивно (наиболее очевидный пример – использование данных с определенным временным лагом, когда предполагается, что изменениями состояния объекта за время прохождения информации можно пренебречь).

Автором было предложено [3] определение мониторинга, ориентированное только на его информационные аспекты: «с позиций информационной концепции мониторинг окружающей среды представляет собой систему сбора, обработки, интерпретации и распространения данных, организованную в соответствии с запросами потребителей».

Здесь приоритет отводится спросу на мониторинговые данные, в отсутствие которого любая подсистема мониторинга полностью обесценивается. Запросы органов управления разного уровня и всех других потребителей информации определяют содержание информационных потоков и баз данных, а те, в свою очередь, зависят от требований к методам, средствам и организации наблюдений. Вместе с тем при таком подходе возникает противоречие между инерционностью действующих подсистем (что часто оправдывается необходимостью поддержания длительных рядов наблюдений) и меняющимися запросами практики.

В работе [3] выделены две основных области применения мониторинговых данных: 1) административное управление и хозяйственная деятельность; 2) экологическое и географическое образование. Очевидно, что коммерциализации поддается только первая из них. Во всех звеньях государственного управления в принципе должна быть доступна любая информация, полученная государственными службами мониторинга. На практике в этом мало заинтересованы обе стороны: службы мониторинга строго ограничивают свои функции конкретным заказом, а управленцы стремятся сократить все потоки информации, в том числе и океанологической, до минимально необходимых. Такой подход правомерен, если задача администратора сводится к «управлению по отклонениям»: предполагается, что управляемый объект и окружающая его среда должны оставаться в пределах нормы по определенному набору параметров (фазовому пространству), и реагировать необходимо только на случаи выхода за пределы фазового пространства. В этом случае научно-техническая продукция мониторинга (НТП) должна отвечать минимальным требованиям, общим для всех потребителей: быть компактной, наглядной и доступной для понимания. Такому требованию отвечают сведения об аномалиях гидрометеорологических показателей, соответствующие критериям опасных (ОЯ) и особо опасных (ООЯ) явлений, а также о концентрациях загрязняющих веществ, превышающих предельно допустимые (ПДК). Например, при мониторинге загрязнения морской среды практическую ценность имеют только данные об уровнях, близких к ПДК (акватории, удаленные от источников воздействия или, наоборот, с постоянной высокой нагрузкой, не требуют систематического контроля).

Из этих соображений мы рекомендовали экологическое зонирование морских акваторий с выделением чистых, загрязненных, находящихся под угрозой загрязнения и неосвещенных зон [5]. В качестве критерия выделения чистых зон предлагался показатель $X \leq (ПДК - \sigma_x)$,

где X – содержание приоритетного загрязняющего вещества, σ_x – стандартное отклонение, полученное по совокупности определений, выполненных в однородных гидрометеорологических условиях. Для X_n , нормированных на ПДК, более наглядным и столь же объективным представляется критерий $X_n \leq 0.7$. Высокие уровни загрязнения варьируют значительно сильнее, и для них целесообразно установить границу $X_n \geq 2.0$ ПДК (на практике этот подход уже реализован применительно к водоемам суши, но для них критерии высокого и экстремально высокого загрязнения намного выше – до 10 и 100 ПДК соответственно). Приведенный пример свидетельствует, что мониторинг, ориентированный на запросы органов управления, должен быть гибким: пространственно-временное разрешение необходимо варьировать в зависимости от степени воздействия объекта мониторинга на морскую деятельность. Такой подход не согласуется с организацией контактного океанологического мониторинга, которая предполагает жестко регламентированные сетки и дискретность наблюдений. Спутниковые данные для управления по отклонениям более информативны, так как позволяют выделять из потока разнородной информации объекты и процессы с аномальными состояниями (например, смещения кромки льда, распространение нефтяного загрязнения).

Принципиально другой подход к использованию НТП необходим для стратегического управления, при котором требуется не только контролировать текущее состояние объекта, но и программировать его изменения в желательном для общества направлении. К этой подгруппе потребителей относятся, помимо высших должностных лиц и их штабных подразделений, и общественные организации (национальные и международные), если они используют информацию для подготовки экологических сценариев и лоббирования законодательной деятельности или конкретных управленческих решений. Разработка стратегических документов тоже требует избирательного усвоения информации, но только на заключительном этапе. В ходе создания НТП первичные данные должны быть максимально доступны для любых видов обработки.

Использование НТП для принятия экономических решений, как правило, более конкретно, чем в сфере управления, и достаточно специфично в каждой отрасли народного хозяйства. Морской рыбный промысел использует в оперативных целях данные о метеоусловиях, температуре воды, ледяном покрове, показателях состояния промысловых популяций. Для стратегического планирования нужны еще сведения о морской экосистеме на всех ее трофических уровнях. В этой отрасли исторически сложилась автономная система океанологического мониторинга, в определенной мере альтернативная деятельности Росгидромета и академических институтов.

Для морского транспорта приоритетна оперативная информация, связанная с обеспечением безопасности мореплавания: данные о ветровом волнении, ледяном покрове, течениях, колебаниях уровня воды в прибрежных зонах. В стратегическом планировании востребованы главным образом данные о тенденциях изменений ледяного покрова, что всецело определяет возможности свободного или ледового плавания по Севморпути в разные сезоны. Это распространяется и на операции надводных судов ВМФ (обеспечение подводного плавания было и остается самостоятельной задачей, автономной от общегосударственной системы мониторинга).

Гидрометеорологическое обеспечение нефтегазодобычи на Арктическом шельфе сходно с обеспечением судоходства по набору параметров, но требует большей детализации в пространстве и времени. Повышенные требования предъявляются к экологическому сопровождению шельфовых проектов на всех этапах их реализации. Характерные для современной экономической ситуации переносы сроков реализации проектов приводят к тому, что ранее собранные климатические и экологические данные успевают устареть, и поэтому приоритетной задачей стратегического планирования становится прогноз изменений природного фона к моменту начала эксплуатации месторождения. Министерство природных ресурсов и нефтегазовые компании во многих случаях создают собственные

гидрометеорологические и инженерно-экологические подразделения, но значительную часть мониторинговых данных получают по договорам с другими службами.

Приведенные соображения достаточны для того, чтобы оценить трудность создания оптимальной системы мониторинга, в которой затраты каждого из операторов и потребителей должны приносить реальный эффект, поддающийся экономической оценке. При этом необходимо учитывать интересы ныне действующих учреждений и специалистов, для которых внедрение новых методов мониторинга может означать потерю поля деятельности и рабочих мест.

Ранее в публикациях были подробно рассмотрены требования к информационному обеспечению экологического мониторинга морей и прибрежных зон [3, 6], описанию больших морских экосистем (БМЭ) [5], экологическому сопровождению морского нефтегазового комплекса [7]. На этой основе был сформулирован перечень индикаторов устойчивого развития арктических БМЭ и требований к их получению, что совпадает с заданием набора требований к системе океанологического мониторинга (табл.). Как следует из этого перечня, основным средством мониторинга остаются контактные измерения (наземные береговые и судовые глубоководные). Данные дистанционного зондирования недостаточны для закрытия всех тематических областей, хотя по некоторым позициям стали приоритетными.

Индикаторы устойчивого развития арктических больших морских экосистем
и требования к их получению

Индикаторы	Средства наблюдений	Пространственно-временное разрешение
Метеорологические параметры прибрежной зоны (температура воздуха, осадки, скорость ветра)	Стандартные метеорологические	Репрезентативные морские гидрометеостанции с рядами наблюдений не менее 30 лет
Гидрофизические параметры водной толщи (температура и соленость воды, гидрооптические показатели)	Специализированные и попутные судовые измерения автономных буйковых станций (АБС), дистанционное зондирование поверхности моря	Представление данных по горизонтам и их осреднение по водной толще на репрезентативных разрезах
Скорость и направление течений	Измерения АБС	Эпюры течений на граничных разрезах морей и в репрезентативных точках (на фронтальных зонах, в струях постоянных течений)
Водообмен на границах БМЭ	Измерения АБС, гидрологические съемки на граничных разрезах (для расчетов динамическим методом)	Объемы переноса вод по всей толще и по выделенным слоям с годовым и помесечным осреднением
Ледяной покров (ледовитость, положение кромки льда и припая, скорость дрейфа, толщина льда)	Дистанционное зондирование, попутные судовые (включая телеметрические измерения толщины льда)	Интегральные показатели по морской акватории, ледообмен через границы БМЭ, показатели в репрезентативных точках с годовым и месячным осреднением)
Положение гидрологических фронтов	Дистанционное зондирование, специализированные и попутные судовые	Показатели сезонной динамики и межгодовой изменчивости

К обоснованию комплексной системы мониторинга морей Западной Арктики

Индикаторы	Средства наблюдений	Пространственно-временное разрешение
Поступление речного стока	Гидрологические измерения в замыкающих створах рек	Среднегодовые и помесячные данные
Гидрохимические показатели и концентрации загрязняющих веществ	Отбор проб и экспресс-анализы на судах, лазерная локация нефтяных пленок, измерения АБС	Сведения о естественных гидрохимических аномалиях и уровни антропогенного загрязнения с приоритетом ингредиентов и акваторий с уровнями от 0.7 до 2.0 ПДК
Источники и объемы сбросов в морскую среду	Дистанционные и судовые наблюдения	Интегральные данные по морским бассейнам с годовым осреднением
Первичная продукция и концентрация фитопланктона	Дистанционное зондирование, специализированные и попутные судовые наблюдения	Пространственные распределения в пределах БМЭ
Видовой состав и обилие зоопланктона	Специализированные судовые наблюдения	Интегральные показатели биоразнообразия, сезонная динамика пространственных распределений биомассы
Видовой состав и обилие бентоса	Специализированные судовые наблюдения, береговые сборы	Интегральные показатели биоразнообразия, сезонная динамика пространственных распределений биомассы
Численность популяций морских млекопитающих	Береговые и судовые визуальные учеты	Сезонная динамика пространственных и линейных (вдольбереговых) распределений численности
Численность популяций колониальных птиц	Авиационные, береговые и судовые визуальные учеты	Сезонная динамика пространственных и линейных (вдольбереговых) распределений численности
Данные промысловой статистики (запасы, квоты, выловы)	Специализированные траловые съемки	Сводные данные по рыбопромысловым районам, приведенные к границам БМЭ, с годовым и помесячным осреднением
Численность и динамика населения в прибрежных зонах	Текущий статистический учет	Показатели в границах регионов и населенных пунктах
Показатели морской деятельности (грузооборот портов, количество заходов судов, постановки шельфовых платформ)	Текущий статистический учет	Показатели по морским портам и обобщенные по морским акваториям в границах БМЭ
Наличие и количественные показатели ООПТ (в % от общей площади акваторий и длины побережий).		Интегральные показатели в границах БМЭ

Особенности совместной интерпретации контактных и дистанционных данных были изложены нами в общей постановке в работе [8]. Для каждого отдельно взятого показателя морской среды и биоты это требует самостоятельного анализа, во многих случаях на уровне полномасштабного исследовательского проекта. Так, в период 1970–1980-х гг., когда на Баренцевом море проводились регулярные авиасъемки температуры поверхности воды с использованием ИК-радиометров, выполнен цикл методических работ по сопоставлению результатов контактных и дистанционных измерений [9–11]. Устанавливались зависимости разности показаний судовых и авиационных ИК-радиометров от температуры поверхности моря, разности температур вода-воздух, скорости ветра, наличия нефтяной пленки. С прекращением авиационных съемок в начале 1990-х гг. результаты этих исследований утратили практическую значимость. Но и в период регулярных наблюдений она была не очевидна, поскольку для интерпретации авиационных наблюдений были необходимы сведения о метеорологических параметрах по всему маршруту съемки, что недостижимо при существующих средствах мониторинга. При этом авиационные съемки могут планироваться в зависимости от спроса на информацию, наличия параллельных контактных наблюдений и синоптической обстановки. В отличие от этого, спутниковые данные полностью запрограммированы орбитальными параметрами космического аппарата.

Применение средств дистанционного зондирования для мониторинга океанологического и ледового режима рассмотрено в обзорных работах [12, 13]. В работе [12] приведены данные о технических средствах и некоторых результатах спутниковых измерений температуры поверхности океана (ТПО), уровней и ветрового волнения. Проблемы вероятностной интерпретации здесь не затрагиваются, и авторы признают, что возможности совместного анализа дистанционных, контактных и расчетных данных крайне ограничены. Показательны в этом отношении сопоставительные картосхемы распределения температуры поверхности моря, полученные по данным судового STD-зондирования и спутниковых измерений в Карском море (рис. 1). По мнению авторов, положение фронтальных зон на полигонах хорошо согласовано, а расхождения в значениях ТПО лежат в пределах ошибки измерений спутника (0.3–0.5 °С). В отношении фронтальных зон вывод не очевиден, поскольку на рис. 1а можно видеть хорошо выраженное обострение градиента с широтным простиранием между 73 и 75° в.д., тогда как на рис. 1б градиентная зона выражена слабее и ориентирована скорее по меридиану. Значительно расходятся положения локальных максимумов и минимумов ТПО.

По-видимому, в данном случае и нельзя было рассчитывать на лучшее совпадение, поскольку поля ТПО, полученные двумя способами, не могут быть синхронными. Авторы не дали пояснений к спутниковой карте, которая либо получена одновременно (в этом случае можно и нужно указать срок наблюдения), либо синтезирована из нескольких снимков. Полигонная съемка с STD-зондированием на 24 станциях длится, по меньшей мере, порядка суток. Принимая во внимание инерционность температуры воды, можно говорить о правильном воспроизведении ее фоновых значений, но не о выявлении пространственных неоднородностей.

Как отмечают авторы [12], ИК-радиометры и микроволновые радиометры значительно различаются по пространственному разрешению, составляющему соответственно 1 и 50 км. Это означает, что микроволновое зондирование не обеспечивает приемлемого качества данных. Но и разрешение порядка 1 км недостаточно для освещения таких важных для практики акваторий, как, например, Кольский залив или губа Печенга в Баренцевом море. В таких масштабах результат съемки (относящийся к строго фиксированному времени на случайной фазе приливного цикла) требует корректной интерпретации. Возможные различия в подходах показаны на рис. 2. Если в области диаметром 1 км значение ТПО задано одним пикселем снимка, его можно понимать как постоянную величину в этой области (рис. 2а) или как распределенное по нормальному закону (рис. 2б), что более правдоподобно. Во втором случае часть области интегрирования в пределах доверительного интервала может оказаться на суше, что внесет погрешность в интегральную величину.

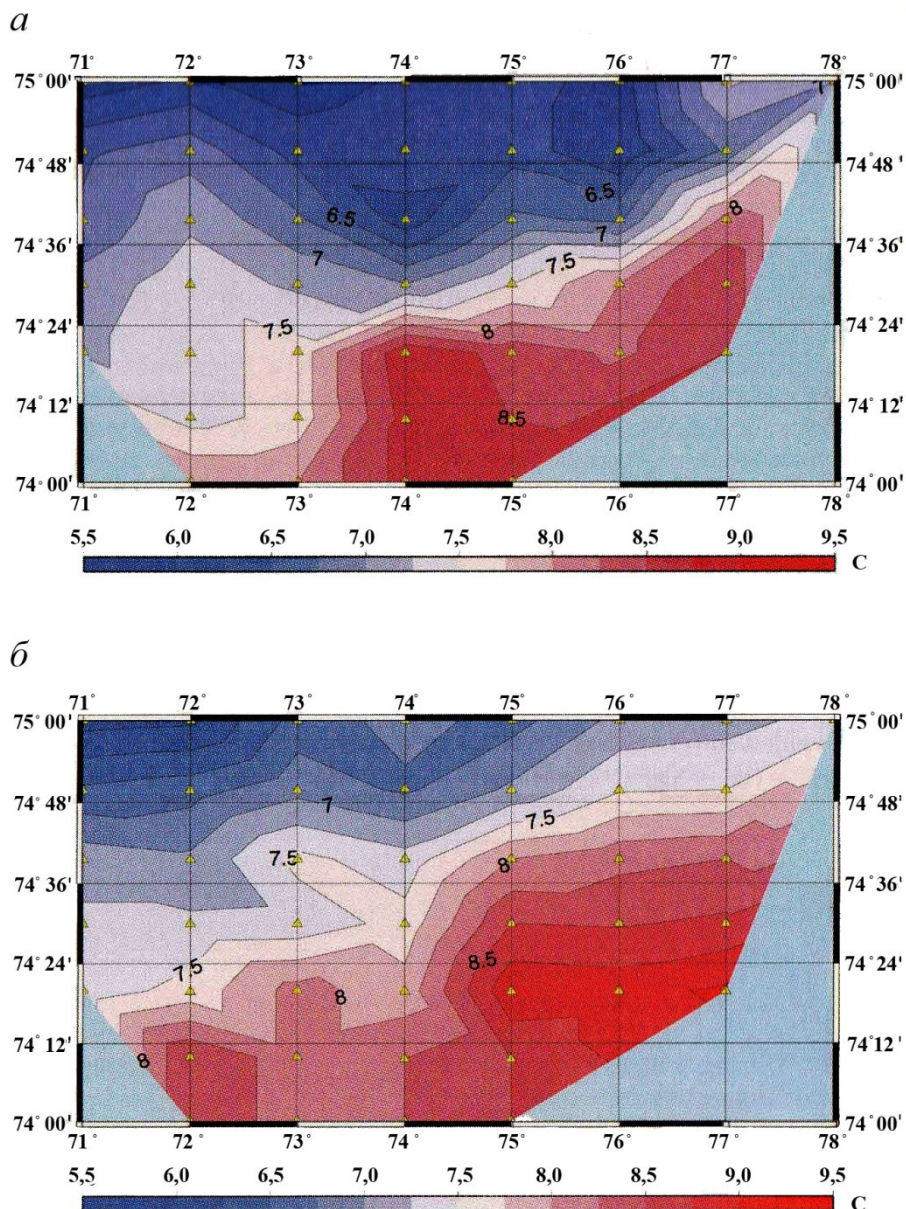


Рис. 1. Карты распределения ТПО на полигоне в Карском море (август 2008 года):
 а – по данным CTD-зондирования; б – по данным спутниковых измерений [12]

Другие виды дистанционных наблюдений также требуют вероятностной интерпретации. Спутниковая альтиметрия позволяет выявить аномалии среднего уровня относительно поверхности геоида, достигающие в арктических морях ± 20 м [12]. Измерения с сантиметровой точностью едва ли будут востребованы в практических целях, поскольку приливные и непериодические изменения уровня в открытых районах Баренцева моря оцениваются величинами порядка 1 м [14]. При обработке спутниковых треков эти колебания сглаживаются, а прослеживание хода уровня в реальном времени дистанционными средствами невозможно.

Мониторинг морского волнения проводится только для обеспечения безопасности мореплавания и других морских операций, включая разведку и освоение нефтегазовых месторождений на шельфе. В практике гидрометеорологического обеспечения он объединен с системами мониторинга и краткосрочного прогноза полей приземного давления и ветра.

Дистанционные данные в этих системах служат только дополнением к традиционному синоптическому анализу, основанному на наземных и попутных судовых наблюдениях, и в ближайшем будущем едва ли приобретут самостоятельное значение.

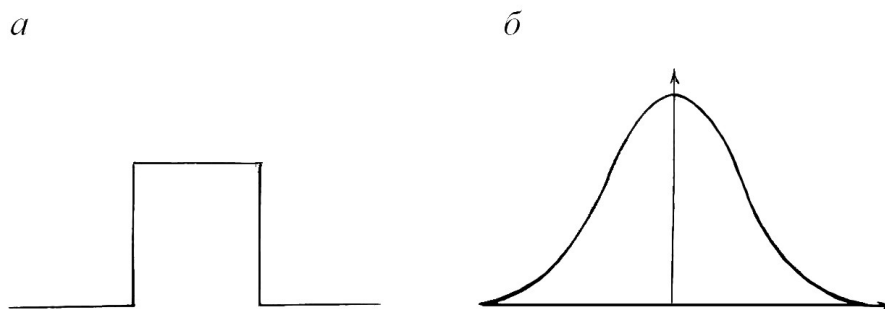


Рис. 2. Ступенчатое (а) и нормальное (б) распределение интенсивности сигнала в области пространственного разрешения

Информация о морском ледяном покрове Арктики используется в двух почти не перекрывающихся пространственно-временных диапазонах: обобщенные данные о многолетних изменениях площади и толщины льда на больших пространствах, необходимые для оценки климатических тенденций, и данные высокого разрешения о наборе параметров, влияющих на морские операции и тактику ледового плавания. В современных условиях климатические оценки получают главным образом по спутниковым наблюдениям. Они не полностью обеспечивают необходимую дискретность для выделенных участков акватории (сводные ледовые карты формируются по нескольким проходам орбиты), но достаточно объективны для прослеживания сезонных и межгодовых изменений. Сбор данных высокого разрешения входит в задачи мониторинга, который в широком смысле можно определить как производственный: сопровождение ледового плавания, обеспечение безопасности буровых платформ и подводных трубопроводов, наблюдение за состоянием «ледовых причалов». Обобщение таких данных за длительные периоды может быть полезным для изучения ледяного покрова как физического тела и не всегда эффективно при его изучении как географической среды. В условиях климатических изменений исчезновение льда на той или иной акватории полностью обесценивает ранее выполненные наблюдения, тогда как при его новом появлении следует ориентироваться на весь диапазон потенциально возможных параметров толщины, дрейфа, торосистости, геометрических и физико-механических характеристик льда.

В работе [13] в качестве основного метода дистанционного зондирования ледяного покрова рассматривается применение СВЧ-радиометров. Этот метод, в отличие от съемок в оптическом и ИК-диапазонах, может использоваться при любых условиях освещенности и облачности, что особенно важно для арктических морей в осенне-зимний период. Его главный недостаток – низкое пространственное разрешение, что затрудняет оценки сплоченности, дрейфа и геометрии ледовых образований. Как показано в [13], для всех таких оценок необходимо разрабатывать и верифицировать методы интерпретации данных, что требует проведения целенаправленных натуральных экспериментов. Практическая значимость этого научно-технического направления пока не доказана. Важным исключением является дистанционный мониторинг айсберговой опасности, который будет востребован при постановке стационарных буровых платформ в Штокмановском и других перспективных районах Арктического шельфа, близких к областям продуцирования айсбергов.

Таким образом, даже в хорошо проработанной гидрометеорологической подсистеме комплексного мониторинга арктических морей задачи совместного использования дистанционных и контактных данных решены только в самом грубом приближении. Другие тематические области морского мониторинга проработаны намного слабее их наземных аналогов. Информация о загрязнении морской среды за пределами прибрежных вод поступает только по отчетам морских экспедиций, которые проводятся по отраслевым и обычно несогласованным программам. Так же обстоит дело со сбором биологических данных, за исключением тех, которые используются непосредственно для обеспечения рыбного промысла. Практически нет примеров совместного анализа показателей состояния морской среды и данных экономической, демографической и медицинской статистики.

При планировании новых исследовательских проектов в области океанологического мониторинга необходимо предусматривать следующие этапы:

- 1) анализ спроса на научно-техническую продукцию мониторинга;
- 2) выбор объединенного по областям применения набора параметров, характеризующих морскую среду, с обязательным заданием требований к областям определения и пространственно-временного осреднения, допустимым погрешностям;
- 3) разработка требований к системе наблюдений по техническим средствам, дискретности во времени и пространственному разрешению;
- 4) проектирование информационной системы мониторинга, согласованной с действующими тематическими и отраслевыми подсистемами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Концепция системы экологического мониторинга России / В.А. Кимстач, Ш.Д. Фридман, Е.С. Дмитриев, Л.С. Язвин, Е.Я. Нейман // Метеорология и гидрология. 1992. №10. С. 5–18.
2. Ашик И.М., Фильчук К.В., Блошкина Е.В. Система мониторинга гидрометеорологического режима акватории арктических морей и Арктического бассейна СЛО // Состояние арктических морей и территорий в условиях изменения климата: тез. Всероссийской конф. с международным участием. Архангельск: ИД САФУ, 2014. С. 50–52.
3. Дженюк С.Л. Информационное обеспечение и интерпретация данных в системах комплексного экологического мониторинга // Проблемы и методы экологического мониторинга морей и прибрежных зон Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. С. 52–265.
4. Дженюк С.Л. Экологический мониторинг как информационная технология // Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. М.: Наука, 2005. С. 108–118.
5. Дженюк С.Л. Комплексное использование тематических данных для описания больших морских экосистем // Комплексные исследования больших морских экосистем. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 51–62.
6. Матишов Г.Г., Денисов В.В., Дженюк С.Л. Экологический мониторинг прибрежной зоны Баренцева и Карского морей // Известия АН. Сер. геогр. 1999. № 3. С. 69–76.
7. Дженюк С.Л. Методология информационного обеспечения морского экосистемного мониторинга // Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. Ростов-н/Д: ЮНЦ РАН, 2009. С. 367–387.
8. Дженюк С.Л. О совместном использовании данных дистанционного зондирования и контактных измерений в океанологии // Экология. Экономика. Информатика. Материалы конференции. Т. 2. Ростов н/Д: Изд. ЮФУ, 2013. С. 178–181.
9. Гирдюк Г.В., Зыкова Г.Г., Терзиев Ф.С. Определение температуры поверхностного слоя Баренцева моря по данным авиатермических съемок // Метеорология и гидрология. 1975. № 4. С. 109–112.
10. Гарбузов А.В. О расчете температуры поверхностного слоя моря по данным авиационных измерений // Тр. ААНИИ. 1983. Т. 385. С. 56–62.
11. Базлова Т.А., Гарбузов А.В. Об учете влияния атмосферы на результаты авиационных ИК-измерений температуры поверхности моря // Тр. ААНИИ. 1987. Т. 410. С. 59–66.
12. Возможности и перспективы мониторинга гидрологических условий Северного Ледовитого океана по данным спутниковых измерений / Е.В. Блошкина, А.К. Платонов, Н.А. Кусе-Тюз, В.И. Дымов, Т.А. Пасечник, В.В. Алексеев // Океанография и морской лед. М.: Paulsen, 2011. С. 34–49.
13. Возможности методов дистанционного зондирования, как надежного источника получения объективной информации о состоянии ледяного покрова морей полярных областей / В.Г. Смирнов, И.Е. Фролов, А.В. Бушуев, И.А. Бычкова, А.В. Григорьев, Н.Ю. Захваткина, В.С. Лоцилов, В.В. Степанов, Л.П. Болбылев, В.Ю. Александров // Океанография и морской лед. 2011. С. 50–69.
14. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Ф.С. Терзиева и др. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.

Сведения об авторе

Дженюк Сергей Львович – д.г.н., главный научный сотрудник Мурманского биологического института КНЦ РАН; e-mail: dzhenyuk@mmbi.info

УДК 211.98+ 268(45): 210.73: 502.35

МОРСКОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ В ЗАПАДНОМ СЕКТОРЕ АРКТИКИ: ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Г.Г. Матишов, В.В. Денисов, А.П. Жичкин

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Рассмотрена современная роль Баренцево-Карского арктического региона как многофункционального и перспективного центра морехозяйственной деятельности в Арктике. Подчеркнута важность и первостепенность роли морского регионального планирования (зонирования) в определении вектора стратегического развития обеих арктических морей. Используются современные региональные материалы в сфере морского природопользования, обозначены направления исследований в данной области в рамках концепции “больших морских экосистем”.

Ключевые слова:

Арктика, Баренцево море, Карское море, морское природопользование, морское пространственное планирование.



Введение

В системе морского природопользования западный сектор Арктики как наиболее хозяйственно освоенный регион многофункционального управления выделен в самостоятельную единицу управления и включает в себя акватории трех морей: Белого, Баренцева и Карского. С точки

зрения концепции больших морских экосистем (БМЭ) все три моря представляют собой самостоятельные экосистемные образования, однако лишь два из них – Баренцево и Карское – относятся к классу БМЭ. Внутреннее Белое море характеризуется относительно самостоятельным океанографическим режимом, однако в силу небольшого размера не отвечает критериям БМЭ.

Рассматриваемые моря существенно различаются по своим эколого-географическим характеристикам, причем не только в целом, но и по частям, что исторически обусловило в них развитие региональных видов природопользования. Здесь ведется стратегически важная деятельность (добыча ресурсов, мореплавание, транспортные перевозки, охрана границ и оборона). Объединяющей все три водоема чертой выступают грузовые перевозки по Северному морскому пути (СМП), роль которого возрастает в связи с деятельностью по вовлечению в отечественную и мировую экономику огромных нефтегазовых ресурсов арктического шельфа, п-ова Ямал и Тимано-Печорской низменности. Глобализация мировой экономики ведет также к объективному превращению национальной магистрали СМП в международный Евро-Азиатский трансконтинентальный транспортный коридор, который будет способствовать реализации естественных географических преимуществ России как связующего звена между Европейским Союзом (ЕС) и Азиатско-Тихоокеанским регионом (АТР) – двумя из трех крупнейших экономических образований современного мира. В пользу такого благоприятного «арктического» сценария развития мировой хозяйственной системы выступает широко признаваемая (хотя и недостаточно научно обоснованная с точки зрения необратимости)

концепция глобального потепления, которое должно со временем избавить хозяйствующие субъекты разных стран от негативного бремени тяжелых арктических льдов.

Очевидно, что независимо от динамики естественных природных условий уже через 15–20 лет человечество не сможет развиваться без разнообразных богатств Арктики, в первую очередь, топливных, что выдвигает на повестку дня проблему рационализации природопользования в этом специфическом регионе Земли.

В 5-модульной структуре типовой БМЭ два последних модуля охватывают социально-экономические и управленческие аспекты устойчивого развития морских бассейнов. Оба блока взаимосвязаны, а само их выделение отражает изменение взгляда на морское природопользование с потребительского на экосистемно-ориентированное. В основе такого подхода заложена простая мысль: без конструктивного внимания к сохранению устойчивости природной среды и биоты морей невозможно устойчивое социально-экономическое развитие, основанное на использовании ресурсов морских и прибрежных экосистем населением приарктических государств.

Практическая реализация такого сдвига в сознании природопользователей (далеко не завершено и противоречивого) влечет за собой уточнение самого понятия рационализации морского природопользования в Арктике. Главная задача при таком стратегическом управленческом переходе состоит, прежде всего, в укреплении политической воли государств и частных природопользователей к принятию экосистемно-ориентированных способов хозяйствования и использованию науки для определения пределов допустимого (в конкретных условиях) уровня вмешательства человека в функционирование арктических экосистем. Это вмешательство, как известно, включает в себя экстракцию компонентов природы (природных ресурсов), эмиссию продуктов антропогенной деятельности в морскую природную среду и отторжение (исключение) естественных участков территорий (акваторий, местообитаний и др.) от (из) природных эколого-географических пространств БМЭ.

Совмещение в единой целевой функции природопользования трех разнородных функциональных элементов (экстракции, эмиссии и оккупации) требует от политиков, администраторов и ученых интегрального анализа и прогноза состояния каждой конкретной БМЭ как объекта природопользования, и адекватных методов управления.

В качестве междисциплинарного комплекса рациональное природопользование и его проблемы занимают ключевое место в системе эколого-географических исследований. Их решение базируется на оценках экологического состояния морских водоемов, анализе процессов антропогенного загрязнения, проведения мониторинга, моделирования и прогнозирования экологической ситуации, но при этом не менее важно рассмотрение социально-экономических вопросов природопользования, выбор эколого-хозяйственных приоритетов и т.д.

В первом выпуске «Вестника Кольского научного центра РАН» отмечалось, что «успех для перехода на экосистемно-ориентированное управление морскими территориями (экорегionsами, БМЭ и т.д.) зависит в первую очередь от политической воли власти» [1].

За истекшие годы многое изменилось, в первую очередь в части внимания к Арктике. Достаточно напомнить такие основополагающие документы, как «Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу» (утверждены Президентом РФ 18 сентября 2008 г.) и «Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года» (утверждена Президентом РФ 20 февраля 2013 г.) [2, 3]. В этих утвержденных документах сбережение уникальных экологических систем отнесено к перечню первоочередных национальных интересов в Арктике.

В конце первого полугодия 2014 года (29 июня 2014 г.) Президент РФ Владимир Путин подписал перечень поручений по вопросу эффективного и безопасного освоения Арктики. В их числе значится, в частности, п. 3(в): «разработать пилотный проект комплексного управления природопользованием в арктических морях и реализовать его в российской части

Баренцева моря» (отв. Председатель Правительства РФ Д.А. Медведев, а конкретно – Минприроды РФ, Минэкономразвития РФ, Минрегион РФ, Минсельхоз РФ и Минфин РФ).

Из этого следует, что среди четырех главных задач комплексного управления природопользованием [1] первая – политическая воля власти – может считаться выполненной. Остальные три – экосистемные знания, законодательство и управленческие технологии – будут совершенствоваться по мере движения в нужном направлении. Эти предпосылки взаимосвязаны и составляют целый набор сложных проблем.

В рамках законотворческой деятельности в конце июня 2014 г. Минрегион РФ разработал проект Концепции Федерального закона «О морском планировании в Российской Федерации». Однако ликвидация этого министерства в сентябре 2014 г. и объективная сложность проблемы отодвинули сроки завершения этой работы на неопределенное время.

Согласно Морской доктрине РФ, администрирование в области формирования и реализации национальной морской политики заключается, в первую очередь, в перспективном планировании морской деятельности. В соответствии со Стратегией развития морской деятельности Российской Федерации на период до 2030 г., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2010 г. № 2205-р (далее – Стратегия), одной из стратегических целей развития морской деятельности Российской Федерации обозначен переход к комплексному подходу в планировании развития приморских территорий и прибрежных акваторий конкретных побережий страны путем выделения их в отдельный единый объект государственного управления [4].

Высокий и быстро растущий спрос на морское и прибрежное пространство (оккупация) для таких различных целей, как возобновляемые источники энергии, разведка и добыча нефти и газа, морское судоходство и рыболовство, сохранение экосистемы и биоразнообразия, добыча сырья, туризм, развитие аквакультуры, многочисленные и разнообразные нагрузки на прибрежные ресурсы, требуют комплексного (интегрального) планирования целевого использования морских акваторий для таких видов деятельности.

Комплексное морское природопользование в современном понимании основывается на необходимости и практической возможности решения двух основных задач: 1) обеспечение стратегически сбалансированного взгляда на все виды морской деятельности, при стремлении к реализации концепции устойчивого развития (баланс экономических, экологических и социальных целей); 2) использование экосистемного подхода к регулированию и управлению морской деятельностью путем сохранения у морских экосистем способности устойчиво противостоять антропогенному стрессу и эффективного поддержания таким образом всего набора экосистемных услуг.

До принятия Федерального закона «О морском планировании в Российской Федерации» реализация комплексного морского природопользования невозможна без выполнения общих задач текущего и будущего анализа, т.е. планирования и размежевания сегментов морского трехмерного пространства для достижения конкретных пользовательских целей морского природопользования, которые устанавливаются в ходе и по результатам морского пространственного планирования (МПП) как политического и технологического процесса [1].

В зависимости от рода и вида хозяйственной деятельности, осуществляемой человеком в море, и характера функциональной совместимости этих различных, порой диаметрально противоположных по эффекту антропогенных действий, можно сформулировать главные принципы морского зонирования (районирования).

Любое зонирование обусловлено двумя общими чертами: местоположением и воздействием, которое оказывает на конкретное место (территорию) вид рассматриваемой деятельности.

Рассмотрение и краткий анализ такого районирования и составило основную задачу данной работы.

Эколого-географические основы морского районирования в Арктике

В большинстве приморских государств зонирование выполняется в акваториях и для акваторий, в которых морехозяйственная деятельность имеет многофункциональный характер, и охрана окружающей среды входит в круг производственных функций как альтернативный вид рационального природопользования. Обобщив мировой опыт создания морских особо охраняемых территорий и их функционирования, исследователи пришли к выводу: вопросы использования и сохранения морской среды неразделимы. Режим морских особо охраняемых территорий должен учитывать необходимость как охраны морской среды (поддержание или восстановление биологического разнообразия), так и ее устойчивого использования.

Зарубежный опыт позволяет сделать три вывода, имеющих большое значение для Российской морской Арктики. Во-первых, нужна объективно существующая «теснота» в пространственном размещении многофункционального морского хозяйства. Без этого не появится острая потребность в упорядочении этой «тесноты». Во-вторых, нужен высокий научный уровень технологического и экологического развития государства, дающий возможность специалистам решать эту проблему наиболее эффективным способом, не мешая рациональному устойчивому развитию. В-третьих, требуется политическая воля лиц, принимающих решения, направлять действия уже названных значимых факторов в нужном направлении. В отсутствии всех трех факторов успех в области МПП, а значит, и зонирования окажется невозможным или имеющим перекося в ту или иную сторону (чрезмерная экономизация или чрезмерная экологизация).

Баренцево и Карское моря как один из ключевых европейских экорегионов требуют соответствующего экосистемно-ориентированного подхода к управлению, что существенно осложняет реализацию комплексного управления не только из-за сложных природных условий и сравнительно многофункциональной региональной морской экономики, но и существенного различия законодательных подходов к реализации методов Норвегии и России при зонировании Баренцева моря и отстаивании суверенных прав России на Севморпуть.

В Стратегии социально-экономического развития Мурманской области сказано, что «в силу особого значения приморских территорий и прибрежных акваторий для развития Мурманской области, специфики социально-экономических взаимодействий, связанной с приморским и приграничным положением, а также усиливающихся конфликтов между отдельными видами морской деятельности и отраслями регионального морехозяйственного комплекса, возможно выделение отдельного морехозяйственного макрорайона, состоящего из побережья Мурманской области» [5]. Его по праву можно назвать полифункциональным и крайне перспективным с точки зрения развития практически всех видов морской деятельности (рис. 1). Но в первую очередь это район сохранения биоразнообразия с приоритетом охраны природы (см. ниже). Важно подчеркнуть, что без долевого участия территорий в управлении прилегающими к своим сухопутным территориям участками побережья не только не удастся рационально разрешить аква-территориальные конфликты между Центром и приморскими субъектами РФ, но и правильно расставить финансовые приоритеты ограниченных местных бюджетов при социально-экономическом развитии прилегающих к конкретным субъектам РФ прибрежных зон.

Существует ряд проблем реализации комплексного плана природопользования в российском секторе юрисдикции.

Во-первых, аксиома акваториального планирования – это наличие конфликтов, как внутрисекторальных, так и межсекторальных. Без выявления этих конфликтов план зонирования (часть плана акваториального планирования) не нужен. В российском секторе Баренцева моря после приостановки реализации Штокмановского проекта главный потенциальный межотраслевой конфликт перешел в отложенную стадию потенциально возможного. С уходом на второй план главных противоречий между использованием водных живых ресурсов

и энергетических ресурсов остались внутрисекторальные конфликты, которые являются серьезными основаниями для морского (акваториального) планирования в рыболовстве. Например, не всегда они связаны с делением морского рыболовного пространства на зоны предпочтительного или исключительного использования. Нередко функциональное разделение рыбохозяйственного комплекса не зависит от территориальных предпочтений. Зачастую они экономически и технологически обусловлены, но в любом случае эксплуатация водных биоресурсов сопряжена с экологическими проблемами.

Во-вторых, согласование между двумя близкородственными видами деятельности – эксплуатацией и сохранением задает свои проблемы территориального планирования, являясь одной из существенных его сторон.

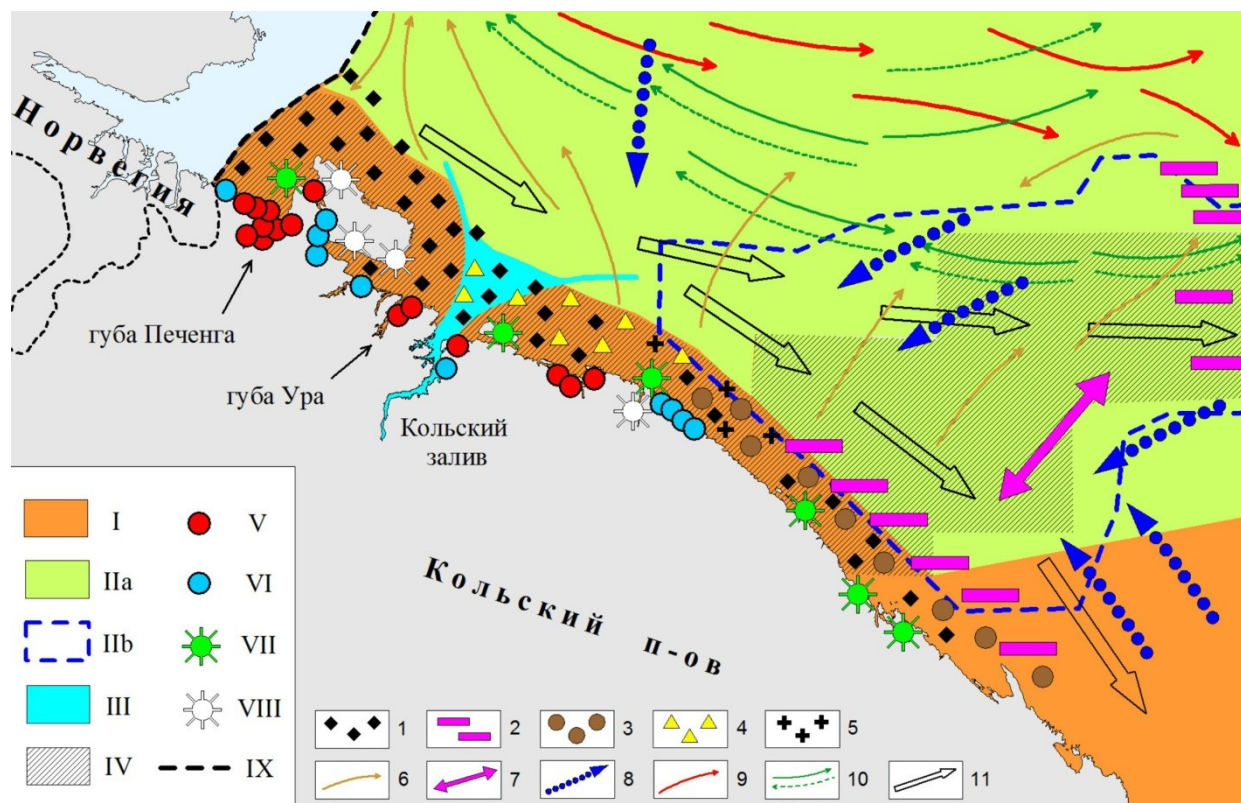


Рис. 1. Морехозяйственная деятельность в прибрежье Мурмана:

I – приоритетная зона (прибрежные зоны сохранения биоразнообразия и культивирования биоресурсов); II – рекомендуемые зоны (IIa – промышленное рыболовство; IIb – промышленный лов краба); III – зона особого назначения (Мурманский транспортный и военно-морской узел); IV – зона ведомственных ограничений (запрет рыбного промысла донными тралами в течение всего года); V – фермы аквакультуры; VI – РПУ (рыбопромысловые участки в губах и заливах); VII – действующие ООПТ; VIII – планируемые ООПТ; IX – линия разграничения морских пространств между Россией и Норвегией. Миграционные пути и нерестилища промысловых рыб: нерестилища, зимний период: 1 – мойва, 2 – полосатая зубатка; летний период: 3 – камбала, 4 – треска, 5 – сельдь. Миграции, зимний период: 6 – мойва, 7 – зубатка, 8 – камбала; летний период: 9 – треска, 10 – тикиа, 11 – лососевые

Кратко перечислим эти проблемы: сбор и картирование необходимой информации об океанографических, экологических и биологических факторах и процессах; картирование социальных ландшафтов, то есть связей между морской рыболовной деятельностью

и береговыми базами рыболовства; сбор информации об объектах и субъектах промысла; оценка перспектив (трендов) рыбопромысловой деятельности; определение пространственных и временных требований на новые виды рыбохозяйственной деятельности; определение возможных будущих альтернатив планируемой деятельности; выбор предпочтительных пространственных сценариев будущего использования водных биоресурсов (ВБР); определение доли охраняемых и эксплуатируемых пространств; инвентаризация возможных технологических и экологических мер эксплуатации ВБР и их консервация; разработка объединенной схемы пространственного зонирования использования ВБР в зависимости от рода, вида, размерно-возрастных стадий и других факторов биоразнообразия; согласование российских и международных правил использования ВБР, определение границ экосистемного описания и промысловой значимости ВБР; выявление противоречий между экосистемно-ориентированным управлением (международные аспекты) и суверенным законодательством в области управления ВБР [6].

С учетом изложенных принципов и многофункциональной экономики в Баренцевом и Карском морях предложено следующее районирование этого бассейна, основанное на экологической совместимости различных сегментов морского пространства (рис. 2).

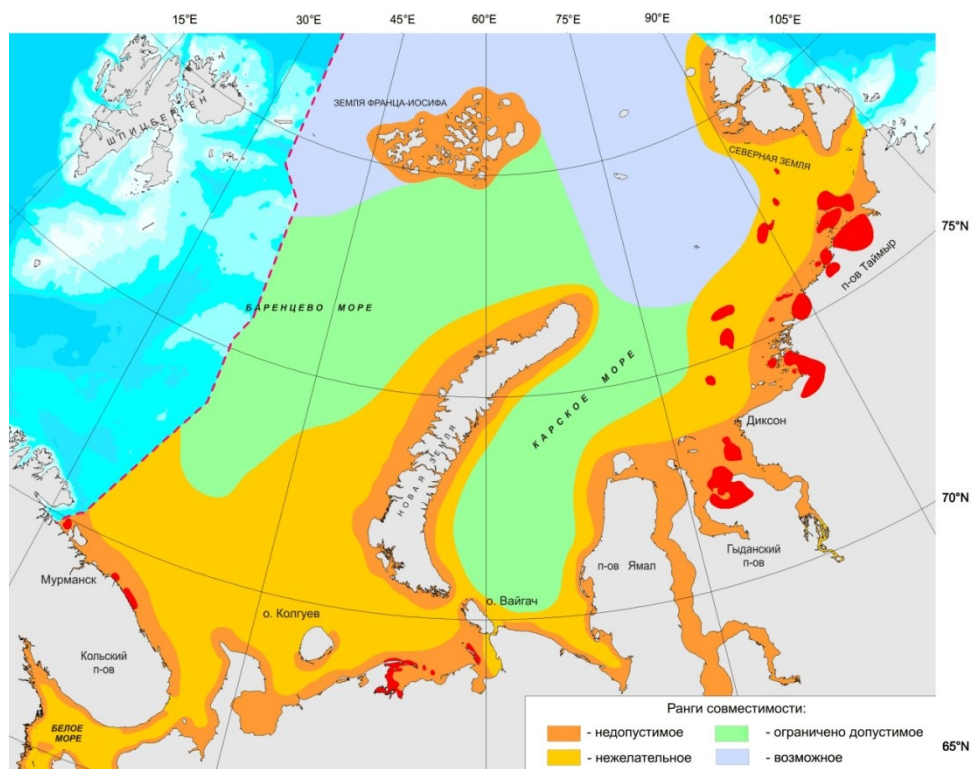


Рис. 2. Зональная структура Баренцево-Карского бассейна по степени совместимости направлений хозяйственной и природоохранной деятельности

С точки зрения консервативного (резерватного) типа природопользования область вдоль южной (материковой) части Баренцева и Карского морей в зоне пограничного эффекта «суша – море», а также в районе арктических архипелагов отнесена к зоне недопустимого совмещения хозяйственной и природоохранной деятельности. Это означает приоритетное сохранение биоразнообразия рыб, птиц и морских млекопитающих (оранжевый цвет), где в пределах ООПТ законодательно запрещена любая производственная деятельность. В пределах указанной области возможны разрывы, например, особая зона транспортного и военного функционирования. Но в главном – эта область несет природоохранные функции. К ней примыкает зона нежелательного совмещения (желтый цвет) биоресурсной и минерально-ресурсных видов

деятельности (промышленное рыболовство и освоение шельфовых запасов нефти и газа). Если сравнить рисунки 2 и 3, где показано территориальное распределение различных видов морехозяйственной деятельности, то можно видеть, что взаимодействие этих двух видов природопользования в некоторых прибрежных регионах рыбохозяйственного Баренцева моря выражено более ярко, чем в Карском, в южной части которого практически полностью отсутствует промышленное рыболовство. Они отнесены к ограниченно допустимому виду совместности природопользования (зеленый цвет). И, наконец, допустимая морская хозяйственная деятельность возможна в северных частях обоих морей за исключением вышеуказанных районов (зон). Такое разделение акватории Баренцево-Карского региона носит предварительный характер, но опирается на сегодняшние реалии.

Обязательным условием совместности всех видов морехозяйственной деятельности должна служить процедура проектных оценок воздействия на окружающую среду (ОВОС), а на этапе последующего развития конфликтных видов природопользования в регионе – процедура стратегической (региональной) экологической оценки. Особенно географически наглядно различные варианты степени допустимости морского природопользования показаны на рис. 3.

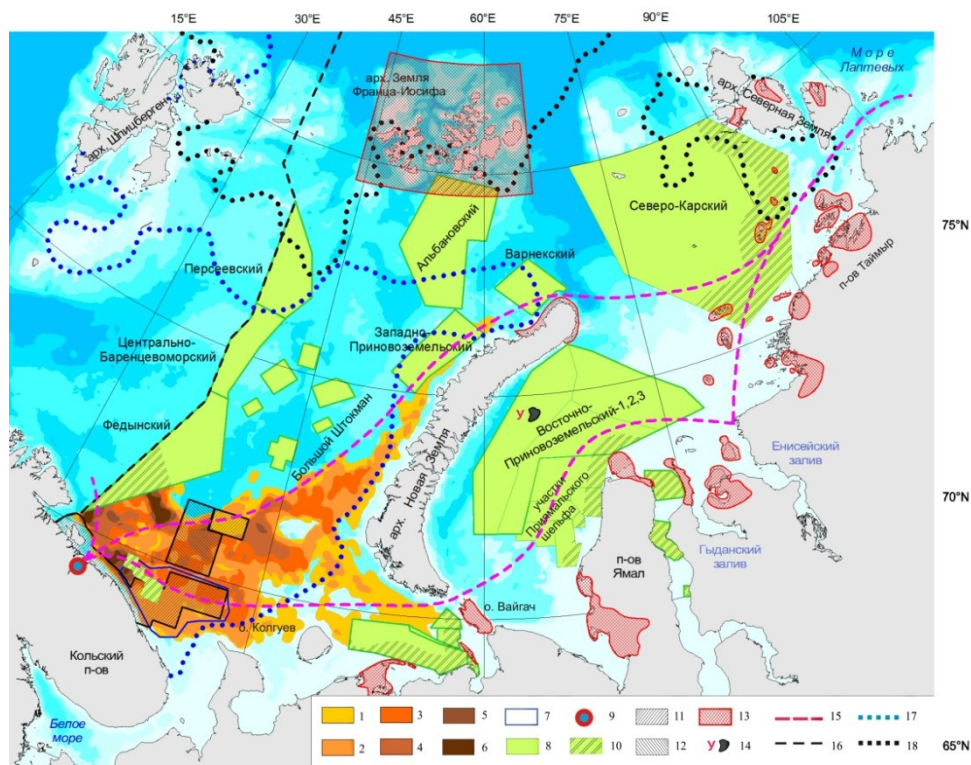


Рис. 3. Морехозяйственная деятельность в Баренцево-Карском регионе: промышленное рыболовство в течение: 1 – двух месяцев в году, 2 – 4 мес/год; 3 – 6 мес/год; 4 – 8 мес/год; 5 – 10 мес/году; 6 – 12 мес/год; 7 – промышленный лов краба, 8 – районы разведки и разработки шельфовых углеводородов, 9 – зона особого назначения (Мурманский транспортный и военно-морской узел), 10 – зоны межведомственных конфликтов, 11 – запрет рыбного промысла в течение всего года, 12 – сезонное ограничение рыбного промысла, 13 – действующие ООПТ, 14 – нефтяная структура «Университетская», 15 – судоходные трассы, 16 – линия разграничения морских пространств между Россией и Норвегией, 17 – максимальный ледяной покров в 2014 г. (март), 18 – минимальный ледяной покров в 2014 г. (сентябрь)

Планирование морской хозяйственной деятельности в Баренцево-Карском регионе исключительно сложно в силу разных объективных и субъективных причин. Многолетний опыт работы ММБИ по этим направлениям позволяет выделить на примере Баренцева-Карского региона следующие актуальные проблемы и пути их решения:

- в области эмиссии (загрязнение среды и биоты): реализация максимально безопасных технологий строительства и эксплуатации объектов нефтегазовой инфраструктуры; организация и поддержание в рабочем состоянии системы ликвидации аварийных разливов нефтяных углеводородов на скважинах, при танкерных перевозках и портовых погрузочно-разгрузочных операциях (особенно, в ледовых условиях); развитие технологий биологической очистки загрязненных акваторий и участков берегов; проведение масштабного (регионального) и локального экологического мониторинга с применением судов, буев и спутников; совершенствование методов экологической оценки последствий острого и хронического химического загрязнения ценных компонентов морских экосистем; создание корректной межведомственной методики оценки экологического ущерба экосистемам от загрязнения; реализация системы мер по минимизации выноса загрязняющих веществ в море речными водами; международное регулирование объемов атмосферных выбросов и дальних переносов поллютантов течениями;

- в области оккупации (территориальные конфликты): функциональное зонирование морских акваторий и берегов по видам природопользования; расширение сети морских охраняемых территорий (консервация сегментов дикой природы); развитие и внедрение методов интегрированного управления экосистемными ресурсами; внедрение планов управления ресурсами в среднесрочные и долгосрочные стратегии социально-экономического развития приморских субъектов Федерации и федеральных округов, разработка государственной стратегии морской деятельности Российской Федерации.

- в области экстракции (изъятие ресурсов, в первую очередь, биологических): совершенствование нормативно-правовой базы рыболовства, особенно в части прибрежного промысла; развитие методов экологической оценки общего допустимого улова (по объему и видовому составу изъятия); недопущение вылова молоди рыб; ограничение механического воздействия на донные биоценозы; расширение добычи нетрадиционных биоресурсов (выравнивание экосистемной нагрузки); разработка методов экологической оценки последствий конкуренции аборигенных и чужеродных видов биоты; реализация мер системного контроля ненормативных изъятий биоресурсов; проведение мониторинга здоровья экосистемы на основе индикаторов; развитие искусственного воспроизводства морских биоресурсов.

Заключение

Рост интегральной напряженности в арктическом морском природопользовании вытекает из конфликтов меж- и внутриведомственных интересов, порождает противоречия в использовании ресурсной базы (биоресурсов, ископаемых ресурсов и территориальных географических ресурсов). Высокая концентрация морских природопользователей и неразрешённость "приоритетов" для разных видов природопользования генерирует на определенных участках акватории повышенный риск нанесения ущерба не только природной среде – риск интегрального воздействия, но и материального ущерба всем природопользователям, оперирующим на данной акватории.

Большинство потенциально конфликтных видов природопользования априори заданы самой природой. Однако уровень научного понимания проблемы в рамках концепции больших морских экосистем позволяет самим природопользователям делать выбор, где, каким способом и какими технологическими приемами добиваться эколого-экономических целей.

Все эти проблемы различаются разномасштабной изменчивостью, подвержены объективным и субъективным рискам (от климатических до политических). В процессе их идентификации очень важно выделить постоянную и переменную составляющие. С общим

усложнением социогосударственных важность своевременного определения стратегических и тактических приоритетов в арктическом природопользовании будет только нарастать, что делает проблему рационального природопользования чрезвычайно значимой.

С позиций устойчивого развития важен следующий тезис: все виды современного природопользования должны считаться равноправными. Об этом свидетельствует современная оценка экосистемных услуг, то есть выгод, которые люди получают от сохранности экосистем. Эти выгоды представляют собой обеспечивающие, регулирующие и культурные услуги, которые прямо или косвенно влияют на эффективность деятельности людей [7]. Особенно наглядно они проявляются в сегодняшних приемах морского территориального планирования, где выбор оптимального вида хозяйственной деятельности позволяет найти "свое место" каждому из видов природопользования – будь то добыча минеральных, биологических ресурсов или многоцелевое резервирование таких природных объектов, как арктические архипелаги и отдельные острова.

В изданной ещё в 1988 г. монографии «География океана: Теория, практика, проблемы» под редакцией А.П. Алхименко и С.Б. Слевича глава 1 была посвящена исключительно океаническому природопользованию [8]. Ее авторами отмечено, что «... для концепции экологизации общественного производства – фактически концепции будущего – должны быть характерны сбалансированные составные части природо-пользования: потребление, охрана и воспроизводство ресурсов в соответствии с равной зависимостью всех их для благосостояния человека в условиях сохранения природы». В соответствии с этой концепцией необходимо добиваться оптимизации взаимодействия человека и природы, сотворчества с природой, сохранения динамического биосоциального равновесия.

Учитывая важную роль морских прибрежных акваторий для социально-экономического развития приморских регионов, следует признать целесообразным распространение обозначенного Конституцией РФ права совместного ведения РФ и субъектами РФ на природопользование, охрану окружающей среды и обеспечение экологической безопасности, ООПТ, охрану памятников истории и культуры.

Для реализации этого шага законодательным (представительным) органам приморских субъектов РФ целесообразно инициировать дополнение статьи 72 Конституции РФ соответствующим подпунктом, используя свое право вносить предложения о поправках и пересмотре положений Конституции РФ (ст. 134).

Кроме того, важно использовать потенциал морских советов приморских субъектов РФ, сформированных в прошлые годы, и активизировать их работу в процессе перехода к комплексному планированию развития приморских территорий и прибрежных акваторий конкретных побережий страны [9].

Таким образом, конкретная работа по проблеме арктического морского природопользования (концепция будущего!) шаг за шагом становится практической реальностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матишов Г.Г., Денисов В.В. Эколого-географические задачи научного обеспечения стратегического развития Мурманской области как субъекта морской деятельности Российской Федерации // Вестник КНЦ РАН. 2009. Вып. 1. С. 59–70.
2. Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу (утверждены Президентом РФ 18 сентября 2008 г.) // Российская газета. 2009. 30 марта.
3. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года (утверждена Президентом РФ 20 февраля 2013 г.). Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/499002465>.
4. Стратегия развития морской деятельности Российской Федерации до 2030 года (утверждена Распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 декабря 2010 г. № 2205-р) // Российская газета. 2010. 21 декабря.
5. Стратегия социально-экономического развития Мурманской области до 2020 года и на период до 2025 года (утверждена постановлением Правительства Мурманской области от 25.12.2013 № 768-ПП/20). Режим доступа: <http://npa.gov-murm.ru/ppmo/postanovleniya-pravitelstva-mo/>.
6. Денисов В.В., Жичкин А.П., Васильев А.М. Морское пространственное планирование в арктических и субарктических регионах РФ: проблемы реализации (на

примере Мурманской области) // Север и рынок. 2014. № 3 (40). С. 18–21. 7. Денисов В.В., Ильин Г.В., Жичкин А.П. Арктические архипелаги Баренцева экорегиона как объекты рационального природопользования и управления // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 4. С. 733–738. 8. География океана: Теория, практика, проблемы / под ред. А.П. Алхименко и С.Б. Слевича. (Серия: Современные проблемы географии). Л.: Наука, 1988. 270 с. 9. Денисов В.В., Михайличенко Ю.Г. О роли региональных органов власти в управлении прибрежно-морскими акваториями России // Стратегическое планирование в регионах и городах России: выстраивая систему: доклады участников XII Общероссийского форума лидеров стратегического планирования. г. Санкт-Петербург. 21–23 октября 2013 г. / под ред. Б.С. Жихаревича. СПб.: Леонтьевский центр, 2014. С. 90–92.

Сведения об авторах:

Матишов Геннадий Григорьевич – академик РАН, директор Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: matishov@mmbi.info;

Денисов Владимир Васильевич. – д.г.н., главный научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: denisov@mmbi.info;

Жичкин Александр Павлович – к.г.н., старший научный сотрудник Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: zhichkin@mmbi.info

УДК 628.394.6:665.6(268.45)

МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ КАРТ УЯЗВИМОСТИ ПРИБРЕЖНЫХ И МОРСКИХ ЗОН ОТ НЕФТИ. ПРИМЕР КАРТ ДЛЯ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА *

А.А. Шавыкин

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Описана методика построения карт экологической уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Карты интегральной уязвимости строятся как сумма исходного разномасштабного сезонного распределения биоты (нормированного на общее среднегодовое обилие групп), а также распределения особо значимых объектов (ОЗО) и природоохранных территорий (ПОТ). При сложении карт этих компонентов (биоты, ОЗО и ПОТ) учитываются коэффициенты уязвимости биоты и коэффициенты приоритетной защиты ОЗО и ПОТ. Приведены примеры карт уязвимости для Кольского залива.

Ключевые слова:

карта уязвимости, нефть, Кольский залив, методика построения карт, компонент биоты, особо значимый объект, коэффициент уязвимости, коэффициент приоритетной защиты.



Введение

С началом освоения Арктического шельфа возрастает угроза нефтяного загрязнения Российской Арктики, связанная в том числе с аварийными разливами нефти. Одна из важных не решенных в нашей стране проблем, относящаяся к ликвидации разливов нефти (ЛРН), – разработка и использование карт чувствительности береговой линии и уязвимости прибрежных и морских зон от нефти. Вот позиция Международной ассоциации представителей нефтяной промышленности по охране окружающей среды (ИПЕСА): «Составление и обновление карт уязвимых зон является ключевым моментом процесса планирования. Эти карты дадут важную информацию ликвидаторам разлива, показав, где находятся различные прибрежные ресурсы, и обозначив экологически чувствительные зоны» [1]. Карты чувствительности береговой линии по ESI (Environmental Sensitivity Index – Индекс чувствительности окружающей среды) разработаны для многих стран: Кувейта, Саудовской Аравии, Казахстана, Индонезии, Новой Зеландии, Бразилии, Турции, Панамы... [2]. В США и Канаде все морское побережье картографировано по индексу ESI, на картах представляется также распределение основных групп биоты в прибрежных акваториях штатов [3, 4]. Атлас чувствительности различных участков прибрежных зон есть в Гренландии [5]. В Германии принят план по аварийной борьбе с загрязнением, включающий классификацию индекса ESI и построение карт уязвимости морей, прилегающих к побережью страны [6]. В рамках проекта BRISK построены карты чувствительности всего Балтийского моря [7]. В Норвегии в каждой губернии для планов ЛРН подготовлены карты приоритетной защиты природных ресурсов прибрежной зоны [8].

В России также есть методические разработки по картографированию чувствительности береговой линии и уязвимости прибрежных акваторий от нефти. Это в основном работы компании ЗАО «Экопроект» [9, 10] и работы ПИНРО по Баренцеву морю [11–13]. Исследования

* Работа выполнена при поддержке ВОО «Русское географическое общество», грант № 26/2013 от 02.04.2013.

по данному вопросу ведутся в ММБИ [14, 15], в Институте защиты моря во Владивостоке [16–18 и др. работы этого же автора]. Группой российских специалистов под руководством Всемирного фонда дикой природы (WWF–Россия) подготовлены «Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов... от разливов нефти...» [19].

Однако в России в настоящее время нет нормативов, предписывающих обязательную подготовку и использование в планах ЛРН карт чувствительности берегов и уязвимости прибрежных акваторий от нефти, отсутствует и единая утвержденная методика построения таких карт.

В данной статье представлен разработанный в ММБИ общий подход к построению карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти, он может быть положен в основу единой российской методики. При этом автор использует следующее определение уязвимости района: *уязвимость района моря* (акватории, водной толщи, дна или их совокупности) – характеристика возможных последствий антропогенного воздействия на среду и биоту, приводящего к нарушению нормального функционирования экосистемы района и/или экологических групп/подгрупп/видов биоты вплоть до их гибели; изменению естественных условий мест обитания биоты; нарушению функционирования социально-экономических объектов района.

1. Общие положения методики построения карт уязвимости

Разномасштабные карты уязвимости прибрежных и морских зон от нефти включают:

1) сезонные карты уязвимости, на которых интегральная уязвимость различных участков акватории представляется в рангах (методика описывается в настоящей статье);

2) разномасштабные карты чувствительности береговой линии по индексу ESI (используется широкораспространенная методика NOAA, США [4]).

В планы ЛРН предлагается включать: 1) карты «относительной» интегральной уязвимости прибрежных и морских зон; 2) карты чувствительности берегов по индексу ESI [4, 20]; 3) базу данных фото- и видеоматериалов береговой линии морей. Первые карты показывают уязвимость различных районов в диапазоне min–max уязвимости по сезонам, на этих картах всегда присутствуют участки с рангами уязвимостью 1–3 или 1–5 в зависимости от принятого числа рангов для итоговых интегральных карт. По этой же методике для прибрежных и морских зон разрабатываются карты «абсолютной» уязвимости, предназначенные для природоохранных целей и рационального природопользования, но они также могут включаться в планы ЛРН. Такие карты показывают уязвимость участков в диапазоне min–max ее значений за весь год, поэтому для конкретного сезона на них могут не присутствовать участки, имеющие ранги высокой или низкой уязвимости.

Весь картографический материал должен быть 3 масштабов: стратегические (1:2 000 000 – 1:500 000); тактические (1:250 000 – 1:100 000) и объектные карты (1:50 000 – 1:10 000).

На картах исходных данных представляется: 1) распределение учитываемых важных компонентов биоты (ВКБ) – экологических групп/подгрупп/видов биоты; 2) положение особо значимых объектов (ОЗО) – экологических, социокультурных ресурсов (без биоты) и объектов хозяйственной деятельности; 3) расположение природоохранных территорий (ПОТ) – заповедников, районов обитания краснокнижных видов, планируемых особо охраняемых природных территорий. Подобных карт с исходными данными для отдельных, даже небольших участков прибрежной и морской зоны, может быть несколько десятков или даже сотен. Так, для Кольского залива, карты уязвимости которого рассматриваются в настоящей статье, исходных разномасштабных, сезонных карт распределения биоты было подготовлено 130, ОЗО – 3. Общее число интегральных карт уязвимости (всего залива и девяти его участков большего масштаба) – 100 (50 – «относительной» и «50 – «абсолютной» интегральной уязвимости). Карт чувствительности береговой линии по индексу ESI – 10.

2. Методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти

В общем случае такая методика в той или иной последовательности должна включать следующие этапы.

Этапы сбора и подготовки информации по картографируемому району:

- 1) определение перечня учитываемых объектов: ВКБ, ОЗО и ПОТ;
- 2) определение границ сезонов распределения учитываемых объектов, для которых будут строиться карты исходных данных и рассчитываться карты уязвимости;
- 3) построение сезонных разномасштабных карт распределения ВКБ, ОЗО, ПОТ;
- 4) оценка коэффициентов уязвимости для ВКБ и коэффициентов приоритетной защиты для ОЗО, ПОТ как аналога для коэффициентов уязвимости биоты;
- 5) проведение фото-и/или видеосъемки берегов*.

Этапы построения карт уязвимости:

- 1) построение сезонных разномасштабных карт уязвимости ВКБ, ОЗО, ПОТ.
- 2) расчет карт интегральной «относительной» и (при необходимости) «абсолютной» уязвимости картографируемого района.
- 3) подготовка базы данных фото- и/или видеоматериалов береговой линии картографируемого района*.
- 4) построение разномасштабных карт чувствительности береговой линии по индексу ESI*. Разработка WEB-проекта, который включает карты интегральной уязвимости прибрежной и морской зоны, карты чувствительности береговой линии, фото- и видеоматериалы с последующим размещением проекта в Интернете*.

При необходимости для сбора информации о биоте (по пунктам 1–3) для отдельных участков прибрежной и морской зон, для того или иного сезона могут дополнительно проводиться специальные экспедиционные исследования.

Далее в кратком виде излагается алгоритм построения карт уязвимости прибрежных и морских зон.

Построение карт уязвимости ВКБ. Определяют перечень ВКБ – экологических групп/подгрупп/видов биоты, границы сезонов для их распределения (периодов, когда плотность распределения ВКБ в картографируемом районе практически не меняется), а также коэффициенты уязвимости биоты V_b^g (см. далее). Возможны два варианта алгоритма построения карт уязвимости.

Вариант 1. Информация о распределении биоты имеется в достаточно полном объеме. Используя ГИС-программы, строят сезонные разномасштабные карты распределения значений плотности ВКБ – карты полигонов B^{sg} , где g – индекс группы, подгруппы, вида биоты, для каждого s -го сезона в единицах измерения, принятых для данной группы/подгруппы/вида (в г/м², т/ч траления, экз/км²...). Карты «нормируют» на *среднегодовое* значение обилия P^{gy} соответствующей группы (суммы обилия всех подгрупп и отдельных видов соответствующей группы) в картографируемом районе: $B^{sg[y]} = B^{sg} / P^{gy}$. Далее для каждого сезона в отдельности проводят «сложение» карт исходного нормированного распределения групп/подгрупп/видов биоты с учетом коэффициентов их уязвимости V_b^g : $Y_b^s = \sum_g B^{sg[y]} \times V_b^g$.

Выполняют вторую нормировку. Полученные карты нормируют на максимальное значение уязвимости за год и сезон – делят на $\max Y_b^s$: при делении на \max за сезон в обозначении Y_b^s добавляется индекс $[s]$, на \max за год – добавляется индекс $[y]$. Далее переходят, соответственно, в диапазоны значений уязвимости, $\min Y_b^{s[s]} \div 100$ (для карт «относительной» уязвимости) или $\min Y_b^{s[y]} \div 100$ усл. ед. (для карт «абсолютной уязвимости»).

Этапы, отмеченные «», в настоящей статье не рассматриваются.

Как отмечалось, этот алгоритм используется, если есть все необходимые данные о биоте. Но в любом случае – для построения объектных карт, так как для конкретного объекта должна быть получена вся требуемая информация о его локальном районе воздействия, для которого и строятся такие карты в рамках плана ЛРН.

Вариант 2. Исходные данные о биоте возможны только как экспертные оценки, и по сезонам может быть представлено распределение биоты в виде рангов 0, 1–3 или 0, 1–5. Описание алгоритма для этого случая представлено в работе [15]. Там же приведены примеры рассчитанных по такой методике карт уязвимости восточной части Баренцева моря. Далее в статье указанный вариант не рассматривается. Он используется, как правило, для построения тактических и стратегических карт, если объем исходной информации недостаточен.

Построение карт приоритетной защиты (условно – уязвимости) для ОЗО. Определяют перечень ОЗО природно-техногенной среды (без биоты) и строят исходные карты их расположения – карты полигонов C^{es} для каждого сезона: $C^{es} = 1$ в пределах полигона, обозначающего границы ОЗО, и 0 – вне его. Определяют коэффициенты приоритетности защиты ОЗО (условно – это также коэффициенты уязвимости) – коэффициенты V_c^e , исходя из экологической, социокультурной и хозяйственной значимости c -го объекта. Выбор значений этих коэффициентов см. далее. Проводят «сложение» полученных карт для каждого сезона в отдельности: $Y_c^s = \sum_e C^{es} \times V_c^e$. Полученные значения уязвимости Y_c^s ОЗО нормируют аналогично второй нормировке карт Y_b^s и получают карты распределения $Y_c^{s[s]}$ и $Y_c^{s[y]}$.

Построение карт приоритетной защиты (уязвимости) для ПОТ. Определяют перечень и расположение ПОТ и готовят исходные карты их расположения (карты полигонов D^{sf}) для разных сезонов или для года в целом, если оно одинаково для всех сезонов. Всем полигонам D^{sf} присваивают значения 1, остальной акватории – 0. Определяют коэффициенты V_d^f – коэффициенты приоритетной защиты (уязвимости) ПОТ, которые оценивают по природоохранной значимости акватории. Проводят «сложение» полученных карт ПОТ для каждого сезона: $Y_d^s = \sum_f D^{sf} \times V_d^f$. Найденные значения уязвимости Y_d^s ПОТ нормируют аналогично второй нормировке карт Y_b^s и получают карты распределения $Y_d^{s[s]}$ и $Y_d^{s[y]}$.

Построение карт интегральной уязвимости. Выполняют «сложение» карт «относительной» уязвимости ВКБ, ОЗО и ПОТ: $Y_{\Sigma}^{s[s]} = K_b \times Y_b^{s[s]} + K_c \times Y_c^{s[s]} + K_d \times Y_d^{s[s]}$ (о коэффициентах перед $Y^{s[s]}$ см. далее). Диапазон значений уязвимости $Y_{\Sigma}^{s[s]}$ для каждого сезона делят на 3–5 равных (!) поддиапазонов и присваивают им значения рангов от 1 до 3 или 5. Эти карты включают в планы ЛРН. Участки с высоким рангом (3 или 4–5 соответственно) – районы приоритетной защиты, которые необходимо защищать в первую очередь при операциях по ЛРН. Районы с рангами 1 (для шкалы 1–3) или рангами 1–2 (для шкалы 1–5) могут, при определенных условиях, выступать как «жертвенные» районы, куда можно направлять нефть для ее последующего сбора, ликвидации или затопления.

Аналогично получают карты «абсолютной» интегральной уязвимости: $Y_{\Sigma}^{s[y]} = K_b \times Y_b^{s[y]} + K_c \times Y_c^{s[y]} + K_d \times Y_d^{s[y]}$. Полученный диапазон значений уязвимости $Y_{\Sigma}^{s[y]}$ за год также делят на 3–5 равных (!) поддиапазонов. Эти карты используют для природоохранных и научных целей. Значения коэффициентов K выбирают на основе экспертных оценок (например, 0.3, 0.2 и 0.5 соответственно) с учетом принимаемого вклада ВКБ, ОЗО и ПОТ в интегральную уязвимость.

3. Исходные данные для построения карт уязвимости Кольского залива от нефти по предлагаемой методике

Учитываемые группы биоты. Организмы, обитающие в Кольском заливе и учитываемые при построении карт, подразделяются на три основные экологические группы: зоо- и фитобентос, морские птицы. Ихтиофауна, в том числе ихтиопланктон, не учитываются,

т.к. данных об их распределении в Кольском заливе нет. Морские млекопитающие редко заходят в залив, и указать для них распределение практически невозможно. При рассмотрении воздействия нефти дополнительно в экологических группах выделены подгруппы организмов и отдельные виды, что необходимо для учета различного характера воздействия на них нефти и их разного природоохранного статуса.

Зообентосные организмы подразделяются на 4 подгруппы:

- макрозообентос – донные беспозвоночные 1.5–30 мм,
- мегазообентос – донные беспозвоночные размером 30–500 мм;
- мобильный бентос, способный передвигаться и мигрировать на большие расстояния;
- немобильный бентос – прикрепленный, малоподвижный.

Морские и водоплавающие птицы также разделены на 3 подгруппы:

- «парители» – виды, большую часть времени проводящие в полете, питающиеся у поверхности воды;
- «ныряльщики» – виды, большую часть времени проводящие на воде, кормящиеся в толще воды;
- «околоводные» – виды, обитающие вдоль береговой линии, кормящиеся в зоне заплеска.

Для фитобентоса, на основании характера рассматриваемого воздействия на него нефти, дополнительные подгруппы не выделялись.

При картографировании других районов деление на группы/подгруппы/виды биоты может быть иным, что определяется экспертами.

Деление на сезоны. С учетом особенностей присутствия и изменчивости распределения плотности групп/подгрупп биоты в Кольском заливе принято деление всего года на пять сезонов: зима, ранняя весна, весна, лето, осень (табл. 1).

Таблица 1

Деление года на сезоны для учитываемых важных компонентов биоты – групп/подгрупп биоты

Экологические группы/подгруппы	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Макрофитобентос												
Макрозообентос												
Мегазообентос (немобильный)												
Мегазообентос (мобильный)												
Птицы*												
"парители"												
"ныряющие"												
околоводные												
Сезоны для построения карт уязвимости	З	Ранняя весна		Весна			Лето		Осень			Зима (З)

Примечание. Разными оттенками серого цвета для групп/подгрупп отмечены периоды с различным сезонным пространственным распределением плотности.

Оценка коэффициентов уязвимости биоты от нефти. Биологическую уязвимость для групп/подгрупп/видов биоты V_b^g (V_b^g – biological vulnerability) предлагается вычислять по формуле: $V_b^g = (S^g \times E^g) / R^g$ [21] (табл. 2), где S^g (sensitivity) – чувствительность; E^g (exposure) – потенциальное воздействие; R^g (recoverability) – восстанавливаемость g-й группы/подгруппы/вида

гидробионтов. Конкретные значения этих параметров, которые определяют их уязвимость, на данном этапе ранжировались с учетом экспертных оценок: *чувствительности выделенных групп/подгрупп/видов* (S^g), как свойства организмов реагировать на воздействие нефти в зависимости от ее концентрации и состояния; *потенциального воздействия* нефти (E^g) *на выделенные компоненты биоты* – вероятности контакта организмов с нефтью в той или иной ее форме; *восстанавливаемости групп/подгрупп/видов биоты* (R^g) – способности ВКБ восстанавливаться до исходного состояния после негативного воздействия.

Таблица 2

Экспертные значения чувствительности и восстанавливаемости ВКБ, потенциального воздействия на них нефти (ранги) и рассчитанные коэффициенты уязвимости V_b^g

Группы/подгруппы биоты*	E^g	S^g	R^g	$V_b^g = (S^g \times E^g) / R^g$
1	2	3	4	5
Макрофитобентос (до 20 м)	6	1	6	1.0
Макрозообентос (до 20 м)	4	4	5	3.2
Мегабентос, немобильный (до 20 м)	5	3	4	3.8
Мегабентос, мобильный(до 20 м)	2	2	3	1.3
Птицы "парители"	3	5	1	15.0
Птицы "ныряющие"	7	5	2	17.5
Птицы околоводные	1	5	1	5.0

Примечание. Представлены принятые для биоты Кольского залива значения рангов S^g , E^g , R^g – столбцы 2, 3 и 4 соответственно. Оценки сделаны предварительно для среднего типа нефти

*Если виды, относящиеся к какой либо из групп/подгрупп, входят в список краснокнижных и учитываются отдельно, как g-е ВКБ, то для них вводится дополнительный коэффициент 2.

Коэффициенты приоритетной защиты ОЗО или эколого-хозяйственной уязвимости (V_c^e). Приоритетность защиты экологических, социокультурных ресурсов и объектов хозяйственной деятельности C^e определяется соответственно их значимостью для экосистемы, ценностью для человека и их хозяйственного использования. Далее по аналогии с уязвимостью ВКБ, мы будем называть эту величину V_c^e уязвимостью ОЗО. Коэффициент V_c^e тем выше, чем выше значимость объектов и ресурсов C^e для функционирования экосистемы и больше значимость для человека (табл. 3). Значения V_c^e ранжированы в порядке увеличения уязвимости ОЗО. Минимальная уязвимость присвоена инженерно-техническим конструкциям, таким, как порт и портовые сооружения. Районы и участки, связанные с различными биологическими ресурсами, имеют повышенную уязвимость. Районам размножения крабов и развития их личинок присвоена максимальная значимость (крабы откладывают икру в заливе). Средними по значимости ОЗО являются устья нерестовых рек семги, так как эти районы важны для скатывающейся молоди и взрослых лососевых рыб, идущих на нерест в реки с пресной водой, где откладывают икру (табл. 3).

Коэффициенты приоритетной защиты – коэффициенты уязвимости ПОТ для Кольского залива не оценивались, так как ПОТ в заливе отсутствуют.

Коэффициенты V_c^e (ранги) приоритетной защиты –
коэффициенты уязвимости особо значимых объектов C^e

Тип особо значимых объектов	V_c^e
Порты и портовые сооружения	1
Устья нерестовых рек семги (май–октябрь)	2
Районы размножения крабов и развития личинок (февраль–июнь)	3

4. Примеры карт уязвимости Кольского залива от нефти

Карты уязвимости. Результаты расчета сезонных разномасштабных карт уязвимости акватории Кольского залива для одного сезона (лета) и двух масштабов представлены на рисунках 1–4: карты «относительной» и «абсолютной» уязвимости масштабом 1:150 000 всего залива и масштабом 1:25 000 для района 6 (положение района см. на рис. 1 и 2).

Как видно из рисунка 1, для летнего периода наиболее уязвимые участки всего залива («относительная» уязвимость) – его южная, кутовая часть и узкие прибрежные участки западного берега между губами Питькова и Горячинская, а также между мысом Чирковый и губой Тюва вблизи его восточного берега, а также отдельные участки губы Средняя и Тюва и в районе устья р. Лавна. Следует также отметить, что карта «абсолютной» уязвимости существенно отличается от карты «относительной» уязвимости, как и должно быть с учетом разных для них диапазонов изменчивости интегральной уязвимости. Аналогичная ситуация и для карт масштаба 1:25 000. Кроме того, с учетом разной генерализации распределения исходных данных отмечается и несколько различное распределение интегральной уязвимости на картах «относительной» и «абсолютной» уязвимости двух разных масштабов – 1:150 000 и 1:25 000 (см. рис. 1 и 3, 2 и 4).

Заключение и предложения по дальнейшим действиям

Предложена методика построения карт уязвимости прибрежных и морских зон от нефти, учитывающая границы сезонного (при необходимости – по месяцам) распределения биоты, важных социоэкономических участков и природоохранных территорий. Она позволяет строить разномасштабные сезонные карты уязвимости для планов ЛРН (карты «относительной» уязвимости), для природоохранных и научных целей (карты «абсолютной» уязвимости).

По пяти сезонам (зима, ранняя весна, весна, лето, осень) построены карты «относительной» и «абсолютной» интегральной уязвимости Кольского залива (без западных губ) масштабом 1:25 000 и 1:150 000. Определены наиболее уязвимые участки прибрежной зоны залива.

Для внедрения в России разработанной или любой подобной методики построения карт уязвимости для планов ЛРН требуется решить ряд организационно-правовых вопросов: выработать и согласовать единый подход к таким картам; соответствующим образом утвердить методику их разработки; внести в нормативно-правовые акты, относящиеся к планам ЛРН, пункт об обязательном включении подобных карт в такие планы разного уровня.

Не до конца решены некоторые научные и практические вопросы в этой области: 1) более строгое обоснование коэффициентов уязвимости групп/подгрупп/видов биоты от нефти разных типов (легкой, средней, тяжелой); 2) согласование отдельных карт уязвимости при их пространственной «стыковке» или перекрытии для протяженных участков прибрежной и морской зоны; 3) генерализация информации для карт разного масштаба или обратный процесс более детального представления данных; 4) уточнение таблицы индексов ESI береговой линии арктических морей, в том числе для участков берега в присутствии льда. Часть этих вопросов должна быть обсуждена и согласована с ликвидаторами разливов – пользователями таких карт.

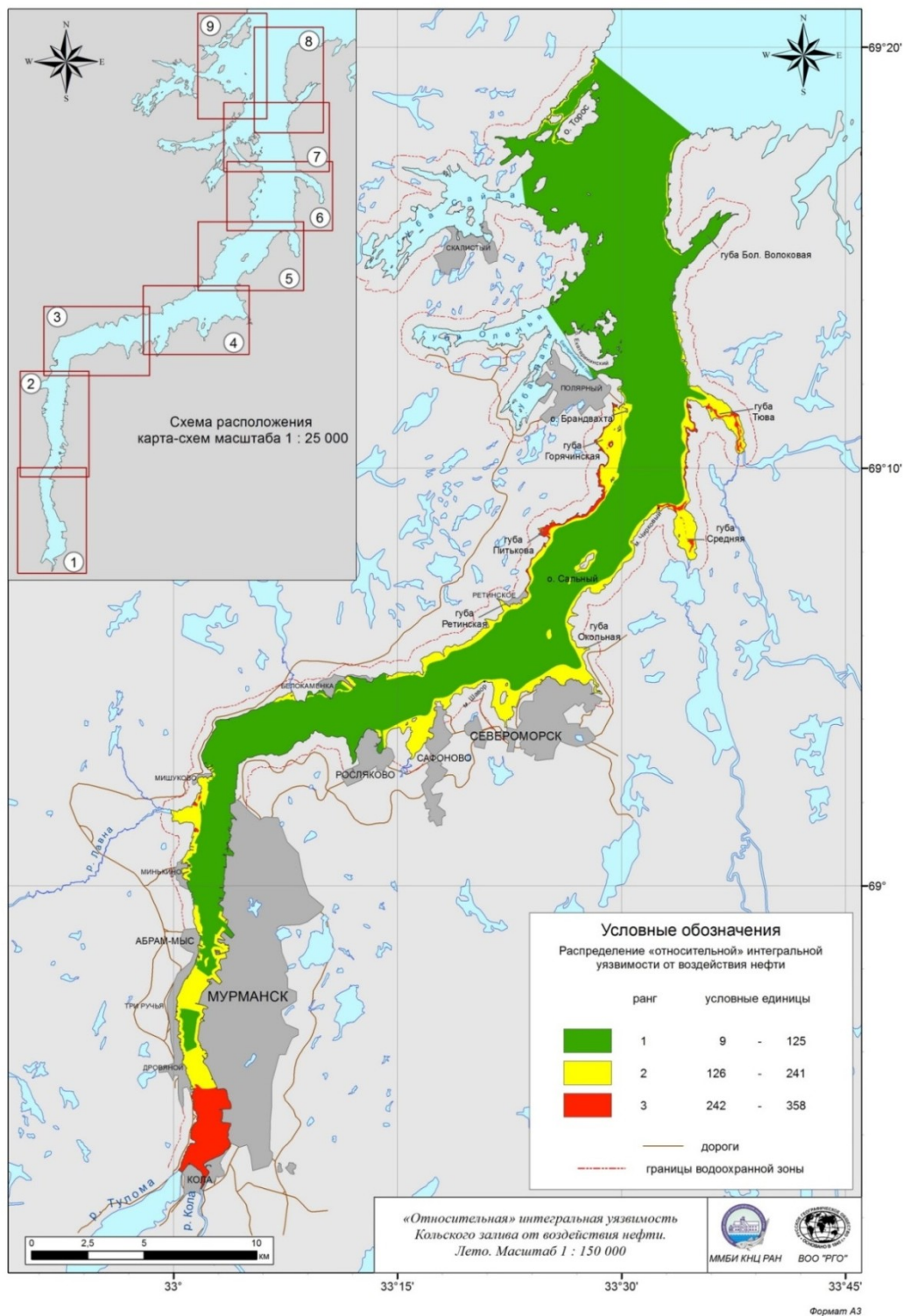


Рис. 1. Карта «относительной» интегральной уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Лето (июль – август)

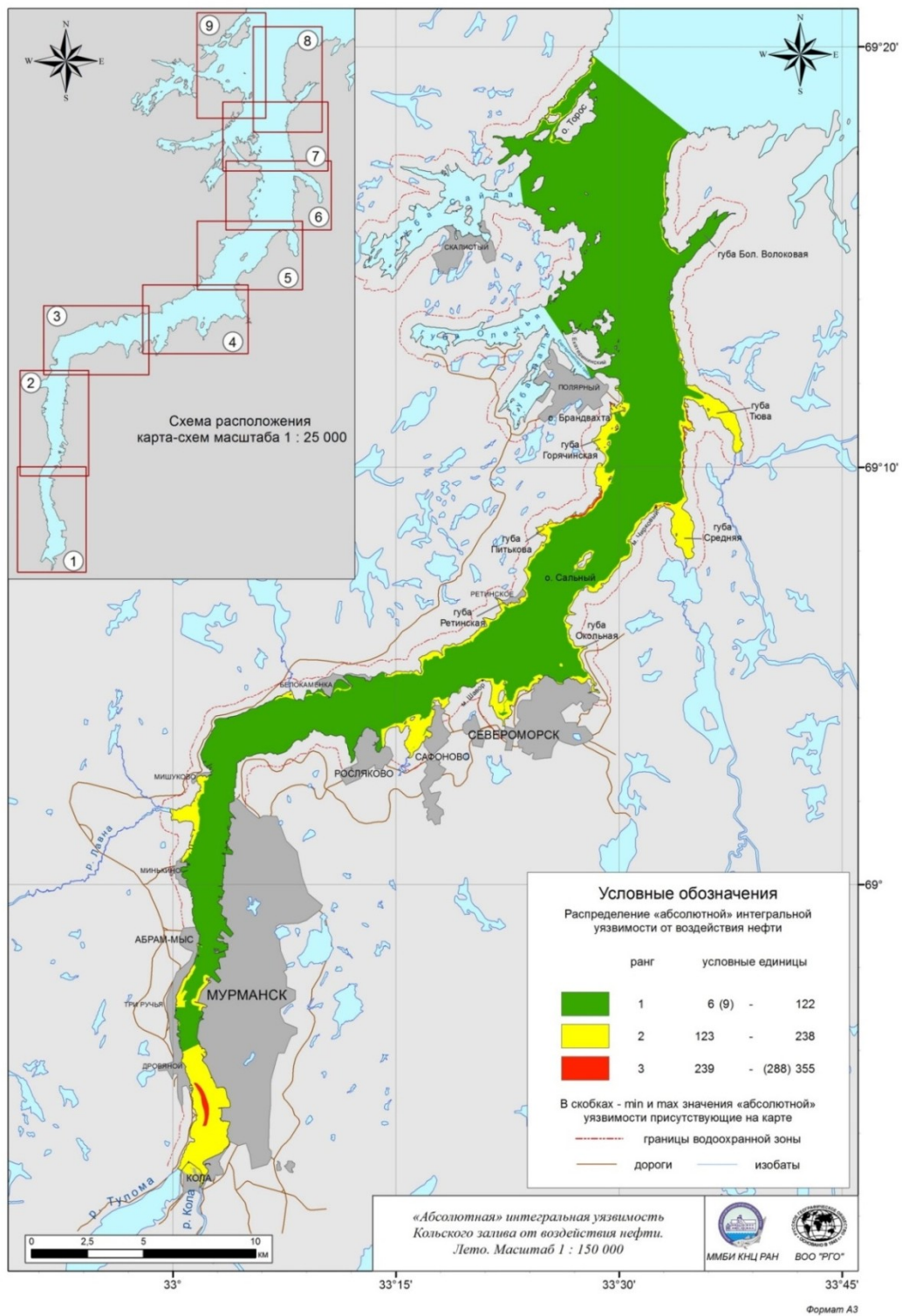


Рис. 2. Карта «абсолютной» интегральной уязвимости Кольского залива от воздействия нефти. Лето (июль–август)

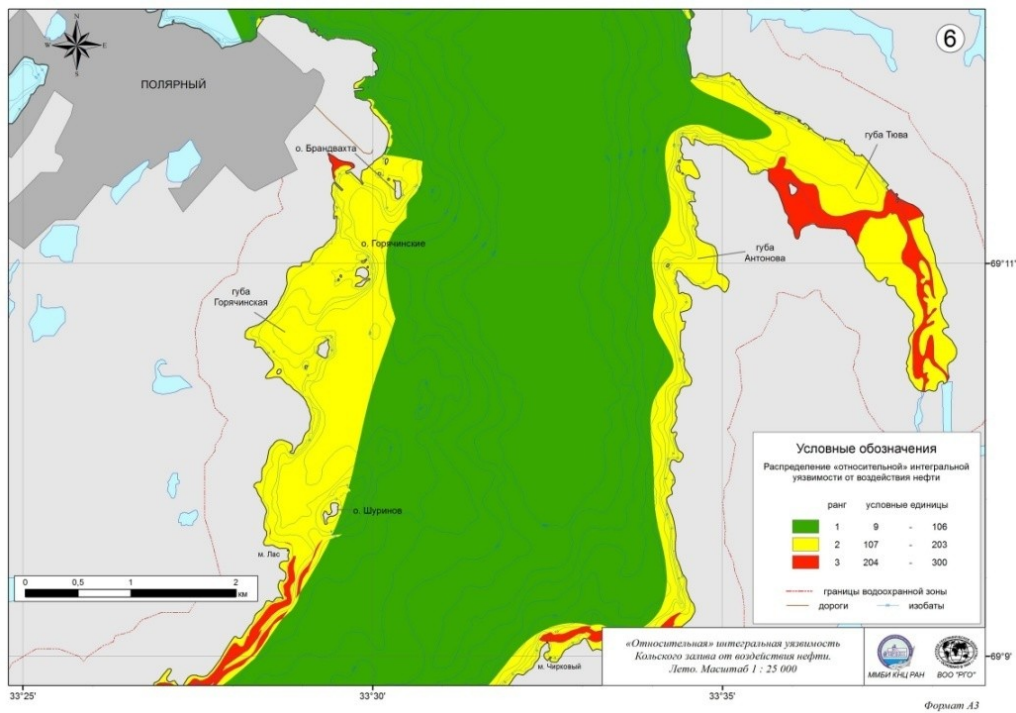


Рис. 3. Карта «относительной» интегральной уязвимости Кольского залива от воздействия нефти (район б). Лето (июль – август)

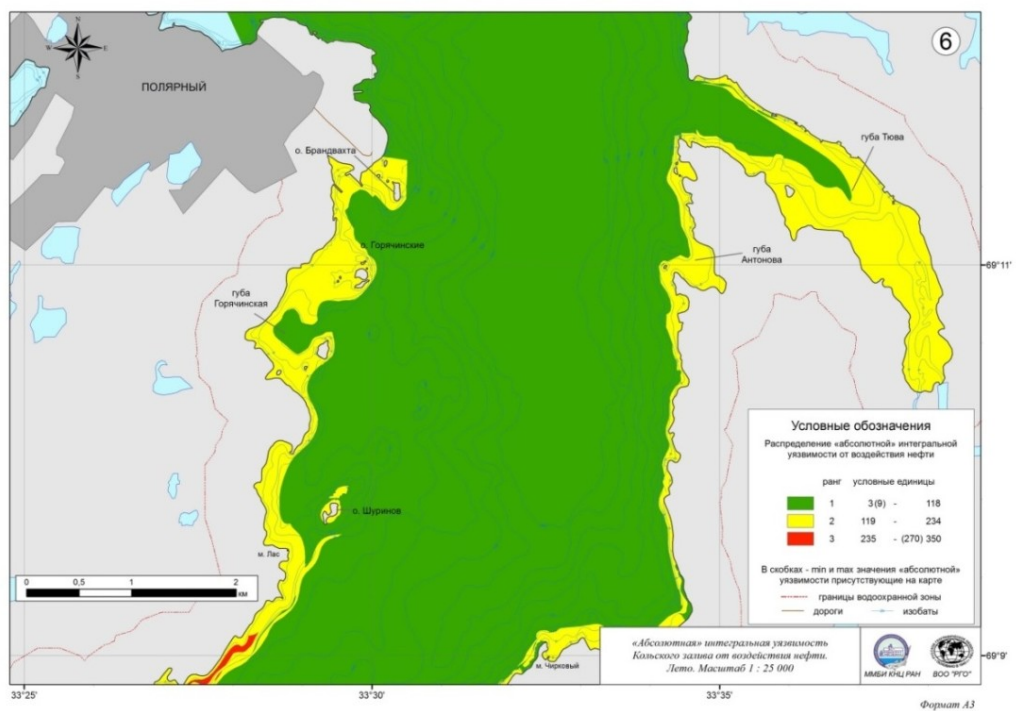


Рис. 4. Карта «абсолютной» интегральной уязвимости Кольского залива от воздействия нефти (район б). Лето (июль – август)

Благодарности

Автор признателен сотрудникам ММБИ КНЦ РАН П.С. Ващенко, А.Н. Карнатову, О.П. Калининка за обсуждение материала и выполнение расчетов, а также всем участникам работы по гранту РГО: А.А. Фролову, О.С. Любиной, Л.В. Павловой, О.И. Нехаеву, С.В. Малавенда, А.А. Горяевой, сотрудникам лаборатории зообентоса за обработку экспедиционного материала и обсуждение полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. IPIECA Руководство по планированию действий в чрезвычайных ситуациях при разливах нефти на воде. Серия докладов IPIECA. 2000. Т. 2. Великобритания, Лондон, Блэкфрайс-роуд, 209–215. 2-е изд. 30 с.
2. Environmental Sensitivity Index (ESI) Experience [Электронный ресурс]. Oil-Spill-Info.com (E-Tech International Inc.). 2014. Режим доступа: http://www.oil-spill-info.com/sum_esi.html (Дата обращения: 18.02.2014).
3. ESIdatrain Google Earth [Электронный ресурс] ESOnline. 2014. Режим доступа: <http://esionline.researchplanning.com> (Дата обращения: 18.02.2014).
4. NOAA Environmental Sensitivity index guidelines. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 11. Version 3.0. USA, Seattle: NOAA, 2002. 192 p.
5. Sensitivity atlas [Электронный ресурс] Institute for bioscience. 2014. Электронный ресурс: <http://environmental-atlas.dmu.dk> (Дата обращения: 18.02.2014).
6. Schiller H., Bernen C., Krasemann H.L. Automated classification of an environmental sensitivity index // Environmental Monitoring and Assessment., 2005. Vol. 110. Issue 1–3. P. 291–299.
7. BRISK (Project on sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea). Method note. Document no. P-070618-1-01. Admiral Danish Fleet HQ, National Operations, Maritime Environment. 2009. Ver. 0.2.42 p. Режим доступа: http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=83433&folderId=504938&name=DLFE-38440.pdf (Дата обращения: 15.09.2014).
8. SFT. Beredskap mot akutt forurensning. Modell for prioritering av miljøressurser ved akutte oljeutslipp langs kysten. TA-nummer 1765/2000. Oslo: Statens forurensning stilsyn, 2004. 16 p. [Методика классификации приоритетности природных ресурсов к нефтяному загрязнению в прибрежной зоне. Осло: Госуд. управление по контролю загрязнения окружающей среды, 2004. 27 с.].
9. Погребов В.Б. Интегральная оценка экологической чувствительности биоресурсов береговой зоны к антропогенным воздействиям // Основные концепции современного берегопользования: монография. СПб.: РГГМУ, 2010. Т. 2. С. 43–85.
10. Погребов В.Б., Пузаченко А.Ю. Интегральная чувствительность морских экосистем к нефтяному загрязнению: мат. 5 науч. семинара “Чтения памяти К.М. Дерюгина”. СПб.: Изд. СПбГУ, 2003. С. 5–22.
11. Новиков М.А. Оценочное эколого-рыбохозяйственное районирование морских акваторий // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 2. С. 199–208.
12. Новиков М.А. Методология интегрированной оценки экологической уязвимости и рыбохозяйственной ценности морских акваторий (на примере Баренцева и Белого морей). Мурманск: Изд. ПИНРО, 2006. 250 с.
13. Новиков М.А. Интегрированная оценка эколого-рыбохозяйственной уязвимости морских акваторий: от теории к практике. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2013. 124 с.
14. Оценка интегральной уязвимости акватории Баренцева моря к нефтяному загрязнению / А.А. Шавыкин, О.П. Калининка, Г.Н. Духно, В.В. Сапрыгин, С.В. Зырянов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 3. С. 13–22.
15. Шавыкин А.А., Ильин Г.В. Оценка интегральной уязвимости Баренцева моря от нефтяного загрязнения. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2010. 110 с.
16. Блиновская Я.Ю. Принципы создания информационной системы «Карты чувствительности прибрежно-морских зон к загрязнению нефтью» // Вестник ДвнЦ РАН. 2004. № 4. С. 63–73.
17. Блиновская Я.Ю. Карты чувствительности к нефтяному загрязнению береговой зоны Охотского моря // Геодезия и картография. 2005. № 4. С. 49–53.
18. Блиновская Я.Ю. Методы комплексной оценки экологической чувствительности прибрежно-морских зон к нефтяному загрязнению (на примере юга Дальнего Востока): автореф. дис. ... д.т.н.: 03.00.08. М., 2010. 44 с.
19. Методические подходы к созданию карт экологически уязвимых зон и районов приоритетной защиты акваторий и берегов Российской Федерации от разливов нефти и нефтепродуктов. WWF (Всемирный фонд дикой природы) / Я.Ю. Блиновская, М.В. Гаврило, Н.В. Дмитриев, В.Б. Погребов, А.Ю. Пузаченко, С.М. Усенков, А.Ю. Книжников, М.А. Пухова, М.Б. Шилин, Г.Н. Семанов. Владивосток; Москва; Мурманск; Санкт-Петербург: 2012. 60 с. Режим доступа: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/478> (Дата обращения: 12.08.2013).
20. IMO, IPIECA, OGP. Sensitivity mapping for oil spill response. London, 2012. 39 p. Режим доступа: <http://www.ipeca.org/publication/sensitivity-mapping-oil-spill-response-0> (Дата обращения: 12.09.2014).
21. Offringa H., Lahr J. Safety at Sea. An integrated approach to map ecologically vulnerable areas in marine waters in the Netherlands (V-maps). Report № A09. Revision No 4. Centre for Ecosystem Studies. 2007. 93 p.

Сведения об авторе

Шавыкин Анатолий Александрович – к.т.н., заведующий лабораторией инженерной экологии Мурманского морского биологического института КНЦ РАН; e-mail: shavykin@mmbi.info

УДК 551.35(268Ю45+268.52)

ЧЕТВЕРТИЧНЫЙ ОСАДОЧНЫЙ ЧЕХОЛ ЗАПАДНО-АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА: ЛИТОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ

Г.А. Тарасов

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация

Обобщение и анализ результатов литологических, сейсмоакустических и данных возрастных датировок позволили проследить характер формирования четвертичных отложений и рельефа дна на шельфе западно-арктических морей, эволюция которых взаимосвязана с важнейшими событиями геологической истории. Отмечено, что в позднекайнозойский этап развития данного осадочного бассейна непрерывность процесса морской седиментации характерна только для голоцена, а на ход плейстоценового осадкообразования существенное влияние оказали ледниковые и межледниковые события и связанные с ними аккумулятивно-эрозионно-денудационные процессы. Дочетвертичный этап развития региона остается слабо изученным, так как подстилающие осадочные образования на обширной площади шельфа с большим перерывом представлены породами мезозоя.

Ключевые слова:

шельф, голоцен, плейстоцен, оледенение, морена, сейсмоакустика, колонка, керн, седиментогенез, перерыв.



Введение

В последние десятилетия отечественными и зарубежными учеными на Западно-Арктическом шельфе проведен значительный объем океанологических работ. Это многочисленные геолого-геофизические исследования [1–9], литолого-фаунистическое изучение донных отложений и керновых проб разрезов морского бурения, а также их возрастные датировки [10–17], анализ которых позволяет представить общие черты геологического развития данного осадочного бассейна. В то же время результаты новых исследований позволили выявить основные закономерности формирования верхнего этажа осадочного чехла – четвертичных отложений. В поле зрения исследователей находятся вопросы определения продолжительности и возраста ледниковых и межледниковых периодов, а также области их распространения [18–26]. Исследование закономерностей осадконакопления на обширной площади Арктического шельфа, полученные при этом литологические сведения могут иметь большое практическое значение. Например, на поверхностях перерыва в осадконакоплении, или же в древних палеоврезах могут содержаться россыпные и рудные месторождения. Поэтому их изучение дает основу для поисков месторождений полезных ископаемых, особенно в дочетвертичной поверхности рельефа, требующих от исследователя глубоких знаний в области многих морских научных дисциплин. Однако многие моменты познания четвертичных природных процессов, ответственных за формирование осадочных толщ, а также вопросы естественного хода геологической истории региона, поднимаемые в публикациях, остаются все еще слабо изученными. Отдельные положения и обоснования природы подобных явлений носят явно спорный и дискуссионный характер. Таким образом, палеоокеанологические и палеогеографические исследования в регионе представляются актуальными.

Настоящая работа посвящается постановке и разработке некоторых общих вопросов указанной проблемы. В статье использованы материалы сейсмоакустических профилирований, выполненные в Морской арктической геологоразведочной экспедиции (ОАО МАГЭ), керны морского бурения (ОАО «Арктические морские инженерно-геологические экспедиции», АМИГЭ), а также колонки грунтового проботбора, полученные автором в разные годы в экспедициях ММБИ с борта НИС «Дальние Зеленцы».

Геологическое строение верхней осадочной толщи шельфа

Западно-Арктическая континентальная окраина, особенно Баренцевоморская, отличается от других окраин пассивного типа наиболее обширным шельфовым пространством, гигантской мощностью осадочных образований, заполняющих ее впадины и прогибы, а также уникальной тектонической позицией. Край континента находится под воздействием двух современных, взаимно перпендикулярных, раскрывающихся спрединговых геоструктур океана – хребтов Книповича и Гаккеля. По данным морского бурения и сейсмических разрезов установлено, что самые активные природные процессы в геологической истории Баренцевоморской окраины, обусловленные эрозией и денудацией, протекали в фазу кайнозойской генерации океанообразования [3]. В ходе работ получены новые подтверждения, указывающие на устойчивый режим вертикальных неотектонических движений на протяжении позднего кайнозоя и связанных с этим аккумулятивно-денудационных процессов в бассейне Баренцева моря. Следовательно, в кайнозое в изучаемом осадочном бассейне существовали континентальные условия, при которых произошло разрушение и удаление ранее накопленных осадочных пород. Устойчивый режим вертикальных неотектонических движений фактически зафиксировал в литологическом разрезе крупный стратиграфический перерыв в осадконакоплении длительностью около 60 млн лет.

На основе анализа интегрированной базы литолого-сейсмоакустических данных отмечено [13, 23], что коренные породы шельфа, преимущественно мезозоя, прослеживаются практически у поверхности дна под покровом маломощной толщи четвертичных рыхлых образований, а локально они выходят на «дневную поверхность» во многих участках шельфа. При этом контакт между вышеуказанными толщами показывает несогласное залегание, которое отмечается четкостью проявлений, непрерывным простираем, резкой литологической границей, явными следами эрозионного среза, свидетельствуя о перерыве осадконакопления в разрезах осадочного чехла (рис. 1).

Таким образом, в верхнем осадочном чехле шельфа из разрезов выпадает значительный стратиграфический интервал кайнозойской толщи. Отсутствие в разрезах палеоген-неогеновых пород означает, что в результате осадочная толща мощностью до нескольких километров была удалена. Только во внутренних районах шельфа величины смытого за кайнозой разреза оцениваются в 1.5–2.0 км, нарастая к его периферийным зонам до 3.0 км и более в пределах Шпицбергена [3, 4, 6].

Вышеуказанные слои осадочных образований прерываются угловым несогласием с разной величиной угла несогласия (рис. 1). Следовательно, угол между кровлей мезозойского слоя пород и подошвой четвертичных отложений в зависимости от района осадочного бассейна колеблется в широких пределах от 0 до 180°.

Анализ поверхностей несогласия на шельфе Баренцева моря указывает на денудационную (эрозионную) их природу и характер проявления при субаэральном развитии региона. Поверхность рельефа несогласия или кровли нижележащего слоя имеет различные формы. Местами она наклонно ровная на склонах древнего рельефа (рис. 1б), волнообразная (рис. 1в, г, к), структурно неровная с существенными колебаниями высот около 50 м на расстоянии 2–3 км (рис. 1д); мелкосопочная (рис. 1е, л), ровная (рис. 1и). Перечисленные формы несогласия, бесспорно, являются проявлениями различных непосредственно денудационных процессов. На сейсмопрофилях просматриваются также структурные формы,

сформированные в результате складкообразования и последующего срезания агентами денудации (например, рис. 1д) Наклонное залегание слоя нижнего осадочного этажа как результат тектонических движений, встречается в нескольких формах. В одних случаях оно формируется при складкообразовании путем горизонтального сжатия массивов горных пород с противоположных сторон с одновременным вертикальным движением, а в других – при разрывных тектонических нарушениях. При втором случае увеличивается вероятность появления грабена, образованного сбросом (рис. 2а). Широко развиты остаточные микроформы рельефа поверхности или кровли, четко просматриваемые на сейсмоакустических профилях в виде форм, созданных экзогенными процессами (врезы и ложбины, куэсты и другие формы) (рис. 2б). В целом, поверхности кровли нижележащих слоев фиксируют переломные моменты в развитии древней осадочной толщи и обстановки осадкообразования в результате вертикальных движений и относятся к региональным несогласиям.

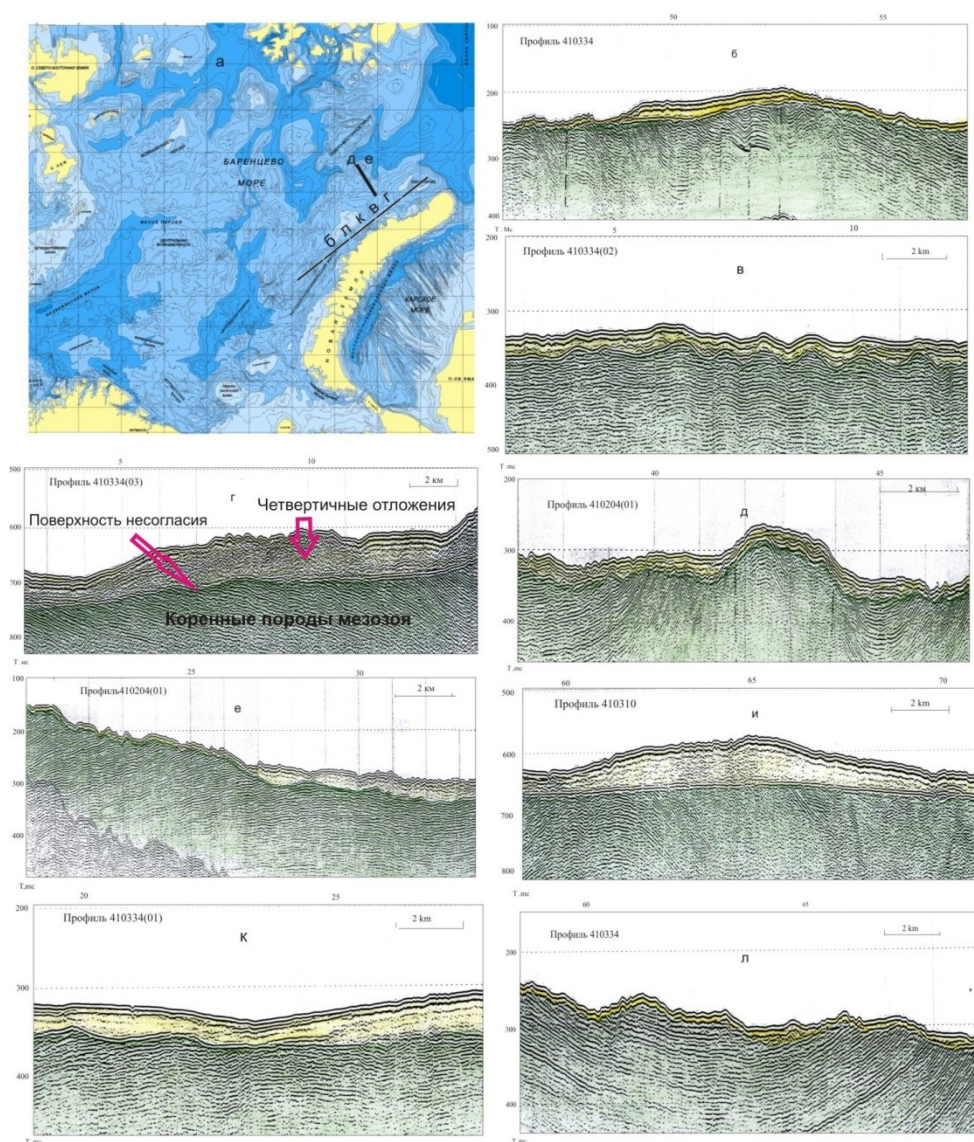


Рис. 1. Фрагменты временных сейсмоакустических разрезов (северо-западная часть шельфа): а – расположение профилей; поверхность несогласия; б – наклонно ровная на склонах древнего рельефа; в, г, ж, з, л – волнообразная; д – структурно неровная; е, л – мелкосопочная; и – ровная

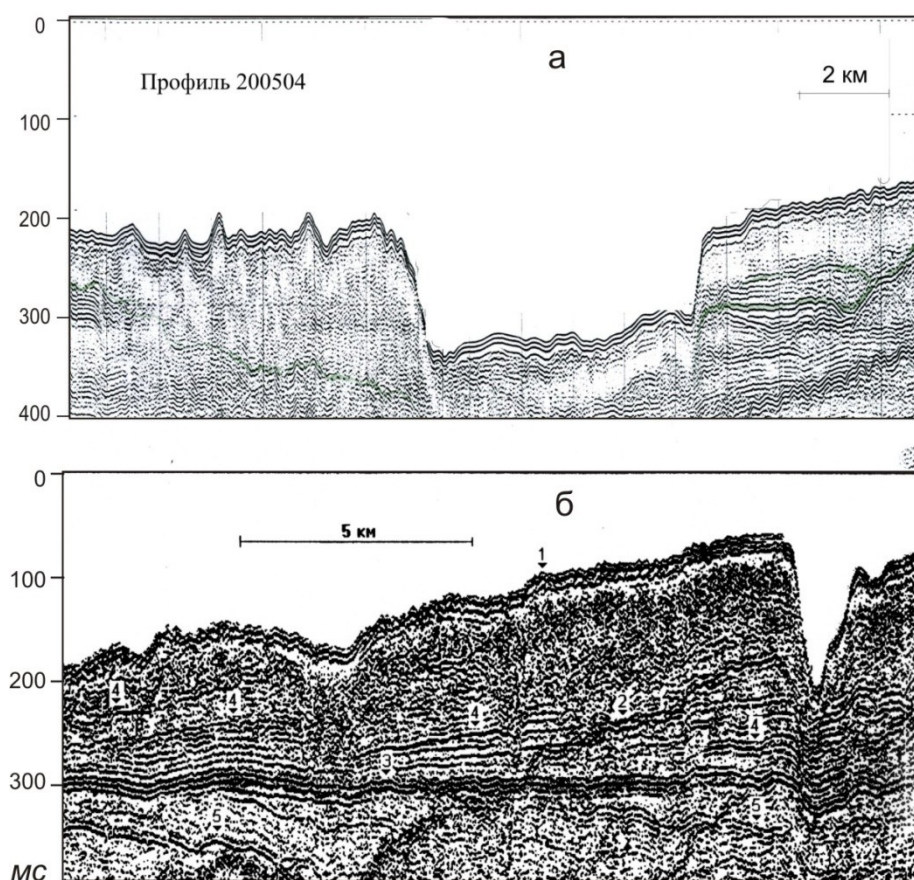


Рис. 2. Фрагменты сейсмоакустических разрезов (южная часть шельфа):
 а – рисунок грабена вблизи Кольского шельфа; б – врезы в четвертичных отложениях Карского моря

Таким образом, в результате взаимодействия всего комплекса факторов и процессов происходили существенные преобразования Западно-Арктического шельфа и рельефа арктических архипелагов (Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля), которые морфологически приобрели черты строения, близкие к современному. Однако окончательное формирование современного рельефа произошло в четвертичное время в условиях сложного проявления неотектонических процессов, связанных с оледенениями и процессами ледниково-морского осадконакопления.

Мощности четвертичных отложений шельфа

Они представляют собой верхний этаж осадочной толщи шельфа, распространены повсеместно, облекая практически все формы рельефа дочетвертичной поверхности, за исключением участков рельефа дна, где на «дневную поверхность» выходят коренные (скальные) породы осадочно-метаморфического комплекса. В зависимости от характера элементов древней морфоструктуры их мощность меняется (рис. 3). Пространственное распределение мощности четвертичных отложений слабо поддается батиметрическому контролю и отражает достаточно сложную историю их формирования. В среднем мощность на шельфе Баренцева моря составляет 30–40 м, сокращаясь к северу от 74° с.ш.

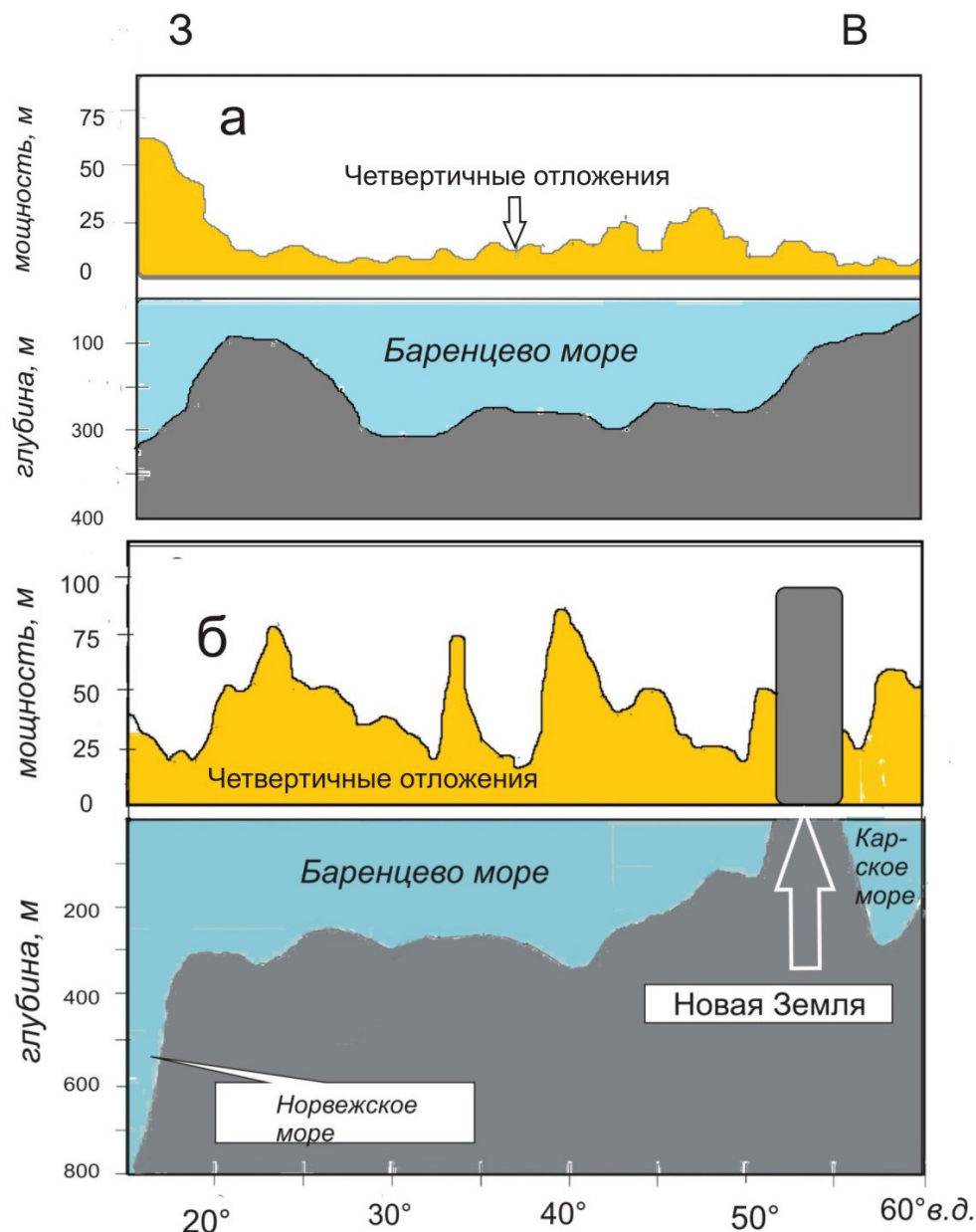


Рис. 3. Схемы профилей широтного распределения мощностей четвертичных отложений:
а – по 76° с.ш.; б – по 72° с.ш.

Анализ сейсмопрофилей показывает, что максимальные мощности характерны как для относительно возвышенных участков территории (Северо-Канинская и Мурманская возвышенности), так и для ряда впадин и желобов (котловина Самойлова, Южно-Новоземельский и Гусиный желоба). Однако подобным же в батиметрическом отношении участкам (Восточно-Новоземельский желоб, возвышенность Альбанова и др.) свойственны сокращенные мощности менее 10 м, вплоть до выклинивания четвертичного чехла [23].

Южнее 74° с.ш. мощности четвертичных отложений заметно увеличиваются, на некоторых участках Печорского шельфа и Южно-Карской возвышенности их значения превышают 200 м. Важно отметить, что 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 бесспорен, поскольку рядом скважин вскрыты моренные отложения, перекрывающиеся морскими микулинскими осадками [14].

По анализу сейсмоакустических профилей отмечается неравномерное распределение четвертичных отложений и в Белом море. Здесь мощность меняется от 3 до 150 м, в среднем – 30 м [27]. На востоке моря она не превышает 20 м. Максимальные значения их просматриваются в виде линейно вытянутых форм рельефа северо-восточного простирания, расположенных параллельно от Кандалакшского залива по направлению к Двинскому заливу. Особо крупные положительные формы четвертичных отложений, протяженные на несколько сотен метров в длину и высотой до 100 м, являются моренными формированиями. Преимущественно комплекс ледниковых отложений последнего оледенения залегает непосредственно на дочетвертичной поверхности.

Мощности голоценовых отложений шельфа

Это накопление современных отложений с возрастом менее 10 тыс. лет. Они распределены по площади в зависимости от морфоструктур рельефа дна вполне закономерно. Увеличения мощности (1–2 м и более) характерны для желобов и впадин, максимальные – для днищ желобов, расположенных в непосредственной близости от источников сноса (Восточно-Новоземельский и Кольский желоба, желоб Альбанова и др.), минимальные – для сводовых частей возвышенностей и участков донной абразии вблизи береговой черты. И это вполне закономерно, поскольку голоценовые отложения формировались на протяжении одного цикла седиментогенеза, во время которого практически на всей рассматриваемой территории существовали стабильно морские условия.

Однако наибольшие мощности голоценовых осадков, превышающие 10–15 м, наблюдаются во фьордах архипелагов Шпицберген, Земля Франца Иосифа и Новая Земля, Кольского п-ова, а также на приустьевых участках рек, куда привносится большой объем осадочного материала и происходит его осаждение на геохимическом барьере река–море. В районе Воронки Белого моря, Чешской губы на участках сильных реверсивных течений голоценовые отложения формируют крупные аккумулятивные гряды мощностью более 10 м.

Значительные по мощности разрезы голоценовых отложений характерны для понижений и депрессий рельефа дна, в то время как положительные формы рельефа дна имеют бронированные поверхности, выстланные грубообломочным остаточным материалом. Это результат процесса современного выравнивания рельефа дна.

Очевидно, осадочный материал ледового транспорта во многих областях арктических морей преобладает в современном седиментогенезе, хотя в процессе морского осадкообразования принимают участие многие другие природные агенты. В ледовый комплекс осадочного процесса входит совокупное действие поступления терригенного материала от припая, покровных, паковых льдов, а в районах распространения современных выводных ледников – айсбергов. Ледовый характер накопления донных осадков в арктических морях преобладал в позднем плейстоцене и раннем голоцене в связи с широким распространением плавучих льдов, материковых ледников и морского ледового покрова. Значимость ледово-ледниковой роли в седиментогенезе не везде одинакова и менялась в историческом интервале, что связано с климатическими колебаниями – чередованием теплых и холодных периодов, которые хорошо прослеживаются в разрезах донных отложений.

Изучением нескольких сот колонок донных отложений, полученных в областях наибольшего развития плавучих льдов Баренцева-Карского шельфа, показано наличие границ резко и слабо выраженной смены литологического состава в разрезе. Отмечаются слои,

отложенные совсем недавно и в более продолжительные отрезки времени (рис. 4). Соответственно выделяются сезонные или годовые слои разной толщины и размерного состава частиц, а также многолетние – пачки слоев, показывающие межгодовые изменения климатической системы (сумм градусо-дней мороза и тепла, форм и типов атмосферной циркуляции) или периоды 11, 22-летних и более длительных циклов солнечной активности. Пульсационный характер таяния плейстоценовых ледников выражен особенно четкими литологическими горизонтами в разрезах донных отложений Северного Ледовитого океана. Здесь определяющими являются его теплые продолжительные циклы.

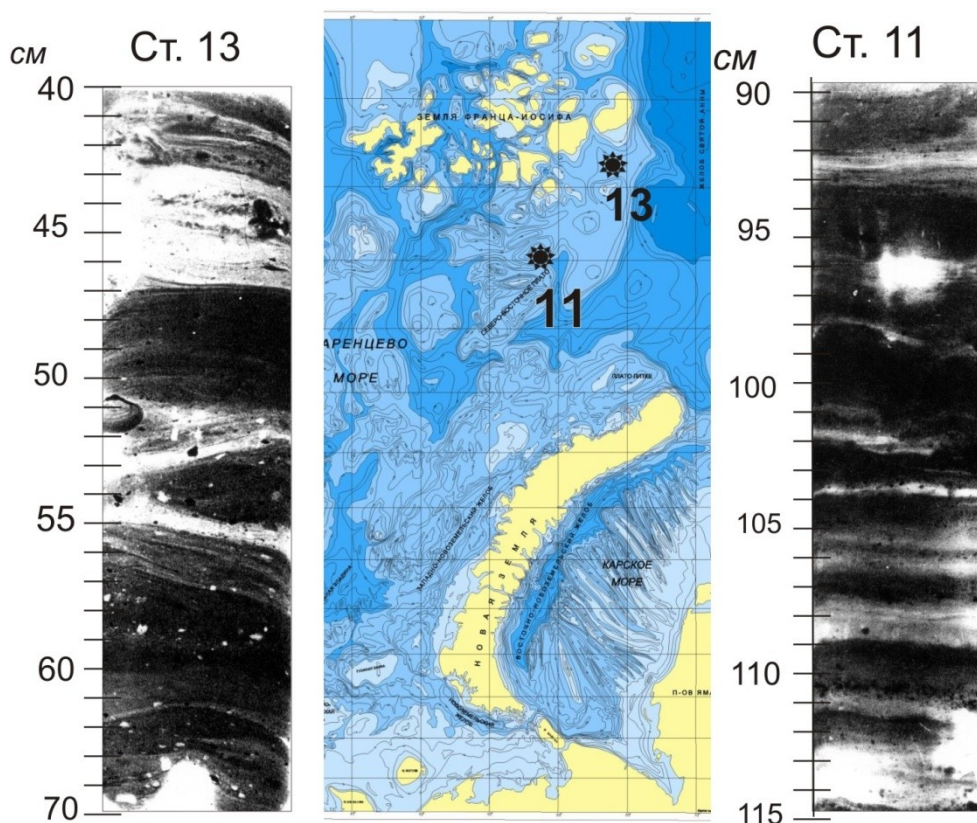


Рис. 4. Рентгено снимки (X-ray) фрагментов грунтовых колонок со слоистой структурой (ст. 11, 13)

Таким образом, на дно арктических морей выпадает непрерывный “дождь” обломков горных пород самых разных размеров, формируя рыхлую толщу. На основных трассах дрейфующего льда наблюдается зональное распределение и аккумуляция осадочного материала. Здесь в разрезах донных отложений запечатлены многие исторические этапы развития северной природы. Наши исследования расширяют представление об осадкообразующей роли арктических льдов, подчеркивая новые стороны крупномасштабного взаимодействия в глобальной системе атмосфера – океан – дно.

Обсуждение результатов исследования вещественного состава

В данном разделе в качестве представительного материала ограничимся изложением литологической характеристики полного разреза четвертичных отложений, полученного в ходе морского бурения скважины 45, выполненного с борта бурового судна “Бавенит” (ОАО АМИГЭ) на юго-восточном склоне Центральной возвышенности Баренцева моря при глубине моря 225 м (рис. 5). Согласно данным бурения и сейсмопрофилирования здесь на меловых отложениях с отчетливым угловым несогласием залегает 29-метровая толща четвертичных осадков. В ней выделяется “полупрозрачный” горизонт отложений мощностью 13–14 м. Выше залегает

толща, состоящая из чередования горизонтов темных и светлых тонов, мощностью приблизительно 10 м. Вверху прослеживаются голоценовые отложения мощностью около 5 м.

Коренные породы, вскрытые в подошве скважины, по данным споро-пыльцевого анализа имеют нижнемеловой возраст. В пыльцевом спектре преобладают споры *Cleichenia sp.*, *Sphagnum sp.*, *Coniopteris sp.*, *Selaginella sp.*, *Lygodium sp.*, *Anemia sp.*, *Schizaceae* и пыльца *Pinites sp.*, *Piceites sp.*, *Ginkgo sp.*, *Podozamites sp.*, *Podocarpus sp.* [28]. Фаунистически толща немая. Представлены эти породы темно-серыми глинами, песком и слабосцементированным песчаником. В гранулометрическом составе песок составляет 48.1 %, пелит – 15.3 %. Влажность около 20 %, плотность – 2.03 г/см³, коэффициент пористости – 0.584.

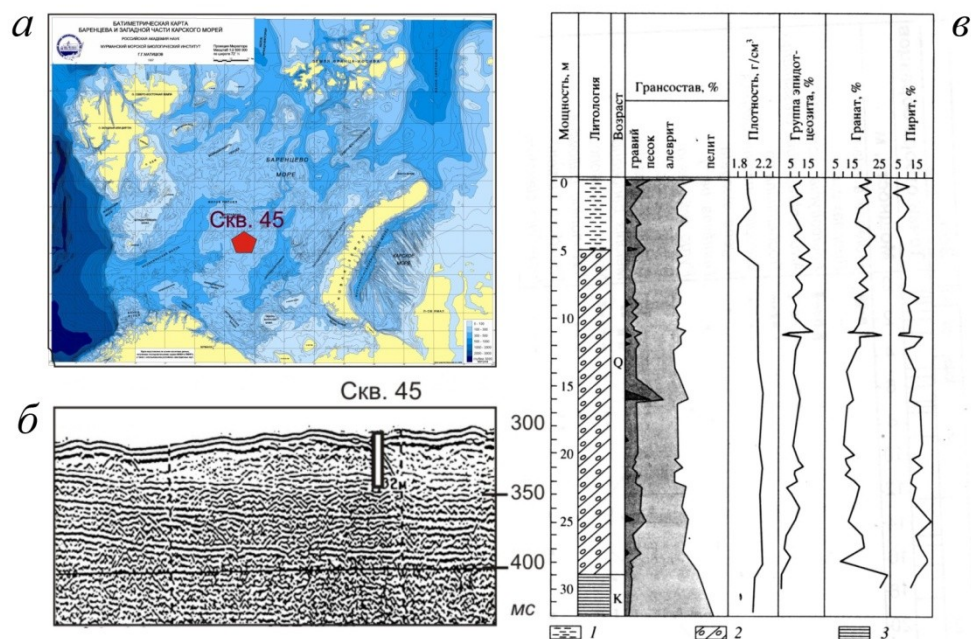


Рис. 5. Местоположение скважины 45 морского бурения (ОАО АМИГЭ) (а); фрагмент сейсмоакустического разреза (б); распределение значений гранулометрического состава, плотности и отдельных минералов тяжелой фракции в разрезе скважины (в):

1 – голоценовые мелкоалевритовые илы; 2 – ледниково-морские позднечетвертичные глины; 3 – мезозойские глины

Четвертичные отложения слагаются преимущественно темно-серыми плотными и монотонными глинистыми осадками с включением донно-каменного материала в виде гальки, гравия, дресвы и щебня (0.5–2.05 %). Преобладающей фракцией является глина; максимальные значения ее приурочены к глубинам скважины 14.05, 20.6 и 22.2 м с содержанием 52, 53 и 55.6 % соответственно. Резкие изменения гранулометрического состава наблюдаются в отдельных горизонтах 3–5, 11–13, 15–16, 20–22, 26–27 м за счет увеличения доли гравийно-песчанистого материала. Наибольшее содержание терригенных минералов приходится на минералы группы эпидота (до 17.2 %) и роговую обманку (до 8.6 %). Значительная доля представлена аутогенными минералами, среди которых доминирует пирит (до 25.2 %). Их содержание возрастает вниз по разрезу. Из глинистых минералов характерны каолинит (3–20 %) и гидрослюда (4–13 %). При этом значение каолинита возрастает в более древних породах, а гидрослюда ведет себя наоборот – больше содержится в более молодых породах. Концентрация остальных глинистых минералов значительно меньше.

Химический состав отложений колонки охарактеризован главными соединениями CaO, MgO, Al₂O₃, P₂O₅, MnO, SiO₂, Fe₂O₃. В целом, содержание окислов возрастает с глубиной. Максимальные концентрации CO₂, Сорг и CaCO₃ отмечены в опесчаненных породах. Аморфный кремнезем распределен равномерно.

В разрезе отчетливо прослеживается процесс уплотнения осадков. В верхней части (до глубины 5 м) отложения мягкие, текучепластичные, ниже по разрезу их консистенция меняется от мягкопластичной (до глубины приблизительно 14 м) до тугопластичной и твердой.

В рассматриваемой толще отложений методом фораминиферового анализа выделяются две зоны: 27.0–14.0 м, 14.0–7.0 м [29]. Интересно, что пики наиболее теплопроводных комплексов микрофауны совпадают с пиками аутигенных минералов, увеличением содержания железисто-карбонатных стяжений, доли гравийно-песчанистого материала. В качестве примера можно рассмотреть образец, взятый на глубине 27.0 м. Содержание аутигенных минералов здесь самое высокое по разрезу (до 60 %), также отмечен скачок в содержании окислов. По данным И.А. Погодиной [29], в этом же образце количество планктонных раковин, представленных одним видом *Globigerina pachyderma sin.*, максимальное по разрезу (330 экз.). В значительных количествах встречаются бентосные фораминиферы арктического типа. Доминирует *Cassidulina reniforme* (38 %). Достаточно разнообразна акцессорная группа: оолины, фиссурины, *Pyrgo williamsoni*, *Bulimina marginata*. Последний вид встречается практически во всех пробах до глубины 7 м. Некоторые исследователи полагают, что отложения с *Bulimina marginata* сформированы в период микулинского межледникового. Отсутствие радиоуглеродных датировок делает этот вопрос спорным. Но очевидно одно: комплекс фораминифер свидетельствует о свободном проникновении в Баренцево море атлантических вод.

Вверх по разрезу отмечена закономерная смена доминантов. На первое место выступает *Cassidulina teretis*, исчезают оолины, появляются букцеллы. В этих отложениях эпизодически встречаются остракоды различных видов.

По мнению автора, все эти отложения формировались в условиях морского перигляциала, на что указывает достаточно высокое содержание и хорошая сохранность раковин фораминифер.

В следующей зоне (14.0–7.0 м), представленной на сейсмопрофиле в виде чередования темных и светлых слоев, содержание фораминифер самое низкое по всему разрезу. Доминирует *Cassidulina reniforme* (до 33 %). Сохранность раковин средняя. Отдельные экземпляры полурастворены. Имеются раковины со следами разрушения. Образец, взятый на глубине 11.4 м, содержит лишь переотложенные фораминиферы. Остатков макрофауны не встречено.

Возраст отложений, имеющих сходную сейсмическую запись, в южной области Баренцева моря оценивается методом радиоуглеродного анализа в 12–9.5 тыс. лет.

Завершают разрез четвертичных отложений зеленовато-серые алевроито-глинистые осадки голоцена с обилием растительных остатков, гравийным материалом. В гранулометрическом составе содержание песка составляет 11.3 %, алевроита – 44.7 %, пелита – 42.2 %.

Граница голоцена и плейстоцена четко фиксируется по споро-пыльцевым и фораминиферным комплексам, а по C¹⁴ датируется временем 10 тыс. лет назад. В комплексе фаунистических остатков выявлены существенные изменения, свидетельствующие о принципиальной перестройке гидродинамического режима на исследуемом участке акватории во время накопления этих отложений. Планктонные фораминиферы единичны. Обнаружены разнообразные песчаные раковины бентосных фораминифер. Содержание их быстро возрастает вверх по разрезу и в поверхностных образцах достигает 1400 экз. Представляет интерес сохранность раковин известковых фораминифер в голоценовых отложениях. На многих экземплярах различных видов отмечены следы растворения, особенно заметные на глубине 2.0 и 0.7 м, что, вероятно, связано с неблагоприятными условиями захоронения, сходными с существующими в этой области и ныне [12, 29]. Эти осадки содержат многочисленные остатки мшанок, остракод, баянусов (ювенильные формы), двустворок, иглокожих, отдельных спикул, губок, трубок червей.

Голоценовые отложения охарактеризованы тремя палинокомплексами, соответствующими нижнему, среднему и верхнему голоцену [28]; помимо спор и пыльцы здесь находятся динофлагеллаты, диатомовые и синезеленые водоросли. В спектрах первого палинокомплекса преобладают споры (55–69 %), пыльца древесных пород (в основном карликовой березы) составляет 19–36 %. В общем составе второго палинокомплекса доминирует пыльца древесных растений (57–75 %), среди которой господствует пыльца сосен (53–69 %). В третьем спектре возрастает роль спор, которые в ряде случаев составляют равный процент с пылью древесных растений, доминирующих в этом комплексе (46–59 %).

Таким образом, вещественный состав отложений скважины, высокое содержание и хорошая сохранность раковин фораминифер, особенно планктонных, свидетельствуют о существовании морского бассейна в этом районе Баренцева моря на всем протяжении позднего плейстоцена. Накопление ледниково-морских осадков происходило в условиях морского перигляциала [12, 18]. В максимальную фазу распространения северного ледникового покрова последнего оледенения, центр которого располагался в районе возвышенности Персея, вся территория между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, а также и сами архипелаги находились под ледниковой шапкой [18]. Только наиболее подвижные потоки выводных ледников могли достичь широты Центральной возвышенности. При этом в ходе дегляциации на общем фоне отступления ледника наблюдались периоды интенсивного таяния, замедления темпа таяния и наступления. Соответственно фронт ледника периодически смещался в ту или иную сторону, представляя реверсивный характер, а поступление осадочного материала происходило в пульсационном режиме. Об этом свидетельствует хорошо выраженный рисунок непрерывного ряда литологических изменений в разрезе скважины. Причем, возможно, формирование нижней части “прозрачной” толщи происходило в микулинское время.

Заключение

Таким образом, перерывы между осадочными породами мезозоя и четвертичным чехлом четко выражены практически повсеместно на шельфе западно-арктических морей. За время перерыва в осадконакоплении на обширной площади шельфа происходила интенсивная денудация, в результате сформировался сложный денудационный, денудационно-эрозионный и эрозионный погребенный рельеф с перепадами высот до нескольких десятков метров.

Материалы сейсмоакустического профилирования, литолого-фациальный анализ разрезов рыхлой толщи, полученных грунтоотборниками и морским бурением в разных областях Баренцева, Норвежского, Печорского, Карского и Белого морей, показывают, что под тонким слоем современных донных отложений широко простираются более массивные образования. По набору признаков, определяющих структуру толщи, эти отложения можно рассматривать как шельфовую перигляциальную формацию. Соответственно накопление такого большого объема осадочного материала на значительной площади шельфа нельзя рассматривать вне ледниковых позиций, ибо данная толща формировалась в полярных широтах в крайне суровых климатических условиях под непосредственным влиянием ледниковых покровов последнего плейстоценового оледенения. В результате экзарационной деятельности ледников последнего оледенения, которые существовали довольно широко в пределах шельфа и архипелагов, были в значительной мере денудированы древние четвертичные отложения шельфа и сформирован своеобразный ледниковый тип рельефа. В рельефе морского дна особенно выделяются хорошо выраженные на южных склонах возвышенностей протяженные выпуклые с расчлененной кровлей тела ледникового формирования (конечные морены) [23]. Как правило, они представляют собой вытянутые вдоль склонов гряды высотой до 60 м с сильно расчлененным мезорельефом и залегают на значительно денудированном мезозойском основании. Они сложены песчано-алеврит-пелитовыми переуплотненными полутвердыми формированиями темно-серого цвета с содержанием щебня, дресвы и гальки до 15 %. Парагенетически и пространственно к ледниковым отложениям позднего валдая приурочены

ледниково-морские отложения, формирование которых наиболее интенсивно происходило на стадии дегляциации. Они простираются на склонах и подножьях возвышенностей, где формируют акустически «прозрачную» сейсмopачку мощностью до 60–70 м. Указанные отложения представлены алевро-пелитами серого цвета, часто с примесью песка, редкими галькой и гравием, комочками относительно сухих пелитов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Elverhøi A.* Glacigenic and associated marine sediments in the Weddell Sea, fjords of Spitsbergen and the Barents Sea: a review // *Marine Geology*. 1984. Vol. 57. P. 53–88.
2. *Крапивнер Р.Б., Гриценко И.И., Костюхин А.И.* Сейсмостратиграфия новейших отложений Южнобаренцевского региона // Кайнозой шельфа и островов Советской Арктики. Л.: ПГО "Севморгеология", 1986. С. 7–14.
3. *Шипилов Э.В., Тарасов Г.А.* Региональная геология нефтегазоносных осадочных бассейнов Западно-Арктического шельфа России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. 306 с.
4. *Вербя М.Л.* Современное билатеральное растяжение земной коры в Баренцево-Карском регионе и его роль при оценке перспектив нефтегазоносности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2007. № 2. Режим доступа: www.ngtp.ru.
5. Создание геолого-экологической основы рационального природорользования Западно-Арктического шельфа России / *Г.С. Казанин, И.В. Заяц, Н.В. Маркина и др.* // Разведка и охрана недр. 2007. № 9. С. 2–13.
6. Structure and evolution of the continental margin off Norway and the Barents Sea / *J. Faleide, F. Tsikalas, A. Breivik et al.* // Episodes. 2008. Vol. 31, № 1. P. 82–92.
7. *Forwick M., Vorren T.O.* Stratigraphy and deglaciation of the Isfjorden area, Spitsbergen // *Norwegian Journal of Geology*. 2011. Vol. 90. P. 163–179.
8. *Крапивнер Р.Б.* К вопросу о генезисе новейших отложений Баренцево-Карского шельфа // Литология и полезные ископаемые. 2014. № 4. С. 306–322.
9. Effect of early Pliocene uplift on late Pliocene cooling in the Arctic–Atlantic gateway / *J. Knies, R. Mattigsdal, K. Fabian, K. Grøsfjeld, S. Baranwal, K. Husum, S. DeSchepper, C. Vogt, N. Andersen, J. Matthiessen, K. Andreassen, W. Jokat, S. Nam, C. Gaina* // *Earth and Planetary Science Letters*. 2014. Vol. 387. P. 132–144.
10. *Матишов Г.Г.* Концепция морских экзогенных процессов в ледниковый и современный периоды // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2008. № 68. С. 26–40.
11. Акустические фации посткриогенных обстановок мелководных районов Печорского и Карского морей / *В.Н. Бондарев С.И. Рокос, А.Г. Длузач, Д.А. Костин* // Разведка и охрана природы. 1999. № 7–8. С. 10–14.
12. Процессы седиментации на гляциальных шельфах / *Г.А. Тарасов, И.А. Погодина, В.Б. Хасанкаев и др.* Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2000. 473 с.
13. *Тарасов Г.А., Матишов Г.Г., Казанин Г.С.* Геологическое строение и эволюция Баренцево-Карского шельфа в позднем кайнозое // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М.: ГЕОС, 2009. Вып. 1. С. 45–53.
14. *Тарасов Г.А.* Верхнечетвертичный седиментогенез на шельфе Западно-Арктических морей: автореф. дис. ... д.г.-м.н. М.: ИО РАН, 1998. 46 с.
15. *Тарасов Г.А.* Особенности седиментологических исследований в Арктике // Тр. КНЦ РАН. Сер. Океанология. 2013. № 1. С. 79–95.
16. Новые данные о природной обстановке в Баренцевом море в конце валдайского ледникового / *Ю.А. Павлидис, Ю.А. Богданов, О.В. Левченко, И.О. Мурдмаа, Г.А. Тарасов* // Океанология. 2005. Т. 45, № 1. С. 92–106.
17. Quaternary history of sea ice in the western Arctic Ocean based on Foraminifera / *L. Polyak, K.M. Best, K.A. Crawford, E.A. Council, G. St-Onge* // *Quaternary Science Reviews*. 2013. Vol. 79. P. 145–156.
18. *Матишов Г.Г.* Дно океана в ледниковый период. Л.: Наука, 1984. 176 с.
19. Postglacial emergence and Late Quaternary glaciation on northern Novaya Zemlya, Arctic Russia / *S.L. Forman, D.J. Lubinski, J.J. Zeeberg, L. Polyak, G.H. Miller, G. Matishov, G. Tarasov* // *Boreas*. 1999. Vol. 2. P. 133–145.
20. *Mangerud J., Svendsen J.I., Astakhov V.I.* Age and extent of the Barents and Kara ice sheets in Northern Russia // *Boreas*. 1999. Vol. 28. P. 46–80.
21. *Эпштейн О.Г., Чистякова И.А.* Печороморский шельф в позднем валдае-голоцене: основные седиментологические и палеогеографические события // Бюлл. Комиссии по изуч. четвер. периода. 2005. № 66. С. 107–123.
22. Cosmogenic ^{10}Be exposure age dating across Early to Late Weichselian ice-marginal zones in northwestern Russia / *H. Linge, E. Larsen, K.H. Kjær, I. Demidov, E.J. Brook, G.M. Raisbeck, F. Yüü* // *Boreas*. 2006. Vol. 35, P. 576–586.
23. *Костин Д.А., Тарасов Г.А.* Четвертичный осадочный чехол Баренцево-Карского бассейна // Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии. М.: ГЕОС. 2011. Вып. 3. С. 107–130.
24. *Hormes A., Gjermundsen F.E., Rasmussen T.L.* From mountain top to the deep sea- Deglaciation in 4D of the northwestern Barents Sea ice sheet // *Quaternary Science Reviews*. 2013. Vol. 75. P. 78–99.
25. Arctic Ocean glacial history / *M. Jakobsson, K. Andreassen, L.R. Bjarnadóttir, D. Dove, J.H. Dowdeswell et al.* // *Quaternary Science Reviews*. 2014. Vol. 92. P. 40–67.
26. Imprint of late Pleistocene continental processes visible in ice-rafted grains from the central Arctic Ocean / *N. Immonen, K. Strand, A. Huusko, J.P. Lunkka* // *Quaternary Science Reviews*. 2014. Vol. 92. P. 133–139.
27. *Тарасов Г.А., Шлыкова В.В.* Распределение мощностей четвертичных отложений и основные черты довалдайской поверхности бассейна Белого моря // Докл. РАН. 2006. Т. 411, № 2. С. 226–230.
28. *Шарапова А.Ю.* Верхний плейстоцен и голоцен Северной Фенноскандии и Баренцева моря (стратиграфия, абсолютная хронология, палеогеография): автореф. дис. ... д.г.-м.н. СПб., 2005. 48 с.
29. *Погодина И.А.* Фораминиферы в донных отложениях морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2014. 192 с.

Сведения об авторе

Тарасов Геннадий Антипович – д.г.-м.н., профессор; e-mail: tarasov@mmbi.info

CONTENTS

Herald of the Kola Science Centre of the Russian Academy of Sciences 2/2015 (21)

NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES

V.S. Zenzerov	80-year's Anniversary of Murmansk Marine Biological Institute. MMBI's Significance for Growth in Priority of Russian Science in the Arctic.....	4
G.G. Matishov	Climate and Oceanographic Researches of Northern and Southern Russian Seas.....	11
O.S. Lyubina, A.A. Frolov, A.A. Oleinik,	A Review of Current Zoobenthos Investigations of the Barents Sea and Adjacent Waters.....	20
A.G. Dvoretzky	Phytoplankton Species from the Coastal Waters of Franz Josef Land.....	25
G.M. Voskoboinikov, M.V. Makarov, S.V. Malavenda, I.V. Righik	Contribution of Scientists from Murmansk Marine Biological Institute to Studies of Red King Crab in the Barents Sea.....	33
M.M. Kuklina, V.V. Kuklin A.V. Ezhov	Adaptation and Regulation of Growth of Macrophytes in the Barents Sea.....	40
N.N. Kavtsevich, T.V. Minzyuk, I.A. Yerokhina	Experimental Investigation of Particulars of Physiology and Nutrition of Cestodes <i>Tetrabothrius minor</i> (Cestoda: Tetrabothriidae).....	49
D.G. Ishkulov, A.L. Mikhailyuk, M.V. Pakhomov	Results of 15-Year Monitoring of Largest Continental Kittiwakes and Guillemots Colonies on Murman Coast.....	53
E.D. Obluchinskaya	Ecological and Physiological Parameters of Uneven-Aged Seals.....	59
G.V. Ilyin, I.S. Usyagina, N.E. Kasatkina C. L. Genyk	Experience of the Laboratory for Biotechnical Systems in Operation with Arctic Pinnipeds: from Theory to Practice.....	70
G.G. Matishov, V.V. Denisov, A.P. Zhichkin	Methodological Approaches to the Development of Biological Products Based on Seaweed <i>Fucus</i>	78
A.A. Shavykin	Geoecological State of Seas Environment in the Russian Arctic under the Present Technogenic Stresses.....	82
G.A. Tarasov	On the Substantiation of the Integrated Monitoring System for the West Arctic Seas.....	94
G.A. Tarasov	Marine Natural Management in the Western Sector of the Arctic: Issues and Options.....	103
G.A. Tarasov	Methodology to Map Vulnerability of Marine and Coastal Zones to Oil Spillage Exemplified with Maps for Kola Bay.....	113
G.A. Tarasov	Quaternary Sedimentary Cover of the West Arctic Shelf: Lithological Structure, Spatial Distribution.....	124
	CONTENTS	135

V.S. Zenzerov

80-YEAR'S ANNIVERSARY OF MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE.

MMBI'S SIGNIFICANCE FOR GROWTH IN PRIORITY OF RUSSIAN SCIENCE IN THE ARCTIC

Data are presented on the 80-year long history of the Murmansk Marine Biological Institute. The history began with the biological station in the Dalniye Zelentsy (1935), and even earlier - with the biological station on the Solovetsky Islands (the White Sea) and in the Kola Bay of the Barents Sea. The paper highlights key areas of Murmansk Marine Biological Institute's researches, as well as the most important results of the Arctic ecosystems studies. Significance of Murmansk Marine Biological Institute for growth in priority of Russian science in the region is vindicated.

Keywords: the Barents Sea, the history of Murmansk Marine Biological Institute, Dalniye Zelentsy, main results and perspectives of research in the Arctic.

Author

Zenzerov Viktor Sergeevich – Dr.Sc. (Biol), Leading Scientific Researcher, Zoobenthos Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: zenzerov@mmbi.info

REFERENCES

1. Deryugin K.M. Pervye shagi organizatsii novoj Murmanskoj biologicheskoy stancii // Tr. Murmanskoj biologicheskoy stancii AN SSSR. 1948. T. 1. S. 5–9.
2. Zhuravleva N.G., Zenzerov V.S. Ekologo-morfologicheskie osnovy marikul'tury ryb v Zapolyar'e. Apatity, 1998. 374 s.
3. Zubkova N.A. (Pahomova N.A.). Opyt sodержaniya kamchatskogo kraba v akvariume // Tr. Murmanskoj biologicheskoy stancii AN SSSR. 1964. Vyp. 5(9). S. 64–69.
4. Eksperimental'nye issledovaniya morskikh mlekopitayushchih v usloviyah Koll'skogo zaliva // Apatity, 2007. 254 s.
5. Biologiya i okeanografiya Severnogo morskogo puti. Barencevo i Karskoe morya. M.: Nauka, 2007. 322 s.
6. Matishov D.G., Matishov G.G. Radiacionnaya ehkologicheskaya okeanologiya // Apatity, 2001. 417 s.
7. Zajcev V.B. Stroenie citoskeleta kletok nefrona pozvonochnyh zhivotnyh i cheloveka. Apatity, 1999. 276 s.
8. Sovremennyy bentos Barenceva i Karskogo morej. Apatity. 2000. 486 s.
9. Ehkologiya promyslovyh vidov ryb Barenceva morya. Apatity. 2001. 461 s.
10. Denisov V.V. EHkologo-geograficheskie osnovy ustojchivogo prirodopol'zovaniya v shel'fovyh moryah (ehkologicheskaya geografiya morya). Apatity, 2002. 502 s.
11. Kuznetcov A.A., SHoshina E.V. Fitotsenozy Barenceva morya. Fiziologicheskie i strukturnye harakteristiki. Apatity, 2003. 308 s.
12. Kuklin V.V., Kuklina M.M. Gel'minty ptic Barenceva morya. Fauna, ehkologiya, vliyanie na hozyaev. Apatity, 2005.
13. Kuz'min S.A., Gudimova E.N. Vselenie kamchatskogo kraba v Barencevo more. Osobennosti biologii, perspektivy promysla. Apatity, 2002. 236 s.
14. Biologiya i fiziologiya kamchatskogo kraba pribrezh'ya Barenceva morya. Apatity, 2008. 170 s.
15. Chinarina A.D. Smotret' vpered i pomnit'... Ocherki iz istorii MMBI KNC RAN. Rostov-na-Donu, 2012. 325 s.

G.G. Matishov

CLIMATE AND OCEANOGRAPHIC RESEARCHES OF NORTHERN AND SOUTHERN RUSSIAN SEAS

Present trends of the climate, hydrological and ice conditions in the northern and southern Russian seas are discussed in context of researches of the Murmansk Marine Biological Institute and its Azov Branch. It is shown that the warming wave observed in the Arctic in 2000's had a background as the highly pronounced cold anomalies in the Azov-Black Sea area caused by the influence of the blocking anticyclone. The two last years' data testify the change of sign in the climate trend for the Arctic seas.

Keywords: climate, oceanography, ice cover, anomaly, the Arctic, Azov-Black Sea area.

Author

Matishov Gennady Grigorievich – RAS full member, Dr.Sc. (Geography), Prof., Director, MMBI KSC RAS; e-mail: matishov@mmbi.info

REFERENCES

1. *Matishov G.G., Dzhenyuk S.L., Ishkulov D.G.* Razvitiye gidrobiologicheskikh issledovaniy v Evroarkticheskom regione v XIX-XX vekah i v perspektive // Vestnik KNC RAN. 2009. № 1. S. 17–23.
2. Kompleksnyye issledovaniya Arktiki na trasse Severnogo morskogo puti na atomnykh ledokolah (20 let opyta MMBI) / *G.G. Matishov, Yu.A. Badanin, A.A. Deryabin, S.L. Dzhenyuk, D.G. Ishkulov, D.V. Moiseev.* Rostov n/D: Izd. YuNC RAN, 2014. 96 s.
3. Atlas klimaticheskikh izmenenij v bol'shih morskikh ehkositemah Severnogo polushariya (1878-2013). Region 1. Morya Vostochnoj Arktiki. Region 2. Chernoe, Azovskoe i Kaspijskoe morya / *G.G. Matishov, S.V. Berdnikov, A.P. Zhichkin i dr.* Rostov n/D: Izd. YuNC RAN, 2014. 256 s.
4. *Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V.* Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // *Oceanologia.* 2009. № 51(3). P. 293–312.
5. *Tereshchenko V.V.* Sezonnye i mezhdogovye izmeneniya temperatury i solenosti vody osnovnykh techenij na razreze "Kol'skij meridian" v Barencevom more. Murmansk: Izd-vo PINRO, 1997. 71 s.
6. Klimaticheskie izmeneniya morskikh ehkositem evropejskoj Arktiki / *G.G. Matishov, S.L. Dzhenyuk, D.V. Moiseev, A.P. Zhichkin* // *Problemy Arktiki i Antarktiki.* 2010. № 3 (86). S. 7–21.
7. *Zubov N.N.* L'dy Arktiki. M.: Izd. Glavsevmorputi, 1945. 360 s.
8. O prirode krupnykh gidrometeorologicheskikh anomalij v arkticheskikh i yuzhnykh moryah Rossii / *G.G. Matishov, S.L. Dzhenyuk, D.V. Moiseev, A.P. Zhichkin* // *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2014. № 1. S. 36–46.
9. *Matishov G.G., Kleshchenkov A.V.* Kubanskij pavodkovyj krizis. Klimat, geomorfologiya, prognoz. Krymsk, iyul' 2012 g. Rostov n/D: Izd. YuNC RAN, 2012. 128 s.
10. *Matishov G.G., Matishov D.G.* Sovremennyye prirodnye i social'nye riski v Azovo-CHernomorskom regione // *Vestnik RAN.* 2013. T. 83, № 12. S. 1059–1067.

O.S. Lyubina, A.A. Frolov

REVIEW OF CURRENT ZOOBENTHOS INVESTIGATIONS OF THE BARENTS SEA AND ADJACENT WATERS

Studies of zoobenthos have been and remain one of the important directions of MMBI investigations since the foundation of the Institute. The laboratory team conducts researches on individual taxonomic groups of zoobenthos and on benthic communities as a whole. The paper presents an overview of the results of investigations for the last 10 years. During this period, we performed studies and assessments of species diversity and abundance of zoobenthos in the central part of the Barents Sea, in coastal waters near Kola Peninsula, including the Kola Bay, on the coast of Novaya Zemlya, Franz Joseph Land and Western Spitsbergen. The dynamics of benthic communities has been studied on the two monitoring squares: one of them was situated on the Central Deep of the Barents Sea and another one was on the Kola section (VI standard hydrological section). During the research period, more than 60 new species were discovered for the fauna of the Barents Sea, two summarizing reports were made on polychaetes and amphipods from the southern part of the Kara Sea, an estimation was given for the distribution and abundance of megabenthos in the Kola Bay and the Kara Sea. Recent researches were dedicated to studying the fauna and ecology of bivalves in the freshwater reservoirs of the Kola Peninsula and to developing a system of biosensor on-line monitoring that uses bivalves as a test-object.

Keywords: zoobenthos, benthic communities, species diversity, distribution, ecology, the Barents Sea, megabenthos, new species, biosensor monitoring, fresh water.

Authors

Lyubina Olga Stanislavovna – Ph.D. (Biol), Senior Scientific Researcher, Zoobenthos Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: olyubina@mail.ru

Frolov Aleksandr Aleksandrovich – Ph.D. (Biol), Scientific Researcher, Zoobenthos Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: frolov@mmbi.info

REFERENCES

1. Zoobentos morej severo-zapadnogo sektora Arktiki: rezul'taty mnogoletnih issledovaniy / *V.S. Zenzerov, E.A. Frolova, S.A. Kuz'min, N.V. Denisenko, N.A. Anisimova* // *Okeanologicheskie i biologicheskie issledovaniya arkticheskikh i yuzhnykh morej Rossii (k 70-letiyu Murmanskogo morskogo biologicheskogo instituta).* Apatity: Izd. KNC RAN, 2006. S. 277–298.
2. *Pavlova L.V., Zuev Yu.A., Frolov A.A.* Osobennosti biocenozov verhnjej sublitoralii // *Kol'skij zaliv: osvoenie i racional'noe prirodoopol'zovanie / otv. red. G.G. Matishov.* M.: Nauka, 2009. S. 142–161.
3. *Frolov A.A.* Vidovoj sostav i osobennosti raspredeleniya

CONTENTS

mollyuskov nadsemejstva Pisidioidea (Mollusca, Bivalvia) v pribrezh'e Nizhnetulomskogo vodohranilishcha (Biol.) i ehstuariya r. Tuloma (Kol'skij p-ov, Rossiya) // Biol. vnutr. vod. 2009a. №4. S. 73–80. **4.** Zuev Yu.A., Pavlova L.V. Osobennosti raspredeleniya megabentosa v verhnej sublitorali Kol'skogo zaliva (Barencevo more) // Dokl. RAN. 2011. T. 439, № 5. S. 713–717. **5.** Pavlova L.V. Vliyanie molodi Kamchatskogo kraba na zoobentos Kol'skogo zaliva (Barencevo more) // Dokl. RAN. 2008. T. 422, №1. S. 138–141. **6.** Raspredelenie zoobentosa na myagkih gruntah v gubah Ivanovskaya i Drozdovka Vostochnogo Murmana (Barencevo more) / O.S. Lyubina, O.L. Zimina, E.A. Frolova, A.A. Frolov, D.R. Dikaeva, N.N. Panteleeva, I.O. Nekhaev, E.A. Garbul' // Dokl. RAN. 2012. T. 447, №2. S. 230–234. **7.** Zimina O.L., Lyubina O.S. Novye issledovaniya fauny donnyh rakoobraznyh (Crustacea) v rajone Zemli Franca-Iosifa // Dokl. RAN. 2009. T. 426, № 6. S. 841–843. **8.** Donnye soobshchestva u beregov Arkticheskikh arhipelagov / E.A. Frolova, O.S. Lyubina, O.Yu. Zimina, D.R. Dikaeva, A.A. Frolov, O.Yu. Ahmetchina, E.A. Garbul', I.O. Nekhaev // Nazemnye i morskije ekosistemy. M. Izd-vo: Paulsen, 2011. S. 368–394. **9.** Osobennosti raspredeleniya bentosnyh soobshchestv vo f'ordah Zapadnogo SHpicbergena / O.S. Lyubina, O.L. Zimina, E.A. Frolova, P.A. Lyubin, A.A. Frolov, D.R. Dikaeva, O.Yu. Ahmetchina, E.A. Garbul' // Problemy Arktiki i Antarktiki. 2011. № 1 (87). S. 28–40. **10.** Garbul' E.A., Anisimova N.A. Some features of the quantitative distribution of sipunculan worms (Sipuncula) in the central and southern Barents Sea // *Oceanologia*. 2012. № 54 (1), P. 1–16. **11.** Vliyanie klimaticheskikh izmenenij na zoobentos Barenceva morya (na primere neskol'kih massovyh vidov) / E.A. Frolova, O.S. Lyubina, D.R. Dikaeva, O.Yu. Ahmetchina, A.A. Frolov // Dokl. RAN. 2007. T. 416, № 1. S. 139–141. **12.** Dinamika donnyh soobshchestv v rajone central'noj vpadiny Barenceva morya / O.S. Lyubina, D.R. Dikaeva, E.A. Frolova, A.A. Frolov, O.L. Zimina, O.Yu. Ahmetchina, E.A. Garbul' // Izv. RAN. Ser. biol. 2010. №5. S. 610–618. **13.** Dikaeva D.R. Sovremennoe raspredelenie polihet vdol' razreza Kol'skij Meridian (Barencevo more) // Dokl. RAN. 2009. T. 426, № 6. S. 838–840. **14.** Predvaritel'nye rezul'taty monitoringa zoobentosa na razreze «Kol'skij Meridian» (Barencevo more) / O.S. Lyubina, E.A. Frolova, D.R. Dikaeva, N.A. Anisimova, P.A. Lyubin, A.A. Frolov, E.A. Garbul', O.S. Zimina, O.Yu. Ahmetchina, I.O. Nekhaev // Tr. KNC RAN. 2013. № 1 (14). S. 208–223. **15.** Ahmetchina O.Yu., Zaharov D.V. Vidovoj sostav i raspredelenie mshanok (Bryozoa) vdol' razreza "Kol'skij meridian" (Barencevo more) v 2010–2011 godah // Vestnik MGTU. 2013. T. 16, №3. S. 415–424. **16.** Osobennosti raspredeleniya zoobentosa v pribrezhnoj zone Kol'skogo p-ova / O.S. Lyubina, O.L. Zimina, E.A. Frolova, A.A. Frolov, I.O. Nekhaev, D.R. Dikaeva // Vestnik MGTU. 2012. T. 15, №4. S. 776–785. **17.** Nekhaev I.O. Two species of parasitic molluscs new for Russian seas // *Ruthenica*. 2011. 21 (1). P. 69–72. **18.** Nekhaev I.O., Kantor Yu.I. The first record of *Thesbia nana* (Lovén, 1846) (Gastropoda: Conoidea) in Russian waters // *Ruthenica*. 2012. 22. P. 51–54. **19.** Bivalves *Abra prismatica* (Montagu, 1808) and *Gari fervensis* (Gmelin, 1791) – Species New to the Fauna of the Russian Sector of the Barents Sea / Yu.V. Deart, A.A. Frolov, I.E. Manushin // Russian Journal of Biological Invasions. Vol. 4. № 3. 2013. P. 139–148. **20.** Nekhaev I.O. The first record of *Alvania punctura* from Russian waters (Gastropoda: Rissoidae) // *Marine Biodiversity Records*. 2013. 6. P. 1–3. **21.** Nekhaev I.O. Marine shell-bearing Gastropoda of Murman (Barents Sea): an annotated check-list // *Ruthenica*. 2014. 24 (2). P. 75–121. **22.** Panteleeva N.N. Novye i redkie vidy gidroidov dlya fauny Barenceva morya // Priroda morskoy Arktiki: sovremennye vyzovy i rol' nauki: tez. dokl. mezhdunarod. nauch. konferencii (10–12 marta 2010 g., g. Murmansk). Apatity, 2010. S. 187–188. **23.** Internal brooding affects the spatial structure of intertidal sea anemones in the Arctic-boreal region / A. Kaliszewicz, N. Panteleeva, I. Olejniczak, P. Boniecki, M. Sawicki // *Polar Biology*. 2012. Vol. 35 (September). P. 1911–1919. **24.** Gudimov A.V. Nepreryvnyj biomonitoring po povedencheskim reacijam midij: pervyj opyt v usloviyah Kol'skogo zaliva, Barencevo more // Dokl. RAN. 2011. T. 439, № 1. S. 132–134. **25.** Lyubina O.S. Sayapin V.V. Amfipody (Amphipoda, Gammaridea) iz raznyh geograficheskikh rajonov: vidovoj sostav, raspredelenie, ehkologiya. Apatity: Izd. KNC RAN, 2008. 182 s. **26.** Frolova E.A. Fauna i ehkologiya mnogoshchetinkovyh chervej (Polychaeta) Karskogo morya – Apatity: Izd. KNC RAN, 2009. 141 s. **27.** Zimina O.L. Nahodka kraba striguna *Chionoecetes opilio* (O. Fabricius, 1788) (Decapoda: Majidae) v Karskom more // *Biologiya morya*. 2014. T. 40, № 6. S. 497–499. **28.** Frolov A.A. Dvustvorchatye mollyuski nadsemejstva Pisidioidea (Bivalvia, Lamellibranchia) malyh vodoemov severa Murmanskoj oblasti // Vestn. YuNC. 2009b. T. 5, №4. S. 71–78. **29.** Frolov A.A. Novye vidy dvustvorchatyh mollyuskov roda *Euglesa* (Mollusca, Bivalvia) iz vodoemov severnoj chasti Kol'skogo poluostrova // *Vestnik zoologii*. 2010a. 44 (5). S. 393–402. **30.** Frolov A.A. Biologiya nekotoryh vidov dvustvorchatyh mollyuskov nadsemejstva Pisidioidea iz vodoemov i vodotokov Murmanskoj oblasti: mat. dokl. mezhd. konf., posvyashch. 100-letiyu so dnya rozhdeniya Filareta Dmitrievicha Morduhaj-Boltovskogo (Borok, IBVV RAN, 30 oktyabrya–2 noyabrya 2010 g.).

Borok, 2010b. S. 318–321. **31.** *Frolov A.A.* Migracii presnovodnyh dvustvorchatyh mollyuskov semejstva Euglesidae i Pisidiidae (Bivalvia, Pisidioidea) na prilivnoj litorali ehstuariya reki Tuloma // Vestn. zool. 2008. T. 42, № 3. S. 369–372.

A.A. Oleinik

PHYTOPLANKTON SPECIES FROM THE COASTAL WATERS OF FRANZ JOSEF LAND

A list of phytoplankton species recorded in the coastal and internal waters of Franz Josef Land is compiled. In all, 153 species are listed, 8 rare and little-known species, namely *Attheya longicornis*, *Synedropsis hyperborea* aff., *Dicroerisma psilonereia*, *Dinophysis contracta*, *Lessardia elongata*, *Oxytoxum caudatum*, *Micracanthodinium claytonii*, and *Protopteridinium arcticum*, are illustrated by photomicrographs.

Keywords: phytoplankton, Franz Josef Land.

Author

Oleinik Anatoly Anatolievich – Ph.D. (Biol), Deputy Head of the Plankton Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: oleinik@mmbi.info

REFERENCES

1. *Oleinik A.A.* Sezonnoe razvitie fitoplanktona v vodah zheloba Franc-Viktoriya i na prilgayushchej akvatorii arhipelaga Zemlya Franca-Iosifa // Nazemnye i morskije ehkosistemy. M., 2011. S. 166–180.
2. *Druzhkova E.I.* Osobennosti prostranstvennogo raspredeleniya nanofitoplanktona v rajone arhipelaga Zemlya Franca-Iosifa v letnij period // Dokl. RAN, 2009. T. 427, № 5. S. 707–709.
3. Biological Atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas. National Oceanographic Data Center/NOAA.: Silver Spring, MD, USA, 2000. 356 p. (+CD, +Internet).
4. *Saldarriaga J.F., Leander B.S., Taylor “Max” F.J.R., Keeling P.J.* *Lessardia elongata* gen. et sp. nov. (Dinoflagellata, Peridiniales, Podolampaceae) and the taxonomic position of the genus *Roscoffia* // J. Phycol., 2003. 39. P. 368–378.
5. *Okolodkov Y.B.* A new combination and new species of *Gymnodinium*, *Gyrodinium* and *Protopteridinium* (Dinophyceae) from the Arctic and N.E. Atlantic // Bot. zhurn. 1997. T. 82, № 5. S. 97–106.

A.G. Dvoretzky

CONTRIBUTION OF SCIENTISTS FROM MURMANSK MARINE BIOLOGICAL INSTITUTE TO STUDIES OF RED KING CRAB IN THE BARENTS SEA

Red king crab is an important commercial species. Studies of this invader accomplished by scientists of the Murmansk Marine Biological Institute are focused on the investigations of its population dynamics in the coastal Barents Sea. We have developed a new growth model for juvenile crab. Symbiotic and fouling organisms colonizing the crab were studied. Red king crab physiology and aquaculture approaches have been investigated and developed in many aspects. A new method for undertaking the biological expertise on red king crab was developed and adopted.

Keywords: red king crab, population dynamics, growth, symbionts, physiology, the Barents Sea.

Authors

Dvoretzky Aleksandr Gennadievich – Ph.D. (Biol), Head of the Zoobenthos Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: dvoretzkiya@mmbi.info

REFERENCES

1. *Dvoretzky A.G.* Vselenie kamchatskogo kraba v Barencevo more i ego vozdejstvie na ehkosistemu (obzor).
1. Vyedanie bentosa // Voprosy rybolovstva. 2012. T. 13. S. 18–34.
2. *Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.* Dinamika populyacionnyh pokazatelej kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v gube Dal'nezemelenskaya Barenceva morya v 2002–2008 gg. // Voprosy rybolovstva. 2010. T. 11. S. 100–111.
3. *Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.* Issledovaniya biologii kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* v gube Dolgoj (Barencevo more) // Izvestiya TINRO. 2010. T. 160. S. 44–56.
4. *Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.*

CONTENTS

Nekotorye cherty biologii kamchatskogo kraba v gube Dal'nezelenetskaya (Barentsevo more) v letnij period // Rybnoe hozyajstvo. 2013. № 5. S. 79–84. **5. Dvoreckij A.G., Dvoreckij V.G.** Osobennosti biologii kamchatskogo kraba v pribrezh'e Barentseva morya v letnij period // Vestnik SPBGU. 2014. Ser. 3. Vyp. 1. S. 5–13. **6. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Population dynamics of the invasive lithodid crab, *Paralithodes camtschaticus*, in a typical bay of the Barents Sea // ICES Journal of Marine Science. 2013. Vol. 70. P. 1255–1262. **7. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Size-at-age of juvenile red king crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the coastal Barents Sea // Cahiers de Biologie Marine. 2014. Vol. 55. P. 43–48. **8. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Size at maturity of female red king crab, *Paralithodes camtschaticus*, from the costal zone of Kola Peninsula (southern Barents Sea) // Cahiers de Biologie Marine. 2015. Vol. 56. P. 49–54. **9. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Limb autotomy patterns in *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815), an invasive crab, in the coastal Barents Sea // Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 2009. Vol. 377. P. 20–27. **10. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Autotomiya konechnostej kamchatskogo kraba v pribrezh'e Barentseva morya // Dokl. RAN. 2009. T. 429. S. 701–704. **11. Dvoretzky A.G.** Model' rosta molodi kamchatskogo kraba v Barentsevom more // Trudy ZIN RAN. 2011. T. 315. № 1. S. 75–84. **12. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Rost molodi kamchatskogo kraba v dvuh gubah Vostochnogo Murmana (Barentsevo more) // Izv. TINRO. 2011. T. 164. S. 185–195. **13. Dvoretzky V.G., Dvoretzky A.G.** Epiplankton in the Barents Sea: Summer variations of mesozooplankton biomass, community structure and diversity // Continental Shelf Research. 2013. V. 52. P. 1–11. **14. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Vliyanie klimaticheskikh faktorov na molod' kamchatskogo kraba v pribrezh'e Barentseva morya // Voprosy rybolovstva. 2014. T. 15. **15. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Hemolymph molting hormone concentrations in red king crabs from the Barents Sea // Polar Biology. 2010. Vol. 33. P. 1293–1298. **16. Zenzerov V.S., Tipisova E.V.** Pervye dannye ob urovnyah tireoidnyh gormonov (tiroksin, trijodtironin) i tireotropnogo gormona gipofiza v gemolimfe kamchatskogo kraba Barentseva morya // Dokl. RAN. 2009. T. 428. S. 835–837. **17. Dvoretzky A.G., Kuz'min S.A.** Simbionty kamchatskogo kraba v pribrezh'e Murmana Barentseva morya // Voprosy rybolovstva. 2008. T. 9. № 3(35). S. 526–535. **18. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Ehpifauna krabov-litodid v Barentsevom more. Apatity: Izd. KNC RAN, 2012. 410 s. **19. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Ehpibionty kamchatskogo kraba *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) v gube Sajda Kol'skogo zaliva // Biologiya vnutrennih vod. 2009. № 3. S. 93–97. **20. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Obrastateli i simbionty kamchatskogo kraba (*Paralithodes camtschaticus*) v gube Dolgaya Barentseva morya // Zoologicheskij zhurnal. 2009. T. 88. S. 1320–1325. **21. 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 Biology. 2009. Vol. 32. P. 1047–1054. **22. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Epifauna associated with an introduced crab in the Barents Sea: a 5-year study // ICES Journal of Marine Science. 2010. V. 67. P. 204–214. **23. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Vidovoj sostav makrosimbiontov i obrastatelej kamchatskogo kraba v pribrezh'e Barentseva morya (guba Dal'nezelenetskaya) v 2010 godu // Vestnik MGTU. 2013. T. 16. S. 452–459. **24. Dvoretzky A.G., Dvoreckij V.G.** Soobshchestvo obrastatelej kamchatskogo kraba v gube Dal'nezelenetskaya (Vostochnyj Murman, Barentsevo more): sravnitel'nyj analiz sezonnyh osobennostej // Tr. KarNC RAN. 2013. T. 13. S. 78–85. **25. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Population biology of *Ischyrocerus commensalis*, a crab-associated amphipod, in the southern Barents Sea: a multi-annual summer study // Marine Ecology. 2011. Vol. 32. P. 498–508. **26. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Copepods associated with the red king crab *Paralithodes camtschaticus* (Tilesius, 1815) in the Barents Sea // Zoological Studies. 2013b. Vol. 52:17. P. 1–7. **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 Biology. 2009. Vol. 32. P. 463–469. **28. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Nekotorye cherty biologii amfipod *Ischyrocerus anguipes*, obitayushchih na kamchatskom krabe (*Paralithodes camtschaticus*) v Barentsevom more // Zoologicheskij zhurnal. 2010. T. 89. S. 1062–1069. **29. 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. 2009. Vol. 82. P. 390–396. **30. 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. 2010. Vol. 298. P. 185–189. **31. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Novye dannye o simbioze amfipod *Ischyrocerus* i kamchatskogo kraba pri poselenii bokoplavov na ikre hozyaina // Dokl. RAN. 2012. T. 445. S. 360–362. **32. Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G.** Osobennosti pishchevogo povedeniya simbioticheskikh amfipod, obitayushchih na kamchatskom krabe Barentseva morya // Vestnik YuNC RAN. 2014. T. 10. S. 52–58.

- 33.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Vliyanie gidrodinamicheskogo rezhima akvatorii na soobshchestva obrastatelej kamchatskogo kraba v Barencevom more // *Okeanologiya*. 2014. T. 54. S. 193–199.
- 34.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Sravnitel'nyj analiz soobshchestv obrastatelej kamchatskogo kraba vo f'ordah Barenceva morya // *Izvestiya TINRO*. 2012. T. 169. S. 100–109.
- 35.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Mezhhvidovaya konkurenciya simbiotov i obrastatelej kamchatskogo kraba v Barencevom more // *Dokl. RAN*. 2011. T. 440. S. 283–285.
- 36.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Vnutrividovye vzaimootnosheniya simbiotov kamchatskogo kraba Barenceva morya // *Dokl. RAN*. 2008. T. 422. S. 424–426.
- 37.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Mezhhvidovye vzaimootnosheniya simbioticheskikh amfipod na kamchatskom krabe v Barencevom more // *Dokl. RAN*. 2010. T. 433. S. 715–717.
- 38.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Epifauna associated with the northern stone crab *Lithodes maia* in the Barents Sea // *Polar Biology*. 2008. Vol. 31. P. 1149–1152.
- 39.** Dvoretzky A.G., Dvoretzky V.G. Does spine removal affect molting process in the king red crab (*Paralithodes camtschaticus*) in the Barents Sea? // *Aquaculture*. 2012. Vol. 326–329. P. 173–177.
- 40.** Dvoretzky A.G. Vselenie kamchatskogo kraba v Barencevo more i ego vozdejstvie na ehkosistemu (obzor). Konkurenciya s mestnymi vidami // *Voprosy rybolovstva*. 2013. T. 14. S. 16–25.
- 41.** Dvoretzky A.G. Vselenie kamchatskogo kraba v Barencevo more i ego vozdejstvie na ehkosistemu (obzor). Associirovannye organizmy // *Voprosy rybolovstva*. 2013. T. 14. S. 406–420.
- 42.** Dvoretzky A.G. Vselenie kamchatskogo kraba v Barencevo more i ego vozdejstvie na ehkosistemu (obzor). Promysel i social'no-ehkonomicheskie aspekty // *Voprosy rybolovstva*. 2014. T. 15. S. 7–20.
- 43.** Dvoretzky A.G. O provedenii sudebnykh biologicheskikh ehkspertiz po kamchatskomu krabu (na primere Barenceva morya) // *Voprosy rybolovstva*. 2011. T. 12. S. 175–181.
- 44.** Dvoretzky A.G. K metodike rascheta ushcherba ot nelegal'nogo vylova kamchatskogo kraba Barenceva morya // *Rybnoe hozyajstvo*. 2014. № 4. S. 64–68.

G.M. Voskoboinikov, M.V. Makarov, S.V. Malavenda, I.V. Ryzhik

ADAPTATION AND REGULATION OF GROWTH OF MACROPHYTES IN THE BARENTS SEA

As a result of the long-term research of the macrophytes in the Barents Sea, we have defined: 1) the optimal photoperiod (16\8 – light/dark) for growth of the most algae, as well as its compensatory role in the regulation of growth of the macrophytes; 2) the negative impact of UV-B on the development of the algae; 3) the possible mechanisms of low-temperature resistance of the macroalgae: a) the synthesis and accumulation of cryoprotectors, b) formation of ice envelop from the outside of the algae; c) ability to dehydrate without any loss in viability; 4) the effect of hydrostatic pressure on the vertical distribution of the macrophytes in sublittoral zone; 5) importance of intensity of water movements, type of substrate and salinity for reproduction, growth and distribution of the macrophyte algae. We have also identified a tolerance range to salinity for mass commercial species of the algae and optimal conditions for the growth of the mass littoral species *Fucus vesiculosus* as weakly protected shores with fluctuations in salinity 24–34 ‰.

Keywords: macrophyte algae of the Barents sea, adaptation and regulation of growth of macrophytes in the Barents sea, photoperiod, ultraviolet light, temperature, hydrostatic pressure, water flow, salinity, substrate.

Authors

Voskoboinikov Grigory Mikhailovich – Dr.Sc. (Biol), Prof., Head of the Algology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: gvosk@mail.ru

Makarov Mikhail Vladimirovich – Dr.Sc. (Biol), Assistant Aquaculture Director, MMBI KSC RAS; e-mail: makarov@mmbi.info

Malavenda Svetlana Vladimirovna – Ph.D. (Biol), Senior Scientific Researcher, Algology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: malavenda@mmbi.info

Ryzhik Inna Valerievna – Ph.D. (Biol), Senior Scientific Researcher, Algology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: ryzhik@mmbi.info

REFERENCES

- 1.** Luning K. Seaweeds, their environment, biogeography, and ecophysiology. John Wiley, New York, 1990. 527 p. **2.** Hoek C. van den, Mann D.G., Jans H.M. Algae. An introduction to phycology. Cambridge: University Press, 1995. 614 p. **3.** 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. Vol. 39. P. 83–93. **4.** Voskoboinikov G.M., Breeman A.V., Hoek C. van den, Makarov V.N., Shoshina E.V. Influence of temperature and photoperiod on survival and growth of north east Atlantic isolates of *Phycodrys rubens* (Rhodophyta) from different latitudes // Bot. Mar. 1996. Vol. 39. P. 341–346. **5.** Voskobojnikov G.M. Morfofunkcional'nye izmeneniya odnokletochnoj vodorosli *Euglena gracilis* Klebs pri dlitel'nom sodержanii v temnote na mineral'noj srede: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. L., 1980. 22 s. **6.** Leedale G.F. Euglenoid flagellates. New York, 1967. 242 p. **7.** Tihovskaya Z.P. Sezonnnye izmeneniya produktivnosti i fotosinteza *Laminaria saccharina* v gube Dal'nezemelenskoy Barenceva morya // Dokl. RAN. 1940. T. 29, № 2. S. 122–126. **8.** Tihovskaya Z.P. Pervichnaya produktivnost' fukoidov v gubah Vostochnogo Murmana // Tr. MBS. 1948. T. 1. S. 164–189. **9.** Novyj tip adaptacii vodnyh rastenij k svetu / E.H.A. Titlyanov, P.V. Kolmakov, V.A. Leletkin, G.M. Voskobojnikov // Biologiya morya. 1987. № 2. S. 48–57. **10.** Bykov O.D. Fotosintez i temnovaya fiksaciya SO₂ litoral'nyh makrovodoroslej Barenceva morya v usloviyah polyarnoj nochi // Bot. zhurn. 2003. T. 88, № 12. S. 68–73. **11.** Tropin I.V., Makarov M.V. Fotosinteticheskij apparat predstavitelej Fucales (Phaeophyta) Barenceva morya posle polyarnoj nochi // Al'gologiya. 2004. T. 14, № 4. S. 393–401. **12.** Hajlov K.M., Firsov Yu.K. Fotosintez i organotrofiya morskijh makrofitov kak funkciya individual'nogo vesa ih tallomov // Biologiya morya. 1976. № 6. S. 47–51. **13.** Makarov M.V. Vliyanie ul'trafiol'etovoj radiacii na rost i razmnozhenie dominantnyh vidov vodoroslej-makrofitov Barenceva morya: avtoref. solsk. uch. step. kand. biol. nauk. SPb., 1999. 22 s. **14.** Hoek van den C. Phytogeographic distribution groups of benthic marine algae in the North Atlantic Ocean. A review of experimental evidence from life history studies // Helgoland Marine Research. 1982b. Vol. 35, № 2. P. 153–214. **15.** Lüning K. Temperature tolerance and biogeography of seaweeds: The marine algal flora of Helgoland (North Sea) as an example // Helgoland Marine Research. 1984. Vol. 38, № 2. P. 305–317. **16.** Perestenko L.P. O proiskhozhdenii i ehvolucii laminarijevnyh vodoroslej (Laminariales, Phaeophyta) // Bot. zhurn. 1998. № 5. S. 1–11. **17.** Cambridge M.L., Breeman A.M., Hoek van den C. Temperature limits at the distribution boundaries of four tropical to temperate species of *Cladophora* (Cladophorales: Chlorophyta) in the North Atlantic ocean // Aquatic Bot. 1990. Vol. 38, № 2–3. P. 135–151. **18.** Macroecology meets macroevolution: evolutionary niche dynamics in the seaweed *Halimeda* / H. Verbruggen, L. Tyberghein, K. Pauly, C. Vlaeminck, van den K. Nieuwenhuize, W.H.C.F. Kooistra, F. Leliaert, De O. Clerck // Global Ecology and Biogeography. 2009. Vol. 18, № 4. P. 393–405. **19.** Grintal' A.R. Sostav i raspredelenie soobshchestv vodoroslej na litorali gub Yarnyshnoj i Podpahty (Vostochnyj Murman) // Tr. MMBI. 1965. Vyp. 8(12). S. 23–40. **20.** Hotimchenko S.V. Lipidy morskijh vodoroslej-makrofitov i trav: struktura, raspredelenie, analiz. Vladivostok: Dal'nauka, 2003. 234. **21.** Gapochka L.D. Ob adaptacii vodoroslej. M.: Izd. MGU, 1981. 80 s. **22.** Klimov S.V. Puti adaptacii rastenij k nizkim temperaturam // Uspekhi sovremen. biol. 2001. T. 121, № 1. S. 3–22. **23.** Sabinin D.A., SHCHapova T.F. Temp rosta, vozrast i produkcija *Systoseira barbata* v Chernom more // Tr. Instituta okeanologii AN SSSR. 1954. T. VIII. S. 119–146. **24.** Petrov Yu.E. Raspredelenie morskijh bentosnyh vodoroslej kak rezul'tat vliyaniya sistemy faktorov // Bot. Zhurn. 1974. T. 59, № 7. S. 955–961. **25.** Ryzhik I.V. Morfo-funkcional'nye osobennosti promyslovyh vodoroslej iz raznyh biotopov Barenceva morya: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Murmansk, 2005. 24 s.

M.M. Kuklina, V.V. Kuklin

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF PARTICULARS OF PHYSIOLOGY AND NUTRITION OF CESTODES *Tetrabothrius minor* (Cestoda: Tetrabothriidae)

The intensity of absorption of glucose and its kinetics were studied for cestodes *Tetrabothrius minor* (Cestoda: Tetrabothriidae). It is shown that high concentrations of glucose solutions affect the physiological processes of cestodes to a greater degree than temperature. The existence of the system for active transport of glucose is determined for tapeworms *T. minor*. The absorption constants are calculated for glucose as follows: V_{\max} is the maximum speed of glucose transport and K_m is the Michaelis constant for the transport processes at + 40 °C. V_{\max}^{40} equals 1.01 mmole, and K_m^{40} equals 0.5 mmole.

Keywords: cestodes, *Tetrabothrius minor*, physiology of nutrition, glucose, intensity of absorption, Michaelis constant.

Authors

Kuklina Marina Mikhailovna – Ph.D. (Biol), Senior Scientific Researcher, Ornithology and Parasitology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: kuklina@mmbi.info

Kuklin Vadim Vladimirovich – Ph.D. (Biol), Head of the Ornithology and Parasitology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: kuklin@mmbi.info

REFERENCES

1. *Temirova S.I., Skryabin A.S.* Osnovy cestodologii. Tetrobotriaty i mezocistoidaty. M.: Nauka, 1978. 186 s.
2. *Kuklin V.V., Kuklina M.M.* Gel'minty ptic Barenceva morya: fauna, ehkologiya, vliyanie na hozyaev. Apatity, 2005. 289 s.
3. *Ammon J., Richterich R.* The determination of normal values of glucose, protein and cell concentrations in the cerebrospinal fluid of children// Schweiz. Med Wschr., 1970. Vol. 100. P. 1317–1320.
4. *Ugolev A.M., Iezuitova N.N.* Opredelenie aktivnosti invertazy i drugih disaharidaz // Issledovanie pishchevaritel'nogo apparata u cheloveka (obzor sovr. metodov). L.: Nauka, 1969. S. 187–192.
5. *Read C.P.* The role of carbohydrates in the biology of cestodes: Some conclusions and hypothesis// Exp. Parasitol. 1959. Vol. 25. P. 365–382.
6. *Dunkley L.C., Mettrick D.F.* Hymenolepis diminuta: effect of quality of host dietary carbohydrate on growth // Exp. Parasitol. 1969. Vol. 25. P. 146–161.
7. *Izvekova G.I.* Charakteristika transporta glyukozy u cestody Eubothrium rugosum (Pseudophyllidea, Amphicotylidae) // Parazitologiya. 1988. T. 22, № 3. S. 210–215.
8. *Phifer K.O.* Permeation and membrane transport in animal parasites; the absorption of glucose by Hymenolepis diminuta // J. Parasitol. 1960. Vol. 46. P. 51–62.
9. *Pappas P.W., Read C.P.* Membrane transport in helminth parasites: a review // Exp. Parasitol. 1975. Vol. 37, № 3. P. 469–530.

A.V. Ezhov

RESULTS OF 15-YEAR MONITORING OF LARGEST CONTINENTAL KITTIWAKES AND GUILLEMOTS COLONIES ON MURMAN COAST

Monitoring of largest colonies of kittiwakes, brunnuchs and common guillemots on the northern coast of the Kola Peninsula is reviewed. The paper describes results of counting abundance of nesting rookery birds, reproductive estimates and trophic conditions of nesting period. Main threats to stable state of seabird colonies in the southern part of the Barents Sea in the modern period are discussed. Changes in colonies, occurring in recent years, and reasons for their occurrence are shown.

Keywords: colonial birds, Murman coast, kittiwake (black-legged kittiwakes), thick (brunnuchs guillemots) and common murre (common guillemots), abundance, average clutch, trophic conditions, nesting period.

Author

Yezhov Aleksei Viktorovich – Scientific Researcher, Ornithology and Parasitology Laboratory; MMBI KSC RAS; e-mail: ezhov@mmbi.info

REFERENCES

1. *Belopol'skiy L.O.* EHkologiya morskikh kolonial'nyh ptic Barenceva morya. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1957. 460 s.
2. *Morskije kolonial'nye pticy Murmana / Yu.V. Krasnov, G.G. Matishov, K.V. Galaktionov, T.N. Savinova.* SPb.: Nauka, 1995. 226 s.
3. *Krasnov Yu.V., Nikolaeva N.G.* Itogi kompleksnogo izucheniya biologii moevki v Barencevom more // Biologiya i okeanografiya Karskogo i Barenceva morej (po trasse Sevmorputi). Apatity: Izd. KNC RAN, 1998. S. 180–260.
4. *Modestov V.M.* Ehkologiya kolonial'no gnezdyashchihsya ptic (po nablyudenyam na Vostochnom Murmane i v del'te Volgi) // Tr. Kandalaksh. zapovednika. M.: Lesnaya promyshlennost', 1967. Vyp. 5. S. 49–154.
5. *Gerasimova T.D.* Sostoyanie ptich'ih bazarov Murmanskogo poberezh'ya // Ornitologiya. 1962. Vyp. 4. S. 11–14.
6. *Krasnov Yu.V., Barrett R.T.* Monitoring morskikh ptic v Barencevom more. Programnoe predlozhenie // Rus. Ornitol. Zhurn. (EHkspress-vypusk). 2000. № 113. S. 3–22.
7. *Krasnov Yu.V., Ezhov A.V.* Sovremennoe sostoyanie moevok (*Rissa tridactyla*) i kajr (*Uria aalge* i *U. lomvia*) na Murmane // Pticy severnyh i yuzhnyh morej Rossii: fauna, ehkologiya / otv. red. P.R. Makarevich; MMBI KNC RAN. Apatity: Izd. KNC RAN, 2013. S. 102–117.
8. *Zhichkin A.P.* Dinamika klimaticheskikh kolebanij i migracii promyslovyh skoplenij ryb v Barencevom more // Global'nye klimaticheskie processy i ih vliyanie na ehkosistemy arkticheskikh i subarkticheskikh regionov: tez.

dokl. mezhdunar. nauch. konf. g. Murmansk, 9–11 noyabrya 2011 g. Apatity: Izd. KNC RAN, 2011. S. 63–65. **9.** *Luka G.I., Ozhigin V.K., Panasenko A.D.* Ihtiofauna i usloviya eyo sushchestvovaniya v Barencevom more. Apatity, 1986. S. 7–12. **10.** Rekomendacii po racional'noj ehkspluatacii barencevomorskoj moyvy / *G.I. Luka, N.G. Ushakov, V.K. Ozhigin i dr.* Murmansk: Izd-vo PINRO, 1991. S. 53. **11.** *Suryan Robert M., Irons David B., Benson Jeb.* Prey switching and variable foraging strategies of Black-legged Kittiwakes and the effect on reproductive success // *Condor*. 2000. 102, № 2. P. 374–384. **12.** Ehkspedicii dlya nauchno-promyslovyh issledovaniy u beregov Murmana / sost. N.M. Knipovich. SPb., 1902. T. I, ch. 1–3. S. 113.

N.N. Kavtsevich, T.V. Minzyuk, I.A. Yerokhina

ECOLOGICAL AND PHYSIOLOGICAL PARAMETERS OF UNEVEN-AGED SEALS

Findings in plasma and blood cells investigation of bearded seal, grey and harp seals by morphological, cytochemical and biochemical methods are presented. Stability of metabolic status and condition of the main cellular factors that determine the level of nonspecific resistance for organisms of grey seals descendants in 2006 and 2013 is shown. Activity of lymphoid system of wild bearded seals is proved to be lower, and level of parameters reflecting nonspecific bactericidal functions is proved to be higher than it is for animals kept in captivity. Sorption capacity level of blood erythrocytes varies considerably for different seal species. Factors influencing variability of this parameter, namely age, season and stress during primary adaptation to captivity, are determined.

Keywords: marine mammals, pinnipeds, hematology, biochemistry, adaptations, ontogenesis.

Authors

Kavtsevich Nikolai Nikokaevich – Dr.Sc. (Biol), Head of the Marine Mammals Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: chiv1@front.ru

Minzyuk Tatiana Vladimirovna – Ph.D. (Biol), Scientific Researcher, Marine Mammals Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: minzyuk@mmbi.info

Yerokhina Irina Anatolievna – Ph.D. (Biol), Deputy Head of the Marine Mammals Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: erohina@mmbi.info

REFERENCES

- 1.** *Slonim A.D.* Ehkologicheskaya fiziologiya zhivotnyh. M: Vysshaya shkola, 1971. 448 s. **2.** Spravochnik po laboratornym metodam issledovaniya / pod red. *L.A. Danilovoj*. SPb.: Piter, 2003. 736 s. **3.** Krasnaya kniga Murmanskoy oblasti / kollektiv avtorov. Murmansk: Murmanskoe knizhnoe izd-vo, 2003. 400 s.
- 4.** *Rigan V.Dzh., Sanders T.G., Denikola D.B.* Atlas veterinarnoj gematologii. M.: OOO "Akvarium Ltd", 2000. 136 s. **5.** *Engelhardt F.R.* Haematology and plasma chemistry of captive pinnipeds and setaceans // *Aquat.Mamm.* 1979. Vol. 7, № 1. P. 11–21. **6.** *Bobova L.P., Kuznecov S.L., Saprykin V.P.* Gistofiziologiya krovi i organov krovetvoreniya i immunogeneza. M.: OOO "Izd-vo Novaya volna", 2003. 157 s.
- 7.** *Kavcevich N.N.* Osobennosti kletochnogo sostava krovi grenlandskih tyulenej (*Pagophilus groenlandicus*) razlichnogo vozrasta // *Zool. zhurn.* 2003. T. 82, № 6. S. 758–761. **8.** *Arnason U.* Comparative chromosome studies in Pinnipedia // *Hereditas*. 1974. Vol. 76, № 2. P. 179–225. **9.** *Anbinder E.M.* Kariologiya i ehvoluciya lastonogih. M.: Nauka, 1980. 152 s. **10.** *Pigarevskij V.E.* Zernistye lejkocity i ih svojstva. M.: Medicina, 1978. 128 s. **11.** *Minzyuk T.V., Kavcevich N.N.* Baktericidnyj kationnyj belok v lejkocitah morskikh mlekopitayushchih // *Vestnik MGTU*. 2013. T. 16, № 3, S. 506–511. **12.** *Erohina I.A., Kavcevich N.N.* Novye dannye k karakteristike metabolicheskogo statusa tyulenyahohlacha (*Cystophora cristata* Erleben, 1777) i grenlandskogo tyulenyahohlacha (*Pagophilus groenlandica* Erleben, 1777) v rannem postnatal'nom periode razvitiya // *Dokl. RAN*. 2011. T. 440, № 3. S. 420–422. **13.** *Togajbaev A.A.* Sposob diagnostiki ehndogennoj intoksikacii / *A.A. Togajbaev, A.V. Kurguzkin, I.V. Rikun, R.M. Karibzhanova* // *Lab. delo*. 1988. № 9. S. 22–24. **14.** *Tepliy D.D.* Osobennosti morfofiziologicheskikh pokazatelej ehritrocitov belyh kryss na etapah ontogeneza v norme i pri oksidativnom stresse: avtoref. diss. ... kand. biol. nauk. Astrahan', 2011. 21 s. **15.** *Kulikov V.Yu., Semenyuk A.V., Kolesnikova L.I.* Perekisnoe okislenie lipidov i holodovoj faktor. Novosibirsk: Nauka, 1988. 192 s. **16.** *Vzaimosvyaz' mezhdru ehndogennoj intoksikaciej i anemiej / K.P. Oshakbaev, O.R. Han, B.N. Kazhabekova, A.N. Sejtбай, B.A. Dukenbaeva, G.R. Ishchanova* // *Profilakt. medicina*. 2007. № 1. S. 21–25. **17.** *Kaganova N.V., Konoshenko S.V., Larina M.V.* Sostoyanie vnutrehritrocitarnogo metabolizma u del'finov-afalin pri adaptacii k usloviyam okeanariuma // *Morskie*

biotekhnicheskie sistemy. Sevastopol', 2002. Vyp. 2. S. 173–181. **18.** Kliniko-gematologicheskij i biohimicheskij status korov pri gestoze / A.G. Nezhdanov, M.I. Reckij, Yu.N. Alekhin i dr. // Sel'skohozyajstvennaya biologiya. 2010. №4. S. 118–123.

D.G. Ishkulov, A.L. Mikhailyuk, M.V. Pakhomov

**EXPERIENCE OF THE LABORATORY FOR BIOTECHNICAL SYSTEMS
IN OPERATION WITH ARCTIC PINNIPEDS: FROM THEORY TO PRACTICE**

The paper discusses advantages of creating biotechnical systems with participation of the Arctic seal to operate in the Arctic. Advantages and disadvantages of the methods to keep and study pinnipeds are grounded. The conditions of keeping the pinnipeds in aquacomplexes of the Murmansk Marine Biological Institute (MMBI), located on the Kola Bay, are described, as well as the basic stages of the works carried out to establish MMBI biotechnical dual-purpose systems, involving native species of the Arctic seal.

In conclusion, we introduce main scientific and practical results obtained during functioning of the MMBI laboratory for biotechnical systems.

Keywords: Arctic seal, biotechnical system, MMBI biotechnical aquacomplex.

Authors

Ishkulov Dmitry Gennadievich – Ph.D. (Biol), Deputy Scientific Director, MMBI KSC RAS; e-mail: ishkulov@mmbi.info

Mikhailyuk Aleksandr Leonidovich – Ph.D. (Biol), Head of the Biotechnical Systems Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: sasha-mihailyuk@yandex.ru

Pakhomov Miron Vladimirovich – Junior Scientific Researcher, Biotechnical Systems Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: pachomov@mmbi.info

REFERENCES

1. *Matishov G.G.* Perspektivy osvoeniya Mirovogo okeana i arkticheskikh morej // Morskije mlekopitayushchie na sluzhbe cheloveku: Materialy nauchno-prakticheskogo seminara (4 oktyabrya 2010 g. Severomorsk) / otv. red. akad. G.G. Matishov. Rostov-na Donu: Izd. YuNC RAN, 2011. S. 5-17. **2.** Avtonomnye podvodnye roboty. Sistemy i tekhnologii / pod obshch. red. akad. M.D. Ageeva. M.: Nauka, 2005. 398 s. **3.** *Worthy A.J., Hickie J.P.* Relative brain size in marine mammals // The American Naturalist. 1986. Vol. 128, № 4. pp. 445-459. **4.** Morskije mlekopitayushchie v biotekhnicheskikh sistemah dvojnogo naznacheniya / G.G. Matishov, V.B. Vojnov, E.V. Verbickij, A.L. Mihajlyuk, A.R. Troshichev, A.S. Gladkih, V.N. Svetochev. Murmansk: Izd. MMBI KNC RAN, 2010. 131 s. **5.** *Mihajlyuk A.L.* Tekhnogennoe shumovoe zagryaznenie Barenceva morya i ego vliyanie na biologiyu kol'chatoj nerpy: avtoref. dis. ... kandidata biologicheskikh nauk: 25.00.28. Murmansk, 2012. 23 s. **6.** Sensornye vozmozhnosti arkticheskikh tyulenej v morskikh biotekhnicheskikh sistemah / V.B. Vojnov, A.A. Zajcev, Yu.V. Litvinov, A.L. Mihajlyuk, M.V. Pahomov // Vestnik YuNC RAN. 2013. T. 9, № 4. S. 87–95. **7.** *Ishkulov D.G., Mihajlyuk A.L., Pahomov M.V.* Osobennosti cvetovospriyatiya u seryh tyulenej // Vestnik KNC RAN. 2013. №4 (15). S. 88–94.

E.D. Obluchinskaya

**METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE DEVELOPMENT
OF BIOLOGICAL PRODUCTS BASED ON SEAWEED FUCUS**

Methodological approaches are proposed for creation of biological products of biologically active substances of the fucus algae. The methodology is based on a set of theoretical and the author's experimental data. Practical realization of approaches was performed for development of specific biologicals from the fucus algae of the Barents Sea. The proposed methodology consists of four stages, each of them results in producing an intermediate product. This result provides a statement of objectives for the next step. The target is to create approaches to producing drug forms of biological products on the basis of individual biologically active substances and their complexes from the algae.

Keywords: fucus algae, the Barents Sea, the White Sea, biologically active substance, methodology.

Author

Obluchinskaya Yekaterina Dmitrievna – Ph.D. (Pharmacology), Leading Scientific Researcher, Algology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: obluchinskaya@mmbi.info

REFERENCES

1. *Obluchinskaya E.D.* Tekhnologii lekarstvennyh i lechebno-profilakticheskikh sredstv iz buryh vodoroslej / red. G.G. Matishov // *Apatity*: Izd. KNC RAN, 2005. 164 s.
2. *Obluchinskaya E.D.* Sravnitel'noe issledovanie buryh vodoroslej Barenceva morya // *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2008. T. 44, № 3. S. 377–342.
3. *Klinduh M.P., Obluchinskaya E.D.* Sravnitel'noe issledovanie himicheskogo sostava buryh vodoroslej *Fucus vesiculosus* i *Ascophyllum nodosum* // *Vestnik MGTU*. 2013. T. 16, № 3. S. 466–471.
4. *Obluchinskaya E.D.* Physical and chemical properties, anticoagulant and antioxidant activity of *Fucus Dry Extract* // *Obzory po klinicheskoy farmakologii i lekarstvennoj terapii*. 2012. T. 10, № 2. S. 85M.
5. *Obluchinskaya E.D.* Suhoj ehkstrakt fukusa, sposob ego polucheniya i antikoagulyantnaya maz' na ego osnove. Patent RF № 2506089 // *Byulleten' Izobretenij*. 10.02.2014. № 4.
6. *Obluchinskaya E.D.* Optimizatsiya sostava i tekhnologii kapsul, soderzhashchih suhoj ehkstrakt fukusa // *Him.-farm. zhurn.* 2009. T. 43, № 6. S. 22–26.
7. *Obluchinskaya E.D.* Sposob kompleksnoj pererabotki fukusovyh vodoroslej (varianty). Patent RF № 2337571 // *Byulleten' Izobretenij*. № 31, 10.11.2008.
8. *Hotimchenko S.V.* Lipidy morskikh vodoroslej-makrofitov i trav: struktura, raspredelenie, analiz. Vladivostok: Dal'nauka, 2003. 234 s.
9. *Obluchinskaya E.D.* Vliyanie faktorov vneshnej sredy na sodержanie polisaharidov fukusa puzyrchatogo *Fucus vesiculosus* L. // *Himiya rast. syr'ya*. 2011. № 3. S. 47–51.
10. *Klinduh M.P., Obluchinskaya E.D., Matishov G.G.* Sezonnnye izmeneniya sodержaniya mannita i prolina v buroj vodorosli *Fucus vesiculosus* (L.) Murmanskogo poberezh'ya Barenceva morya // *Dokl. RAN*. 2011. T. 441, № 1. S. 1–4.

G.V. Ilyin, I.S. Usyagina, N.E. Kasatkina

GEOECOLOGICAL STATE OF SEAS ENVIRONMENT IN THE RUSSIAN ARCTIC UNDER THE PRESENT TECHNOGENIC STRESSES

The level of environmental pollution in the Russian sector of the Arctic seas under modern technogenetic stresses was researched. The Arctic seas remain relatively little polluted. Development of economic activities in aquatory and catchment basin determines loci of the pollution impact sited in the seas areas and environmental risks associated with them. River flows are the most significant for the Kara and Laptev Seas, while sea currents play the main role in contaminants transport in the Barents Sea. A decrease in radioactive contamination of the marine environment over the period of the uncontrolled emission in the 1960's is mentioned. The present level of radioisotope activity reflects the amount of global fallout of ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr in sea areas and watersheds by transoceanic transport from the North Atlantic.

Keywords: transboundary transport, petroleum products, pesticides, radionuclides, polyaromatic hydrocarbons, paraffins, heavy metals, bottom sediments, river flow.

Authors

Ilyin Gennady Vasilievich – Ph.D. (Geography), Head of the Oceanography and Radioecology Laboratory; MMBI KSC RAS; e-mail: ilyin@mmbi.info

Usyagina Irina Sergeevna – Ph.D. (Geography), Senior Scientific Researcher, Oceanography and Radioecology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: usyagina@mmbi.info

Kasatkina Nadezhda Yevgenievna – Ph.D. (Chemistry), Academic Secretary, MMBI KSC RAS; e-mail: kasatkina@mmbi.info

REFERENCES

1. *Ilyin G.V., Golubeva N.I.* Antropogennnye nagruzki i riski himicheskogo zagryazneniya morskoy sredy v Arktike // *Morskie ehkosistemy i soobshchestva v usloviyah sovremennykh klimaticheskikh izmenenij*. SPb.: Renome, 2014. S. 50–76.
2. Mnogoletnyaya dinamika radioaktivnogo zagryazneniya Barencevo-Karskogo regiona (1960-2013 gg.) / *G.G. Matishov, D.G. Matishov, I.S. Usyagina, N.E. Kasatkina* // *Dokl. RAN*. 2014. T. 458, № 4. S. 473–479.
3. *Usyagina I.S.* Raspredelenie i puti migracij iskusstvennykh radionuklidov v ehkosisteme Barenceva morya: avtoref. diss. ... geogr. nauk, special'nost' 25.00.28. Murmansk, 22 s.
4. *Ilyin G.V.* Rasprostranenie zagryaznyayushchih veshchestv v shell'fovyh moryah Rossijskoj Arktiki //

Geologiya i geoekologiya kontinental'nyh okrain Evrazii. M.: GEOS, 2009. Vyp. 1. S. 124–163. **5.** Kachestvo morskikh vod po gidrohimicheskim pokazatelyam. Ezhegodnik 2002 g. SPb.: Gidrometeoizdat, 2005. S. 126. **6.** Zhilin .YU., Ploticina N.F. Alifaticheskie i policiklicheskie aromaticheskie uglevodorody v donnyh osadkah Medvezhinsko-SHpicbergenskogo rajona Barenceva morya // Problemy morskoy paleoekologii i biogeografii v ehpohe global'nyh izmenenij. Kompleksnyye issledovaniya prirody arhipelaga SHpicbergen. - M.: GEOS, 2009. Vyp. 9. S. 248-256 . **7.** Perechen' rybohozyajstvennyh normativov: predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnyh urovnej vozdejstviya (OBUV) vrednyh veshchestv dlya vody vodnyh ob'ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie. M.: Izd. VNIRO, 1999. 305 s. **8.** Klassifisering av miljekvalitet i fjorder og kystfarvann. Veiledning / J. Molvaer, J. Knutsen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei, J. Serensen // SFT Veiledning. 1997. Vol. 97, № 3. 36 p. (in Norwegian). **9.** Iskusstvennye radionuklidy v ehkosisteme / D.G. Matishov, N.E. Kasatkina, I.S. Usyagina, E.V. Pavel'skaya // Kol'skij zaliv: osvoenie i racional'noe prirodopol'zovanie. M.: Nauka, 2009. S. 313–332. **10.** Nemirovskaya I.A. Uglevodorody v ehkosisteme Belogo morya // Okeanologiya. 2005. T. 45, № 5. S. 678–688.

C.L. Genyk

ON THE SUBSTANTIATION OF THE INTEGRATED MONITORING SYSTEM FOR THE WEST ARCTIC SEAS

The state and development prospects are discussed for the oceanographic monitoring system based on the information conception as an alternative to the observation conception. Requirements are stated to the information supply in the different branches of marine activity (fishery, sea transportation, oil and gas extraction). The list of sustainable development indices is formed for Arctic large marine ecosystems. The possibilities to use contact and remote sensing data are compared for different oceanographic parameters, namely water temperature and salinity, sea level, wind waves, ice cover. The sequence of stages is recommended for the organization of a monitoring information system.

Keywords: *monitoring, the West Arctic, marine environment, ecosystem, indice, contact methods, remote sensing.*

Author

Dzhenyuk Sergei Lvovich – Dr.Sc. (Geography), Chief Scientific Researcher, Oceanography and Radioecology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: dzhenyuk@mmbi.info

REFERENCES

1. Konceptiya sistemy ehkologicheskogo monitoringa Rossii / V.A. Kimstach, SH.D. Fridman, E.C. Dmitriev, L.S. Yazvin, E.Ya. Nejman // Meteorologiya i gidrologiya. 1992. №10. S. 5–18. **2.** Ashik I.M., Fil'chuk K.V., Bloshkina E.V. Sistema monitoringa gidrometeorologicheskogo rezhima akvatorii arkticheskikh morej i Arkticheskogo bassejna SLO // Sostoyanie arkticheskikh morej i territorij v usloviyah izmeneniya klimata: sb. tezisov Vserossijskoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. Arhangel'sk: ID SAFU, 2014. S. 50–52. **3.** Dzhenyuk S.L. Informacionnoe obespechenie i interpretaciya dannyh v sistemah kompleksnogo ehkologicheskogo monitoringa // Problemy i metody ehkologicheskogo monitoringa morej i pribrezhnyh zon Zapadnoj Arktiki. Apatity: Izd. KNC RAN, 2001. S. 52–265. **4.** Dzhenyuk S.L. EHkologicheskij monitoring kak informacionnaya tekhnologiya // Sovremennye informacionnye i biologicheskie tekhnologii v osvoenii resursov shel'fovyyh morej. M.: Nauka, 2005. S. 108–118. **5.** Dzhenyuk S.L. Kompleksnoe ispol'zovanie tematicheskikh dannyh dlya opisaniya bol'shikh morskikh ehkosistem // Kompleksnyye issledovaniya bol'shikh morskikh ehkosistem. Apatity: Izd. KNC RAN, 2011. S. 51–62. **6.** Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L. EHkologicheskij monitoring pribrezhnoj zony Barenceva i Karskogo morej // Izvestiya AN. Ser. geogr. 1999. № 3. S. 69–76. **7.** Dzhenyuk S.L. Metodologiya informacionnogo obespecheniya morskogo ehkosistemnogo monitoringa // Morskie neftegazovye razrabotki i racional'noe prirodopol'zovanie na shel'fe. Rostov-n/D: YuNC RAN, 2009. S. 367–387. **8.** Dzhenyuk S.L. O sovместnom ispol'zovanii dannyh distancionnogo zondirovaniya i kontaktnyh izmerenij v okeanologii // EHkologiya. EHkonomika. Informatika. Mat. konf. T. 2. Rostov n/D: Izd. YuFU, 2013. S. 178–181. **9.** Girdyuk G.V., Zykova G.G., Terziev F.S. Opređenje temperatury poverhnostnogo sloya Barenceva morya po dannym aviatermicheskikh s'emok // Meteorologiya i gidrologiya. 1975. № 4. S. 109–112. **10.** Garbuzov A.V. O raschete temperatury poverhnostnogo sloya morya po dannym aviacionnyh izmerenij // Tr. AANII. 1983. T. 385. S. 56–62. **11.** Bazlova T.A., Garbuzov

A.V. Ob uchete vliyaniya atmosfery na rezul'taty aviacionnyh IK-izmerenij temperatury poverhnosti morya // Tr. AANII. 1987. T. 410. S. 59–66. **12.** Vozmozhnosti i perspektivy monitoringa gidrologicheskikh uslovij Severnogo Ledovitogo okeana po dannym sputnikovyh izmerenij / E.V. Bloskina, A.K. Platonov, N.A. Kuse-Tyuz, V.I. Dymov, T.A. Pasechnik, V.V. Alekseev // Okeanografiya i morskoy led. M.: Paulsen, 2011. S. 34–49. **13.** Vozmozhnosti metodov distancionnogo zondirovaniya, kak nadezhnogo istochnika polucheniya ob"ektivnoj informacii o sostoyanii ledyanogo pokrova morej polyarnyh oblastej / V.G. Smirnov, I.E. Frolov, A.V. Bushuev, I.A. Bychkova, A.V. Grigor'ev, N.Yu. Zahvatkina, V.S. Loshchilov, V.V. Stepanov, L.P. Bolbylev, V.Yu. Aleksandrov // Okeanografiya i morskoy led. 2011. S. 50–69. **14.** Gidrometeorologiya i gidrokhimiya morej SSSR. T. 1. Barencevo more. Vyp. 1. Gidrometeorologicheskie usloviya / pod red. F.S. Terzieva i dr. L.: Gidrometeoizdat, 1990. 280 s.

G.G. Matishov, V.V. Denisov, A.P. Zhichkin

MARINE NATURAL MANAGEMENT IN THE WESTERN SECTOR OF THE ARCTIC: ISSUES AND OPTIONS

The development of marine natural management strategy in the Arctic is the most important federal task of Russia, it requires consideration of integral natural and human factors. Modern role of the Barents-Kara Arctic region as multifunctional and promising center of maritime activity in the Arctic is distinguished in the article. Analysis of the Russian Federation strategy documents features in the field of maritime activities is implemented. Importance and primacy of marine regional planning (zoning) role in definition of strategic development in both Arctic seas are stressed in the article. Main issues of maritime planning of economic activity in Barents-Kara region and ways to solve them were selected and analyzed. Modern regional materials in the field of marine natural management were used; research trends in this field were specified within the concept of "large marine ecosystems".

Keywords: the Arctic, the Barents Sea, the Kara Sea, marine natural management, marine spatial planning.

Authors

Matishov Gennady Grigorievich – RAS full member, Dr.Sc. (Geography), Prof., Director, MMBI KSC RAS; e-mail: matishov@mmbi.info

Denisov Vladimir Vasilievich – Dr.Sc. (Geography), Prof., Chief Scientific Researcher, Oceanography and Radioecology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: denisov@mmbi.info

Zhichkin Aleksandr Pavlovich – Ph.D. (Geography), Senior Scientific Researcher, Oceanography and Radioecology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: zhichkin@mmbi.info

REFERENCES

1. Matishov G.G., Denisov V.V. Ehkologo-geograficheskie zadachi nauchnogo obespecheniya strategicheskogo razvitiya Murmanskoy oblasti kak sub"ekta morskoy deyatel'nosti Rossijskoj Federacii // Vestnik KNC RAN. 2009. Vyp. 1. S. 59–70. **2.** Osnovy gosudarstvennoj politiki Rossijskoj Federacii v Arktike na period do 2020 goda i dal'nejshuyu perspektivu (utverzhdeny Prezidentom RF 18 sentyabrya 2008 g.) // Rossijskaya gazeta. 2009. 30 marta. **3.** Strategiya razvitiya Arkticheskoy zony Rossijskoj Federacii i obespecheniya nacional'noj bezopasnosti na period do 2020 goda (utverzhdena Prezidentom RF 20 fevralya 2013 g.). Rezhim dostupa: <http://docs.cntd.ru/document/499002465>. **4.** Strategiya razvitiya morskoy deyatel'nosti Rossijskoj Federacii do 2030 goda (utverzhdena Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 8 dekabrya 2010 g. № 2205-r) // Rossijskaya gazeta. 2010. 21 dekabrya. **5.** Strategiya social'no-ehkonomicheskogo razvitiya murmanskoy oblasti do 2020 goda i na period do 2025 goda (utverzhdena postanovleniem Pravitel'stva Murmanskoy oblasti ot 25.12.2013 № 768-PP/20). Rezhim dostupa: <http://npa.gov-murman.ru/ppmo/postanovleniya-pravitelstva-mo/>. **6.** Denisov V.V., Zhichkin A.P., Vasil'ev A.M. Morskoe prostranstvennoe planirovanie v arkticheskikh i subarkticheskikh regionah RF: problemy realizacii (na primere Murmanskoy oblasti) // Sever i rynek. 2014. № 3 (40). S. 18–21. **7.** Denisov V.V., Il'in G.V., Zhichkin A.P. Arkticheskie arhipelagi Barenceva ehkoregiona kak ob"ekty racional'nogo prirodopol'zovaniya i upravleniya // Vestnik MGTU. 2012. T. 15, № 4. S. 733–738. **8.** Geografiya okeana: Teoriya, praktika, problemy / pod red. A.P. Alhimenko i S.B. Slevicha. (Seriya: Sovremennye problemy geografii). L.: Nauka, 1988. 270 s. **9.** Denisov V.V., Mihajlichenko Yu.G. O roli regional'nyh organov vlasti

v upravlenii pribrezhno-morskimi akvatoriyami Rossii // Strategicheskoe planirovanie v regionah i gorodah Rossii: vystraivaya sistem: doklady uchastnikov XII Obshcherossijskogo foruma liderov strategicheskogo planirovaniya. Sankt-Peterburg. 21–23 oktyabrya 2013 g. / SPb.: Leont'evskij centr. 2014. S. 90–92.

A.A. Shavykin

METHODOLOGY TO MAP VULNERABILITY OF MARINE AND COASTAL ZONES TO OIL SPILLAGE EXEMPLIFIED WITH MAPS FOR KOLA BAY

A methodology for mapping vulnerability of marine and coastal zones to oil spillage has been proposed. Integral vulnerability maps are constructed as the sum of the initial multi-scale seasonal distribution of biota (standardized by the average annual abundance of groups) and the distribution of features of special significance (FSS) and nature protection areas (NPA). 'Summation' of maps for these components (biota, FSS and NPA) takes into account the vulnerability coefficients for biota and coefficients of protection priority for FSS and NPA as well. The examples of vulnerability maps for the Kola Bay are presented.

Keywords: vulnerability maps, oil, the Kola Bay, mapping methodology, biota component, feature of special significance, vulnerability coefficient, coefficient of protection priority.

Author

Shavykin Anatoly Aleksandrovich – Ph.D. (Techn.), Head of the Engineering Ecology Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: shavykin@mmbi.info

REFERENCES

1. IPIECA. Rukovodstvo po planirovaniyu dejstvij v chrezvychajnyh situacijah pri razlivah nefti na vode. Seriya dokladov IPIECA. 2000. T. 2. Velikobritaniya, London, Blekhfrajs-roud, 209–215. 2-e izd. 30 s.
2. Environmental Sensitivity Index (ESI) Experience [EHlektronnyj resurs]. Oil-Spill-Info.com (E-Tech International Inc.). 2014. Rezhim dostupa: http://www.oil-spill-info.com/sum_esi.html (Data obrashcheniya: 18.02.2014).
3. ESI data in Google Earth [EHlektronnyj resurs] ESI online. 2014. URL: <http://esionline.researchplanning.com> (Data obrashcheniya: 18.02.2014).
4. NOAA. Environmental Sensitivity index guidelines. NOAA Technical Memorandum NOS OR&R. Version 3.0. USA, Seattle: NOAA, 2002. 192 p.
5. Sensitivity atlas [EHlektronnyj resurs] Institute for bioscience. 2014. Rezhim dostupa: <http://environmental-atlas.dmu.dk> (Data obrashcheniya: 18.02.2014).
6. Schiller H., Bernen C., Krasemann H.L. Automated classification of an environmental sensitivity index // Environmental Monitoring and Assessment., 2005. Vol. 110. Issue 1–3. P. 291–299.
7. BRISK (Project on sub-regional risk of spill of oil and hazardous substances in the Baltic Sea). Method note. Document no. P-070618-1-01. Admiral Danish Fleet HQ, National Operations, Maritime Environment. 2009. Ver. 0.2. 42 p. Rezhim dostupa: http://meeting.helcom.fi/c/document_library/get_file?p_l_id=83433&folderId=504938&name=DLFE-38440.pdf (Data obrashcheniya: 15.09.2014).
8. SFT (Statens forurensningstilsyn). Beredskap mot akutt forurensning. Modell for prioritering av miljøressurser ved akutte oljeutslipp langs kysten. TA-nummer 1765/2000. Oslo: Statens forurensningstilsyn, 2004. 16 p. [Metodika klassifikacii prioritetnosti prirodnyh resursov k neftyanomu zagryazneniyu v pribrezhnoj zone. Oslo: Gosud. upravlenie po kontrolyu zagryazneniya okruzhayushchej sredy, 2004. 27 s.].
9. Pogrebov V.B. Integral'naya ocenka ehkologicheskoy chuvstvitel'nosti bioresursov beregovoj zony k antropogennym vozdeystviyam // Osnovnye koncepcii sovremennogo beregopol'zovaniya: monografiya. SPb.: RGGMU, 2010. T. 2. S. 43–85.
10. Pogrebov V.B., Puzachenko A.Yu. Integral'naya chuvstvitel'nost' morskikh ehkosistem k neftyanomu zagryazneniyu: mat. 5 nauchnogo seminara "CHteniya pamyati K.M. Deryugina". SPb.: Izd. SPbGU, 2003. S. 5–22.
11. Novikov M.A. Ochenochnoe ehkologo-rybohozyajstvennoe rajonirovanie morskikh akvatorii // Vodnye resursy. 2004. T. 31, № 2. S. 199–208.
12. Novikov M.A. Metodologiya integrirovannoj ocenki ehkologicheskoy uyazvimosti i rybohozyajstvennoj cennosti morskikh akvatorij (na primere Barenceva i Belogo morej). Murmansk: Izd. PINRO, 2006. 250 s.
13. Novikov M.A. Integrirovannaya ocenka ehkologo-rybohozyajstvennoj uyazvimosti morskikh akvatorij: ot teorii k praktike. Murmansk: Izd. PINRO, 2013. 124 s.
14. Ocenka integral'noj uyazvimosti akvatorii Barenceva morya k neftyanomu zagryazneniyu / A.A. Shavykin, O.P. Kalinka, G.N. Duhno, V.V. Saprygin, S.V. Zyryanov // Zashchita okruzhayushchej sredy v neftegazovom komplekse. 2008. № 3. S. 13–22.
15. Shavykin A.A., Il'in G.V. Ocenka integral'noj uyazvimosti Barenceva morya ot

neftyanogo zagryazneniya. Murmansk: MMBI KNC RAN, 2010. 110 s. **16.** *Blinovskaya Ya.Yu.* Principy sozdaniya informacionnoj sistemy «Karty chuvstvitel'nosti pribrezhno-morskih zon k zagryazneniyu neft'yu» // Vestnik D-NC RAN. 2004. № 4. S. 63–73. **17.** *Blinovskaya Ya.Yu.* Karty chuvstvitel'nosti k neftyanomu zagryazneniyu beregovoj zony Ohotskogo morya // Geodeziya i kartografiya. 2005. № 4. S. 49–53. **18.** *Blinovskaya Ya.Yu.* Metody kompleksnoj ocenki ehkologicheskoy chuvstvitel'nosti pribrezhno-morskih zon k neftyanomu zagryazneniyu (na primere yuga Dal'nego Vostoka): avtoref. dis. ... d.t.n.: 03.00.08. M., 2010. 44 s. **19.** Metodicheskie podhody k sozdaniyu kart ehkologicheski uyazvimykh zon i rajonov prioritetnoj zashchity akvatorij i beregov Rossijskoj Federacii ot razlivov nefti i nefteproduktov. WWF (Vsemirnyj fond dikoj prirody) / Ya.Yu. *Blinovskaya, M.V. Gavrilov, N.V. Dmitriev, V.B. Pogrebov, A.Yu. Puzachenko, S.M. Usenkov, A.Yu. Knizhnikov, M.A. Puhova, M.B. SHilin, G.N. Semanov.* Vladivostok; Moskva; Murmansk; Sankt-Peterburg, 2012. 60 s. Rezhim dostupa: <http://www.wwf.ru/resources/publ/book/478> (Data obrashcheniya: 12.08.2013). **20.** IMO, IPIECA, OGP (International Maritime Organization, International Petroleum Industry Environmental Conservation Association, International Association of Oil & Gas Producers) Sensitivity mapping for oil spill response. London, 2012. 39 p. Rezhim dostupa: <http://www.iecea.org/publication/sensitivity-mapping-oil-spill-response-0> (Data obrashcheniya: 12.09.2014). **21.** *Offringa H., Lahr J.* Safetyat Sea. An integrated approach to map ecologically vulnerable areas in marine waters in the Netherlands (V-maps). Report № A09. Revision No 4. Centre for Ecosystem Studies. 2007. 93 p.

G.A. Tarasov

QUATERNARY SEDIMENTARY COVER OF THE WEST ARCTIC SHELF: LITHOLOGICAL STRUCTURE, SPATIAL DISTRIBUTION

Synthesis and analysis of lithological, seismoacoustic and age data allow for tracing the nature of Quaternary sediments and bottom topography formation on the West Arctic seas shelf, evolution of which is interconnected with major events in geological history. It is noted that continuity of the marine sedimentation is characteristic only for the Holocene in the Late Cenozoic stage of sedimentary basin development, and the Pleistocene sedimentation had a significant impact due to glacial and interglacial events associated with accumulative erosion and denudation processes. Pre-Quaternary stage of region development remains underexplored, since underlying sedimentary formations over a wide shelf area with large break are presented by Mesozoic rock.

Keywords: shelf, Holocene, Pleistocene, glaciation, moraine, seismoacoustics, column, core, sedimentogenesis, break.

Author

Tarasov Gennady Antipovich – Dr.Sc. (Geology and Mineralogy), Head of the Geology and Geodynamics Laboratory, MMBI KSC RAS; e-mail: tarasov@mmbi.info

REFERENCES

- 1.** *Elverhøi A.* Glacigenic and associated marine sediments in the Weddell Sea, fjords of Spitsbergen and the Barents Sea: a review // *Marine Geology*. 1984. Vol. 57. P. 53–88.
- 2.** *Krapivner R.B., Gricenko I.I., Kostyuhin A.I.* Sejsmostratigrafiya novejsih otlozhenij Yuzhnobarencevskogo regiona // *Kajnozoi shel'fa i o-vov Sovetskoj Arktiki*. L.: PGO "Sevmorgeologiya", 1986. S. 7–14.
- 3.** *Shipilov E.V., Tarasov G.A.* Regional'naya geologiya neftegazonosnyh osadochnyh bassejnov Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Rossii. Apatity: Izd. KNC RAN, 1998. 306 s.
- 4.** *Verba M.L.* Sovremennoe bilateral'noe rastyazhenie zemnoj kory v Barencevo-Karskom regione i ego rol' pri ocenke perspektiv neftegazonosnosti // *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*. 2007. № 2. Rezhim dostupa: www.ngtp.ru.
- 5.** Sozdanie geologo-ehkologicheskoy osnovy racional'nogo prirodorol'zovaniya Zapadno-Arkticheskogo shel'fa Rossii / *G.S. Kazanin, I.V. Zayac, N.V. Markina i dr.* // *Razvedka i ohrana nedr*. 2007. № 9. S. 2–13.
- 6.** Structure and evolution of the continental margin off Norway and the Barents Sea / *J. Faleide, F. Tsikalas, A. Breivik et al.* // *Episodes*. 2008. Vol. 31, № 1. P. 82–92.
- 7.** *Forwick M., Vorren T.O.* Stratigraphy and deglaciation of the Isfjorden area, Spitsbergen // *Norwegian Journal of Geology*. 2011. Vol. 90. P. 163–179.
- 8.** *Krapivner R.B.* K voprosu o genezise novejsih otlozhenij Barencevomorskogo shel'fa // *Litologiya i poleznye iskopaemye*. 2014. № 4. S. 306–322.
- 9.** Effect of early Pliocene uplift on late Pliocene cooling in the Arctic–Atlantic gateway / *J. Knies, R. Mattigsdal, K. Fabian, K. Grøsfjeld, S. Baranwal, K. Husum, S. DeSchepper, C. Vogt,*

CONTENTS

N. Andersen, J. Matthiessen, K. Andreassen, W. Jokat, S. Nam, C. Gaina // Earth and Planetary Science Letters. 2014. Vol. 387. P. 132–144. **10.** *Matishov G.G.* Konceptsiya morskikh ehkzogennykh processov v lednikovyy i sovremennyj periody // Byulleten' Komissii po izucheniyu chetvertichnogo perioda. 2008. № 68. S. 26–40. **11.** Akusticheskie facii postkriogennykh obstanovok melkovodnykh rajonov Pechorskogo i Karskogo morej / *V.N. Bondarev S.I. Rokos, A.G. Dlugach, D.A. Kostin* // Razvedka i ohrana prirody. 1999. № 7–8. S. 10–14. **12.** Processy sedimentacii na glyacial'nykh shel'fah / *G.A. Tarasov, I.A. Pogodina, V.B. Hasankaev i dr.* Apatity: Izd. KNC RAN, 2000. 473 s. **13.** *Tarasov G.A., Matishov G.G., Kazanin G.S.* Geologicheskoe stroenie i ehvolyuciya Barencevomorskogo shel'fa v pozdnem kajnozoe // Geologiya i geoehkologiya kontinental'nykh okrain Evrazii. M.: GEOS, 2009. Vyp. 1. S. 45–53. **14.** *Tarasov G.A.* Verhnechetvertichnyj sedimentogenez na shel'fe Zapadno-Arkticheskikh morej: avtoref. diss. ... d.g.-m.n. M.: IO RAN, 1998. 46 s. **15.** *Tarasov G.A.* Osobennosti sedimentologicheskikh issledovanij v Arktike // Tr. KNC RAN. Okeanologiya. 2013. № 1. S. 79–95. **16.** Novye dannye o prirodnoj obstanovke v Barencevom more v konce valdajskogo lednikov'ya / *Yu.A. Pavlidis, Yu.A. Bogdanov, O.V. Levchenko, I.O. Murdmaa, G.A. Tarasov* // Okeanologiya. 2005. T. 45, № 1. S. 92–106. **17.** Quaternary history of sea ice in the western Arctic Ocean based on Foraminifera / *L. Polyak, K.M. Best, K.A. Crawford, E.A. Council, G. St-Onge* // Quaternary Science Reviews. 2013. Vol. 79. P. 145–156. **18.** *Matishov G.G.* Dno okeana v lednikovyy period. L.: Nauka, 1984. 176 s. **19.** Postglacial emergence and Late Quaternary glaciation on northern Novaya Zemlya, Arctic Russia / *S.L. Forman, D.J. Lubinski, J.J. Zeeberg, L. Polyak, G.H. Miller, G. Matishov, G. Tarasov* // Boreas. 1999. Vol. 2. P. 133–145. **20.** *Mangerud J., Svendsen J.I., Astakhov V.I.* Age and extent of the Barents and Kara ice sheets in Northern Russia // Boreas. 1999. Vol. 28. P. 46–80. **21.** *EHpshtejn O.G., CHistyakova I.A.* Pechoromorskij shel'f v pozdnem valdae-golocene: osnovnye sedimentologicheskije i paleogeograficheskie sobytiya // Byull. Komissii po izuch. chetver. perioda. 2005. № 66. S. 107–123. **22.** Cosmogenic ¹⁰Be exposure age dating across Early to Late Weichselian ice-marginal zones in northwestern Russia / *H. Linge, E. Larsen, K.H. Kjær, I. Demidov, E.J. Brook, G.M. Raisbeck, F. Yiou* // Boreas. 2006. Vol. 35, R. 576–586. **23.** *Kostin D.A., Tarasov G.A.* CHetvertichnyj osadochnyj chekhol Barencevo-Karskogo bassejna // Geologiya i geoehkologiya kontinental'nykh okrain Evrazii. M.: GEOS. 2011. Vyp. 3. S. 107–130. **24.** *Hormes A., Gjermundsen F.E., Rasmussen T.L.* From mountain top to the deep sea- Deglaciation in 4D of the northwestern Barents Sea ice sheet // Quaternary Science Reviews. 2013. Vol. 75. P. 78–99. **25.** Arctic Ocean glacial history / *M. Jakobsson, K. Andreassen, L.R. Bjarnadóttir, D. Dove, J.H. Dowdeswell et. al.* // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 92. P. 40–67. **26.** Imprint of late Pleistocene continental processes visible in ice-rafted grains from the central Arctic Ocean / *N. Immonen, K. Strand, A. Huusko, J.P. Lunkka* // Quaternary Science Reviews. 2014. Vol. 92. P. 133–139. **27.** *Tarasov G.A., Shlykova V.V.* Raspredelenie moshchnostej chetvertichnykh otlozhenij i osnovnye cherty dovaldajskoj poverhnosti bassejna Belogo morya // Dokl. RAN. 2006. T. 411, № 2. S. 226–230. **28.** *Sharapova A.Yu.* Verhnij plejstocen i golocen Severnoj Fennoskandii i Barenceva morya (stratigrafiya, absolyutnaya hronologiya, paleogeografiya): avtoref. diss. ... d.g.m.n. SPb., 2005. 48 s. **29.** *Pogodina I.A.* Foraminifery v donnykh otlozheniyah morej Zapadnoj Arktiki. Apatity: Izd. KNC RAN, 2014. 192 s.

ВЕСТНИК КОЛЬСКОГО НАУЧНОГО ЦЕНТРА РАН

2/2015(21)

Технический редактор В.Ю. Жиганов

Подписано к печати 02.03.2015

Формат бумаги 60x84 1/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic

Усл. печ. л. 17,78. Заказ № 4. Тираж 500 экз.

Российская Академия Наук

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Кольский научный центр Российской академии наук

184209, г.Апатиты, Мурманская область, ул. Ферсмана, 14