Федеральное агентство научных организаций России
Российская академия наук
Кольский научный центр
Мурманский морской биологический институт

ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Материалы XXXVI конференции молодых ученых ММБИ КНЦ РАН,
посвященной 40-летию научно-исследовательского судна
«Дальние Зеленцы»

МУРМАНСК
2018

Федеральное агентство научных организаций России

Российская академия наук
Кольский научный центр
Мурманский морской биологический институт

ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Материалы XXXVI конференции молодых
ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию
научно-исследовательского судна «Дальние Зеленцы»

Мурманск
2018

УДК 574.4 (26)

Исследования арктических экосистем: Матер. XXXVI конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию научно-исследовательского судна «Дальние Зеленцы»; [отв. ред. Д.В. Моисеев]; Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН. – Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2018. – 106 с.

В 2018 году исполняется 40 лет с момента постройки научно-исследовательского судна ММБИ «Дальние Зеленцы». Все это время НИС «Дальние Зеленцы» активно работает в морях Баренцевом, Белом, Гренландском, Карском, Восточно-Сибирском и Лаптевых. В экспедиционной деятельности ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» принимают самое активное участие молодые ученые. В настоящем сборнике представлены результаты экспедиционных исследований молодых ученых, полученные на НИС «Дальние Зеленцы», и экспериментальных лабораторных исследований. Круг интересов молодых ученых охватывает почти все направления современной океанографии и морской биологии.

Ответственный редактор
канд. геогр. наук Д.В. Моисеев

© Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, 2018

*Оригинал-макет данного издания является собственностью ММБИ КНЦ РАН,
и его репродуцирование (воспроизводство) любым способом без согласия Института запрещается*

Russia's Federal Agency for Scientific Organizations

Russian Academy of Sciences
Kola Science Centre
Murmansk Marine Biological Institute

STUDIES ON ECOSYSTEMS OF THE ARCTIC

Proceedings of the XXXVI Conference for young scientists
at MMBI KSC RAS devoted to the 40-year anniversary
of the RV «Dalnie Zelentsy»

Murmansk
2018

UDC 574.4 (26)

Studies on ecosystems of the Arctic: Proceedings of the XXXVI Conference for Young Scientists at MMBI KSC RAS devoted to the 40-year anniversary of the RV «Dalnie Zelentsy»; [Editor-in-chief D.V. Moiseev]; Murmansk Marine Biological Institute Kola Science Center RAS. – Murmansk: Publ. MMBI KSC RAS, 2018. – 106 p.

In 2018, forty years have passed since the construction of the MMBI research vessel «Dalnie Zelentsy». During all these years she has made many voyages to the Barents, White, Greenland, Kara, East Siberian and Laptev Seas. Young scientists working at MMBI take active part in cruises onboard RV «Dalnie Zelentsy». Papers submitted for this publication present some results of lab experiments and of fieldwork carried out by young scientists at MMBI during cruises onboard RV «Dalnie Zelentsy» to polar seas. Studies presented in the papers cover almost all fields of modern oceanography and marine biology.

Editor-in-chief
D.V. Moiseev, Ph. D. (Geography)

© Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, 2018

The original model of this issue is a property of MMBI KSC RAS,
and its reproduction by any means without consent of the Institute is forbidden

40 ЛЕТ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМУ СУДНУ «ДАЛЬНИЕ ЗЕЛЕНЦЫ»

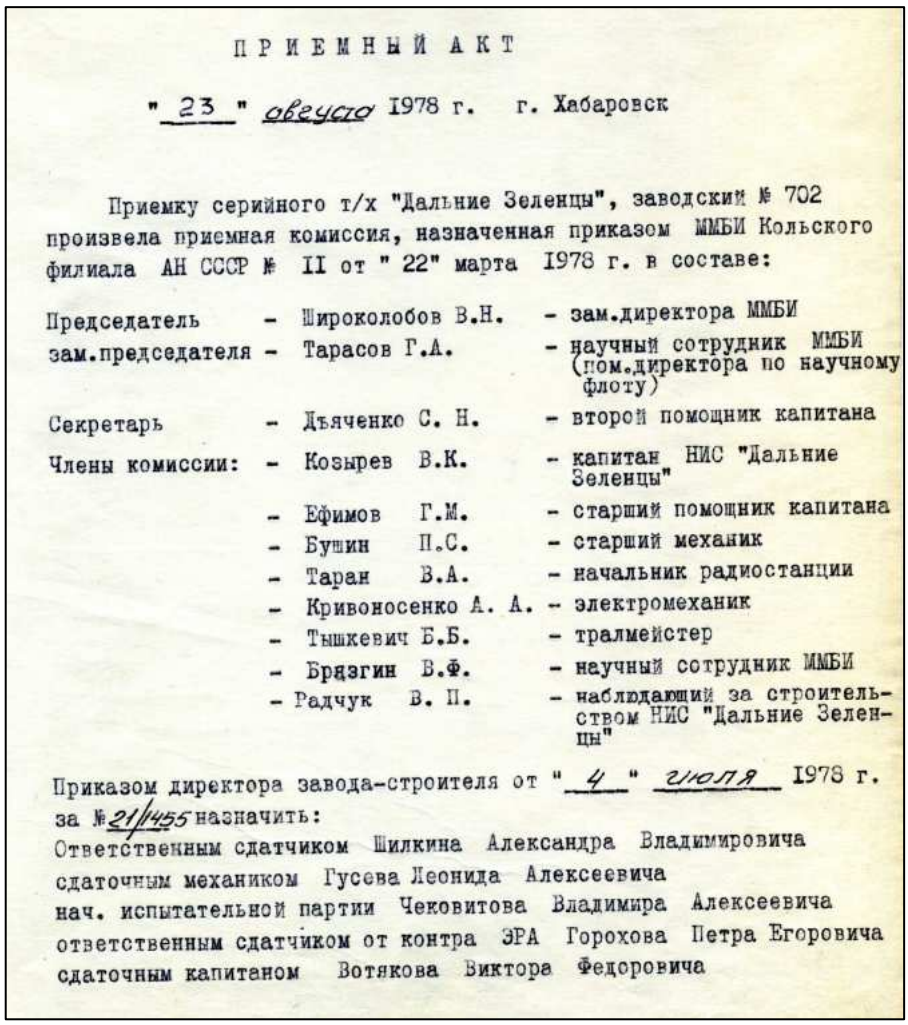
П.Р. Макаревич, Д.В. Моисеев
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Проведение комплексных морских экосистемных исследований невозможно представить без использования специализированных научно-исследовательских судов. Вот уже на протяжении без малого 40 лет экспедиционные работы Мурманского морского биологического института КНЦ РАН связаны с научно-исследовательским судном «Дальние Зеленцы» (рис. 1). До появления этого судна (1978 г.) Институт проводил морские гидробиологические исследования в южной 100-мильной зоне Баренцева моря, а также в Белом и Печорском морях, поскольку старые переоборудованные рыболовные траулеры имели ограниченные возможности плавания от порта приписки (Макаревич, Тарасов, 2014).

Рис. 1. НИС «Дальние Зеленцы» в Баренцбурге (арх. Шпицберген), 1982 г. (фото из архива ММБИ)

Распоряжением Президиума АН СССР № 10216-587 от 16 апреля 1976 г. с согласия Главной морской инспекции Министерства морского флота СССР строящемуся научно-исследовательскому судну Мурманского морского биологического института Кольского филиала АН СССР было присвоено название «Дальние Зеленцы» в честь научного поселка, расположенного на побережье Баренцева моря в 200 км от Мурманска, где с 1935 г. разме-

щалось академическое учреждение – ММБИ. Документ был подписан вице-президентом АН СССР академиком А.В. Сидоренко. Судно проектировалось (проект 1614) с 1975 по 1977 гг. в ЦКБ «Ленинская кузница» (г. Киев). Научно-исследовательское судно «Дальние Зеленцы» заложено 13 июля 1977 г., спущено на воду 22 апреля 1978 г. Ходовые испытания проведены 4–27 июля 1978 г. Приемный акт подписан 23 августа 1978 г. (рис. 2). Эту дату можно считать днем рождения судна. В состав флота ММБИ НИС «Дальние Зеленцы» вошло в 1979 г. (Приемный …, 1978; Токин, Тарасов, 1978).



ПРИЕМНЫЙ АКТ

"23" августа 1978 г. г. Хабаровск

Приемку серийного т/х "Дальние Зеленцы", заводский № 702 произвела приемная комиссия, назначенная приказом ММБИ Кольского филиала АН СССР № II от "22" марта 1978 г. в составе:

Председатель	– Широколобов В.Н.	– зам.директора ММБИ
зам.председателя	– Тарасов Г.А.	– научный сотрудник ММБИ (пом.директора по научному флоту)
Секретарь	– Дьяченко С. Н.	– второй помощник капитана
Члены комиссии:	– Козырев В.К.	– капитан НИС "Дальние Зеленцы"
	– Ефимов Г.М.	– старший помощник капитана
	– Бушин П.С.	– старший механик
	– Таран В.А.	– начальник радиостанции
	– Кривоносенко А. А.	– электромеханик
	– Тышкевич Б.Б.	– тралмейстер
	– Брязгин В.Ф.	– научный сотрудник ММБИ
	– Радчук В. П.	– наблюдающий за строительством НИС "Дальние Зеленцы"

Приказом директора завода-строителя от "4" июля 1978 г. за №21/455 назначить:
Ответственным сдатчиком Шилкина Александра Владимировича
сдаточным механиком Гусева Леонида Алексеевича
нач. испытательной партии Чековитова Владимира Алексеевича
ответственным сдатчиком от контра ЭРА Горохова Петра Егоровича
сдаточным капитаном Вотякова Виктора Федоровича

Рис. 2. Копия первой страницы Приемного акта НИС «Дальние Зеленцы» (Приемный …, 1978)

Основные характеристики НИС «Дальние Зеленцы» следующие:

наибольшая длина – 55.65 м,
набольшая ширина – 9.53 м,
наибольшая осадка – 4.21 м,
высота борта – 5.18 м,
мореходность – без ограничений,
полное водоизмещение – 1074 т,
дедвейт – 362 т,
валовая вместимость – 774 т,
тип и мощность главной энергетической установки – дизель NVD 48A2Y – 1000 л. с.,
ледовый класс – Л2,
скорость хода – 10 узлов,
номер ИМО – 7740477,
команда – 17 чел.,
научная группа – 18 чел.,
количество лабораторных помещений – 4.

Судно оснащено разнообразным оборудованием для проведения морских экосистемных исследований (рис. 3). С момента постройки судно претерпело целый ряд конструктивных изменений. В 1990-е годы в период работы на рыбном промысле было демонтировано следующее оборудование: океанологическая лебедка ЛГ-5 с кран-балкой и кабельная лебедка ЛК-2 с кран-балкой. В то же время по правому борту была надстроена вторая палуба. На этой надстроенной палубе в 2000 г. была установлена новая океанографическая лебедка ЛОКС. В 2003 году ММБИ через в/о «Академинторг» получил мультипараметрическую измерительную систему в составе лебедки кабельной KC-Denmark (1000 м кабель-троса), кассеты (розетты) HYDROBIOS MWS12 с 12 батометрами Нискина, СТД-зонда CTD90 и палубных электронных блоков для получения данных и управления погружаемым оборудованием. Для размещения данной системы по левому борту судна были построены помещения для хранения розетты, размещения палубных блоков и персонального компьютера. Установлена специализированная кран-балка с поворотным механизмом для вывода розетты за борт. Заняла штатное место кабельная лебедка КС.

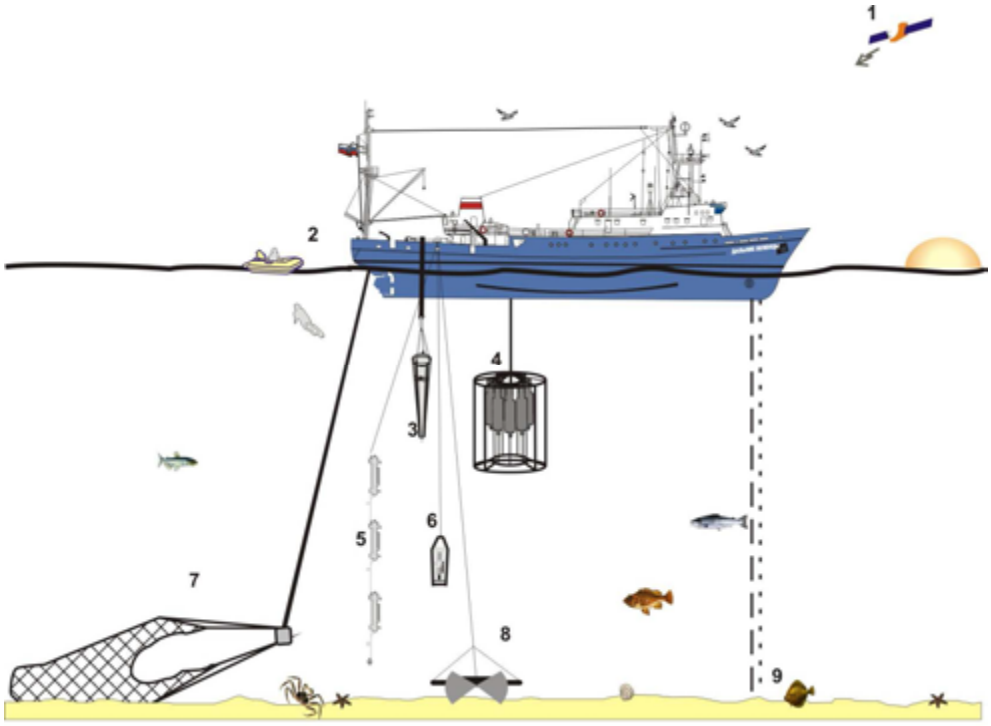


Рис. 3. Техническое оснащение НИС «Дальние Зеленцы» для проведения комплексных морских экосистемных исследований:

1 – спутниковая система позиционирования (GPS); 2 – моторная лодка для проведения подводных исследований и высадки на берег; 3 – зоопланктонная сеть; 4 – кассета (розетта) MWS12 с 12 батометрами для отбора проб воды; 5 – серия батометров Нискина; 6 – СТД-зонд типа SEACAT SBE19; 7 – донный трал или трал Сигсби; 8 – дночерпатель ван-Вина; 9 – эхолот

В 2005 году были демонтированы обе шлюпки. Вместо них по левому борту разместилась разъездная надувная моторная лодка с механизмом вывода за борт. В 2012 году на судне был установлен новый опреснитель морской воды, так как установленный при постройке судна, в 1990-е гг. был демонтирован. В радиорубке в 2012 г. была установлена система спутниковой связи глобального покрытия Iridium Pilot. В последние годы постоянно производится ремонт и реновация в жилых и производственных помещениях НИС «Дальние Зеленцы».

Морские экспедиционные исследования ММБИ в Арктике в последние четыре десятилетия непосредственно связаны с НИС «Дальние Зеленцы», выполнившим десятки научных рейсов в Баренцевом, Белом, Карском, Лаптевых, Восточно-Сибирском, Гренландском, Норвежском, Северном, Балтийском морях (рис. 4). В целом география морских походов судна гораздо шире. Первый его рейс в 1979 г. – это переход из Владивостока в пос. Дальние Зеленцы через моря Тихого и Индийского океанов, Суэцкий канал, Средиземное, Северное и Норвежское моря (Токин, Хасанкаев, 1980). За 40-летний период эксплуатации НИС «Дальние Зеленцы» совершило более 200 высокоширотных морских экспедиций длительностью до 90 сут., пройдя более 600 тыс. морских миль (Макаревич, Тарасов, 2014). Только в 2017 г., после очередного классификационного ремонта, с июля по декабрь НИС «Дальние Зеленцы» прошло примерно 19 тыс. морских миль.

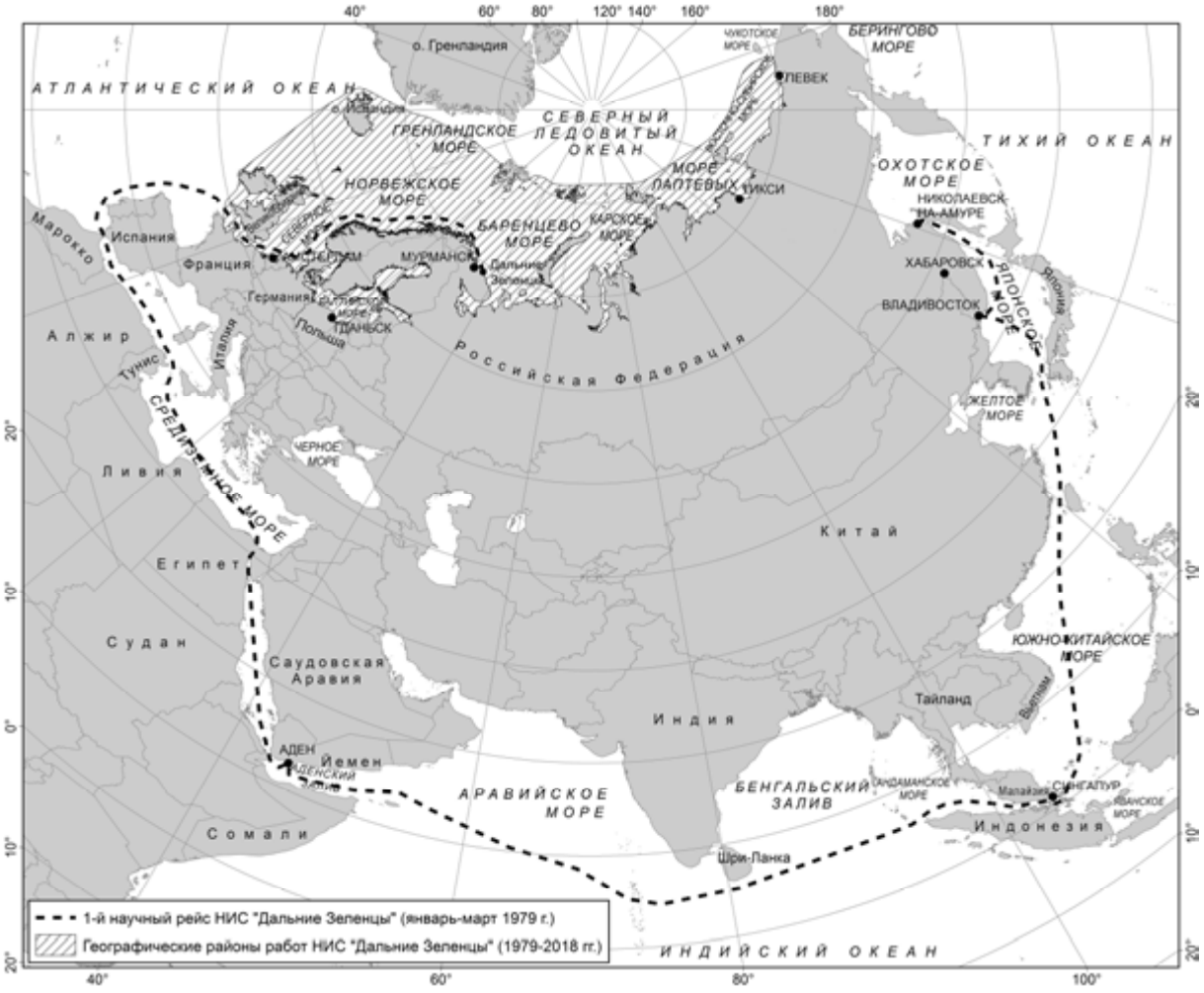


Рис. 4. Карта-схема районов экспедиционных исследований НИС «Дальние Зеленцы»

Во время экспедиций на НИС «Дальние Зеленцы» получен уникальный научный материал. Выполнены сотни тысяч гидролого-гидрохимических определений морской воды, СТД-зондирований, ихтиологических тралений, взяты пробы планктона, бентоса и донных отложений, проведены десятки тысяч часов наблюдений с борта судна за морскими млекопитающими и птицами и десятки успешных высадок на необжитые побережья материковой и островной Арктики.

Экспедиционную деятельность НИС «Дальние Зеленцы» можно условно разделить на несколько временных периодов.

1980-е годы. Абсолютно новое, хорошо (по меркам СССР) технически оснащенное судно в этот период базировалось в пос. Дальние Зеленцы, где и располагался Институт. Академия наук СССР прекрасно обеспечивала ММБИ. Это позволяло круглый год проводить разнообразные морские экспедиции. География маршрутов судна имела два направления: зарубежное (с заходами в иностранные порты) и каботажное (в советском секторе Арктики). В эти годы судно работало в Норвежском, Северном, Балтийском море. Заходило с дружественными визитами в норвежские и польские порты. С началом перестройки стало активно развиваться сотрудничество с зарубежными учеными. Международные экспедиции с коллегами из Германии, США, Норвегии, Финляндии, Голландии, Польши на «Дальних Зеленцах» регулярно отправлялись в ранее недоступный зарубежным исследователям советский сектор Арктики.

1990-е годы. Это был сложный период в истории страны и ММБИ. Институт перебазировался из пос. Дальние Зеленцы в г. Мурманск. Туда же переместилось и НИС «Дальние Зеленцы». Несмотря на отсутствие финансирования, организовывались экспедиции в сотрудничестве с зарубежными коллегами. Такая кооперация позволила использовать современную лабораторную базу иностранных научных организаций для обработки материалов экспедиций и получить научные результаты по общепризнанным мировым стандартам (Макаревич, Тарасов, 2014). В дальнейшем ММБИ были выделены научно-промысловые квоты на вылов рыбы, что позволило получить дополнительное финансирование для Института. В это время НИС «Дальние Зеленцы» круглогодично работало не только в научных, но и научно-промысловых экспедициях, что нашло свое отражение в информационных бюллетенях (Информационный …, 1996, 1997, 1998).

2000–2012 годы. Научно-промысловые квоты Институту не выделяются. Финансирование для экспедиционных исследований и содержания научного флота из Российской академии наук минимальное. Но, несмотря на это, судно регулярно проводило исследования на разрезе «Кольский меридиан». Выполняло экспедиции в район арктических архипелагов Шпицберген, Земля Франца-Иосифа и Новая Земля. Значительный объем дополнительных исследований выполнялся в ходе экологического сопровождения проектов в районах планируемой разработки шельфовых месторождений углеводородного сырья в Баренцевом море. Научно-исследовательское судно «Дальние Зеленцы» многократно участвовало в экспедициях в район Штокмановского газоконденсатного месторождения и возможных трасс трубопровода, проводило инженерно-экологические исследования в Печорском море (Варандей, Приразломное и др.). Многие экспедиции выполнялись в рамках реализации Федеральной целевой программы «Мировой океан».

Осенью 2000 г. «Дальние Зеленцы» стали одним из первых научных судов, принявших участие в экологической съемке в районе гибели АПЛ «Курск» в Баренцевом море, всего было выполнено три экспедиции. В результате была дана оценка экологической обстановки и опасности радиационного загрязнения экосистем южной части Баренцева моря (Радиационное …, 2001).

С началом Международного полярного года 1 марта 2008 г. НИС «Дальние Зеленцы» отправилось в экспедицию на Западный Мурман (Комплексные …, 2009а). Летом этого же года судно совершило комплексную экспедицию, охватившую сразу три полярных архипелага – Шпицберген, Землю Франца-Иосифа и Новую Землю. На первых двух архипелагах была выполнена высадка научных групп (Комплексные …, 2009б). В рамках международного научного сотрудничества в экспедициях на «Дальних Зеленцах» принимал участие финский ученый.

С 2012 года ММБИ стали активно привлекать к эколого-рыбохозяйственным исследованиям в районах лицензионных площадок «Роснефти» в Баренцевом и Карском морях. В рамках совместных работ с Институтом полярных исследований им. А. Вегенера (AWI, Германия) и Арктическим и антарктическим научно-исследовательским институтом (ААНИИ,

г. Санкт-Петербург) судно, впервые в своей истории, под проводкой атомного ледокола прошло в море Лаптевых. Были выполнены исследования в районе дельты р. Лена. Судно зашло в порт Тикси.

С 2012 года Институт первым стал выполнять исследования на разрезе «Кольский меридиан» (Баренцево море) в период полярной ночи (Матишов и др., 2013).

2013–2018 годы. Начало этого периода ознаменовалось переходом ММБИ, как и других организаций РАН, под юрисдикцию Федерального агентства научных организаций России (ФАНО). Для координации морских экспедиционных исследований в ФАНО был создан совет по гидросфере Земли. Резко возросло финансирование на морские экспедиции, ремонт и содержание академических судов. Так в 2017 г., в рамках реализации «Плана морских экспедиционных исследований на научно-исследовательских судах ФАНО России», на НИС «Дальние Зеленцы» проведено три экспедиции общей продолжительностью 65 судосуток.

С 2016 года проводятся комплексные исследования в районе прикромочной зоны Баренцева моря в разные сезоны года (Макаревич, Моисеев, 2017). Первые результаты этих исследований опубликованы в 2017 г. в Трудах Кольского научного центра РАН (серия «Океанология»).

В 2017 году стартовал проект № 17-14-01268 Российского научного фонда «Биология арктического планктона в зоне полярного фронта». В рамках первого этапа этого проекта в 2017 г. на НИС «Дальние Зеленцы» проведены детальные исследования в области полярного фронта в летний и осенне-зимний период. В 2018 году запланирована съемка полярного фронта в весенний период.

В 2013–2017 годах на НИС «Дальние Зеленцы» выполнен огромный объем работ в рамках эколого-рыбохозяйственных исследований в районах лицензионных участков нефтегазовых компаний в Баренцевом, Карском, Лаптевых и Восточно-Сибирском морях. Впервые в истории арктических исследований проведены донные и пелагические траления на труднодоступных и, как правило, покрытых льдом акваториях морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. В ходе этих экспедиций судно для бункеровки топливом и пополнения запасов осуществило заходы в порты Тикси и Певек. Следование в прямом и обратном направлении через пролив Вилькицкого проходило в составе каравана судов, ведомого одним из атомных ледоколов Росатомфлота.

Продолжаются регулярные исследования в районе архипелага Шпицберген. В настоящее время «Дальние Зеленцы» являются единственным российским научно-исследовательским судном, которое в кооперации с отечественными и зарубежными учеными осуществляет научно-исследовательские работы в районе Шпицбергена и заходы в порты Баренцбург и Лонгиербюен.

По материалам морских экспедиций выпущено множество статей в цитируемых журналах, десятки монографических работ, в том числе в зарубежных изданиях. Через палубные работы на судне прошли сотни сотрудников ММБИ, российских и зарубежных научных организаций. Именно здесь проходило становление многих ныне высококвалифицированных океанологов и гидробиологов – ученых с мировым именем (Макаревич, Тарасов, 2014).

С НИС «Дальние Зеленцы» связано становление современного этапа развития экосистемных исследований, а также появление или зарождение в Институте принципиально новых научных направлений, таких как палеоэкология (Комплексная …, 1984), инженерная экология (Научно-методические …, 1997), радиационная экологическая океанология (Матишов, Матишов, 2001). Результаты исследований на НИС «Дальние Зеленцы» составляют основу электронных баз океанологических и гидробиологических данных Арктики (Biological …, 2000; Climatic …, 2004). В экспедиционных условиях на НИС «Дальние Зеленцы» шел отбор и обработка первичного материала, который и стал базовой основой всех теоретических и практических разработок, осуществляемых в институте (Макаревич, Тарасов, 2014).

В эпоху современного стремительного развития технологий 40 лет активной работы для научно-исследовательского судна – это большой срок. Каждые 5 лет судно проходит ремонт и освидетельствование «на класс» Российского морского регистра судоходства, что в последние годы требует все больше времени и средств. Еще в 2005 г. в книге В.Н. Краснова и В.В. Балабина «История научно-исследовательского флота Российской академии наук» была дана информация о выводе из эксплуатации НИС «Дальние Зеленцы», что на самом деле не соответствует действительности. Судно и по сей день остается в строю и интенсивно ведет научно-исследовательскую работу в Арктике (Макаревич, Тарасов, 2014).

С каждым годом проблема старения академических научно-исследовательских судов обостряется. Если в 1991 г. в составе флота организаций РАН было 45 судов, построенных в 1970–1980-е гг., то на 2016 г. в подведомственных ФАНО учреждениях осталось только 13 кораблей неограниченного района плавания (Матишов и др., 2016). Каждый год приносит списание одного или нескольких судов. Несмотря на существование проектов, на момент написания статьи на верфях не заложено ни одного нового научно-исследовательского судна для организаций ФАНО. Можно закупить подержанные иностранные НИС, однако о реализации такого пути для обновления академического флота авторам пока неизвестно.

Что ждет академические институты в будущем, когда старый флот перестанет существовать и имеющиеся научно-исследовательские суда будут списаны? Сколько они останутся на плаву – три, пять лет, а потом? Трудно представить, что наступит день, когда институты ФАНО России останутся без возможности выхода в море, без научно-исследовательских судов (Макаревич, Тарасов, 2014).

Авторы выражают признательность Г.Н. Духно за помощь в подготовке карты-схемы районов экспедиционных исследований НИС «Дальние Зеленцы».

Литература

Информационный бюллетень о научных экспедициях Мурманского морского биологического института КНЦ РАН в 1995 году / Сост. В.Г. Аверинцев/ Мурманск: Русская Лапландия, 1996. 64 с.

Информационный бюллетень о научных экспедициях Мурманского морского биологического института в 1996 году / Сост. В.В. Денисов, В.Б. Хасанкаев. Мурманск, 1997. 83 с.

Информационный бюллетень о научных экспедициях Мурманского морского биологического института КНЦ РАН в 1997 году / Сост. Г.А. Тарасов, В.Б. Хасанкаев. Мурманск: МИП-999, 1998. 106 с.

Краснов В.Н., Балабин В.В. История научно-исследовательского флота Российской академии наук. М.: Наука, 2005. 158 с.

Комплексная палеоокеанологическая экспедиция в Баренцево море и Норвежско-Гренландский бассейн // Океанология. 1984. Т. 24, № 1. С. 188–189.

Комплексные экспедиции в Баренцево море и Северный Ледовитый океан в рамках МПГ 2007/2008 на НИС «Дальние Зеленцы» (экспедиция 1–4 марта 2007 г.) / Е.А. Гарбуль, Д.Г. Ишкулов, Д.В. Моисеев и др. // Экспедиционная деятельность в рамках Международного полярного года 2007. СПб., 2009а. С. 40–45.

Комплексные экспедиции в Баренцево и Гренландское моря на НИС «Дальние Зеленцы» / Д.В. Моисеев, Е.А. Гарбуль, О.Ю. Кудрявцева и др. // Экспедиционная деятельность в рамках Международного полярного года 2007. СПб., 2009б. С. 25–30.

Макаревич П.Р., Моисеев Д.В. Комплексные экосистемные исследования ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в весенний период 2016 года // Тр. Кольского науч. центра РАН. Сер. Океанология. 2017. Вып. 4, № 2(8). С. 5–9.

Макаревич П.Р., Тарасов Г.А. 35 лет на просторах арктических вод // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2014. № 3(18). С. 26–29.

Матишов Д.Г, Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 417 с.

Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Моисеев Д.В. Кольский разрез в полярную ночь // Российские полярные исследования. 2013. № 3(13). С. 23–25.

Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Моисеев Д.В. Климат и большие морские экосистемы Арктики: Доклад на Президиуме РАН, 24 мая 2016 г. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. 96 с.

Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта) / Ред. Г.Г. Матишов, Б.А. Никитин. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 393 с.

Приемный акт научно-исследовательского судна Биолог «Дальние Зеленцы». Проект № 1614. Строительный № 702. Хабаровск, 1978. 72 с. (Архив ММБИ КНЦ РАН).

Радиационное состояние среды и биоты на Мурманской банке в районе затонувшей АПЛ «Курск» / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Н.А. Анисимова и др. // Океанология. 2001. Т. 41, № 6. С. 890–897.

Токин И.Б., Тарасов Г.А. Новое научно-исследовательское судно «Дальние Зеленцы» для исследования биологии северных морей // Закономерности биопродукционных процессов в Баренцевом море. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1978. С. 92–96.

Токин И.Б., Хасанкаев В.Б. Первый рейс НИС «Дальние Зеленцы» // Океанология. 1980. Т. 20, вып. 3. С. 572–573.

Biological atlas of the Arctic Seas 2000. Plankton of the Barents and Kara Seas / G. Matishov, P. Makarevich, S. Timofeev et al. NOAA Atlas NESDIS 39. Washington: U.S. Government Printing Office, 2000. 349 p. + DVD.

Climatic atlas of the Arctic Seas 2004: Part I. Database of the Barents, Kara, Laptev, and White Seas – Oceanography and Marine Biology / G. Matishov, A. Zuyev, V. Golubev et al. NOAA Atlas NESDIS 58. Washington: U.S. Government Printing Office, 2004. 148 p. + DVD.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ СРЕДЫ, ВЛИЯЮЩИХ НА НАЛИЧИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МШАНОК

О.Ю. Ахметчина

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. Мшанки (Bryozoa) – одна из наиболее многочисленных таксономических групп донных беспозвоночных Баренцева моря (Животные…, 1981), незаслуженно обделенная вниманием. Мшанки – колониальные, преимущественно прикрепленные животные, распределение которых главным образом зависит от наличия в грунте твердого субстрата. В некоторых, особенно высокоширотных, районах Баренцева моря, мшанки являются главной биоценозообразующей группой (Бентосные…, 2014). Тип Bryozoa представлен классами Gymnolaemata, Stenolaemata – морские мшанки и Phylactolaemata – пресноводные мшанки. Морские виды многочисленны, в мире их насчитывается примерно 5000 видов. Пресноводных мшанок известно около 50 видов (Зоология …, 2008), а в водоемах России отмечено всего 19 (Райков, Римский-Корсаков, 1956), из них широко распространены только 2 вида. Все пресноводные мшанки мягкотелые, они не имеют обызвествленных колоний, а подавляющее число морских видов обладают обызвествленными колониями. Очевидно, что условия пресноводных и морских водоемов существенно влияют на структуру колоний мшанок. Многообразие форм колоний (корковые, кустистые, древовидные и др.), вероятно, также появилось в результате воздействия разных условий среды. Значит, различные условия среды влияют на формирование различных сообществ мшанок (таксоценозов).

Изучение влияния различных факторов среды на развитие видового комплекса мшанок (с разной структурой и формой колоний) и их количественные параметры (биомасса и плотность поселения) – цель настоящей работы.

Материал и методы. Материалом для исследования послужили мшанки из разных биотопов некоторых губ и заливов Кольского полуострова в апреле (губы Корабельная, Лодейная, Ура, Белокаменная, Абрам-мыс) и августе (губы Ярнышная, Зеленецкая), собранные автором в ходе береговых экспедиций ММБИ КНЦ РАН в 2014 г.

Сбор материала осуществлялся во время отлива в среднем и нижнем горизонтах литорали. Обширные участки песчаной и каменисто-валунной литорали обследовались в поисках колоний мшанок, для чего тщательно осматривались различные твердые субстраты: камни, валуны, водоросли, при этом измеряли температуру воды и соленость у уреза воды. В апреле удалось обследовать только кутовые части губ Корабельная, Лодейная и Ура. В августе в районе сезонной биостанции ММБИ (пос. Дальние Зеленцы) пробы (качественные и количественные) отбирали в местах с различными гидрологическими и гидродинамическими условиями – в закрытых распресненных участках с низкой прибойностью и на открытых мористых участках с постоянным сильным прибоем, в 9 точках: кут губы Ярнышная, бухта Бобровая, севернее бухты Бобровая, портопункт, Красная скала, бухта Прибойная, мыс Пробный, литораль бухты Оскара (у лаборатории альгологии), Дальний пляж (рисунок). Степень прибойности исследуемых участков определяли в соответствии с классификацией, предложенной Е.Ф. Гурьяновой с соавторами (1930) и данными И.В. Рыжик (2005). Учет мшанок на поверхности скал и валунов проводили с помощью рамки размером 10х10 см. Сначала подсчитывали число колоний в рамке, затем счищали их с поверхности субстрата для последующего определения под бинокуляром и взвешивания. Небольшие камни и талломы водорослей, обросшие мшанками, обрабатывали в лабораторных условиях. Кроме этого, подсчитывали плотность поселения колоний на 1 м^2 на поверхности субстрата. Для этого использовали метод сопоставления массы бумажных абрисов площадей колоний и поверхности субстрата, который является модификацией метода, предложенного Н.В. Денисенко (1983). Биомассу каждого вида мшанок (в граммах) определяли при помощи торсионных весов и пересчета на 1 м^2. Параллельно в местах отбора проб измеряли гидрологические и гидрохимические параметры воды (температуру, соленость, количество растворенного кислорода) и отбирали пробы воды для дальнейшего исследования на присутствие биогенных элементов (кремний, фосфор, азот), определение которых проводилось научным сотрудником лаборатории планктона ММБИ Т.Г. Ишкуловой общепринятыми методами (Справочник …, 1991; Руководство …, 1993). Сходство видового состава мшанок в разных биотопах определяли методом кластерного анализа коэффициента сходства Брея-Куртиса (Bray, Curtis, 1957).

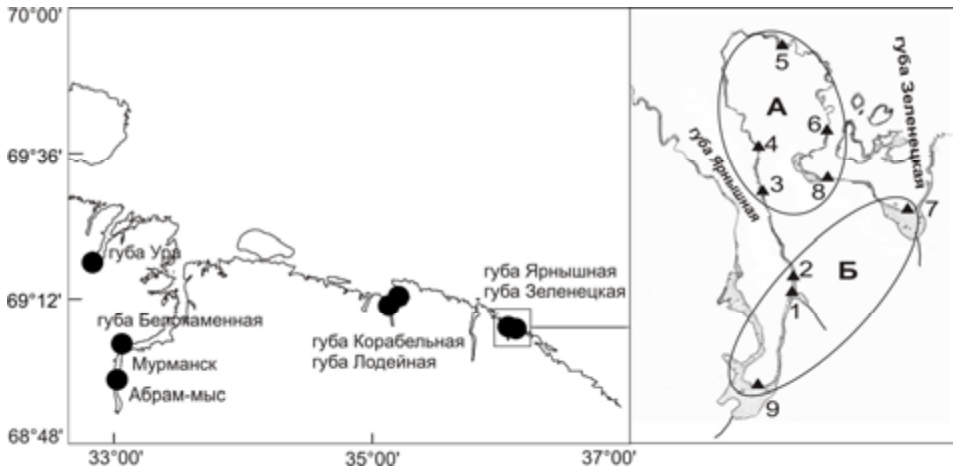


Рис. 1. Карта-схема района исследований:

1 – бухта Бобровая, 2 – точка севернее бухты Бобровая, 3 – портопункт, 4 – Красная скала, 5 – бухта Прибойная, 6 – мыс Пробный, 7 – Дальний пляж, 8 – бухта Оскара (литораль у лаборатории альгологии), 9 – кут губы Ярнышная; А и Б – фаунистические комплексы мшанок

Результаты и обсуждение. В результате таксономической обработки материала, собранного в 2014 г. в губах и заливах побережья Кольского полуострова, идентифицировано 26 видов мшанок, принадлежащих к 3 отрядам, 20 семействам, 23 родам (табл. 1). Биогеографический состав собранных мшанок демонстрирует доминирование бореально-арктических видов (61 %) и существенное преобладание бореальных видов (31 %) над арктическими (8 %), что характеризует исследуемый прибрежный район по фауне скорее как тепловодный, чем холодноводный.

Таблица 1

Фауна мшанок на литорали Мурманского побережья в апреле, августе 2014 г.

Вид	Биогеографическая характеристика	Районы исследований													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Alcyonidioides mytili (Dalyell, 1848)	Б-А	–	–	–	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Amathia (*Bowerbankia*) *gracilis* (Leidy, 1855)	Б	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Aquiloniella scabra (van Beneden, 1848)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Callopora lineata (Linnaeus, 1767)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Callopora weslawski Kuklinski & Taylor, 2006	А	–	–	+	+	+	+	–	+	–	–	+	–	–	–
Celleporella hyalina (Linnaeus, 1767)	Б-А	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–
Cribrilina annulata (O. Fabricius, 1780)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Cribrilina cryptooecium Norman, 1903	Б	–	–	+	+	–	+	–	+	–	–	+	–	–	–
Crisia eburnea (Linnaeus, 1758)	Б-А	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Crisiella producta (Smitt, 1865)	Б-А	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Cylindroporella tubulosa (Norman, 1868)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Dendrobeania murrayana (Bean, in Johnston, 1847)	Б-А	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Electra pilosa (Linnaeus, 1767)	Б-А	–	–	+	+	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–
Escharella immersa (Fleming, 1828)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Eucratea loricata (Linnaeus, 1758)	Б-А	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–	–
Filicrisia geniculata (Milne Edwards, 1838)	Б	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Flustrellidra hispida (O. Fabricius, 1780)	Б	–	+	+	+	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–
Harmeria scutulata (Busk, 1855)	А	–	–	+	+	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Membranipora membranacea (Linnaeus, 1767)	Б	–	–	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–
Microporella arctica Norman, 1903	Б	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Oncousoecia diastoporides (Norman, 1869)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Patinella verrucaria (Linnaeus, 1758)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Porella alba Nordgaard, 1906	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–	–	–
Tegella arctica (d'Orbigny, 1853)	Б-А	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–
Tegella unicornis (Fleming, 1828)	Б	–	–	–	–	–	–	–	+	–	–	–	–	–	–
Walkeria uva (Linnaeus, 1758)	Б	–	–	–	–	–	+	–	+	–	–	–	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. Б-А – бореально-арктический вид, А – арктический, Б – бореальный. Места отбора проб: 1 – точка севернее бухты Бобровая, 2 – к северу от бухты Бобровая, 3 – портопункт, 4 – Красная скала, 5 – бухта Прибойная, 6 – мыс Пробный, 7 – Дальний пляж, 8 – бухта Оскара (литораль у лаб. альгологии), 9 – кут губы Ярнышная, 10 – губа Корабельная, 11 – губа Лодейная, 12 – губа Ура, 13 – губа Белокаменная, 14 – Абрам-мыс.

В губах Корабельная и Лодейная зарегистрированы только 6 видов. Их колонии были в угнетенном состоянии (возможно, не живые), что свидетельствует об отсутствии в момент отбора проб (апрель 2014 г.) условий для весеннего восстановления колоний. В остальных районах, обследованных в апреле (губы Ура, Белокаменная, Абрам-мыс), мшанки не были обнаружены (табл. 1). Очевидно, отсутствие здесь мшанок обусловлено некоторыми негативными для их развития факторами, в том числе, сезонными. Какие же условия среды и сочетание каких факторов необходимы для успешного развития мшанок?

Для решения этого вопроса важно проводить исследования в одном сезоне, минимизировав погодные факторы, но в местах с отличающимися условиями, в разных биотопах, чему идеально соответствуют возможности района сезонной биостанции ММБИ (пос. Дальние Зеленцы). В результате выполненных в августе 2014 г. исследований на литорали в губах Ярнышная и Зеленецкая были идентифицированы 25 видов мшанок (табл. 1). Анализ сходства фауны в местах отбора проб позволил выделить два фаунистических комплекса (А и Б) (рисунок), сформированных под воздействием различных условий среды.

Комплекс А включает относительно защищенные от сильного прибоя местности (портопункт, Красная скала, мыс Пробный, литораль у лаборатории альгологии в бухте Оскара) и участок литорали на открытом побережье с постоянным сильным прибоем (бухта Прибойная) (рисунок). Эти районы характеризуются каменисто-валунным или скальным типом грунта и высокой соленостью воды (30.00–34.90 ‰), высоким содержанием кислорода (13.0–13.6 мг/л) и невысокой температурой (7.4–9.1 °С) (табл. 2). При такой температуре количество кислорода довольно значительное (насыщенность достигает 147 %), что, по мнению Т.Г. Ишкуловой (личное сообщение), указывает на активную вегетационную деятельность фитопланктона. Минимальная концентрация кремния (62.5 мкг/л) зафиксирована в водных массах бухты Прибойная, благодаря слабому влиянию берегового стока.

Таблица 2

Распределение мшанок в биотопах с разными гидролого-гидрохимическими показателями

Район отбора проб	T, °C	S, ‰	O_2, мг/л	O_2, %	$Si–SiO_3$, мкг/л	$P–PO_4$, мкг/л	$P_{приб.}$	n	N, кол/м^2	$B_{изв.}$, г/м^2	$B_{мяг.}$, г/м^2
Комплекс А											
Портопункт	11.3	30.00	9.80	108	122.6	8.0	III	7	785	2.8	1.1
Красная скала	8.6	34.00	13.00	139	261.5	17.1	II	11	1306	29.2	3.1
Бухта Прибойная	8.1	34.90	13.50	143	62.5	15.9	I	6	350	47.6	–
Мыс Пробный	7.4	34.90	13.10	137	140.6	10.0	III	22	2817	26.8	0.6
Бухта Оскара	9.1	34.90	13.60	147	259.3	4.8	IV	12	4781	11.2	0.1
Комплекс Б											
Бухта Бобровая	11.8	7.00	10.30	99	222.8	15.9	IV	–	–	–	–
Севернее бухты Бобровая	10.0	27.00	9.90	104	90.8	17.5	IV	1	200	–	50.7
Дальний пляж	13.4	15.00	10.20	107	547.6	23.9	V	1	50	–	5.2
Кут губы Ярнышная	11.2	19.00	8.90	91	477.7	36.6	V	–	–	–	–
Губа Корабельная	2.3	11.00	–	–	–	–	–	3	–	–	–
Губа Лодейная	2.2	18.00	–	–	–	–	–	3	–	–	–
Губа Ура	3.2	34.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Губа Белокаменная	3.8	29.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Абрам-мыс	3.5	24.00	–	–	–	–	–	–	–	–	–

ПРИМЕЧАНИЕ. $P_{приб.}$ – степень прибойности, n – количество видов, N – плотность поселения колоний, $B_{изв.}$ – биомасса известковых мшанок, $B_{мяг.}$ – биомасса мягкотелых мшанок.

Бухта Прибойная (рисунок) расположена на открытом побережье, характеризуется постоянным сильным прибоем (I степень) и интенсивным водообменом. Это объясняет высокое содержание кислорода в воде (13.50 мг/л) (табл. 2) и низкую плотностью поселения (350 колоний/м^2) из-за сложности успешного прикрепления личинок. Здесь на скалистой литорали зарегистрировано небольшое число видов (6) с высокой биомассой – 47.6 г/м^2. Корковые колонии (50 %) плотно обрастают субстрат, что способствует противодействию волновой активности. Они преобладают на поверхности скалы, а кустистые – в расщелинах. Все виды обызвествленные, мягкотелых видов не обнаружено.

Каменисто-валунная литораль у Красной скалы (рисунок) менее открыта, однако, степень гидродинамической активности здесь довольно высока (II степень прибойности), что препятствует полноценному оседанию личинок. Это объясняет средние плотности поселения (1306 колоний/м^2) и значения биомассы (32.3 г/м^2). Здесь отмечено 11 видов. В основном это обызвествленные мшанки (9 видов) с корковой (6 видов) и разветвленной (3 вида) формами колонии, 2 вида – мягкотелые с корковой колонией.

Каменисто-валунная литораль в районе портопункта (рисунок) характеризуется повышенной степенью прибойности (III) и пониженным содержанием кислорода в воде (9.80 мг/л). Опресняющее действие здесь оказывают стекающие со склонов многочисленные мелкие ручьи. Отмечено 7 видов мшанок преимущественно с обызвествленным корковым зоарием (табл. 1), обрастающим камни и водоросли. Мшанки с разветвленной колонией (1 вид), обнаружены на талломах ламинарии. Здесь зарегистрирована невысокая плотность поселения (785 колоний/м^2) и минимальная биомасса (3.1 г/м^2) (табл. 2).

Район мыса Пробный (рисунок) характеризуется наиболее сложным рельефом (сочетание скальной и каменисто-валунной литорали), нормальной морской соленостью (34.90 ‰) воды и повышенной степенью прибойности (III). Отмечено 22 вида, что гораздо больше, чем в других местах, вероятно, благодаря наличию разнообразных микробиотопов. Большинство видов (19) – обызвествленные, 3 вида – мягкотелые, с корковой (15 видов) и кустистой (7 видов) формой зоариев (табл. 1). Значения биомассы (27.4 г/м^2) и плотности поселения (2817 колонии/м^2) средние.

Участок литорали в бухте Оскара (рисунок) более закрытый, характеризуется невысокой степенью прибойности (IV) и нормальной морской соленостью (34.90 ‰). Здесь наблюдалась минимальная концентрации минерального фосфора (4.8 мкг/л) и наибольшее количество кислорода (13.6 мг/л), насыщенность которого при температуре 9.1 °С достигает 147 % (табл. 2), что указывает на активную вегетационную деятельность фитопланктона.

Вследствие однообразия рельефа и биотопа (каменисто-валунная литораль), здесь отмечено среднее количество видов (12) (табл. 1). Благодаря низкой степени гидродинамической активности, способствующей успешному оседанию личинок, зафиксирована очень высокая плотность поселения мшанок (до 5000 колоний/м^2). Как и в других местах комплекса А, обызвествленные виды (10) преобладают над мягкотелыми (2). Наиболее распространенная форма колонии – корковая (11 видов).

Комплекс Б (кут губы Ярнышная, бухта Бобровая, точка севернее бухты Бобровая, Дальний пляж) включает закрытые участки с преобладанием мягких илисто-песчаных грунтов и слабым прибойно-волновым воздействием благодаря удаленности от открытого моря (рисунок). За счет впадения ручьев эти районы характеризуются сильным опреснением (7.00–27.00 ‰) и притоком большого количества осадочного вещества (табл. 2). Максимальные концентрации кремния отмечены в районах, где есть впадающие в море ручьи – Дальний пляж и кут губы Ярнышная (547.6 и 477.7 мкг/л соответственно).

Здесь не обнаружены известковые мшанки. Единственный вид мшанок, зарегистрированный в этом комплексе – мягкотелая *Flustrellidra hispida*, единичные корковые колонии которой обнаружены на камнях и валунах к северу от бухты Бобровая и на Дальнем пляже (рисунок) с плотностью поселения от 200 до 50 колоний/м^2 соответственно.

Полное отсутствие мшанок зафиксировано в кутовой части губы Ярнышная и бухты Бобровая (рисунок). Здесь отмечено не только сильное опреснение, но и постоянное наличие в воде взвеси, приносимой ручьями, малая гидродинамическая активность (прибойность IV–V степени), а, следовательно, и низкое содержание кислорода в воде (8.90–10.30 мг/л) (табл. 2).

В этом же комплексе наблюдались максимальные концентрации минерального фосфора (36.6 мкг/л – в куту губы Ярнышная и 23.9 мкг/л – на литорали Дальнего пляжа) (табл. 2).

Анализ полученных результатов показывает, что в местах с наибольшим числом мшанок, в большинстве – обызвествленных (комплекс А), сочетаются высокие показания солености и концентрации кислорода в воде с низкими показателями фосфора (табл. 2). А в районах, где обнаружены только мягкотелые мшанки (или мшанки не обнаружены вовсе), отмечены низкие показатели солености и кислорода в сочетании с высокими значениями фосфора (табл. 2).

Для построения известкового скелета мшанки, вероятно, получают кальций из воды, где он должен находиться в виде растворимых форм карбонатов, доступных для живых организмов. Наличие в воде угольной кислоты, образующейся в результате гидролиза углекислого газа, способствует растворению карбоната кальция и переводу его в гидрокарбонат, обладающий большей растворимостью. При этом, по мнению Т.Г. Ишкуловой (личное сообщение), низкая соленость воды в сочетании с высокой температурой, как в куту губы Ярнышная и на Дальнем пляже (19 и 15 ‰, 11.2 и 13.4 °С соответственно), приводит к тому, что высокая концентрация PO_4^{3-}, полученного в процессе минерализации литоральными организмами, вероятно, является причиной связывания Ca^{2+} с фосфатами в труднорастворимое соединение $Ca_3(PO_4)_2$, что усложняет получение кальция из воды организмами. По литературным данным (Федосов, Айвазов, 1968), в морской воде обнаружена обратная зависимость растворимости среднего фосфата кальция с температурой. Поэтому низкая соленость является еще одной причиной для затруднения извлечения кальция из воды беспозвоночными.

Влияния же соединений азота на мшанок не выявлено.

Выводы. Главным фактором, определяющим присутствие мшанок в морских биоценозах, является тип грунта и наличие твердых субстратов для прикрепления колоний.

Отмечено благоприятное влияние на обилие (и биомассу) мшанок высокой солености в сочетании с повышенным содержанием кислорода в воде.

Установлено влияние волновой гидродинамики на плотность поселения и форму колоний. Повышенная гидродинамика препятствует успешному оседанию личинок, поэтому плотность поселения выше в районах со средней гидродинамической активностью. Обрастающие субстрат корковые колонии при повышенной гидродинамике преобладают над кустистыми, приподнятыми над субстратом, так как лучше противостоят волновой активности.

Выявлено негативное воздействие речных стоков (распреснения и повышенного содержания кремния и фосфора) в кутовых частях губ на наличие мшанок, особенно с известковым скелетом. Вероятно, что повышенное присутствие фосфатов затрудняет получение кальция из воды организмами и препятствует развитию здесь обызвествленных мшанок.

В дальнейших исследованиях следует обратить внимание на изучение температуры, солености, pH воды, содержание растворенного кислорода, углекислого газа, кальция и фосфора, оказывающих влияние на наличие мшанок и формирование различных таксоценозов Bryozoa.

Автор выражает глубокую благодарность научному сотруднику ММБИ Т.Г. Ишкуловой за гидрохимический анализ проб воды в местах сбора мшанок и ценные замечания, а также научному сотруднику ММБИ Н.Н. Пантелеевой за помощь в организации и проведении работы.

Работа выполнена по теме 9-13-02. (52; 51) «Биоразнообразие и экология зообентоса Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных акваторий» (№ ГЗ 028-2018-0002).

Литература

Бентосные сообщества архипелага Земля Франца-Иосифа / Е.А. Фролова, О.Ю. Ахметчина, Е.А. Гарбуль и др. // Тр. Кольского науч. центра РАН. 2014. Океанология. № 4(23). С. 179–222.

Гурьянова Е.Ф., Закс И.Г., Ушаков П.В. Литораль Западного Мурмана // Исследование морей СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1930. Вып. II. С. 47–104.

Денисенко Н.В. К методике определения биомассы мшанок // Зоол. журн. 1983. Т. 62, № 11. С. 1729–1731.

Животные и растения Баренцева моря / В.Ф. Брязгин, Н.В. Денисенко, С.Г. Денисенко и др. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1981. 37 с.

Зоология беспозвоночных. В 2-х т. Т. 2. От артропод до иглокожих и хордовых / Под ред. В. Вестхайде и Р. Ригера. Пер. с нем. под ред. проф. А.В. Чесунова. М.: Тов-во науч. изд. КМК, 2008. 905 с.

Райков Б.Е., Римский-Корсаков М.Н. Зоологические экскурсии. Изд. 6, исп. и доп. Л.: Учпедгиз, 1956. 695 с.

Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.243-92. СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. 264 с.

Рыжик И.В. Морфо-функциональные особенности промысловых водорослей из разных биотопов Баренцева моря: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Мурманск, 2005. 24 с.

Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство / А.И. Агатова, И.А. Налетова, В.Л. Зубаревич и др. М.: Агропромиздат, 1991. 224 с.

Федосов М.В., Айвазов Л.Е. Условия, определяющие растворимость фосфатов в морской воде // Методы рыбохозяйственных химико-океанографических исследований. Ч. II. М.: Изд-во ВНИРО, 1968. С. 124–134.

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

БАКТЕРИИ И ВИРУСЫ ВОД ОБСКОЙ ГУБЫ И ПРИЛЕГАЮЩЕГО ШЕЛЬФА КАРСКОГО МОРЯ

М.А. Болтенкова[1], Н.Д. Романова[2]
[1]Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск
[2]Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, г. Москва

Обская губа – крупнейший эстуарий Карского моря, характеризуется сложным гидрологическим режимом, сочетающим речные и морские воды (Лапин, 2012). Ее акватория большую часть года покрыта льдом, период открытой воды длится 3–4 мес. На востоке к центральной части Обской губы примыкает мелководная Тазовская губа, с которой они составляют единую водную систему (Лоция …, 2001).

Обскую губу принято подразделять на три части: южную – «речную» (зона пресных вод), северную – «морскую» (область смешения пресных и морских вод – фронтальная зона) и среднюю – промежуточную, испытывающую периодическое воздействие со стороны фронтальной зоны. Область контакта пресных и морских вод подвижна, а ее граница в зависимости от сезона года может смещаться на значительные расстояния (Лапин, 2014).

Карское море в основном расположено над материковой отмелью, где глубины не превышают 100 м. Почти 40 % площади моря находится под влиянием пресного стока, максимально выраженного в летний период. В результате взаимодействия речных и морских вод формируется устойчивый пикноклин, наличие которого регистрируют далеко на севере от

Обской губы. Слой прогретых распресненных вод над пикноклином может достигать летом 10–20 м, ниже этого слоя вода в течение всего года сохраняет отрицательные значения температуры и морскую соленость (Зенкевич, 1963).

Разработка проектов по освоению газоконденсатных месторождений п-ова Ямал и прилегающего к нему шельфа требует особого внимания к изучению состояния экосистемы Карского моря. Результаты экологических исследований будут востребованы при оценке состояния пелагических сообществ и прогнозе развития возможных негативных последствий для них в ходе активной хозяйственной деятельности.

Важным компонентом мониторинга являются структурные и функциональные характеристики бактериопланктона, выполняющего ключевую роль в разложении и трансформации органического вещества естественного и антропогенного происхождения. Одним из факторов, регулирующих качественный и количественный состав бактериального сообщества, являются вирусы. В настоящее время общепризнано, что они – самый многочисленный компонент морских экосистем и могут вызвать гибель более чем 60 % бактериального сообщества (Weinbauer, 2004). В результате вирусного лизиса клеток микроорганизмов в окружающую среду поступает значительное количество легкодоступного органического вещества, которое не переходит на более высокие трофические уровни, а вновь активно включается в метаболизм гетеротрофных бактерий (Wommack, Colwell, 2000).

Исследования бактериопланктона Обской губы и шельфа Карского моря немногочисленны и большей частью выполнены в осенний сезон (Мицкевич, Намсараев, 1994; Микробные …, 2010; Сажин и др., 2010; Романова, Сажин, 2015). Практически отсутствуют аналогичные сведения для обширных пресноводных участков эстуарной зоны (Планктонные …, 2012; Павлова и др., 2016). Недостаточно данных и об экологии планктонных вирусов рассматриваемых нами акваторий (Планктонные …, 2012; Вириопланктон …, 2015; Павлова и др., 2016; Вирио- …, 2017).

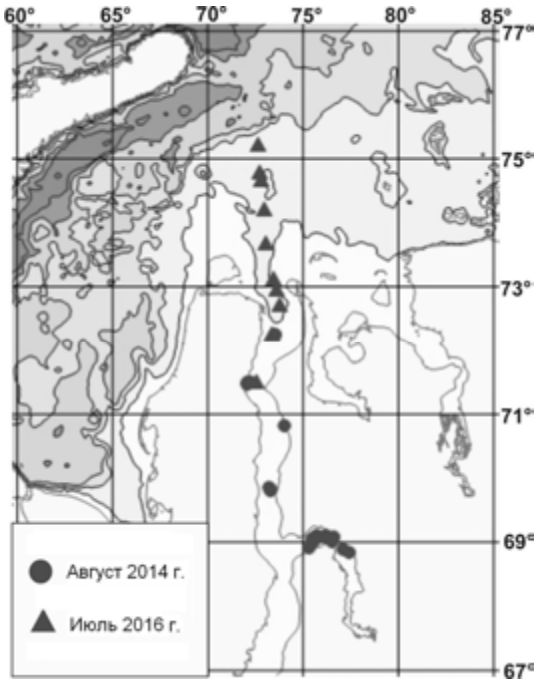
Цель настоящей работы – изучение структурно-функциональных характеристик бактериопланктона, численности вириопланктона, а также особенностей их пространственного распределения в водах пелагиали Обской губы и прилегающего шельфа Карского моря в летний период.

Материал и методы. Исследования проводились в августе 2014 г. в рейсе на ПТС-83 в пресноводной области Обской и Тазовской губ и июле 2016 г. в рейсе на НИС «Академик Мстислав Келдыш» в Обской губе и прилегающем шельфе Карского моря (рисунок). В первом случае температуру воды измеряли поверхностным и глубинным термометрами, соленость – на электросолемере ГМ-65, во втором – термохалинные показатели получены с помощью СТД-зондирования. Пробы на микробиологический анализ отбирали пластиковыми батометрами Нискина: в зоне пресных вод – в поверхностном и придонном слоях, в зоне смешанных вод – в поверхностном, придонном и слое над пикноклином.

Количественный учет микроорганизмов проводили методом эпифлуоресцентной микроскопии под микроскопом Olympus BX51 при ув. 1000 с использованием программы анализа изображений CellSensStandart. Общую численность бактерий определяли методом прямого счета на ядерных фильтрах с диаметром пор 0.2 мкм после предварительного окрашивания флуорохромом DAPI (Porter, Feig, 1980). Вирусные частицы учитывали на фильтрах Anodisc (Whatman) с диаметром пор 0.02 мкм, используя в качестве красителя SYBRGreenI (Noble, Fuhrman, 1998). Рассчитывали скорость контактов (R) между вирусами и бактериями (Murray, Jackson, 1992).

В работе определяли концентрацию органического углерода в сырой биомассе бактерий (Norland, 1993).

Продукцию бактериопланктона измеряли в июле 2016 г. прямым методом с использованием антибиотиков – ингибиторов бактериального роста (Trophic …, 1986) в модификации для естественных местообитаний (Weisse, 1989). Детальное описание постановки экспериментов приведено в работе А.Ф. Сажина с соавторами (2010).



Карта-схема расположения станций отбора проб воды в Обской губе и на прилегающем шельфе Карского моря

При статистическом анализе данных использовали стандартный пакет программ Microsoft Excel, для анализа различий независимых выборок – непараметрический метод Манна-Уитни, при установлении корреляционных зависимостей – ранговый коэффициент корреляции Спирмена (r_s). Достоверными считались различия при уровне значимости $p \geq 0.05$.

Результаты и обсуждение. Исследуемый район представлял собой обширную область Обской губы и прилегающего шельфа Карского моря, протяженностью более 670 км. В 2014 году наблюдения проводились в зоне пресных вод эстуария, в 2016 г. – в зоне пресных вод и в зонах смешения пресных и морских вод эстуария и открытого шельфа. В пресных водах температура поверхностного и придонного слоя слабо различалась. Зона смешения морских и пресных вод характеризовалась четко выраженной устойчивой стратификацией водной толщи. При этом выделялся поверхностный квазиоднородный слой относительно прогретых и распресненных вод, отделяемый пикноклином от нижележащего водного слоя с повышенной соленостью и резко снижающейся, вплоть до отрицательных значений, температурой. Повышенный теплозапас у вод над пикноклином сохранялся до северных станций, где соленость достигала максимальных для распресненного слоя значений (Щука, 2016).

В августе 2014 года в пресных водах Обской и Тазовской губ численность и биомасса бактериопланктона изменялись в диапазонах $(1.5–4.9)\cdot10^6$ кл/мл [среднее $(2.5\pm1.3)\cdot10^6$ кл/мл] и 30.3–95.3 мгС/м^3 (53.9±2.6 мгС/м^3). На станциях объем бактериальных клеток различался в 3 раза, в среднем составляя 0.1±0.004 мкм^3. Значения показателей относительно равномерно распределялись по вертикали водной толщи и достоверно не различались между собой. Горизонтальное распределение количественных характеристик было менее однородным – максимум бактериопланктона отмечен в устьевой области р. Таз, по направлению на северо-запад его обилие снижалось.

Концентрация свободных вирусных частиц варьировала от $4.6\cdot10^6$ до $27.0\cdot10^6$ частиц/мл [среднее $(13.9\pm1.0)\cdot10^6$ частиц/мл] и превышала численность бактерий в 6 раз. Распределение вириопланктона следовало закономерностям распределения бактериопланктона, при этом между их количеством обнаружена положительная корреляционная связь ($r_s = 0.55$). На возможность потенциальных встреч вирусов с клеткой хозяина оказывают существенное влияние такие факторы как численность микроорганизмов, их размерные характеристики, температура и вязкость воды (Murray, Jackson, 1992). Рассчитанное число вирусных контактов (R) в наших исследованиях изменялось от 13 до 134 в сутки (в среднем 71±7 в сутки).

В июле 2016 г. количественные показатели бактериопланктона пресных вод Обской губы составляли $(1.4–2.7)\cdot10^6$ кл/мл [$(2.1\pm0.4)\cdot10^6$ кл/мл] и 16.5–35.5 мгС/м^3 (25.8±5.5 мгС/м^3), при среднем объеме клетки 0.012±0.001 мкм^3. Бактериальная продукция достигала 32.1 мгС/м^3 за сутки (среднее 15.1±9.2 мгС/м^3 за сутки). Исследуемые параметры неравномерно распределялись по вертикали водной толщи и принимали минимальные значения в поверхностном горизонте.

Концентрация вириопланктона находилась в диапазоне $(5.8–12.2)\cdot10^6$ частиц/мл [$(8.3\pm2)\cdot10^6$ частиц/мл], отношение численности вирусов к численности бактерий (N_v/N_b) изменялось от 2 до 5. Количество возможных контактов между ними в среднем составляло 17±5 в сутки.

В зоне смешения морских и пресных вод эстуария Оби численность планктонных бактерий составила $(0.9\pm0.3)\cdot10^6$ кл/мл, при биомассе 10.5±4.6 мгС/м^3. Их суточная продукция находилась в диапазоне 0–21.6 мгС/м^3 (16.5±4.9 мгС/м^3). Средний объем клеток изменялся от 0.002 до 0.016 мкм^3. Количественные и функциональные характеристики достигали максимальных величин в прогретом распресненном слое и минимальных – в более холодном и соленом. По направлению с юга на север исследуемые параметры бактериопланктона возрастали в поверхностном слое и снижались в нижележащих слоях.

Обилие вирусов находилось в диапазоне $(0.3–18.6)\cdot10^6$ частиц/мл, в среднем составляя $(8.7\pm4.9)\cdot10^6$ частиц/мл. Показатели N_v/N_b и R изменялись от 0.3 до 23 (среднее 8±5) и от 0.06 до 48 (среднее 16±11) контактов в сутки соответственно. Горизонтальное распределение вириопланктона характеризовалось как равномерное, вертикальное соответствовало распределению бактериопланктона.

В зоне смешения морских и пресных вод Карскоморского шельфа структурные показатели планктонных бактерий следующее: $(0.6\pm0.2)\cdot10^6$ кл/мл, 7.7±2.3 мгС/м^3 и 0.014±0.001 мкм^3. Бактериальная продукция в среднем составила 10.4±4.1 мгС/м^3 в сутки. Значения численности, биомассы и продукции неравномерно распределялись на исследуемом участке. Наибольшие величины отмечены в поверхностном распресненном слое, наименьшие – в слое под пикноклином. По направлению на север параметры бактериопланктона снижались.

Численность вирусов в 4.6 раза превышала обилие бактерий – $(2.8\pm1.2)\cdot10^6$ частиц/мл при R = 5±2 контактов в сутки. Распределение вириопланктона следовало закономерностям распределения бактериопланктона, при этом между их количеством обнаружена положительная корреляционная связь (r_s = 0.74).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о значительной пространственной изменчивости микробных сообществ в исследуемом районе. Максимальные величины обилия отмечены в относительно прогретых пресных водах Тазовской губы, минимальные – в слое холодных морских вод шельфа Карского моря. Наиболее массовым компонентом планктона в экологически разнотипных зонах Обского эстуария и прилегающего шельфа Карского моря в летний период являлись вирусы. Их численность повсеместно превышала численность бактерий, при этом показатели достоверно коррелировали между собой в пресноводной зоне и зоне стратифицированных вод шельфа. Средние величины соотношения численности вирусов и бактерий, а также число возможных контактов между ними могут свидетельствовать о незначительной роли вирусиндуцированного лизиса в смертности бактериопланктона.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-14-01268) и Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 18-05-00326 А).

Литература

Вириопланктон Карского моря: влияние вирусов на смертность гетеротрофных бактерий / А.И. Копылов, А.Ф. Сажин, Е.А. Заботкина, Н.Д. Романова // Океанология. 2015. Т. 55, № 4. С. 620–631.

Вирио- и бактериопланктон в эстуарной зоне реки Обь и прилегающих районах шельфа Карского моря / А.И. Копылов, А.Ф. Сажин, Е.А. Заботкина и др. // Океанология. 2017. Т. 57, № 1. С. 118–127

Зенкевич Л.А. Биология морей СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 739 с.

Лапин С.А. Пространственно-временная изменчивость гидролого-гидрохимических характеристик Обской губы как основа оценки ее биопродуктивности: Автореф. дис. … канд. геогр. наук. М., 2012. 25 с.

Лапин С.А. Специфика формирования зон повышенной продуктивности в Обском эстуарии // Тр. ВНИРО. 2014. Т. 152. С. 146–154.

Лоция Карского моря. Часть II. Обь-Енисейский район. СПб.: Главное управление навигации и океанографии министерства обороны РФ, 2001. 291 с.

Микробные процессы циклов углерода и серы в Карском море / А.С. Саввичев, Е.Е. Захарова, Е.Ф. Веслополова и др. // Океанология. 2010. Т. 50, № 6. С. 942–957.

Мицкевич И.Н., Намсараев Б.Б. Численность и распределение бактериопланктона в Карском море в сентябре 1993 г. // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 704–708.

Павлова М.А., Макаревич П.Р., Широколобова Т.И. Сообщества планктонных бактерий и вирусов в водах Обской и Тазовской губ // Докл. РАН. 2016. Т. 461, № 4. С. 503–507.

Планктонные вирусы, гетеротрофные бактерии и нанофлагелляты в пресных и морских водах бассейна Карского и Баренцева морей / А.И. Копылов, Д.Б. Косолапов, Е.А. Заботкина и др. // Биология внутренних вод. 2012. № 3. С. 24–31.

Романова Н.Д., Сажин А.Ф. Бактериопланктон шельфовой части Карского моря // Океанология. 2015. Т. 55, № 6. С. 949–954.

Сажин А.Ф., Романова Н.Д., Мошаров С.А. Бактериальная и первичная продукция в водах Карского моря // Океанология. 2010. Т. 50, № 5. С. 801–808.

Щука С.А. Отчет гидрофизического отряда // Краткий научный отчет экспедиции 66-го рейса НИС «Академик Мстислав Келдыш». Т. 2, часть 1. Отчеты начальников отрядов. М.: Ин-т океанологии им П.П. Ширшова РАН (архив), 2016. С. 1–53.

Murray A.G., Jackson G.A. Viral dynamics: a model of the effects of single-celled planktonic organisms and other particles // Mar. Ecol. Progr. Ser. 1992. V.14. P.113–118.

Noble R.T., Fuhrman J.A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria // Aquat. Microb. Ecol. 1998. V. 14, № 2. P. 113–118.

Norland S. The relationship between biomass and volume of bacteria // Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. P. 303–308.

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

Trophic interactions between heterotrophic Protozoa and bacterioplancton in estuarine water analyzed with selective metabolic inhibitors / B.F. Sherr, E.B. Sherr, T.L. Andrew et al. // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1986. V. 32. P. 169–179.

Weinbauer M.G. Ecology of prokaryotic viruses // FEMS Microbiol. Rev. 2004. V. 28, № 2. P. 127–181.

Weisse T. The microbial loop in the Red Sea: dynamics of pelagic bacteria and heterotrophic nanoflagellates // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1989. V. 55. P. 241–250.

Wommack K.E., Colwell R.R. Viruses in aquatic ecosystems // Microbiol. Mol. Biol. Rev. 2000. V. 64, № 1. P. 69–114.

ИХТИОФАУНА ЛИТОРАЛЬНОЙ И ВЕРХНЕЙ СУБЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЫ КОЛЬСКОГО ЗАЛИВА В АПРЕЛЕ 2010 ГОДА

О.В. Бондарев
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. Ихтиофауна Баренцева моря изучена достаточно хорошо (Андрияшев, 1954; Андрияшев, Чернова, 1994; Долгов, 2004; Карамушко, 2008), однако видовой состав рыб заливов и губ требует дополнительных исследований. На акватории Кольского залива в на-

стоящее время зарегистрирован 61 вид и подвид рыб и рыбообразных, относящихся к 29 семействам, 15 отрядам и 3 классам (Карамушко и др., 2008). Наиболее представительными по числу видов являются семейства камбаловых (Pleuronectidae), рогатковых (Cottidae), тресковых (Gadidae), стихиевых (Stichaeidae) и лососевых (Salmonidae). Известно также, что разнообразие ихтиофауны уменьшается от северной мористой части залива по направлению к южной кутовой части. Изучение ихтиофауны в пределах Кольского залива проводилось эпизодически и только в отдельных районах, но сведения получены в основном только по отдельным видам (Карамушко, Юначева, 2005; Кудрявцева, 2012). Информация о видовом составе и плотности распределения рыб в узкой прибрежной полосе практически отсутствует за небольшим исключением (Линников, 2007). Представленные в настоящей работе данные призваны пополнить наши знания о видовом составе, встречаемости и численности рыб в литоральной и верхней сублиторальной зонах западного прибрежья Кольского залива.

Материал и методы. Сбор первичного материала выполнен на западном побережье Кольского залива в районе р. Лавна и поселков Мишуково, Белокаменка в апреле 2010 г. Облов рыб осуществлялся с помощью 15-метровой мальковой волокуши в период отлива в литоральной и сублиторальной зонах на илисто-песчаных и песчаных грунтах. Всего выполнено 17 станций (рис. 1). Собранный материал обрабатывали по стандартным ихтиологическим методикам (Правдин, 1966; Методическое…, 1974; Инструкции…, 2004). Всего просмотрено 40 экз. пяти видов рыб (табл. 1).

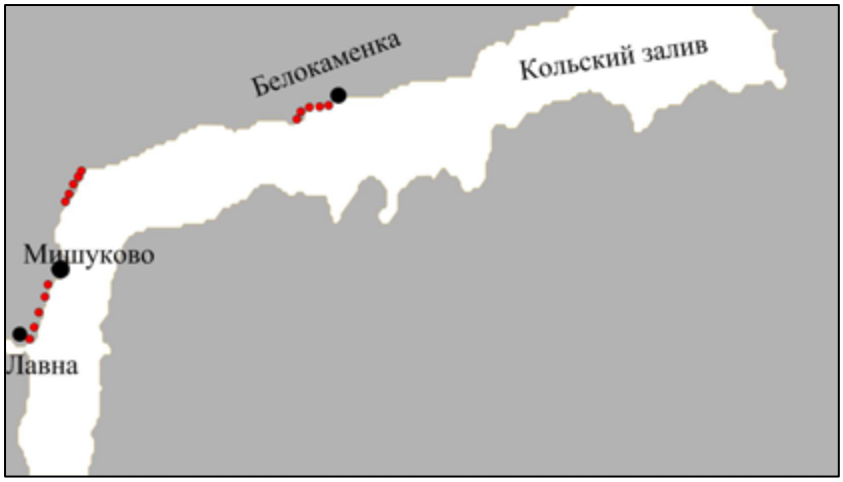


Рис. 1. Карта-схема районов исследований

Таблица 1

Объем исследованного материала

Вид	Количество рыб, экз.
Арктический шлемоносный бычок	1
Пинагор	23
Европейская бельдюга	11
Европейская многопозвонковая песчанка	1
Речная камбала	6

Видовая принадлежность и зоогеографическая характеристика даны в соответствии с общепринятыми представлениями о современной систематике рыб (List …, 2013; Eschmeyer et al., 2018). Использовали фондовые данные ММБИ КНЦ РАН за 2010 г.

Кроме размерных характеристик всех рыб определяли спектр питания у речной камбалы (4 экз.) и пинагора (11 экз.) В качестве оценки интенсивности питания использовали средний бал наполнения желудка, который определялся по схеме Лебедева (Боруцкий, 1974). Также оценивался качественный и количественный (m, % – доля по массе, f, % – частота встречаемости) состав пищи. Видовая принадлежность пищевых объектов определялась до возможно младшего таксона. При определении использовали «Определитель фауны и флоры северных морей СССР» (Гаевская, 1948).

Результаты и обсуждение. В районе работ отмечены представители 5 видов из 5 семейств 3 отрядов (табл. 2). Из них лишь арктический шлемоносный бычок является арктическим видом, остальные – бореальные. Наибольшее видовое разнообразие уловов отмечено у пос. Мишуково.

Таблица 2

Состав ихтиофауны в исследуемых районах

Таксон	Устье р. Лавна	Акватория залива у пос. Мишуково	Акватория залива у пос. Белокаменка
Отряд Scorpaeniformes			
Семейство Cottidae			
Арктический шлемоносный бычок *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830)	–	+	–
Семейство Cyclopteridae			
Пинагор *Cyclopterus lumpus* Linnaeus, 1758	+	+	+
Отряд Perciformes			
Семейство Zoarcidae			
Европейская бельдюга *Zoarces viviparus* (Linnaeus, 1758)	+	+	+
Семейство Ammodytidae			
Европейская многопозвонковая песчанка *Ammodytes marinus* Raitt, 1934	–	+	–
Отряд Pleuronectiformes			
Семейство Pleuronectidae			
Речная камбала *Platichthys flesus* (Linnaeus, 1758)	+	+	+

Во всех исследованных районах Кольского залива встречались годовики пинагора, относительная численность которых варьировала от 30.8 до 67.7 % (табл. 3). Район пос. Мишуково был самым богатым по видовому составу, в уловах доминировала европейская бельдюга (46.2 %), доля которой и в других районах Кольского залива была достаточно велика. В наиболее распресненном районе – в устье р. Лавна, в уловах отмечена максимальная численность речной камбалы (22.2 %), она встречается во всех районах исследований.

По литературным данным (Линников, 2007), речная камбала составляла до 38 % от общего улова в районе исследований, однако доминирующим видом в июле и мае 2006 г. была трехиглая колюшка *Gasterosteus aculeatus* (Linnaeus, 1758). Аналогичные показатели были отмечены и в устье р. Тулома (Гудимов, Фролов, 1997), где также доминирующим видом по численности и биомассе была трехиглая колюшка.

По биомассе во всех исследованных районах значительную долю уловов составляла речная камбала (30.7–67.6 %), доминируя в районах поселков Мишуково и Белокоменка (табл. 4). В уловах в районе устья р. Лавна была велика относительная масса пинагора. Доля других видов рыб в уловах была незначительна и не превышала 17 %.

Таблица 3

Относительная численность видов рыб в исследованных районах, %

Вид	Устье р. Лавна	Акватория залива у пос. Мишуково	Акватория залива у пос. Белокаменка
Арктический шлемоносный бычок	–	7.7	–
Пинагор	61.1	30.8	66.7
Европейская бельдюга	16.7	46.2	22.2
Европейская многопозвонковая песчанка	–	7.7	–
Речная камбала	22.2	7.7	11.1

Таблица 4

Относительная биомасса видов в исследованных районах, %

Вид	Устье р. Лавна	Акватория залива у пос. Мишуково	Акватория залива у пос. Белокаменка
Арктический шлемоносный бычок	–	7.2	–
Пинагор	58.6	4.3	23.4
Европейская бельдюга	10.7	8.0	9.0
Европейская многопозвонковая песчанка	–	16.8	–
Речная камбала	30.7	63.6	67.6

В июле 2006 г. в районе р. Лавна по биомассе доминировала речная камбала (Линников, 2007), которая была представлена молодью в возрасте 1+ (46.7 %) и взрослыми рыбами – 8+ (53.3 %).

Размерный состав молоди пинагора и европейской бельдюги, выловленных в разных районах исследований, практически не отличался. Длина пинагора варьировала в пределах 20–37 мм, а длина бельдюги – от 44 до 69 мм. Размерные показатели речной камбалы по районам значительно различались. Так, в наиболее южном распресненном районе р. Лавна в уловах отмечены только мелкие особи длиной до 58 мм, а в других районах встречались более крупные экземпляры этого вида (длиной 86.5–139.5 мм). В районе Мишуково также выловлена достаточно крупная европейская многопозвонковая песчанка – длиной 171 мм.

В питании речной камбалы обнаружено 5 групп организмов (рис. 2). По частоте встречаемости во всех желудках превалировали копеподы (100 %), массовая доля которых также была велика и составила 38.75 % (рис. 2). Данная группа организмов является одним из основных источников пищи в первые годы жизни рыб (Миронова, 1951). В составе пищевого комка также встречались полихеты (75 %), массовая доля которых составила 39.5 %. В меньшей степени были отмечены хирономиды – 7.5 %, обитающие в пресных водоемах и попадающие на литораль и сублитораль с речными стоками. Массовая доля амфипод мала и составляет 2.5 %, в то время как в июле 2006 г. в питании речной камбалы преобладали гаммариды (73 %) и полихеты (46 %) (Линников, 2007). Интенсивность питания речной камбалы в районе р. Лавна была невысокая – 2.5 балла. Также в желудках рыб было обнаружено множество фрагментов сифонов моллюска *Macoma* sp. Так у особи длиной 5 см в желудке отмечено до 42 сифонов.

Питание пинагора состоит в основном из амфипод (частота встречаемости 90.9 %), массовая доля которых равна 70 %, и копепод (частота встречаемости 62.5 %) с массовой долей 17.5 % (рис. 3). Частота встречаемости полихет, изопод и хирономид не превышала 27.3 %. Средний балл наполнения желудка составил 2.9. Сходные данные по питанию моло-

ди пинагора представлены в работе О.Ю. Кудрявцевой (2008), где основными объектами питания также являются амфиподы и копеподы. Спектры питания пинагора и камбалы имеют четыре общие группы организмов, однако, их соотношение в желудках разное.

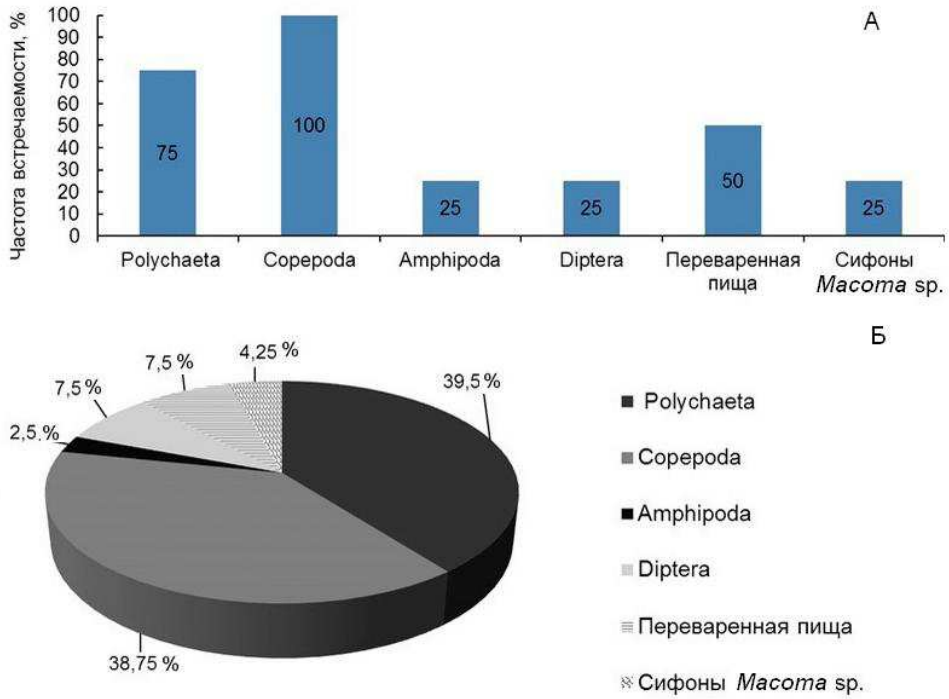


Рис. 2. Состав пищи речной камбалы в Кольском заливе в районе р. Лавна в апреле 2010 г.:
А – по частоте встречаемости, Б – по массе

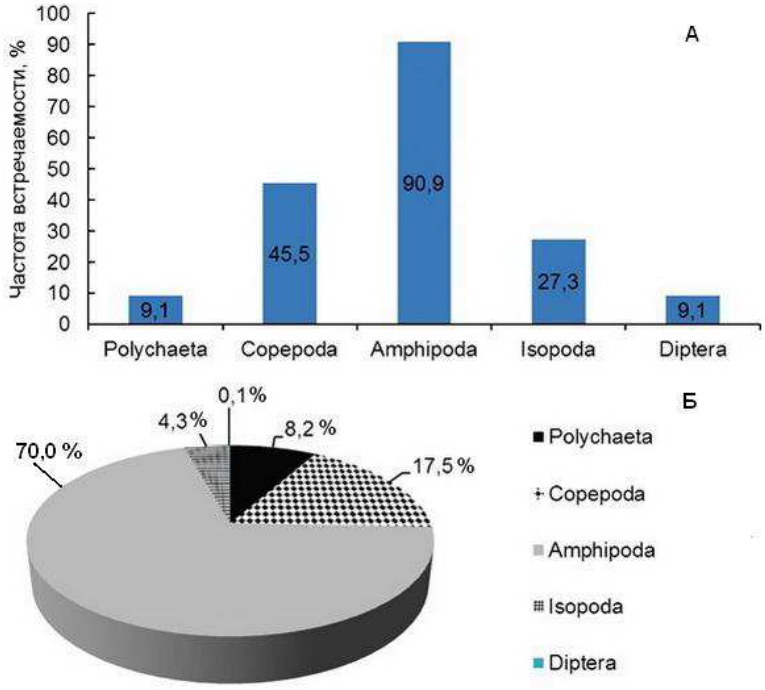


Рис. 3. Состав пищи пинагора в Кольском заливе в районе р. Лавна в апреле 2010 г.:
А – по частоте встречаемости, Б – по массе

Выводы. В апреле 2010 г. на обследованных акваториях обнаружено 5 видов рыб, относящихся к 5 семействам и 3 отрядам. Большинство из них (80 %), являются преимущественно бореальными видами. Наиболее многочисленными обитателями литоральной и верхней сублиторальной зон были пинагор, европейская бельдюга и речная камбала.

Основная пища речной камбалы в апреле 2010 г. – полихеты и копеподы, которые по массе составили, соответственно, 39.50 и 38.75 %.

Для пинагора в апреле 2010 г. основной пищей служили амфиподы (70.0 %) и копеподы (17.5 %).

Автор выражает искреннюю благодарность научным руководителям О.В. Карамушко и О.Ю. Кудрявцевой за важные замечания при подборе методик и подготовке рукописи, а также признателен сотрудникам ММБИ КНЦ РАН О.Л. Зиминой, Л.В. Павловой, А.А. Фролову за помощь в определении видового состава объектов питания рыб.

Работа выполнена по теме 9-13-05 (51; 52) «Биология и экофизиология рыб Арктики» (№ ГР 01 2013 66846, № в ГЗ 0228-2018-0006).

Литература

Андрияшев А.П. Рыбы северных морей СССР. М.; Л., 1954. 566 с.

Андрияшев А.П., Чернова Н.В. Аннотированный список рыбообразных и рыб морей Арктики и сопредельных вод // Вопросы ихтиологии. 1994. Т. 34, № 4. С. 435–456.

Боруцкий Е.В. Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 32 с.

Гаевская Н.С. Определитель фауны и флоры северных морей СССР. М.: Сов. наука, 1948. 740 с.

Гудимов А.В., Фролов А.А. Литоральные донные сообщества эстуарии р. Тулома и кута залива // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 122–133.

Долгов А.В. Видовой состав ихтиофауны и структура ихтиоценов Баренцева моря // Изв. ТИНРО. 2004. Т. 137. С. 177–195.

Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях европейского Севера и Северной Атлантики. 2-е изд. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.

Карамушко О.В. Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря // Вопросы ихтиологии. 2008. Т. 48, № 3. С. 293–308.

Карамушко О.В., Юначева О.Ю. Речная камбала прибрежных вод Мурмана // Рыбное хозяйство. 2005. № 6. С. 57–59.

Карамушко О.В., Берестовский Е.Г., Карамушко Л.И. Ихтиофауна залива // Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. М.: Наука, 2008. С. 249–264.

Кудрявцева О.Ю. Пинагор Баренцева моря и сопредельных вод. М.: Наука, 2008. 164 с.

Кудрявцева О.Ю. Некоторые аспекты биологии европейского керчака *Myoxocephalus scorpius* (L.) (Cottidae) в Кольском заливе Баренцева моря // Вестн. МГТУ. 2012. Т. 15, № 4. С. 766–775.

Линников Р.А. Некоторые данные по ихтиофауне верхней сублиторали Кольского залива в летний период // Материалы XXV юбилейной конференции молодых ученых Мурманского морского биологического института (май 2007 г.). Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2007. С. 122–128.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.

Миронова Н.В. Веслоногие раки подотряда Harpacticoida как пища молоди тресковых рыб // Докл. АН СССР. 1951. Т. 79, № 5. С. 891–894.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Eschmeyer W.N., Fricke R., van der Laan R. Catalog of fishes. URL: http://researcharchive.calacademy.org/research/ichthyology/catalog/fishcatmain.asp). Electronic ver. 2. March, 2018.

List of marine fishes of the arctic region annotated with common names and zoogeographic characterizations / C.W. Mecklenburg, I. Byrkjedal, J.S. Christiansen et al. / Conservation of Arctic Flora and Fauna. Akureyri, Iceland, 2013. 37 p.

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ РЕКА–МОРСКОЙ ЗАЛИВ К АНТРОПОГЕННОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ

А.С. Булавина
Мурманский морской биологический институт, г. Мурманск

По мере увеличения антропогенной нагрузки на материковые водосборы все большее значение приобретает оценка ассимиляционной емкости систем река–море.

В данном исследовании поставлена задача разработки методики оценки ассимиляционной емкости системы река–морской залив. Актуальность настоящей задачи определяется ее согласованностью с одним из приоритетных направлений арктических исследований – прогнозированием экологической и социально-экономической ситуации в Арктике на фоне разнонаправленных изменений природного фона и расширяющейся хозяйственной деятельности (Матишов, Дженюк, 2014).

Влияние стока реки на водную среду залива складывается из двух основных составляющих: загрязняющий потенциал реки и особенности непосредственно морской среды (морфометрия залива, особенности циркуляции вод залива, функционирование морских экосистем). Каждая из составляющих была рассмотрена отдельно применительно к Белому морю и его водосбору в предыдущих исследованиях (Булавина, 2017; Булавина, Дженюк, 2017).

Для речных систем водосбора была проведена интегральная оценка их загрязняющего потенциала. Потенциальное влияние речного стока на морскую среду рассмотрено как результат взаимодействия двух интегральных показателей: потенциала загрязнения и потенциала самоочищения. При расчете потенциального загрязнения учитывались такие оценочные параметры как объем сточных вод и плотность населения на водосборе, как антропогенные составляющие выноса загрязняющих веществ, а также сток наносов, как природная составляющая выноса загрязняющих веществ. При расчете потенциала самоочищения учитывались такие природные параметры как озерность, лесистость и роль рельефа в самоочищении рек. Полученные результаты были использованы для районирования водосбора по степени негативного влияния речных водосборов на качество вод Белого моря.

Отдельно, исходя из распределения солености на акватории моря, была оценена скорость обновления вод заливов Белого моря (табл. 1). Для оценки был использован показатель относительного дефицита солености *C*, отражающий содержание пресных вод в морской водной массе и измеряющийся в долях единицы. Способ расчета *C* показан в работе (Булавина, Дженюк, 2017).

Методика оценки ассимиляционной емкости системы река–морской залив должна объединить два этих подхода.

Загрязнители, попадающие в рассматриваемую систему, на первом (материковом) этапе ассимилируются речным водосбором. Загрязнители, достигшие залива, частично выносятся в открытое море (покидая рассматриваемую систему). Оставшиеся в заливе загрязняющие вещества включаются в химический и биологический циклы преобразований.

Таблица 1

Условия водообмена водных масс заливов Белого моря

Водная масса	Относительный дефицит солености, ед.	Содержание пресных вод, км^3	Период водообмена, год	Объем водообмена, км^3/год
Двинская	0.38	74.42	0.69	282.99
Мезенская	0.25	37.24	1.33	112.79
Онежская	0.10	35.07	1.46	248.43
Кандалакшская	0.02	0.92	0.06	904.00

Были рассчитаны допустимые уровни нагрузки на водосборы рек бассейна Белого моря (табл. 2). Допустимыми были приняты такие соотношения оценочных параметров, при которых потенциал самоочищения равен потенциалу загрязнения.

Таблица 2

Природные и антропогенные особенности водосборов рек бассейна Белого моря

Речной водосбор	Сбросы сточных вод, тыс. м^3/км^2	Плотность населения, чел/км^2	Лесистость, %	Озерность, %	Сток наносов, т/год	Уклон реки, м/км
Северная Двина	**0.79**	*3.5*	*70*	*0.4*	*1297.8*	*0.07*
	1.38	**0.2**				
Мезень	**0.9**	*0.5*	*70*	*0.6*	*308.0*	*0.38*
	0.002	**10**				
Кулой	**1.1**	*0.5*	*87*	*2*	*70.2*	*0.39*
	0.003	**11**				
Онега	**0.9**	*3*	*65*	*3*	*25.1*	*0.28*
	0.16	**10**				
Нижний Выг	**1.2**	*3*	*50*	*14*	*16.5*	*0.87*
	1.18	**3.5**				
Кемь	**1.1**	*3*	*50*	*9.3*	*17.6*	*0.53*
	0.97	**3.5**				
Ковда	**1.3**	*1.5*	*50*	*14*	*17.4*	*0.50*
	0.01	**14**				
Кереть	**1.1**	*1.5*	*50*	*11.2*	*1.9*	*1.10*
	0.03	**12**				
Нива	**0.4**	*3*	*50*	*12*	*10.3*	*3.77*
	0.09	**5.9**				
Умба	**1.1**	*1*	*30*	*13.1*	*1.0*	*1.2*
	0.03	**10.1**				

ПРИМЕЧАНИЕ. Курсивом показаны текущие значения оценочных параметров; полужирным шрифтом – допустимые значения антропогенной нагрузки при сохранении текущего состояния водосбора.

Исходя из расчетов, для достижения допустимого уровня воздействия на водную среду Белого моря со стороны Северной Двины, необходимо уменьшить количество сточных вод, поступающих на речной водосбор, более чем в 1.5 раза, либо уменьшить плотность населения в 17.5 раза. При таком сокращении антропогенного воздействия большая часть загрязнителей будет ассимилирована на водосборе и не достигнет моря.

Водосборы рек Кемь и Нижний Выг при существующих условиях антропогенного воздействия находятся в равновесном состоянии. Природный потенциал этих водосборов эксплуатируется в оптимальном режиме. Водосборы остальных исследованных рек имеют природный ресурс для переработки более значительных антропогенных нагрузок, чем они испытывают в настоящий момент.

Зарегулирование рек в качестве пути решения проблемы загрязнения морских вод нами не рассматривалось, так как подобное вмешательство в природные комплексы может принести больше негативных последствий, чем пользы.

При существующей природно-хозяйственной обстановке на водосборе р. Северная Двина значительная часть загрязняющих веществ достигает Двинского залива Белого моря. При этом интенсивность водообмена в заливе не очень высокая (табл. 1). Полное обновление вод залива занимает около 8 мес.

Данные о водообмене между отдельными акваториями моря можно использовать для оценки степени влияния речного стока на качество морской среды и прогнозирования уязвимости отдельных акваторий. Так как относительный дефицит солености опосредованно выражает количество пресных вод в водной массе, то зная качество этих пресных вод, можно рассчитать их загрязняющую способность. Загрязняющее воздействие речного стока на отдельные акватории морей можно оценить как

$$K = PC,$$

где K – коэффициент загрязняющего воздействия речного стока на водные массы; C – относительный дефицит солености; P – средний взвешенный по объему стока интегральный показатель загрязняющего потенциала рек, впадающих в залив. При этом

$$P = \frac{\Sigma P_{\text{n}} f_n}{\Sigma f_n},$$

где P_{n} – интегральный показатель загрязняющего потенциала реки, впадающей в залив, равный разности потенциала загрязнении и потенциала самоочищения; f_{n} – годовой объем стока реки.

Чем большее значение принимает K, тем меньшее негативное воздействие на морскую среду оказывают речные воды. Если речной водосбор плохо справляется с существующими антропогенными нагрузками, то K будет отрицательным. Если большая часть загрязнителей ассимилируется в пределах водосбора, то K примет положительные значения.

Чтобы оценить воздействие речного стока на воды заливов при помощи K необходимо, рассчитать его крайние значения. Исходя из того, что P может принимать значения от –9 до 9, а доля пресных вод в заливах различна, крайние значения K для каждого залива будут индивидуальны. Чем ближе рассчитанный для залива коэффициент загрязняющего воздействия речного стока к его минимальному значению для залива, тем большее негативное воздействие оказывают реки на водную среду этого залива.

Так как в Двинском заливе содержание пресных вод не превышает 40 %, коэффициент K может колебаться в пределах от –3.6 до 3.6. Для реки Северная Двина K = –1.102, что свидетельствует о сильном негативном влиянии речных вод на воды залива. Для остальных изученных рек коэффициент K принял положительные значения, что показывает их не столь значительное влияние на воды заливов.

Для рек бассейна Мезенского залива K = 1.225 при его возможном колебании $-2.5 \leq K \leq 2.5$; для рек бассейна Онежского залива K = 0.072 при $-0.9 \leq K \leq 0.9$; для рек бассейна Кандалакшского залива K = 0.1 при $-0.18 \leq K \leq 0.18$. Исходя из этого, наименее подверженными загрязняющему воздействию речного стока оказались Кандалакшский и Мезенский заливы.

Сравним полученные результаты с результатами гидрохимических наблюдений в Белом море. Анализ качества вод Двинского залива (Брызгало, Иванов, 2002; Немировская и др., 2015; Толстиков, Чернов, 2014; О состоянии …, 2016) показал, что вода не соответствует санитарным нормам. Было зафиксировано превышение ПДК нефтяных углеводородов, фенольных соединений, СПАВ, меди и цинка. Н.А. Кадашова (2011) характеризует экологи-

ческую ситуацию в Двинском заливе как напряженную, а в южной его части как критическую. Также она отмечает напряженную экологическую ситуацию в устье р. Онега и поверхностных водах Онежского залива. Согласно данным ежегодника (Качество …, 2016), в районе порта г. Кандалакша качество воды по комплексному индексу загрязненности в 2015 г. оценивалось классом 3 (умеренно загрязненные). Следует учитывать, что уровень загрязнения морских вод в портах, как правило, связан в большей степени с судоходством и портовыми операциями. В Кандалакшском заливе за пределами порта превышения ПДК по основным загрязнителям обнаружено не было.

В целом рассмотренный метод имеет право на существование как первое приближение к оценке ассимиляционной емкости системы река–морской залив. Для более точной оценки необходимо разработать методику оценки биоассимиляционной способности отдельных участков морской акватории. Это задача для дальнейших исследований.

Работа выполнена по теме 9-18-02 (133; 137) «Воздействие климатических факторов, химического и радиационного загрязнения на большие морские экосистемы (БМЭ) Арктики в условиях комплексного природопользования» (№ в ГЗ 0228-2018-0018).

Литература

Брызгало В.А., Иванов В.В. Многолетняя и сезонная изменчивость химического стока рек Белого моря в условиях антропогенного воздействия // Экологическая химия. 2002. Т. 11(2). С. 91–104.

Булавина А.С. Интегральная оценка потенциального влияния речного стока на водную среду Белого моря // Живая природа Арктики: сохранение биоразнообразия, оценка состояния экосистем: Матер. междунар. конф., г. Архангельск, 30 октября–3 ноября 2017 г. Архангельск: Изд. САФУ, 2017. С. 40–41.

Булавина А.С., Дженюк С.Л. Дефицит солености как показатель воздействия речного стока на морскую среду // Наука Юга России. 2017. Т. 13, № 2. С. 50–59.

Кадашова Н.А. Физико-географические аспекты природопользования в Белом море: Дис. … канд. геогр. наук. М., 2011. 175 с.

Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2015 / Под ред. А.Н. Коршенко. М.: Наука, 2016. 184 с.

Матишов Г.Г., Дженюк С.Л. Проблемы управления морским природопользованием и обеспечения экологической безопасности в российской Арктике // Вестн. МГТУ. 2014. Т. 17, № 3. С. 531–539.

Немировская И.А., Травкина А.В., Трубкин И.П. Углеводороды в водах и донных осадках Белого моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2015. № 3(105). С. 77–90.

О состоянии загрязненности вод Белого моря / О.Н. Мохова, Н.В. Климовский, В.Г. Чернова, Р.А. Мельник // Морские биологические исследования: достижения и перспективы: Сбор. матер. Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, приуроченной к 145-летию Севастопольской биологической станции: В 3-х т. Севастополь: ЭКОСИ-Гидрофизика, 2016. Т. 3. С. 163–167.

Толстиков А.В. Чернов И.А. Антропогенное воздействие на экологическое состояние Белого моря // Научно-исследовательские публикации. 2014. № 15(19). С. 19–31.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ МАКРОБЕНТОСА МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И КАРСКОГО

Д.А. Валуйская, О.Л. Зимина
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Основными источниками загрязнения морей Карского и Лаптевых ^{137}Cs служат глобальные атмосферные выпадения и поступление через проливы в районе архипелага Новая

Земля вод, содержащих отходы западноевропейских радиохимических заводов. Загрязнение этих морей ^{90}Sr обусловлено в большей степени стоком крупных западносибирских рек (60 %), в меньшей – атмосферными выпадениями (Ильин и др., 2015а). Аккумуляция и динамика радиоактивного загрязнения вод и донных отложений в морях Карском и Лаптевых активно изучаются и хорошо освещены в научных публикациях (Матишов, Матишов, 2001; Ильин и др., 2015б и др.). Информация о распределении искусственных радионуклидов в крупных формах зообентоса этих морей крайне скудна.

Данная работа основана на материалах комплексных экспедиций ММБИ на НИС «Дальние Зеленцы» в Карское море в июле–октябре 2012 г. и море Лаптевых в июле–октябре 2014 г. Из уловов донных тралов было отобрано 26 проб макробентоса (рис. 1): *Shaudinnia rosea* – 4, *Actinaria* sp. – 1, *Sadura sibirica* – 4, *Saduria sabini* – 2, *Molpadia borealis* – 1, *Umbellula encrinus* – 1, *Urasterias lincki* – 4, *Gorgonocephalus arcticus* – 6, *Ophiopleura borealis* – 1, *Stegophiura nodosa* – 1, *Heliometra glacialis* – 1.

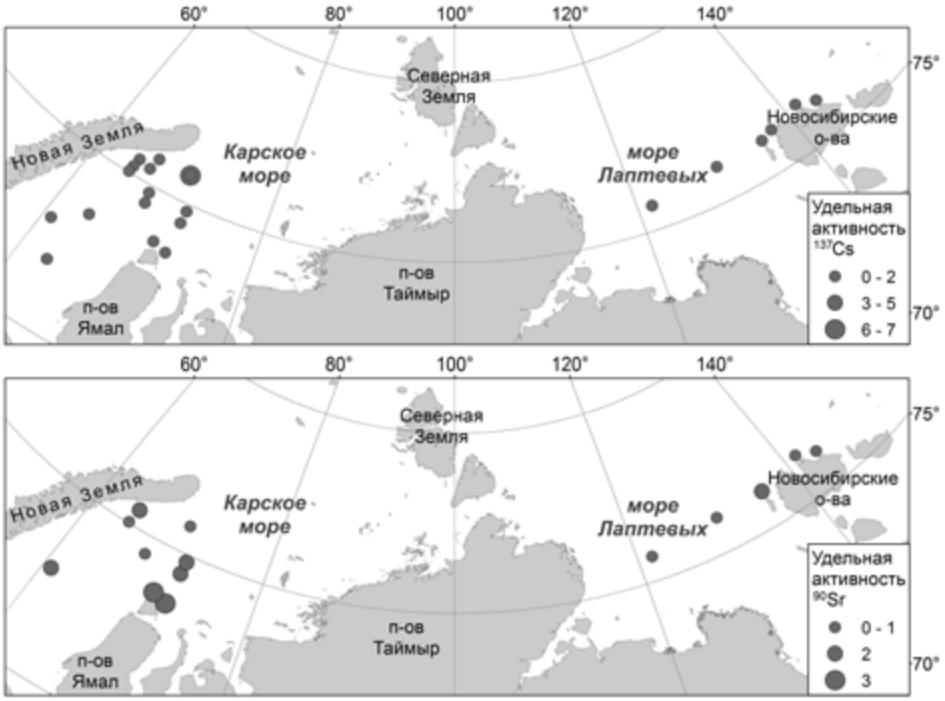


Рис. 1. Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в придонных организмах в 2012–2014 г., Бк/кг сухой массы

Оценивали содержание искусственных радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr, обладающих большими периодами полураспада (30.2 и 29 лет) и способностью включаться в биологический круговорот веществ и накапливаться в тканях живых организмов за счет замещения калия и кальция соответственно.

Отобранные образцы были очищены, высушены, измельчены и взвешены. Для измерения удельной активности гамма-излучающих радионуклидов в пробах применялся гамма-спектрометр фирмы CANBERRA со сверхчистым германиевым детектором. Обработку гамма-спектров проводили с помощью программного обеспечения CANBERRA Genie-2000. Погрешность измерений не превышала 30 %. Удельная активность всех проб рассчитана на сухую массу. Определение активности ^{90}Sr в пробах выполнено по методу радиохимического выделения с последующим измерением излучения дочернего ^{90}Y на альфа-бета-сцинтилляционном счетчике LS 650 (Beckman Instruments Inc., США).

Содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr в донных организмах северных морей в 1990-е годы соответствовало диапазону 1–9.5 Бк/кг (Матишов, Матишов, 2001). В 2012–2014 годах средние концен-

трации ^{137}Cs и ^{90}Sr в бентосе Карского моря составили, соответственно, 1±0.1 и 1.26±0.1 Бк/кг. При этом максимальная удельная активность ^{137}Cs зарегистрирована у *Molpadia borealis* – 6.8 Бк/кг. Вероятно, это объясняется тем, что по типу питания данный вид голотурий является детритофагом и накапливает радионуклиды за счет потребления органического материала. Средние концентрации ^{137}Cs и ^{90}Sr в бентосе моря Лаптевых составили 0.1±0.03 и 0.6±0.08 Бк/кг сухой массы соответственно.

На основе полученных данных были составлены ранжированные ряды по накоплению в бентосных организмах северных окраинных морей:

^{137}Cs – *Molpadia borealis* > *Stegophiura nodosa* > *Urasterias linkii* > *Shaudinnia rosea* > *Umbellula encrinus* > *Gorgonocephalus arcticus* > *Saduria sabini* > *Saduria sibirica* > *Ophiopleura borealis*, *Phakelia* sp. > *Heliometra glacialis*;

^{90}Sr – *Stegophiura nodosa* > *Umbellula encrinus* > *Saduria sibirica* > *Urasterias linkii* > *Heliometra glacialis* > *Gorgonocephalus arcticus*.

Удельная активность искусственных радиоизотопов у обитающих в разных морях в донных организмах одного вида показывает большой разброс значений (рис. 2). Концентрации искусственных радионуклидов в макробентосе моря Лаптевых были значительно ниже таковых у бентосной фауны Карского моря.

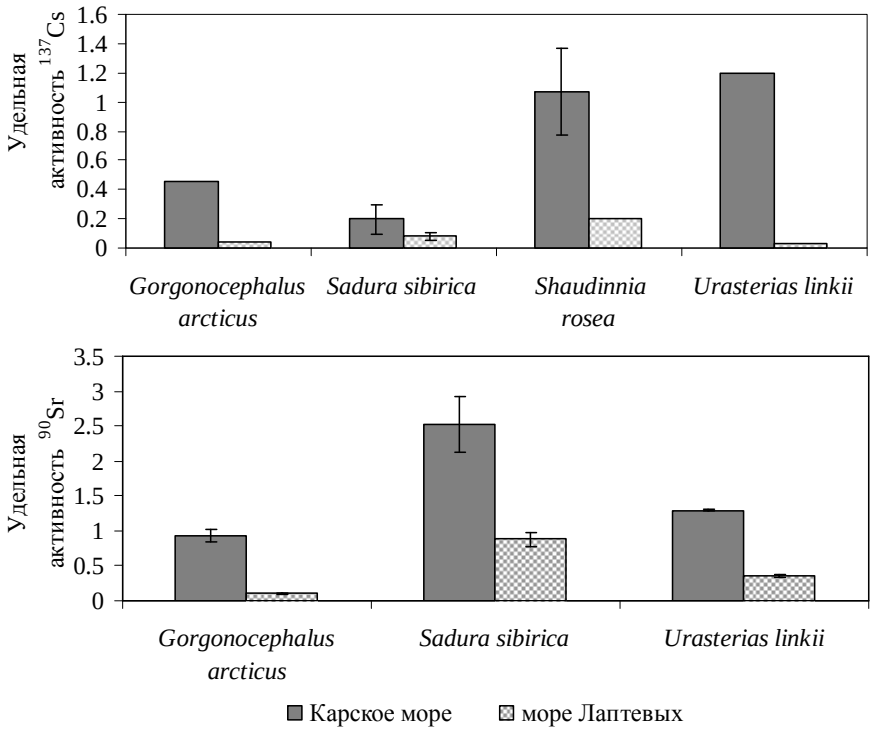


Рис. 2. Средняя удельная активность ^{137}Cs и ^{90}Sr в некоторых видах макробентоса морей Карского и Лаптевых, Бк/кг сухой массы

В целом, удельная активность искусственных радионуклидов в макробентосе морей Карского и Лаптевых находится на низком уровне и соответствует показателям глобальных выпадений ^{137}Cs и ^{90}Sr на акватории этих водоемов и в водосборных бассейнах крупных западносибирских рек (Ильин и др., 2015а). Некоторые виды макробентоса Карского моря накапливают искусственные радиоизотопы в больших количествах, нежели эти же виды в море Лаптевых. Однако анализ 11 видов макробентоса не может дать четкого представления о радиоэкологическом состоянии бентоса в целом, поэтому необходимо продолжить исследования в этой области.

Работа выполнена по теме 9-18-02 (133; 137) «Воздействие климатических факторов, химического и радиационного загрязнения на морские экосистемы Арктики в условиях комплексного природопользования» (№ в ГЗ 0228-2018-0018).

Литература

Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Современная оценка радиоэкологического состояния среды Карского моря (по данным 2011–2013 гг.) // Экосистема Карского моря – новые данные экспедиционных исследований: Матер. конф. М: Изд. Ин-та океанологии РАН, 2015а. С. 267–272.

Ильин Г.В., Усягина И.С., Касаткина Н.Е. Геоэкологическое состояние среды морей российского сектора Арктики в условиях современных техногенных нагрузок // Вестн. Кольского науч. центра РАН. 2015б. № 2. С. 82–93.

Матишов Д.Г., Матишов Г.Г. Радиационная экологическая океанология. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2001. 417 с.

БАКТЕРИОПЛАНКТОН МУРМАНСКОГО ПРИБРЕЖЬЯ (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ, БАРЕНЦЕВО МОРЕ)

А.В. Ващенко
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Одним из основных компонентов прибрежных морских экосистем являются бактериальные сообщества, наиболее многочисленная группами микроорганизмов с минимальными размерами, коротким жизненным циклом, высокими темпами размножения и интенсивной скоростью роста. В водной толще бактерии распространены повсеместно, от поверхностного до придонного слоя, где они могут существовать в виде одиночных свободноплавающих клеток, образовывать микроколонии или быть прикреплены к детриту. Детрит (отмершие клетки фитопланктона, организмы зоопланктона, органические или минеральные взвешенные частицы) содержит высокие концентрации органических веществ и служит питательным субстратом для множества микроорганизмов. У прикрепленных бактерий скорость роста обычно выше, чем у неприкрепленных, которые адаптированы к жизни в условиях дефицита биогенных элементов. Одиночные бактерии являются основными пищевыми объектами для простейших (таких как гетеротрофные нанофлагелляты, инфузории) (Fenchel, 1982; Sherr et al., 1989), агрегированные могут выедаться многоклеточным зоопланктоном (коловратками, ракообразными) (Starkweather et al., 1979; Pace et al., 1983; Gude, 1988). Доступность питательного субстрата (так называемый контроль «снизу») и присутствие бактериотрофных организмов (контроль «сверху») являются определяющими факторами обилия и распределения бактерий в планктонных сообществах.

При исследовании морских экосистем арктических районов было установлено, что одним из факторов, лимитирующих развитие бактерий, также является постоянно низкая температура морской воды, часто близкая к точке замерзания (–1.8 °C). Питательные ресурсы и температура действуют не отдельно друг от друга, а оказывают комбинированное действие на бактериопланктон (Legendre, LeFevre, 1995; Ducklow, Yager, 2007).

Традиционно основной функцией бактериопланктона считалась минерализация органических веществ до CO_2, в процессе которой происходит также выделение неорганических соединений азота и фосфора, необходимых для первичной продукции, производимой фитопланктоном. Выявлено, что бактерии также осуществляют процессы разложения и детоксикации органических и неорганических загрязняющих веществ, поступающих в огромных количествах в окружающую среду в результате деятельности человека.

Ранее в морских микробиологических исследованиях большое внимание уделялось качественному и количественному составу бактериопланктона, определяемому посевом на различные питательные среды. Однако подавляющее большинство бактерий невозможно выделить культуральными методами (Копылов, Косолапов, 2008).

Разработка А.С. Разумовым (1930 г.) прямого микроскопического учета бактерий нашла широкое применение в водной микробиологии. Достоинство данного метода заключалось в непосредственном наблюдении и количественном подсчете микробных клеток сконцентрированных на мембранных фильтрах, что позволяло более точно оценить их общую численность.

Одна из первых работ по изучению количественных характеристик бактериопланктона Мурманского прибрежья (его восточной части) методом светлопольной микроскопии с окрашиванием фильтров 5 %-м раствором эритрозина была проведена летом 1978 г. (Байтаз, Байтаз, 1987). Исследования показали, что распределение бактериопланктона по глубинам было достаточно равномерное. Его максимальные концентрации обнаружены на горизонте 50 м (44 тыс. кл/мл), минимальные – в придонном слое (17–18 тыс. кл/мл). Биомасса бактерий в среднем составляла 34.0 мг/м^3. В морфологической структуре сообщества преобладали палочковидные клетки.

В работе, выполненной в этом же районе зимой (февраль 1981 г.), показано, что численность бактериопланктона соответствует диапазону от 3 до 38 тыс. кл/мл и увеличивается по мере продвижения от береговой зоны в открытое море. Минимальные значения показателя в мелководных районах авторы объясняют низкой концентрацией доступного органического вещества. Биомасса варьировала от 4.0 до 20.0 мг/м^3. Доминирующей морфологической формой клеток, как и в исследованиях 1978 г., являлись палочки, в меньшей степени присутствовали кокковые формы (Байтаз, Байтаз, 1987).

В августе 1983 г. в связи с установкой опытно-промышленной ламинариевой плантации в губе Зеленецкая (Дальнезеленецкая) был проведен комплексный экологический мониторинг, позволивший получить уникальный материал о динамике микропланктонных сообществ. Наблюдения с октября 1983 г. по ноябрь 1984 г. показали, что численность бактериального населения варьирует от 323 тыс. кл/мл до 2.3 млн кл/мл (в среднем 558 тыс. кл/мл). Максимальные значения отмечены в марте, июле, сентябре и октябре, минимальные – в июне и конце ноября. Биомасса бактериопланктона составляла от 148.0 до 897.9 мг/м^3 (в среднем 405.2 мг/м^3), ее динамика соответствовала динамике численности.

Закономерности сезонных изменений количественных показателей в районе ламинариевой плантации были такими же, как и в акватории всей губы в целом. Отмечено, что культивирование ламинарии не повлияло на естественное развитие бактериальных сообществ. Увеличение показателей бактериопланктона в весенний и осенний периоды авторы связывали со значительным увеличением концентрации органического вещества за счет берегового стока, таяния снегов весной и обильных дождей осенью и летом. В летние периоды пики численности и биомассы совпадали с пиками показателей фитопланктона (Сезонная …, 1990).

Бактериопланктон в течение всего периода исследований был представлен палочками, кокками и эллипсоидными формами. Доминирующей формой бактерий были кокки (59.5 %). Их максимальная плотность отмечена в зимний период (76 % общей численности) (Кузнецов и др., 1996).

Исследования, проведенные в 1986 г. (апрель–май) в губе Дальнезеленецкая, показали, что среднемесячная численность клеток бактериопланктона (528 тыс. кл/мл) существенно не изменилась по сравнению со среднегодовыми показателями 1983–1984 гг. (Мишустина и др., 1997).

В 1987 году сотрудниками ММБИ был внедрен в практику метод прямого подсчета бактерий под эпифлуоресцентным микроскопом с использованием флуорохромного красителя флуорескамина. Благодаря высокой чувствительности и специфичности данного метода появилась возможность учитывать клетки очень мелких размеров, отделяя их от частиц небиологической природы (Широколобова, 2006).

Сравнение двух методов окраски (карболовым эритрозином и флуорескамином) при количественном учете бактериопланктона открытой части прибрежья выявило, что средняя численность клеток при окрашивании эритрозином почти в 2 раза выше. Использование флуорескамина позволило обнаружить 275 тыс. кл/мл, в то время как при окраске эритрозином количество учтенных клеток составило 527 тыс. кл/мл. При окраске флуорескамином показатели биомассы в среднем составляли 80.0 мг/м^3, при окраске эритрозином – 142.0 мг/м^3. Исследования О.Н. Байтаз (1988) показали, что при использовании красителя эритрозина происходит завышение численности и биомассы бактерий, что в свою очередь влияет на объективную оценку их роли в морских водоемах.

В зимне-весенний период 1987–1988 гг. и летом 1989 г. при исследовании бухты Оскара была выявлена стабильно высокая численность клеток – в среднем 600 тыс. кл/мл. Средняя биомасса составила 100.0 мг/м^3. В феврале ее пик превышал 200.0 мг/м^3 и был связан с началом выхода бактериального сообщества из состояния бактериостаза и переходом его к функционированию в характерном колебательном режиме. В конце апреля биомасса снизилась до 120.0 мг/м^3 (Комплексный …, 1989).

Исследования западной части Мурманского прибрежья, проведенные в июне 1989 г. в губах Териберская, Глубокая, Ара, Вичаны, Титовка, Мотка, Ура и Кислая, показали следующее: наибольшая численность бактерий наблюдается в верхних слоях воды, ко дну ее значения снижаются. Максимум достигает 1.5 млн кл/мл (в поверхностном слое), минимум – 600 тыс. кл/мл (в придонном слое). При продвижении с востока от губы Дальнезеленецкая на запад к губе Кислая численность клеток бактериопланктона на всех горизонтах увеличивается (Мишустина и др., 1997). Авторами установлено, что в целом для Мурманского прибрежья Баренцева моря характерна высокая численность бактерий, в среднем приближающаяся к 1 млн кл/мл с диапазоном биомассы от 41.4 до 381.1 мг/м^3.

В прибрежных районах Баренцева моря морфологический состав бактериопланктона был достаточно однообразен и представлен палочками, кокками, коккобациллами и элипсоидными формами. Как правило, в сообществе доминировали кокковидные клетки (60–76 %).

Экологический мониторинг губы Дальнезеленецкая был проведен и в летне-осенний сезон 1989 г. В этот период численность бактериопланктона находилась в диапазоне 300–980 тыс. кл/мл при среднем значении 700 тыс. кл/мл. Увеличение количественных показателей совпало с периодами массового развития динофлагеллят. Структура бактериального сообщества была устойчивой на протяжении всего периода наблюдений (кокки составляли 60 %, палочки – 20 %, коккобациллы – 14 %, элипсоидные формы – 6 %) (Комплексный …, 1990).

Исследования по определению численности бактериопланктона Мурманского прибрежья были возобновлены лишь в июне–августе 2008 г. в районе губы Долгая. Максимальные значения численности достигали 760 тыс. кл/мл (в поверхностном слое), минимальные – 200 тыс. кл/мл (в придонном) (Микробные …, 2009).

Летом (август) 2012 г. сотрудниками ММБИ в ходе изучения количественных показателей бактериопланктона методом эпифлуоресцентной микроскопии был использован флуорохром DAPI и показано, что в губе Дальнезеленецкая максимальная численность бактериопланктона составляет 2.3 млн кл/мл, минимальная – 600 тыс. кл/мл. Распределение бактерий от поверхностного до придонного слоя было относительно однородным и определялось равномерностью доступного органического субстрата. Показатели биомассы находились в диапазоне 36.9–167.9 мг/м^3 (Венгер, 2013).

Похожие данные были получены М.А. Павловой при исследовании губ Дальнезеленецкая, Ярнышная, Долгая. Количество бактериальных клеток в губе Дальнезеленецкая изменялось от 380 тыс. до 1.53 млн кл/мл, биомасса варьировала от 56.0 до 178.0 мг/м^3. В губе Ярнышная диапазон численности и биомассы составил 330 тыс.–1.33 млн кл/мл и 50.0–184.0 мг/м^3 соответственно. В губе Долгая количество бактерий изменялось в пределах

от 430 тыс. до 1.33 млн кл/мл, биомассы – от 27.0 до 119.0 мг/м^3. Автором было отмечено уменьшение обилия (в мелководных участках губ) от поверхностного слоя ко дну в среднем в 2.4 раза. Диапазоны изменений показателей трех исследуемых акваторий имели близкие значения и являлись характерными для прибрежных вод Баренцева моря. Во всех губах бактериопланктон преимущественно был представлен палочками (65 %) и кокками (33 %). Примерно 2 % составляли нити, цепочки, подковообразные и извитые (спириллы) клетки (Павлова, 2013).

Анализ литературных данных показал, что:

1) высокие показатели численности и биомассы бактерий в водах Мурманского прибрежья наблюдаются в весенне-осенний период и определяются, как правило, присутствием в достаточном количестве как автохтонного, так и аллохтонного органического вещества;

2) максимальные значения бактериопланктона большей частью регистрируются в поверхностном слое, минимальные – в придонном;

3) вдоль побережья, при продвижении с востока на запад, концентрация и биомасса бактерий увеличиваются;

4) среди микроорганизмов обычно доминируют кокки и палочки, минорным компонентом сообществ являются нити, цепочки, подковообразные и извитые (спириллы) клетки.

Автор признательна Т.И. Широколобовой (ММБИ КНЦ РАН) за ценные советы и критические замечания, высказанные при подготовке данной работы.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (51) «Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)» (№ ГР АААА-А17-117052310083-5, № в ГЗ 0229-2018-0001).

Литература

Байтаз О.Н. Сравнение двух методов окраски клеток морских бактерий при их количественном учете на фильтрах // Экология, биологическая продуктивность и проблемы марикультуры Баренцева моря: Тез. докл. II Всесоюз. конф. Мурманск, 1988. С. 32–34.

Байтаз О.Н., Байтаз В.А. Некоторые данные о пространственном распределении бактериопланктона Баренцева моря // Комплексные океанологические исследования Баренцева и Белого морей. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1987. С. 84–89.

Венгер М.П. Результаты исследования микропланктонных сообществ в губе Дальнезеленецкая летом 2012 г. // Материалы XXXI конференции молодых ученых ММБИ. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2013. С. 38–45.

Комплексный экологический мониторинг в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море): зимне-весенний период 1987–1988 г. / С.И. Бардан, Н.В. Дружков, Ю.А. Бобров, В.А. Байтаз: Препр. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. 42 с.

Комплексный экологический мониторинг в губе Дальнезеленецкая (Баренцево море): летне-осенний период 1989 г. Структурные характеристики / С.И. Бардан, Н.В. Дружков, В.А. Байтаз и др.: Препр. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1990. 38 с.

Копылов А.И., Косолапов Д.Б. Бактериопланктон водохранилищ Верхней и Средней Волги. М.: Изд-во СГУ, 2008. 376 с.

Кузнецов Л.Л., Дружков Н.В., Байтаз О.Н. Прибрежные экосистемы пелагиали Баренцева моря // Экосистемы пелагиали морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. С. 73–84.

Микробные процессы в водной толще и донных осадках губы Долгая Восточная (Баренцево море) до начала строительства Северной приливной электростанции / А.С. Саввичев, Н.А. Демиденко, И.И. Русанов и др. // Микробиология. 2009. Т. 78, № 6. С. 840–843.

Мишустина И.Е., Байтаз О.Н., Москвина М.И. Численность и биомасса бактериопланктона открытых районов Баренцева моря // Планктон морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 21–50.

Павлова М.А. Бактериопланктон губ Восточного Мурмана в период активной вегетации кокколитофорид // Материалы XXXI конференции молодых ученых ММБИ. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2013. С. 155–162.

Сезонная динамика бактерио- и фитопланктона в районе опытно-промышленной ламинариевой плантации губы Дальнезеленецкая Баренцева моря / Л.Л. Кузнецов, М.И. Москвина, О.Н. Байтаз, В.А. Байтаз // Структурно-функциональная организация экосистем Баренцева моря. Апатиты: КНЦ АН СССР, 1990. С. 233–246.

Широколобова Т.И. Морские микробиологические исследования в ММБИ // Океанологические и биологические исследования арктических и южных морей России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 192–200.

Ducklow H.W., Yager P.L. Pelagic bacterial processes in polynyas // Elsevier Oceanography Ser. 2007. V. 74. P. 323–361.

Fenchel T. Ecology of heterotrophic microflagellates. IV. Quantitative occurrence and importance1as bacterial consumers // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1982. V. 9. P. 35–42.

Gude H. Direct and indirect influences of crustacean zooplankton on bacterioplankton of Lake Constance // Hydrobiologia. 1988. V. 159. P. 63–73.

Legendre L., LeFevre J. Microbial food webs and the export of biogenic carbon in oceans // Aquatic microbial ecology. 1995. V. 9. P. 69–77.

Pace M.L., Porter K.G., Feig Y.S. Species and age-specific differences in bacterial resource utilization by two co-occurring cladocersans // Ecology. 1983. V. 64. P. 1145–1156.

Sherr B.F. Sherr E.B., Pedros-Alio C. Simultaneous measurement of bacterioplankton production and protozoan bacterivory in estuarin water // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1989. V. 54. P. 209–219.

Starkweather P.L., Gilbert J.J., Frost T.M. Bacterial feeding by the rotifer *Brachionus calyciflorus*: Clearance and ingestion rates, behavior and population dynamics // Oecologia. 1979. V. 44. P. 26–30.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ БАКТЕРИО- И ВИРИОПЛАНКТОНА БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

М.П. Венгер
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Гидрологический режим Баренцева моря в значительной мере формируют теплые атлантические воды, поступающие с юго-запада и холодные воды арктического происхождения – с севера (Жизнь …, 1985). Зона контакта двух водных масс (полярный фронт) составляет естественную структурную границу, разделяющую не только два основных типа вод, но и два типа пелагических экосистем – арктических и субарктических (Makarevich et al., 2012).

Одним из базовых компонентов планктонных сообществ в морских экосистемах является бактериопланктон. По результатам современных исследований, за счет деструкции бактериопланктона утилизируется от 40 до 80 % всего органического углерода, создаваемого первичными продуцентами в пелагиали моря (Whitman et al., 1998; Ducklow, 2000). Согласно концепции микробной «петли» (The ecological …, 1983), бактериями усваивается прежде всего значительная часть растворенного органического вещества, образованного в результате

автотрофных процессов, и только потом через простейших органическое вещество включается в классическую пищевую цепь. Благодаря этому питательные вещества удерживаются в системе, даже если пик «цветения» фитопланктона по тем или иным причинам оказывается разобщен с массовым развитием его потребителей. Особенно важную роль микробная «петля» играет в полярных экосистемах, где функционирование микропродуцентов носит ярко выраженный сезонный характер (Макаревич, Олейник, 2007; Матишов и др., 2011), при этом период их активной вегетации с продвижением с юга на север сокращается с 5–6 до 2–3 мес. (Гидрометеорология…, 1992; Ларионов, 1997; Кузнецов, Шошина, 2003).

Особое место в изучении микробной «петли» отводится вирусному лизису, регулирующему структуру микробных сообществ и оказывающему значительное влияние на формирование потоков энергии и углерода в трофических сетях (Wommack, Colwell, 2000).

Все вышеизложенное и определило цель работы – проанализировать пространственное распределение бактериопланктона в субарктических и арктических экосистемах Баренцевоморского шельфа в период летнего функционирования пелагических альгоценозов, а также изучить особенности распределения вириопланктона и определить взаимосвязь количественных характеристик данных компонентов.

Материал был собран в двух экспедициях на НИС «Дальние Зеленцы»: 12–19 августа 2009 г. – на разрезе «Кольский меридиан» выполнено 22 станции, 19–23 августа 2010 г. – 19 станций и 1 станция на северо-восток от него (рисунки 1, 2).

Учет микроорганизмов проводили методом эпифлуоресцентной микроскопии. Численность и размеры клеток бактериопланктона определяли с помощью флуорохрома DAPI (Porter, Feig, 1980) и фильтров ОИЯИ (г. Дубна) с диаметром пор 0.2 мкм, численность вирусов – с помощью флуорохрома SYBRGreenI и фильтров Anodisc («Wathman») с диаметром пор 0.02 мкм (Noble, Fuhrman, 1998). Бактериальную биомассу в углеродных единицах рассчитывали по (Norland, 1993).

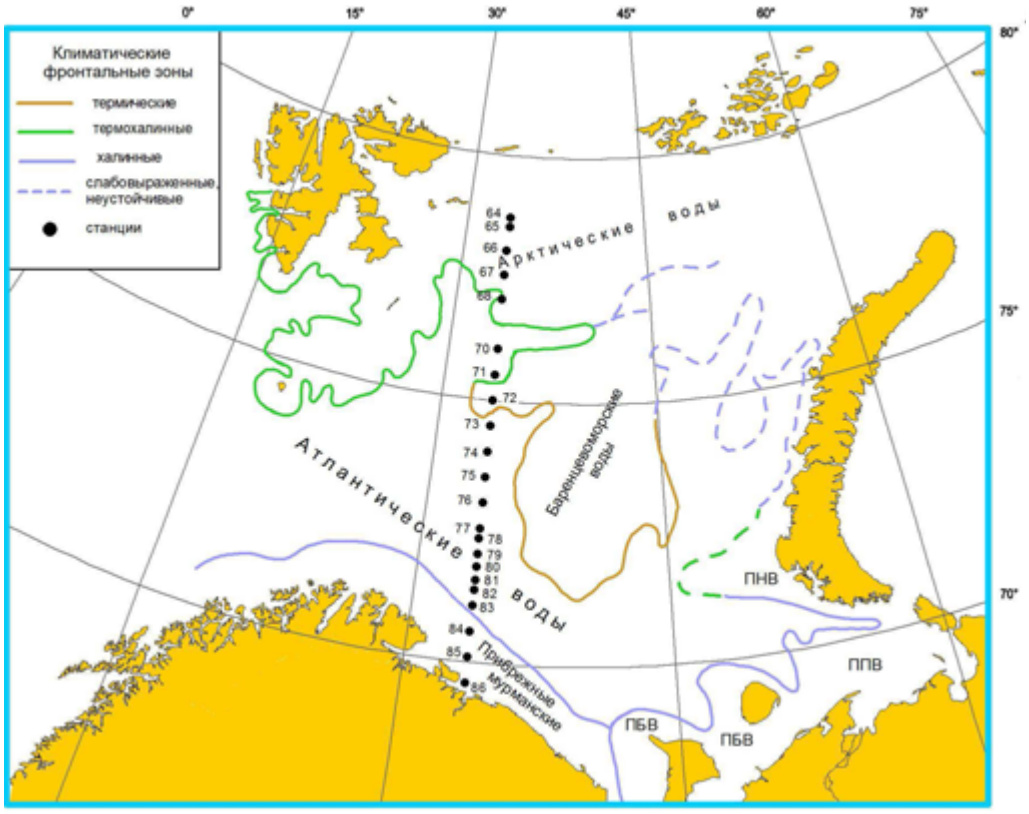


Рис. 1. Карта-схема расположения станций в августе 2009 г.

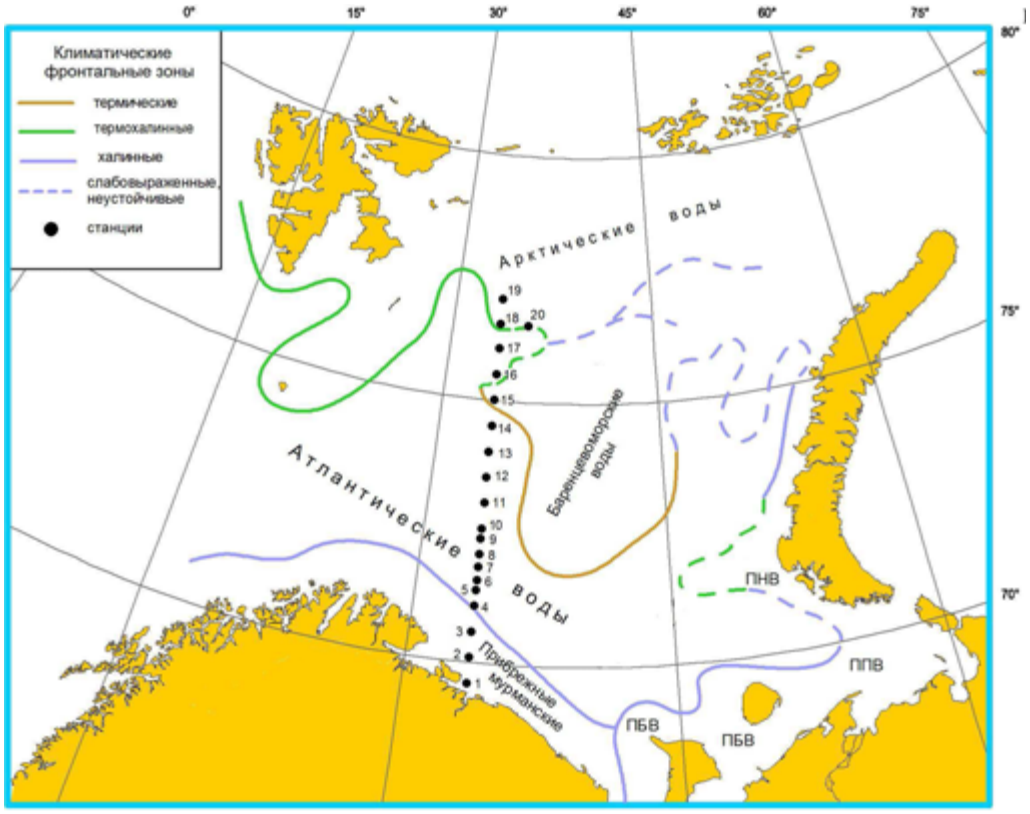


Рис. 2. Карта-схема расположения станций в августе 2010 г.

Концентрацию хлорофилла определяли спектрофотометрически, используя фильтры «Владипор» с порами 0.45 мкм (Вода …, 2001).

Для статистической обработки материала применяли метод ранговой корреляции Спирмена (r_s) и *U*-критерий Манна-Уитни (при $p \geq 0.05$).

Научные экспедиции в августе выполнены в центральной части Баренцева моря вдоль 33°30’ в. д. Их маршруты были значительными по протяженности (от 69°30’ до 78°40’ с. ш. – 2009 г. и от 69°30’ до 77°00’ с. ш. – 2010 г.) и пересекали участки с водами разного генезиса. Достоверные различия температуры поверхностных вод позволили условно разделить исследуемую акваторию моря на две большие области. Первая из них – субарктическая (станции 70–71, 73–86 – 2009 г.; станции 1–14, 16, 17 – 2010 г.), находилась под непосредственным влиянием теплых атлантических вод и включала южную и центральную части разреза «Кольский меридиан». Вторая – арктическая (станции 64–68, 72 – 2009 г.; станции 15, 18–20 – 2010 г.), занимала его северную часть и небольшой участок на 75°00’ с. ш. и была сформирована преимущественно холодными арктическими водами (табл. 1). Глубина на станциях первой и второй области варьировала от 150 до 300 м и от 140 до 250 м соответственно.

Для измерения глубин и термохалинных характеристик использовали СТД-зонд SEACAT SBE 19 plus. Пробы воды в слое 0–75 м и у дна отбирали пластиковыми батометрами Нискина, установленными на системе Rozett.

Пикноклин (слой скачка плотности) в 2009 и 2010 гг. залегал на глубине в диапазоне 7–45 и 45–75 м соответственно. Температура этого слоя снижалась в меридиональном направлении и достигала в самой северной части разреза отрицательных значений (–1.6…–1.4 °С). Для придонных вод также характерно уменьшения их теплосодержания.

Пониженная соленость поверхностных вод и слоя пикноклина зафиксирована в 2009 г. в южной (33.30–33.77 ‰) и северной (32.73–33.94 ‰) части разреза, что связано с опресня-

ющим влиянием берегового стока в первом случае и таяния льда во втором. В центральной части разреза в ходе двух исследований наблюдалась свойственная атлантическим водам повышенная соленость, близкая к 35.00 ‰.

Таблица 1

Термохалинная характеристика вод Баренцева моря в районе исследований в августе 2009 и 2010 гг.

Водный слой	2009 г.		2010 г.	
	T, °C	S, ‰	T, °C	S, ‰
Субарктическая область				
Поверхностный	5.1–10.3	33.30–35.01	4.6–8.2	34.58–35.22
Пкноклин	3.7–9.9	33.68–35.00	4.2–4.4	34.99–35.01
Придонный	0.5–4.6	34.53–35.03	0.7–0.8	34.98–34.99
Арктическая область				
Поверхностный	1.6–4.8	32.73–34.72	1.9–3.6	34.49–35.13
Пикноклин	–1.6–3.4	33.94–34.88	1.8–3.2	34.49–34.98
Придонный	0.5–0.8	34.90–34.91	0.5–1.2	34.88–35.00

Выполненные в 2010 г. измерения хлорофилла показали, что в пелагиали субарктической области его значительные концентрации приурочены к поверхностному слою и пикноклину. В арктической области высокие значения отмечены на глубине залегания скачка плотности, более низкие – в поверхностных водах. В придонном слое обеих областей повсеместно зарегистрированы минимальные количества основного фитопигмента (табл. 2).

В 2009 году общая численность бактериопланктона субарктической области составляла $(0.1–2.2)\cdot10^6$ кл/мл, биомасса – 1.6–20.9 мгС/м^3. Более высокие значения соответствовали поверхностным водам, низкие – придонным. Промежуточное положение занимали величины слоя пикноклина (табл. 2). От поверхности ко дну наблюдалось увеличение среднего объема клеток.

В пелагиали арктической области численность и биомасса бактериопланктона изменялись в пределах $(0.08–1.4)\cdot10^6$ кл/мл и 2.9–23.5 мгС/м^3 соответственно. Их значения в поверхностных и придонных водах достоверно не различались. Особенность распределения сообществ – наличие максимумов и широкого диапазона количественных характеристик в слое скачка плотности, при этом средние значения показателей сопоставимы с данными выше- и нижележащих водных слоев. Максимум средних объемов клеток, соизмеримых по величине в поверхностных и придонных водах, характерен слою пикноклина.

В 2010 году общая численность и биомасса бактерий в пелагиали субарктической области изменялась в диапазоне $(0.2–3.9)\cdot10^6$ кл/мл и 3.5–36.4 мгС/м^3 соответственно. Количественные показатели микробных сообществ в поверхностных водах на порядок превышали таковые в придонных и в слое скачка плотности. Средний объем бактериальных клеток увеличивался с глубиной.

В арктической области численность бактериопланктона составила $(0.3–0.8)\cdot10^6$ кл/мл, биомасса – 4.2–10.3 мгС/м^3. Эти показатели в поверхностном слое и пикноклине незначительно превышали величины в придонных водах. Средние объемы клеток в водной толще возрастали с глубиной.

Численность вирусов в пелагиали субарктической области в 2010 г. соответствовала $(3.2–10.2)\cdot10^6$ частиц/мл. Их максимальные концентрации отмечены в поверхностном слое, минимальные – в придонном (табл. 2). Обилие вириопланктона превышало таковое бактериопланктона в 2–18 раз.

Таблица 2

Численность бактерий (N_{bak}), их биомасса (B_{bak}), средний клеточный объем (V_{bak}), концентрация хлорофилла (Chl) и численность вириопланктона (N_{vir}) в водах пелагиали Баренцева моря в августе 2009 и 2010 гг.

Область	Водный слой	N_{bak}, $\cdot 10^6$ кл/мл	B_{bak}, мгС/м^3	V_{bak}, мкм^3	Chl, мг/м^3	N_1, $\cdot 10^6$ частиц/мл
		2009 г.				
Субарктическая	Поверхностный	1.1±0.1	11.5±1.1	0.042±0.003	–	–
		0.5–2.2	5.9–20.9	0.027–0.076		
	Пикноклин	0.6±0.1	7.3±1.2	0.053±0.008	–	–
		0.2–1.4	1.8–13.0	0.030–0.087		
	Придонный	0.3±0.1	3.6±1.0	0.061±0.006	–	–
		0.1–0.5	1.6–7.4	0.042–0.073		
		2010 г.				
	Поверхностный	1.4±0.2	14.0±1.9	0.042±0.005	1.2±0.2	7.0±0.6
		0.6–3.9	8.1–36.4	0.014–0.083	0.6–2.2	3.2–102
	Пикноклин	0.4±0.1	5.5±2.0	0.062±0.005	2.5±0.4	3.8±0.5
		0.2–0.5	3.5–7.4	0.057–0.066	2.1–2.9	3.3–4.3
	Придонный	0.4±0.1	7.1±1.9	0.081±0.014	0.1±0.004	3.2
		0.3–0.4	5.2–9.0	0.067–0.094	0.1–0.1	
		2009 г.				
Арктическая	Поверхностный	0.5±0.1	6.8±0.8	0.075±0.009	–	–
		0.3–0.9	3.4–10.7	0.042–0.121		
	Пикноклин	0.6±0.2	10.0±3.0	0.104±0.035	–	–
		0.1–1.4	2.9–23.5	0.031–0.244		
	Придонный	0.4±0.01	5.8±0.2	0.073±0.003	–	–
		0.4–0.4	5.6–5.9	0.070–0.076		
		2010 г.				
	Поверхностный	0.6±0.1	7.0±0.6	0.049±0.012	0.6±0.1	3.2±0.8
		0.3–0.8	5.5–8.0	0.033–0.083	0.5–2.6	1.7–4.2
	Пикноклин	0.5±0.04	8.1±0.8	0.067±0.009	2.1±0.7	10.0±4.6
		0.4–0.6	6.6–10.3	0.051–0.093	0.2–2.7	1.9–23.0
	Придонный	0.3±0.03	5.5±0.7	0.070±0.004	0.1±0.01	3.2±0.1
		0.3–0.4	4.2–6.9	0.061–0.078	0.1–0.4	3.1–3.3

ПРИМЕЧАНИЕ. Над чертой – среднее значение±ошибка средней, под чертой – минимальная и максимальная величина параметра.

В водах арктической области концентрация вирусов составила $(1.7–23.0)\cdot 10^6$ частиц/мл. Повышенное скопление частиц зафиксировали в слое пикноклина, величина этого параметра в поверхностном и придонном слое была соизмеримой. Отношение численности вирусов к бактериям изменялось от 4 до 39.

Анализ материала свидетельствует, что в летний период бактериоценозы пелагиали центральной части Баренцева моря достигают значительного уровня развития. Повышенным содержанием бактерий характеризуются прогретые поверхностные воды субарктической области, пониженным – более холодные придонные. Снижение обилия с глубиной и с продвижением на север сопровождается увеличением размеров клеток, что подтверждает и тесная отрицательная связь между их численностью и средними объемами ($r_s = –0.64$ в 2009 г. и $r_s = –0.68$ в 2010 г. при $p < 0.05$).

Сравнение количественных характеристик бактериопланктона верхней части фотического слоя (включает глубину залегания пикноклина) показало достоверность различий их значений в субарктической и арктической области, при этом в каждой из них численность и биомасса по годам не различались.

Вирусы были наиболее массовым компонентом микропланктона. Установлена положительная связь вирусов с численностью бактериопланктона ($r_s = 0.55$ при $p < 0.05$) и концентрацией хлорофилла ($r_s = 0.65$ при $p < 0.05$). Данная зависимость указывает на присутствие в вирусном сообществе как бактерио-, так и альгофагов (Spatial …, 1993; Wommack, Colwell, 2000). Концентрация вирусных частиц в поверхностных водах субарктической и арктической области достоверно различалась подобно бактериопланктону.

Таким образом, особенности распределения температуры, солености и массовых компонентов микропланктона (структурная организация сообществ бактерий и вирусов и тип распределения их количественных показателей) позволили обосновать выделение в пелагиали центральной части Баренцева моря двух областей – субарктической и арктической. С увеличением глубины происходит размывание границы областей и их показатели в придонных слоях становятся соизмеримыми.

Автор глубоко признателен Т.И. Широколобовой за консультации и помощь в работе, В.В. Водопьяновой за предоставленный материал по хлорофиллу.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (51) «Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)» (№ ГР АААА-А17-117052310083-5, № в ГЗ 0229-2018-0001).

Литература

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

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и основы формирования биологической продуктивности / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. Л.: Гидрометеоиздат, 1992. 181 с.

Жизнь и условия ее существования в пелагиали Баренцева моря / Отв. ред. В.С. Петров. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1985. 220 с.

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

Ларионов В.В. Общие закономерности пространственно-временной изменчивости фитопланктона Баренцева моря // Планктон морей Западной Арктики. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 65–127.

Макаревич П.Р., Олейник А.А. Концентрация функционирования сообществ фитопланктона в эстуарных бассейнах высоких и умеренных широт // Вестн. Южного науч. центра РАН, 2007. Т. 3, № 2. С. 57–63.

Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Ильин Г.В. Структура и современное функционирование баренцевоморской экосистемы // Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2011. С. 91–116.

Ducklow H.W. Bacterial production and biomass in the oceans // Microbial Ecology in the Oceans. New York: Wiley-Liss, 2000. P. 85–120.

Makarevich P., Druzhkova E., Larionov V. Primary producers of the Barents Sea // Diversity of Ecosystems / Prof. Ali Mahamane (Ed.). Rijeka: Tech, 2012. P. 367–392.

Noble R. T., Fuhrman J. A. Use of SYBR Green I for rapid epifluorescence counts of marine viruses and bacteria // Aquat. Microb. Ecol. 1998. V. 14(2). P. 113–118.

Norland S. The relationship between biomass and volume of bacteria // Handbook of methods in aquatic microbial ecology. Boca Raton: Lewis Publ., 1993. P. 303–308.

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

Spatial distribution of viruses, bacteria and chlorophyll a in neritic, oceanic and estuarine environments / W. P. Cochlan, J. Wikner, G.F. Steward et al. // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1993. V. 92. P. 77–87.

The ecological role of water-column microbes in the sea / F. Azam, T. Fenchel, J.G. Field et al. // Mar. Ecol. Prog. Ser. 1983. V. 10. P. 257–263.

Whitman W.B., Coleman D.C., Wiebe W.J. Prokaryotes: the unseen majority // Proc. Nat. Acad. Sci. USA. 1998. V. 95. P. 6578–6583.

Wommack K.E., Colwell R.R. Virioplankton: viruses in aquatic ecosystems // Microb. Mol. Biol. Rev. 2000. V. 64(1). P. 69–114.

КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ФУКОКСАНТИНА В ЭКСТРАКТАХ ИЗ ФУКУСОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ БАРЕНЦЕВА МОРЯ МЕТОДАМИ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЖИДКОСТНОЙ ХРОМАТОГРАФИИ И СПЕКТРОФОТОМЕТРИИ

А.В. Даурцева
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Морские водоросли являются источниками биологически активных веществ (БАВ), таких как полисахариды, полифенолы и пигменты. Эти БАВ могут применяться в функциональных пищевых продуктах, фармацевтических препаратах и косметических средствах (Pangestuti, Kim, 2011).

Фукоксантин – пигмент желто-оранжевого цвета из группы каротиноидов, относится к ксантофиллам, является основным пигментом бурых водорослей и одним из самых распространенных каротиноидов в природе (Fucoxanthin …, 2005). Фукоксантин составляет более 10 % общего объема производства каротиноидов в природе, особенно в морской среде. В различных соотношениях с хлорофиллами и другими каротиноидами он придает бурым водорослям оттенки желто-зелено-бурого цветов (Bio-functions …, 2009).

Данный природный пигмент проявляет высокую биологическую активность, такую как антиоксидантную, противоопухолевую, противовоспалительную, противотуберкулезную, антидиабетическую, антиангиогенную и нейропротекторную (Extraction …, 2016). В косметологии его используют для отбеливания и улучшения состояния кожи (Heo, Jeon, 2009). Фукоксантин обладает сильным антиокислительным свойством в бескислородных условиях, тогда как другие каротиноиды (ликопин, рутин, астаксантин, зеаксантин) практически не проявляют активность в этих условиях, а большинство тканей при физиологических условиях имеют невысокое содержание кислорода (Функциональная …, 2014). Он влияет на ферменты, участвующие в метаболизме липидов, что приводит к увеличению производства энергии, тем самым способствуя потере массы, как показано в опытах на крысах (Anti-obese …, 2009).

Благодаря этим свойствам фукоксантин вызывает значительный интерес как в качестве компонента нутрицевтиков и фармацевтических препаратов, так и в качестве функциональной добавки в рационы человека, помогающей улучшить полезные свойства таких продуктов как макароны, напитки, торты и спреды (Seaweeds …, 2008; Marine …, 2010; Fucoxanthin …, 2013).

Уникальные свойства фукоксантина обусловлены его характерной химической структурой – наличие малленовой связи и 5,6-моноэпоксида в своей молекуле, что придает ему

бóльшую антиоксидантную активность (Функциональная …, 2014). Также фукоксантин в своей молекуле содержит некоторые функциональные кислородные группы, такие как эпоксидные, гидроксильные, карбонильные и карбоксильные, что делает его более полярным, по сравнению с другими каротинодами, не относящимися к ксантофиллам (Fucoxanthin …, 2011).

Природные пигменты, выделенные из бурых водорослей Баренцева моря, могут стать перспективными компонентами при производстве продуктов питания, косметики и фармпрепаратов. Согласно литературным данным, содержание фукоксантина в бурых водорослях Баренцева моря составляет 0.15–0.3 мг/г сырой массы (Макаров, 2010).

Успешная коммерциализация этих природных ресурсов в значительной степени зависит от использования простой, быстрой, экологически безопасной технологии экстракции, способной выделить целевые соединения экологически чистым, эффективным и недорогим способом. Также необходимо учитывать, что при воздействии светапигментные экстракты могут терять примерно 90 % исходного содержания фукоксантина, в связи с цис- и транс-изомеризацией, окислительным расщеплением и(или) эпоксидированием основной цепи вещества (Fucoxanthin …, 2013). Поэтому актуальным вопросом является разработка способа экстрагирования с применением недорогого и безопасного растворителя, которая обеспечит максимальный выход фукоксантина и позволит не подвергать пигменты излишнему воздействию температуры, света и изменению pH (Characterisation …, 2014). Также важно разработать селективную методику количественного определения фукоксантина с использованием современных физико-химических методов исследования.

Цель данного исследования – разработать способы получения экстрактов из фукусовых водорослей Баренцева моря, содержащих фукоксантин, и методику количественного определения в них фукоксантина методами высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и спектрофотометрии на примере *Fucus vesiculosus* и *F. distichus*.

Материал и методы. В работе использовали фукусовые водоросли *F. vesiculosus* L. и *F. distichus* L. в возрасте 4+…7+ лет. Сбор проводился в августе 2017 г. в бухте Оскара (губа Зеленецкая, Баренцево море). Образцы водорослей были заморожены и хранились при температуре –30 ºС.

Экстракцию пигментов проводили по методике, разработанной сотрудниками ТИБОХ ДВО РАН, которая была модифицирована (Способ …, 2010). Было проведено четыре последовательных экстракции 96 %-м этиловым спиртом длительностью 5, 10, 10 мин и 24 ч при комнатной температуре в соотношении сырье:экстрагент как 1:3.

Содержание фукоксантина в экстрактах определяли на жидкостном хроматографе фирмы Shimadzu LC-20AD Prominence (Япония) с детектором на фотодиодной матрице Shimadzu SPD-M20A Prominence и хроматографической колонкой 250x4.6 мм Supelco C18, 5 мкм (США). В качестве подвижной фазы использовали метанол:ацетонитрил в соотношении 70:30 соответственно. Детектирование осуществляли при 450 нм. Подбор параметров хроматографирования проведен экспериментально.

Параллельно выполняли определение содержания фукоксантина в спиртовых экстрактах водорослей методом спектрофотометрии. Спектры были получены на спектрофотометре Nicolett Evolution 500 фирмы «Spectronic Unicam» в 4-кратной повторности. Количественное определение фукоксантина рассчитывали по формуле (Афанасьева и др., 2015; Тхан, 2017).

Абсолютно сухую массу образцов водорослей определяли согласно общепринятой методике (ГОСТ 26185-84 …, 2004).

Все полученные данные были обработаны в программе Microsoft Excel с использованием математических и статистических формул (Ивантер, Коросов, 2003).

Результаты и обсуждение. Одна из проблем при разработке методики количественного определения для экстрактов из лекарственного растительного сырья состоит в выборе селективного метода, позволяющего определить анализируемое вещество в присутствии других. При разработке способа выделения целевых БАВ из сырья определяющим является выбор экстрагента, а также их физико-химические свойства.

В данной работе было проведено изучение влияния факторов экстракции (соотношение сырье:экстрагент, продолжительность и кратность экстракций) на выход действующих веществ. В качестве оптимального экстрагента выбран 96 %-й этанол, как полярный растворитель, широко применяющийся в фармацевтической промышленности. При изучении условий экстрагирования установлено, что для извлечения фукоксантина наиболее приемлемо проводить несколько кратковременных экстракций – 5, 10, 10 мин, затем одну длительную – 24 ч. При таком подходе извлекается наибольшее количество фукоксантина из образцов водорослей.

В результате получены 4 экстракта, в разной степени обогащенных пигментами и другими веществами, экстрагируемыми этиловым спиртом (полифенолы, стерины). Для выбора метода, наиболее подходящего для количественного определения фукоксантина в комплексных экстрактах из исследуемых водорослей, использовали хроматографический и спектрофотометрический способы анализа – ВЭЖХ и УФ-спектрофотометрия (рис. 1). При выборе аналитической длины волны опирались на сведения литературных источников и данные, полученные в результате УФ-спектрофотометрического и ВЭЖХ исследования спиртового раствора рабочего стандартного образца (РСО) фукоксантина (рис. 1). Максимумы спектров поглощения изучаемых растворов выявлены при 445–455 нм.

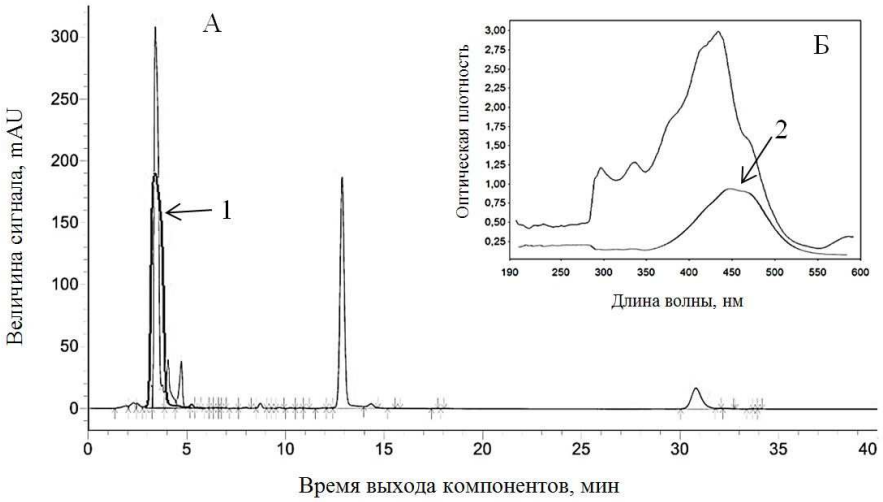


Рис. 1. Хроматограмма (А) и УФ-спектр (Б) 24-часового спиртового экстракта *F. vesiculosus* и РСО фукоксантина (1, 2)

Исследования показали, что значения, полученные методом ВЭЖХ и спектрофотометрии, сопоставимы с литературными данными. Результаты свидетельствуют о том, что спектры поглощения спиртовых извлечений из водорослевого сырья имеют максимум поглощения при длине волны 450±2 нм.

Установлено, что метод спектрофотометрии является недостаточно точным, так как на спектрограмме спиртовых экстрактов присутствует наложение пиков других веществ, детектирование которых осуществляется в схожем диапазоне длин волн, например хлорофиллов и их производных, других каротиноидов водорослей (рис. 2).

Детектирование каротиноидов осуществляется в диапазоне 380–450 нм (Сравнение …, 2016), β-каротин, который является предшественником виолаксантина и фукоксантина, содержащийся в бурых водорослях в небольших количествах (Макаров, 2010), имеет максимум поглощения при 450 нм (Афанасьева и др., 2015), так же как и фукоксантин. При 410 нм максимально поглощают продукты разложения хлорофилла *a* и феофитин. Поэтому метод спектрофотометрии не подходит для количественного определения содержания пигментов в комплексных спиртовых экстрактах из водорослей без дополнительной очистки и выделения пигментов.

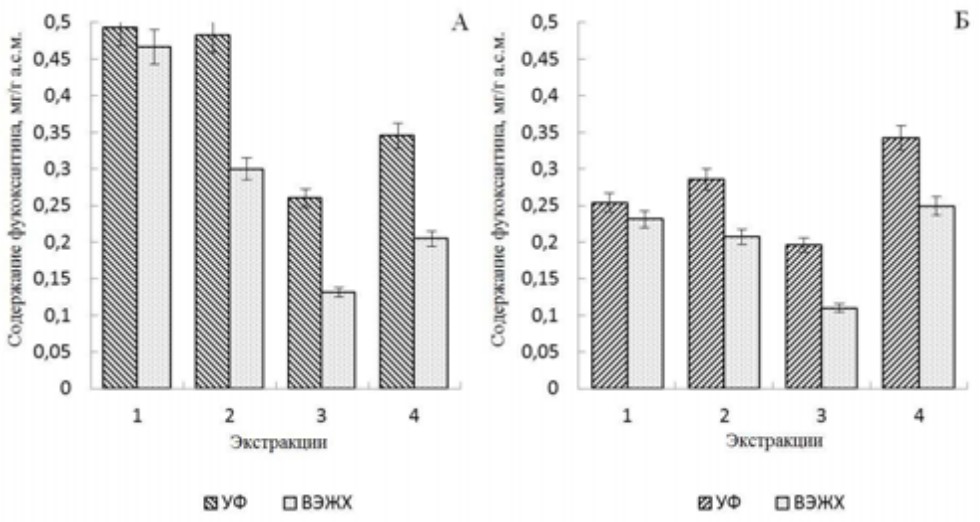


Рис. 2. Количественное содержание фукоксантина в экстрактах (1–4) из *F. vesiculosus* (А) и *F. distichus* (Б)

Селективным методом является хроматографирование ВЭЖХ, так как в данном случае спектры разделены по времени выхода, что дает возможность определять количественные показатели для индивидуальных веществ, в частности для фукоксантина (рис. 1).

Оценка количественного содержания фукоксантина в экстрактах осуществлялась по данным, полученным методом ВЭЖХ. Так, нами отмечено, что по сумме четырех экстракций общее содержание фукоксантина в экстрактах из *F. vesiculosus* на 28 % выше, чем в экстрактах из *F.distichus* (рис. 3).

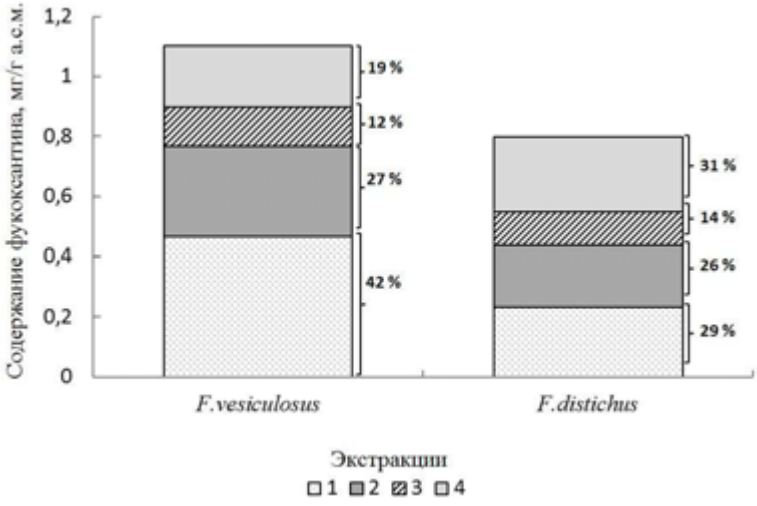


Рис. 3. Суммарное содержание фукоксантина

Наибольшее количество фукоксантина в экстрактах *F. vesiculosus* выделяется с первой экстракцией – 42 % от суммарного количества данного пигмента в сырье. В экстрактах *F. distichus* наибольшее количество фукоксантина определено после первой (29 %) и четвертой (31 %) экстракций (рис. 3).

Следовательно, наибольшее количество фукоксантина извлекается 96 %-м этанолом в течение первых 5 мин экстракции за счет наибольшей разницы концентраций в системе сырье:экстрагент, а также в случае с *F. distichus* в течение 24 ч после трех предыдущих экстракций за счет большей продолжительности процесса.

Выводы. Предложен модифицированный способ дробного экстрагирования фукоксантина, обеспечивающий наиболее полное извлечение этого пигмента из водорослевого сырья.

Разработаны методики для количественного определения фукоксантина в комплексных экстрактах методами ВЭЖХ и УФ-спектрофотометрии путем подбора условий проведения анализа и пробоподготовки.

Установлено, что метод ВЭЖХ для определения содержания фукоксантина в комплексных спиртовых экстрактах из *F. vesiculosus* и *F. distichus* является более селективным, чем метод спектрофотометрии.

Для образцов *F. vesiculosus* суммарное количество фукоксантина, выделенного в результате 4-кратного дробного экстрагирования составляет 1.1 мг/г абс. сухой массы, что выше, чем в экстрактах из *F. distichus*, в которых в сумме содержится 0.8 мг/г абс. сухой массы.

Наибольшее количество фукоксантина в экстрактах из *F. vesiculosus* выделяется во время первой экстракции (5 мин), из *F. distichus* – во время первой (5 мин) и четвертой экстракций (24 ч).

Выражаю благодарность сотрудникам лаборатории альгологии ММБИ КНЦ РАН С.В. Малавенда, И.В. Рыжик, Д.О. Салахову за сбор и предоставление водорослей, а также научному руководителю Е.Д. Облучинской за ценные замечания к работе.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-44-510487-рег_север_а «Природные глубокие эвтектические растворители как основа “зеленых” технологий биологически активных веществ водорослей Баренцева моря»).

Литература

Афанасьева П.В., Куркин В.А., Куркина А.В. Оптимизация подходов к стандартизации фитопрепаратов на основе календулы лекарственной // Изв. Самарского науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 5(3). С. 930–934.

ГОСТ 26185-84. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа. Введен 01.01.85. М.: Изд-во стандартов, 2004. 34 с.

Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию: Учеб. пос. Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2003. 304 с.

Макаров М.В. Адаптация водорослей Баренцева моря к условиям освещения: Автореф. дис. … докт. биол. наук (25.00.28). Мурманск, 2010. 51 с.

Способ переработки бурых водорослей: пат. 2399298, Российская Федерация. № 2009119267/13 / Н.И. Герасименко, Н.Г. Бусарова, Э.П. Козловская; заявл. 21.05.2009; опубл. 20.09.2010, Бюл. № 26. 7 с.

Сравнение радиационной стабильности хлорофилловых фракций в спиртовых и ацетоновых экстрактах водорослей *Laminaria japonica* (Мьянмы) / Т. Тайк, А.А. Ревина, С.С. Лозинина, Э.П. Магомедбеков // Химия растительного сырья. 2016. № 4. С. 89–96.

Тхан Т. Физико-химические свойства и антиокислительная активность каротиноидов и хлорофиллов из морских водорослей: Дис. … канд. хим. наук (02.00.04). М., 2017. 151 с.

Функциональная роль фукоксантина и фитогормонов из морских бурых водорослей / В.И. Рябушко, Л.И. Мусатенко, Л.В. Войтенко и др. // Альгология. 2014. № 24(1). С. 20–33.

Anti-obese property of fucoxanthin is partly mediated by altering lipid-regulating enzymes and uncoupling proteins of visceral adipose tissue in mice / M.N. Woo, S.M. Jeon, Y.C. Shin et al. // Mol. Nutr. Food Res. 2009. № 53. P. 1603–1611.

Bio-functions of marine carotenoids / M. Hosokawa, T. Okada, N. Mikami et al. // Food Science and Biotechnology. 2009. V. 18, № 1. P. 1–11.

Characterisation and stability of pigments extracted from *Sargassum binderi* obtained from Semporna, Sabah / W.H. Yip, S.J. Lim, W.A.W. Mustapha et al. // Sains Malaysiana. 2014. № 43(9). P. 1345–1354.

Extraction, partially purification and study on antioxidant property of fucoxanthin from *Sargassum cinereum* J. Agardh / S. Sivasankara Narayani, S. Saravanan, S. Bharathiaraja, S. Mahendran // J. Chem. Pharm. Res. 2016. № 8(3). P. 610–616.

Fucoxanthin from edible seaweed, *Undaria pinnatifida*, shows antiobesity effect through UCP1 expression in white adipose tissues / H. Maeda, M. Hosokawa, T. Sashima et al. // Biochem. Biophys. Res. Commun. 2005. № 332 P. 392–397.

Fucoxanthin, a marine carotenoid present in brown seaweeds and diatoms: Metabolism and bioactivities relevant to human health / J. Peng, J.P. Yuan, C.F. Wu, J.H. Wang // Mar. Drugs. 2011. № 9. P. 1806–1828.

Fucoxanthin from *Undaria pinnatifida*: Photostability and Coextractive Effects / A. Piovan, R. Seraglia, B. Bresin et al. // Molecules. 2013. № 18. P. 6298–6310.

Heo S.J., Jeon Y.J. Protective effect of fucoxanthin isolated from *Sargassum siliquastrum* on UV-B induced dell damage // J. Photochem. Photobiol. 2009. № 95. P. 101–107.

Marine food derived functional ingredients as potential antioxidants in the food industry: an overview / D.H. Ngo, I. Wijesekara, T.S. Vo et al. // Food Res. Int. 2010. № 44. P. 523–529.

Pangestuti R., Kim S.K. Biological activities and health benefit effects of natural pigments derived from marine algae // J. Functional Foods. 2011. V. 3, № 4. P. 255–266.

Seaweeds as a source of nutritionally beneficial compounds / S.K. Chandini, P. Ganesan, P.V. Suresh, N. Bhaskar // J. Food Sci. Technol. 2008. № 45. P. 1–13.

РЕГИСТРАЦИЯ ДИКИХ МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ В РАЙОНЕ БИОТЕХНИЧЕСКОГО АКВАКОМПЛЕКСА ММБИ В КОЛЬСКОМ ЗАЛИВЕ

А.А. Зайцев, А.Р. Трошичев
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Биотехнический аквакомплекс Мурманского морского биологического института расположен на берегу Кольского залива (г. Полярный), в южной части его северного колена. Работы, проводимые сотрудниками института в условиях аквакомплекса, подразумевают их круглогодичное присутствие. За время существования стационара (с 2007 г.) нами на прилегающей акватории неоднократно отмечались представители морских млекопитающих.

Всего были зарегистрированы представители семейства Phocidae – 3 вида, китообразных Cetacea – 4, семейств Balaenopteridae – 2, Phocoenidae – 1, Delphinidae – 1.

Семейство Phocidae Gray, 1825

Серый тюлень *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791 регистрировался нами достаточно часто, в течение всего года. Некоторые особи подходят очень близко, возможно привлеченные тюленями, содержащимися в наших вольерах. Неоднократно были отмечены животные, устраивающие лежки на северной части о. Сальный (в ряде случаев до 20 особей), расположенного в южной части среднего колена Кольского залива.

Морской заяц *Erignathus barbatus* Erxleben, 1777 – в условиях аквакомплекса был отмечен дважды, при этом в каждом случае животное лежало на вольерах. При приближении человека звери оставались на месте, и сотрудникам полигона требовались усилия для того, чтобы прогнать их, так как они мешали проведению работ (рис. 1).

Гренландский тюлень *Pagophilus groenlandicus* Erxleben, 1777 – одна взрослая особь была отмечена недалеко от вольеров весной 2011 г.

Рис. 1. Морской заяц на аквакомплексе 14 апреля 2017 г.

Семейство Balaenopteridae Gray, 1864

Малый полосатик *Balaenoptera acutorostrata* Lacepede, 1804 по литературным данным является самым часто встречаемым представителем усатых китов в Кольском заливе (Горяев, 1997). Нами малые полосатики встречались неоднократно, в основном в осенний период недалеко от о. Шуринов на фарватере, и один раз вид был отмечен вблизи о. Сальный.

Горбач *Megaptera novaeangliae* Borowski, 1781 был зарегистрирован в районе о. Шуринов 1 марта 2016 г. (рис. 2).

Рис. 2. Кит горбач вблизи о. Шуринов

Семейство Phocoenidae Gray, 1825

Обыкновенная морская свинья *Phocoena phocoena* Linnaeus, 1758 отмечалась нами только на расстоянии от вольеров, как правило, в группах по 6 особей и более. В силу небольших размеров данных животных увидеть на открытой акватории достаточно сложно, особенно при волнении.

Семейство Delphinidae Gray, 1821

Беломордый дельфин *Lagenorhynchus albirostris* Gray, 1846 встречен нами впервые 15 сентября 2011 г. Животные подошли достаточно близко к вольерному комплексу (рис. 3), всего на акватории было зафиксировано 11 особей, из них три-четыре зверя плавали у вольеров. В последующие годы встречи данных животных в прилегающей акватории повторялись неоднократно, иногда вблизи вольерного комплекса. Данный вид является массовым для Баренцева моря (Лукин, Клепиковский, 2012), но при этом сведения о заходах в Кольский залив отсутствуют.

Рис. 3. Беломордые дельфины на аквакомплексе ММБИ

Представленные сведения во многом совпадают с данными других авторов (Горяев, 1997 и др.) за исключением некоторых аспектов. Наши наблюдения показывают, что серые тюлени встречаются достаточно часто в Кольском заливе, хотя в упомянутых выше работах характеризуются как единичные встречи. В то же время нами не были зафиксированы такие виды как кольчатая нерпа или обыкновенный тюлень, но при этом был встречен вид *L. albirostris*, который ранее в Кольском заливе не регистрировался.

Литература

Горяев Ю.И. Морские млекопитающие // Кольский залив: океанография, биология, экосистемы, поллютанты. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. С. 155–160.

Лукин Н.Н., Клепиковский Р.Н. Распределение и оценка численности морских млекопитающих в восточной части Баренцева моря в августе–сентябре 2011 г. // Морские млекопитающие Голарктики: Сб. науч. тр. по матер. VII междунар. конф., Суздаль, 24–28 сентября 2012 г. М., 2012. Т. 2. С. 31–33.

РАЗРАБОТКА КОМПЬЮТЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОСТРОЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ОЦЕНОК ЗАТОКА АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В БАРЕНЦЕВО МОРЕ ПО ТЕРМОХАЛИННЫМ ДАННЫМ РАЗРЕЗА «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»

И.Ф. Запорожцев
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Воды Атлантики вносят существенный вклад в изменение климата Баренц-региона. Морской экосистемный мониторинг, проводимый отечественными и зарубежными учеными, позволяет оценивать влияние этих вод на различные компоненты биоты (Матишов и др., 1998). Однако количественная мера поступающих теплых водных масс как объемная характеристика не может быть получена по данным дистанционного (спутникового) зондирования, а прямые термохалинные съемки во время научных экспедиций имеют недостаточное покрытие как по пространству, так и по времени. Компромиссом для понимания климатической изменчивости является моделирование затоков по имеющимся данным измерений на стандартных вертикальных океанографических разрезах, таких как «Кольский меридиан».

Сбор гидрологических данных на разрезе «Кольский меридиан» (33°30’ в. д.), проводится уже более 100 лет (с 1900 г., с перерывами 1907–1920 и 1942–1944 гг.) (Гидрометеорология …, 1990). Ранее по данным нескольких экспедиций сотрудники ММБИ КНЦ РАН уже проводили оценку мощности затока атлантических вод на этом разрезе при помощи расчета площади сечения, ограниченного выбранной изотермой, изохалиной (Matishov et al., 2009).

Данная работа является продолжением исследований (Запорожцев, Моисеев, 2017). Здесь используются сведения за временной промежуток с 1970 по 2017 гг. Основной источник данных – World Ocean Database (https://www.nodc.noaa.gov/OC5/SELECT/dbsearch/dbsearch.html), а также еще не опубликованные в атласах и международных базах результаты экспедиций ММБИ КНЦ РАН, в частности, последних, выполненных в июле и ноябре 2017 г. Для более информативной интерпретации строятся межгодовые оценки изменения затока для сезонов: предвесенья, весны, лета, осени, предзимья, зимы (в соответствии с индексами атмосферной циркуляции по Дзердзеевскому (http://www.atmospheric-circulation.ru/datas/). Батиметрия для разреза в формате netCDF взята с интернет-портала GEBCO (http://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/).

Предлагаемая технология автоматизированной обработки данных для вычисления модельной площади включает решение следующих задач:

1) получить файл батиметрии, сформировать точки вертикального профиля дна;

2) построить файл формата BLN, содержащий бланкирующий полигон (замкнутый профиль дна), используемый при восстановлении значений в узлах равномерной сетки;

3) получить архивные данные об экспедициях в формате CSV в окрестности разреза;

4) сгруппировать записи по годам и сезонам из CSV в виде файлов TXT, сделать визуализацию обеспеченности данными по сезонам, годам и глубинам; дальнейшие действия выполняются отдельно для каждого сезона и года;

5) сформировать файл XLS с записями только о географических координатах, глубине и значении термохалинной характеристики (температуры или солености) из построенного TXT;

6) создать грид-файл с результатами интерполяции в узлах равномерной сетки по данным из файла XLS с учетом бланкирующего многоугольника из BLN;

7) вычислить суммарную площадь фигур, ограниченных выбранной изолинией, профилем дна и поверхностью по данным из GRD.

Для решения перечисленных задач используются следующие средства программирования: среда Matlab (1–2), язык Java и среда Eclipse (4–5), язык VBA и среда Surfer Scripter (6–7). Выходные данные представляют собой изображения, иллюстрирующие обеспеченность данными по сезонам, годам, глубине, и гистограммы, показывающие распределение целевой характеристики (площади сечения, ограниченного выбранной изотермой, изохалиной) в зависимости от года и сезона.

В качестве результата применения разработанной компьютерной технологии можно предъявить массив значений, изображенных на рис. 1.

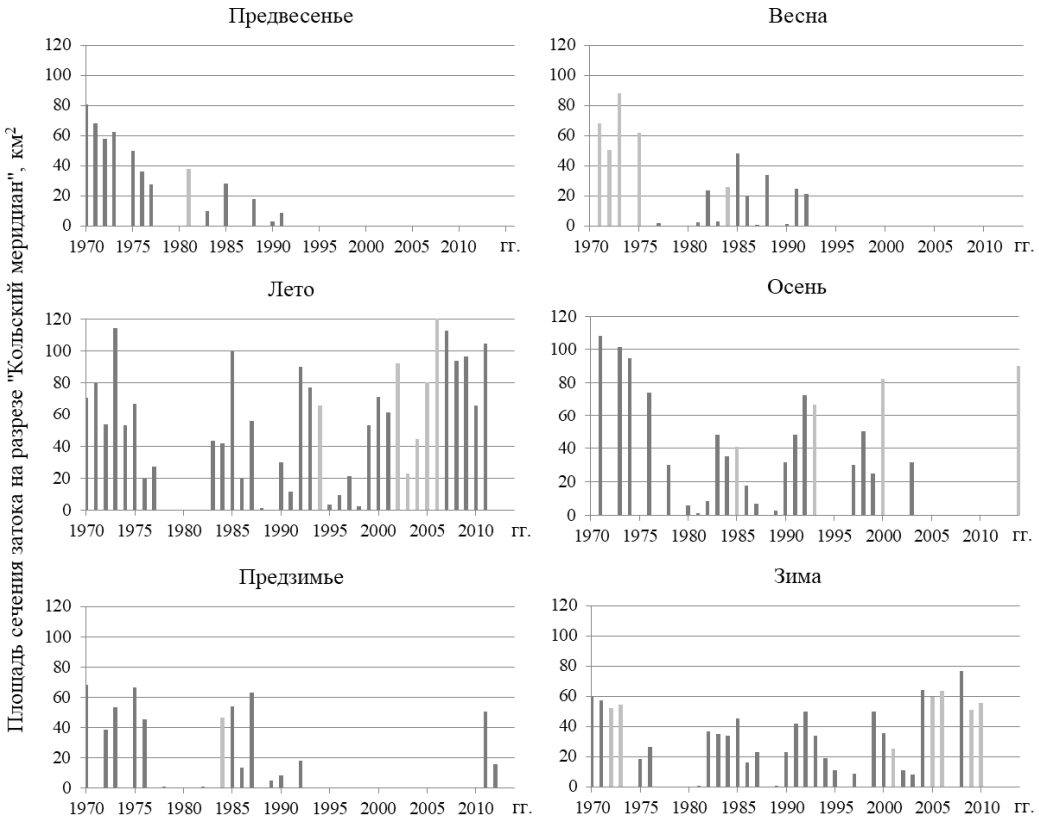


Рис. 1. Оценка площади сечения затока на разрезе «Кольский меридиан» по годам и сезонам

Гистограммы показывают оценки площади сечения затока на разрезе в зависимости от сезона и года (1970–2014 гг.). Столбец более темного цвета означает, что данные достаточно надежные, светлее – менее надежные, отсутствие столбца показывает, что данных нет или слишком мало. Надежность массива данных измерений, по которым строится оценка площади, выполнялась экспертно по изображениям, аналогичным тому, что представлено на рис. 2 (обеспеченность данными по глубинам – по вертикали, в метрах – и широтам на разрезе для сезона “Зима”, 1991 г.).

Также экспертно, исходя из обеспеченности, были определены границы области (по широтам), в рамках которой выполнялась интерполяция (кригинг): предвесенье и весна – отрезок [69.50, 74.55], лето – [69.50, 76.55], осень – [71.45, 76.55], предзимье – [69.50, 74.55], зима – [70.45, 74.25]. По диаграммам для осени, зимы и лета идентифицируется квазипериодический процесс с циклами длиной примерно 7 лет (наиболее выражены локальные максимумы оценки затока 1985, 1992, 1999 или 2000, 2007 гг.). Анализ и интерпретация результатов продолжается.

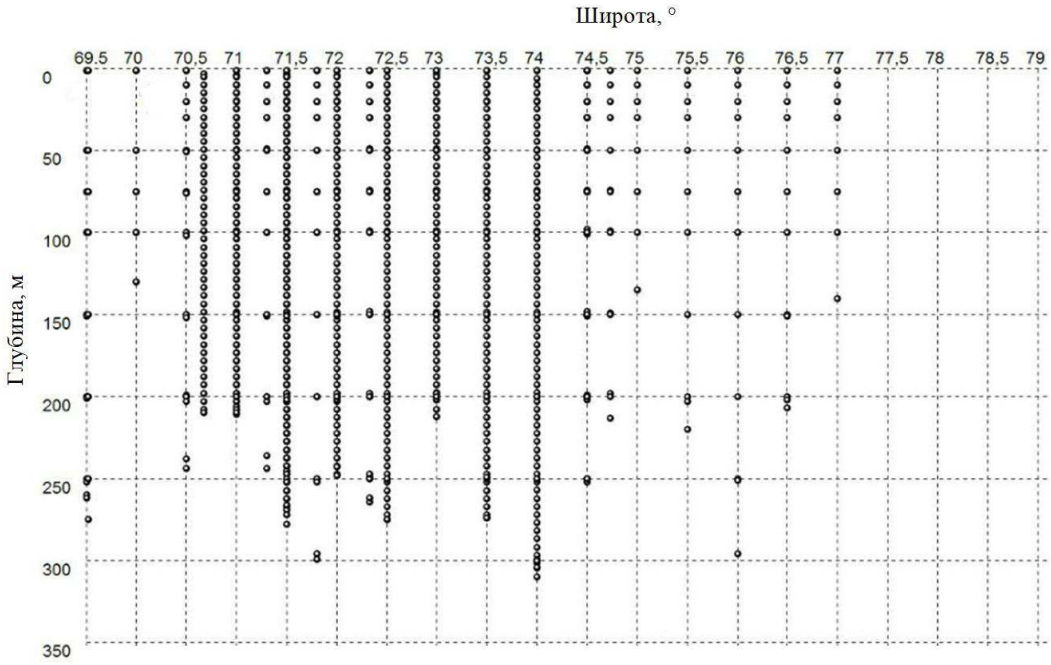


Рис. 2. Обеспеченность данными на разрезе «Кольский меридиан» (зима, 1991 г.)

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-14-01268 «Биология арктического планктона в зоне полярного фронта»).

Литература

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.

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

Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V. Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs // Oceanology. 2009. V. 51, № 3. P. 321–340.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРИМОСТИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ГИДРОБИОНТОВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫХ РАСТВОРИТЕЛЯХ

Л.В. Захарова[1], Е.Д. Облучинская[2]
[1]Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск
[2]Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. Возрастающее влияние человека на окружающую среду заставляет искать новые экологически чистые способы получения биологически активных веществ из растительного сырья. Одним из таких альтернативных способов является «зеленая экстракция» как перспективный процесс в области рационального природопользования (Natural …, 2016). Подходы для «зеленой экстракции» основаны на поиске и разработке процессов экстракции, обеспечивающих оптимальное использование растительного сырья, растворителей и энергозатрат (Chemat et al., 2012). Кроме того, одним из приоритетов экологического природополь-

зования является снижение использования нефтехимических растворителей и органических соединений, поскольку большинство этих растворителей являются легковоспламеняющимися, летучими и часто токсичными. В качестве новых экстрагентов для зеленой экстракции предложены несколько типов растворителей, включая природные глубокие эвтектические растворители (ПГЭР) (Natura …, 2013). Представляя новое поколение жидких солей, ПГЭР, как правило, основаны на смесях недорогих и легкодоступных компонентов: нетоксичных солей четвертичного аммония (например, холина хлорида) и природных незаряженных доноров водородной связи (например, амины, сахара, спирты и карбоновые кислоты). Что касается экологических и экономических выгод, то ПГЭР обладают множеством преимуществ, включая незначительные затраты, легкодоступные компоненты, простую подготовку, низкий уровень токсичности и устойчивость. Эти растворители обладают очень хорошими физико-химическими свойствами: незначительная летучесть, жидкое агрегатное состояние даже при температурах значительно ниже 0 ^{o}C, регулируемая вязкость, широкий полярный диапазон и высокая степень солюбилизации для разных соединений. Более того, ПГЭР можно рассматривать как «дизайнерские растворители» из-за их многочисленных структурных возможностей и потенциала для разработки их физико-химических свойств в биотехнологии. С момента своего появления ПГЭР привлекли внимание как экстрагенты в различных научных и технологических областях. Кроме того, ПГЭР – это класс растворителей на основе соединений, которые безопасны для потребления человеком, и в связи с этим обладающих широкими возможностями их применения в качестве систем доставки лекарств, адъювантов для фармацевтических, косметических и пищевых продуктов (Green …, 2015).

Извлечение биологически активных веществ (БАВ) из гидробионтов на сегодня является особо актуальной задачей биотехнологии и рационального природопользования. Поиск новых экстрагентов-растворителей из числа ПГЭР для разных классов БАВ гидробиотнов может базироваться на оценке их растворимости, поскольку сведений об извлекающей способности ПГЭР крайне мало. В данной работе исследована растворимость биологически активных веществ гидробионтов Баренцева моря в ПГЭР, приготовленных на основе натуральных компонентов в целях выявления наиболее подходящих растворителей, которые могут служить в качестве альтернативных безопасных экстрагентов БАВ.

Материал и методы. Флороглюцин (Merck, кат. № 203-611-2) – это органическое соединение, производное бензола, один из трех изомеров трехатомных фенолов, который характеризуется симметричным рядовым размещением гидроксилов, а также является компонентом флоротанинов бурых водорослей. Флоротанины (полифенолы бурых водорослей) представляют собой полифенольные соединения, встречающиеся исключительно в водорослях-макрофитах (Bhakuni, Rawat, 2005). Фукоидан получен по разработанной в ММБИ КНЦ РАН технологии (Влияние …, 2015) из слоевищ фукуса пузырчатого *Fucus vesiculosus* L. Баренцева моря. Альгинат натрия (Sigma–Aldrich, кат. № 9005-38-3) является солью альгиновой кислоты – вязкого полисахарида, который извлекается из бурых водорослей. Хитозан (ООО «Биомарин», Россия) – это полисахарид, получаемый из хитина панцирей красноногих крабов или из низших грибов. Пролин (Реахим, Россия) – это гетероциклическая аминокислота, входит в состав белков всех организмов, представляет собой бесцветные, легко растворимые в воде кристаллы.

В фармакопейном анализе понятие растворимости приводится в качестве характеристики приблизительной растворимости фармацевтических субстанций и вспомогательных веществ (далее – веществ) при фиксированной температуре. Испытание, если нет других указаний в фармакопейной статье, следует проводить при температуре 20±2 ^{o}C (Влияние …, 2015).

Растворимость вещества (в пересчете на 1 г вещества) выражают в следующих терминах (табл. 1).

Таблица 1

Обозначения растворимости фармацевтических субстанций вспомогательных веществ

Характеристика	Примерное количество растворителя, необходимое для растворения 1 г вещества
Очень легко растворимо	До 1 мл включительно
Легко растворимо	От 1 до 10 мл включительно
Растворимо	От 10 до 30 мл включительно
Умеренно растворимо	От 30 до 100 мл включительно
Мало растворимо	От 100 до 1000 мл включительно
Очень мало растворимо	От 1000 до 10000 мл включительно
Практически не растворимо	Более 10000 мл

Вещество считают растворившимся, если в растворе при наблюдении в проходящем свете не обнаруживаются частицы вещества.

К навеске вещества прибавляют отмеренное количество растворителя и непрерывно встряхивают в течение 10 мин при (20±2) ^{o}C.

Для медленно растворимых веществ, требующих для своего растворения более 10 мин, допускается нагревание на водяной бане до 30 ^{o}C. Наблюдение производят после охлаждения раствора до комнатной температуры и энергичного встряхивания в течение 1–2 мин (Государственная …, 2015).

Для приготовления экологически чистых растворителей использовали компоненты, которые смешивали в определенных молярных соотношениях:

молочная кислота + холин хлорид – 1:1,
молочная кислота + холин хлорид – 2;1,
молочная кислота + холин хлорид – 3:1,
молочная кислота + глюкоза + вода – 5:1:3,
бетаин + яблочная кислота + вода – 1:1:2,
бетаин + яблочная кислота + глюкоза + вода – 1:1:1:5,
холин хлорид + яблочная кислота + вода – 1:1:2,
холин хлорид + яблочная кислота + вода – 1.5:1:1.

Компоненты смеси, взвешенные с точностью до 0.01 г, нагревали на водяной бане при перемешивании в течение 60 мин при 60 ^{o}C. После охлаждения получали жидкие прозрачные растворители.

Результаты и обсуждение. Для оценки растворимости некоторых наиболее широко используемых БАВ водорослей, а также хитозана – продукта переработки панциря камчатского краба, применяли методику, описанную выше (фармакопейный метод). Результаты приведены в табл. 2.

По результатам исследования растворимости в экологически чистых растворителях установлено, что фукоидан очень мало растворим в 40 %-м водном растворе молочной кислоты и холин хлорида в соотношении 1:1, в 30 %-х водных растворах в соотношении 2:1 и 3:1; в 30 %-м водном растворе молочной кислоты, глюкозы, воды в соотношении 5:1:3; в 40 %-м водном растворе бетаина, яблочной кислоты, воды в соотношении 1:1:2; в 50 %-м водном растворе бетаина, яблочной кислоты, глюкозы, воды в соотношении 1:1:1:5; в 50 %-х водных растворах холин хлорида, яблочной кислоты, воды в соотношениях 1:1:2 и 1.5:1:1.

Флороглюцин очень мало растворим в 20 %-х водных растворах молочной кислоты и холин хлорида в соотношениях 1:1 и 2:1, в 30 %-м водном растворе в соотношении 3:1; в 30 %-м водном растворе молочной кислоты, глюкозы, воды в соотношении 5:1:3; в 30 %-м водном растворе бетаина, яблочной кислоты, воды в соотношении 1:1:2; в 30 %-м водных растворах холин хлорида, яблочной кислоты, воды в соотношениях 1:1:2 и 1.5:1:1.

Таблица 2

Определение растворимости БАВ водорослей в экологически чистых растворителях или их водных растворах

Растворитель	Фукоидан	Флороглюцин	Пролин	Альгинат	Хитозан
LA:CC (1:1)	Очень мало растворим в 40 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 20 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 20 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе
LA:CC (2:1)	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 20 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 20 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе
LA:CC (3:1)	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 20 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе
LA:G:W (5:1:3)	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Мало растворим	Не растворяется в 80 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе
B:MA:W (1:1:2)	Очень мало растворим в 40 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	–	–	–
B:MA:W (1:1:1:5)	Очень мало растворим в 50 %-м водном растворе	–	–	–	–
CC:MA:W (1:1:2)	Очень мало растворим в 50 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Мало растворим	Не растворяется в 80 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе
CC:MA:W (1.5:1:1)	Очень мало растворим в 50 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 30 %-м водном растворе	Очень мало растворим в 20 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе	Не растворяется в 80 %-м водном растворе

Пролин очень мало растворим в 20 %-х водных растворах молочной кислоты и холин хлорида в соотношениях 1:1, 2:1, 3:1, в 20 %-м водном растворе холин хлорида, яблочной кислоты, воды в соотношении 1.5:1:1; мало растворим в растворах молочной кислоты, глюкозы воды в соотношении 5:1:3 и в растворе холин хлорида, яблочной кислоты, воды в соотношении 1:1:2.

Альгинат и хитозан не растворяются даже в 80 %-х водных растворах всех исследуемых растворителей.

Таким образом, для извлечения всех исследуемых БАВ не подходят чистые (безводные) растворы растворителей, однако при возрастании количества воды их растворимость увеличивается. Так, фукоидан хорошо растворим в 40 %-х и выше водных растворах молочной кислоты и холин хлорида в соотношении 2:1 и 3:1 и в 40 %-м водном растворе молочной кислоты, глюкозы, воды в соотношении 5:1:3. Флороглюцин растворим в 30 %-х водных растворах молочной кислоты и холин хлорида в соотношениях 1:1 и 2:1. Пролин растворяется в растворах молочной кислоты, глюкозы воды в соотношении 5:1:3 и холин хлорида, яблочной кислоты, воды в соотношении 1:1:2.

Заключение. В результате исследований проведена оценка растворимости БАВ гидробионтов Баренцева моря потенциально высокого практического значения в экологически чистых растворителях. Установлено, что выбранные ПГЭР без добавления воды могут быть потенциальными экстрагентами для аминокислот, в то время как для остальных БАВ новые растворители можно применять только в виде водных растворов.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 17-44-510487-рег_север_а «Природные глубокие эвтектические растворители как основа “зеленых” технологий биологически активных веществ водорослей Баренцева моря»).

Литература

Влияние ультразвуковой обработки на химический состав и антикоагулянтные свойства сухого экстракта фукуса / Е.Д. Облучинская, М.Н. Макарова, О.Н. Пожарицкая, А.Н. Шиков // Хим.-фарм. журн. 2015. Т. 49, № 3. С. 35–38.

Государственная фармакопея. 13-е изд. ОФС.1.2.1.0005.15 Растворимость [Электронный ресурс]. М.: Медицина, 2015. URL: http://193.232.7.120/feml/clinical_ref/pharmacopoeia_1/HTML/#530.

Bhakuni D.S., Rawat D.S. Bioactive marine natural products. New York: Springer, 2005. 400 p.

Chemat F., Abert-Vian M., Cravotto G. Green extraction of natural products: concept and principles // International J. Molecular Sci. 2012. V. 13. P. 8615–8627.

Green solvents for green technologies / M. Cvjetko Bubalo, S. Vidovic, I. Radojcic Redovnikovic, S. Jokic // J. Chemical Technology and Biotechnology. 2015. V. 90. P. 1631–1639.

Natura deep eutectic solvents as new potential media for green technology / Y. Dai, van J. Spronsen, G.-J. Witkamp et al. // Analytica Chimica Acta. 2013. V. 766. P. 61–68.

Natural deep eutectic solvents as beneficial extractants for enhancement of plant extracts bioactivity / K. Radosevic, N. Curko, V.G. Srcek et al. // LWT – Food Science and Technology. 2016. V. 73. P. 45–51.

СВОБОДНЫЕ АМИНОКИСЛОТЫ В РЕЦЕПТАКУЛАХ *FUCUS VESICULOSUS* ВЕСНОЙ

М.П. Клиндух
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Состав и содержание различных веществ в талломе водоросли обусловлено внешними факторами среды и внутренними особенностями функционирования организма. В определенных участках таллома, выполняющих различные функции, синтез и использование химических веществ происходит с разной скоростью. Также имеет место направленное перераспределение некоторых мономерных соединений внутри талломов различных видов водорослей (Schmitz et al., 1972; Schmitz, Srivastava, 1975, 1979; Buggeln, Lucken, 1979). Все это может оказывать влияние на содержание веществ в разных участках таллома.

Аминокислоты играют важную роль в процессе роста и развития любого организма, являясь одним из основных строительных компонентов клеточных структур и полимерных соединений. Помимо этого некоторые свободные аминокислоты и их амиды могут накапливаться в растительных организмах в качестве резервного источника азота (Wheeler, Stephens, 1977; Schmitz, Srivastava, 1979; Wheeler, North, 1980). Согласно проведенным ранее исследованиям, на содержание свободных аминокислот в водорослях влияют многие факторы: видовая принадлежность, сезон сбора, стадия развития растения, возраст водоросли, район располо-

жения исследуемого участка таллома (Citharel, Villereit, 1965; Клочкова, Березовская, 1997; Клиндух, 2012, 2016, 2017). Способность организмов размножаться и давать плодовитое потомство является одним из условий существования вида и его распространения. Несмотря на важность репродуктивных структур для водорослей, работ, посвященных изменению в них биохимического состава, проведено немного (Подкорытова, 1980; Thomas, Subbaramaiah, 1991; Конева, Аминина, 2013). Полученные в проведенной работе данные позволят оценить различия в содержании и соотношении свободных аминокислот в рецептакулах бурой водоросли *Fucus vesiculosus*, произрастающей в разных районах южного побережья Баренцева моря.

Цель данной работы – провести сравнительное исследование содержания свободных аминокислот в рецептакулах бурой водоросли *Fucus vesiculosus* из разных биотопов Мурманского берега Баренцева моря.

Материал и методы. Материал для исследования был собран в апреле 2014 г. в экспедиции ММБИ по губам и заливам Кольского полуострова. Районы сбора проб указаны на рис. 1. Собирали водоросли *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753 (Phaeophyceae: Fucales) в возрасте 5+…7+ лет. Для определения содержания свободных аминокислот у растений использовали рецептакулы.

Водоросли очищали от эпифитов, минеральных частиц и убирали лишнюю влагу фильтровальной бумагой. Используемую для исследования часть таллома водорослей измельчали и фиксировали ацетоном. Среднюю пробу готовили с использованием рецептакул от 4–5 различных талломов. Экстракцию свободных аминокислот проводили 70 %-м этиловым спиртом. Очистку экстракта от посторонних веществ осуществляли с помощью ионообменной смолы КУ-2-8. Очищенный экстракт, содержащий свободные аминокислоты, концентрировали и использовали для анализа содержания свободных аминокислот.

Определение аминокислот проводили на жидкостном хроматографе фирмы Shimadzu LC-20AD Prominence (Япония) с детектором на фотодиодной матрице Shimadzu SPD-M20A Prominence и хроматографической колонкой 250x4.6 мм Supelco C18, 5 мкм (США) по методике, описанной ранее (Клиндух, 2015). Детектирование осуществляли при длине волны 254 нм.

Определение содержания свободных аминокислот проводили в 4-кратной повторности. Результаты были представлены как среднее значение со стандартным отклонением (±SD). Обработка данных и вычисления выполнены в программе Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждение. Для большинства водорослей в условиях Мурманского берега Баренцева моря весна является периодом интенсивного вегетативного роста. В это время не происходит размножения водорослей. Сами же органы размножения у некоторых видов с длительным развитием встречаются весной (Кузнецов, Шошина, 2003). К таким видам относится и бурая водоросль *F. vesiculosus*. Характерной чертой данного вида является параллельное интенсивное весеннее развитие как вегетативных, так и репродуктивных структур, которые разделены в пространстве слоевища (Кузнецов, Шошина, 2003).

Закладка рецептакул у данного вида начинается осенью, в январе завершается их развитие и формируются гаметангии, массовый выход гамет происходит в июне. Рецептакулы на талломах *F. vesiculosus* могут встречаться до августа–сентября (Промысловые …, 1998).

Рис. 1. Районы сбора материала:
1 – бухта Девкина Заводь (губа Печенга), 2 – губа Ура, 3 – район Абрам-мыса (Кольский залив), 4 – губа Белокаменная (Кольский залив), 5 – бухта Корабельная (губа Териберская), 6 – губа Лодейная (губа Териберская), 7 – бухта Оскара (губа Зеленецкая)

В составе свободных аминокислот рецептакул *F. vesiculosus* были определены 20 аминокислот (аланин, аргинин, аспарагиновая кислота, валин, гидроксипролин, гистидин, глицин, глутаминовая кислота, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, пролин, серин, треонин, тирозин, триптофан, фенилаланин, цистин с цистеином), 8 из которых относятся к незаменимым в рационе человека. В наибольшем количестве содержались аланин, аспарагиновая и глутаминовая кислоты, что характерно как для водорослей, так и для высших растений. Их суммарное содержание оказалось достаточно высоким и варьировало от 62.4 до 86.7 % суммы свободных аминокислот в зависимости от места сбора водорослей. Наибольшее их количество выявлено в рецептакулах у водорослей, собранных в губе Ура, в районе Абрам-мыса, в губе Белокаменная и бухте Корабельная (9.8–12.0 мг/г сухой массы), наименьшее – в рецептакулах водорослей из бухты Девкина Заводь, губы Лодейная и бухты Оскара (3.2–5.2 мг/г сухой массы). В апексах и средних частях таллома для образцов водорослей, изученных ранее, содержание суммы этих трех аминокислот варьировало в пределах 2.0–8.2 мг/г сухой массы и 1.3–8.4 мг/г сухой массы соответственно (что составляло от 56.4 до 84.8 % суммы свободных аминокислот в этих частях таллома) (Клиндух, 2017). Содержание аминокислоты серина в рецептакулах *F. vesiculosus* также было относительно высоким (2.8–5.7 % суммы свободных аминокислот) в отличие от аргинина, гидроксипролина, гистидина, глицина, пролина, тирозина и цистина с цистеином (рис. 2). В рецептакулах водорослей из губы Лодейная относительно высоким оказалось содержание пролина (4.4 % суммы свободных аминокислот), а в рецептакулах *F. vesiculosus* из бухты Девкина Заводь относительно высоким оказалось содержание цистина с цистеином (12.1 % суммы свободных аминокислот). Содержание незаменимых аминокислот оказалось низким в рецептакулах *F. vesiculosus* из всех районов сбора водорослей и не превышало 0.81 мг/г сухой массы.

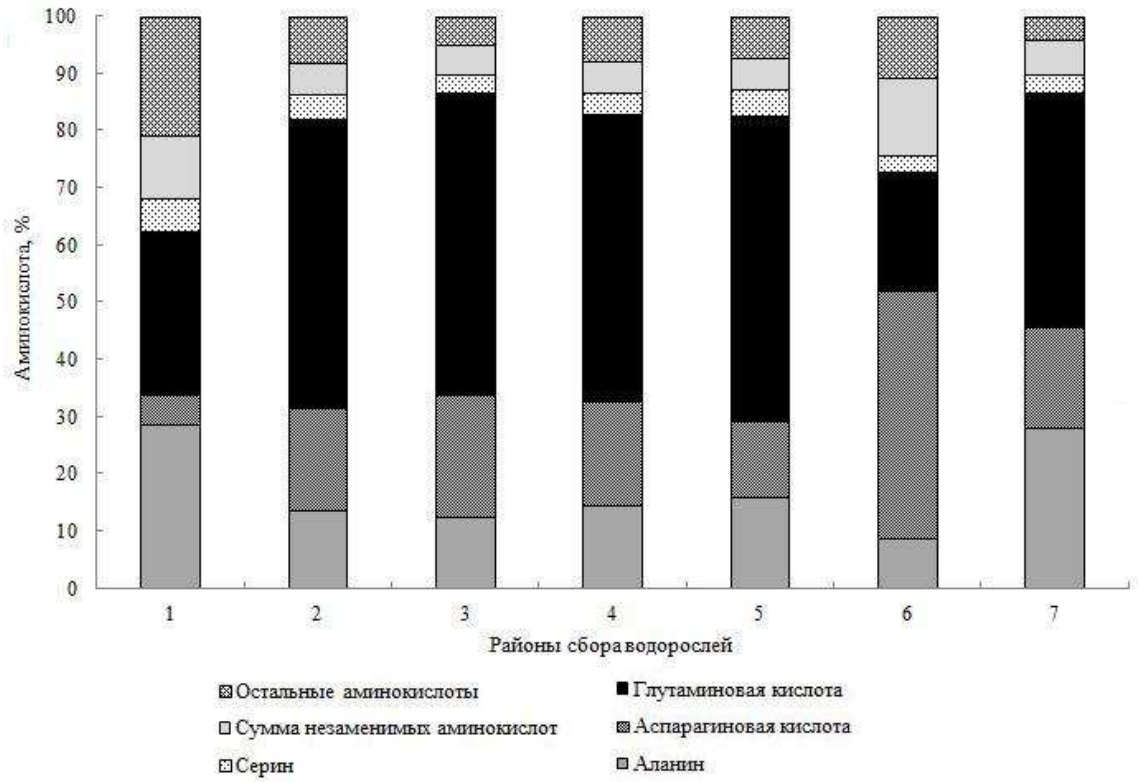


Рис. 2. Соотношение свободных аминокислот в рецептакулах *F. vesiculosus*:
1 – бухта Девкина Заводь,2 – губа Ура, 3 – район Абрам-мыса, 4 – губа Белокаменная, 5 – бухта Корабельная, 6 – губа Лодейная, 7 – бухта Оскара

Суммарное содержание всех 20 свободных аминокислот в рецептакулах было также разным в зависимости от района сбора водорослей. Для водорослей, собранных в губе Ура, в районе Абрам-мыса, губе Белокаменная и бухте Корабельная, было характерно высокое содержание свободных аминокислот в рецептакулах – от 11.97 до 14.46 мг/г сухой массы. Тогда как у фукусов из бухт Девкина Заводь, Оскара и губы Лодейная рецептакулы содержали не более 6.94 мг/г сухой массы, что в 1.7–3.3 раза меньше, чем в рецептакулах водорослей из других районов сбора (таблица).

Суммарное содержание свободных аминокислот в разных частях таллома *F. vesiculosus*, мг/г сухой массы

Район сбора водорослей	Апикальная часть таллома*	Средняя часть таллома*	Рецептакулы
Бухта Девкина заводь	8.14±1.32	5.61±0.46	6.94±0.66
Губа Ура	7.70±0.98	2.24±0.61	11.97±1.27
Район Абрам-мыса	9.94±0.96	4.81±0.37	13.12±1.32
Губа Белокаменная	6.70±1.26	3.25±0.21	14.46±1.39
Бухта Корабельная	3.48±0.52	9.94±0.92	13.19±1.32
Губа Лодейная	4.29±0.73	7.95±1.30	4.44±0.27
Бухта Оскара	4.61±1.30	7.60±1.13	6.00±0.48

*По: Клиндух, 2017.

При сравнении суммарного содержания свободных аминокислот в апексах и рецептакулах было выявлено, что в последних суммарное содержание свободных аминокислот больше (в 1.3–3.8 раза для водорослей из губы Ура, района Абрам-мыса, губы Белокаменная и бухты Корабельная) либо такое же (как для водорослей из бухты Девкина Заводь, губы Лодейная и бухты Оскара), как и в апексах. По сравнению со средней частью таллома водоросли рецептакулы *F. vesiculosus* в большинстве случаев содержат больше (в 1.2–5.3 раза для водорослей из бухты Девкина Заводь, губы Ура, района Абрам-мыса, губы Белокаменная и бухты Корабельная) свободных аминокислот, за исключением водорослей из губы Лодейная и бухты Оскара. В этих районах сумма свободных аминокислот в средней части таллома оказалось равной (для водорослей из бухты Оскара) либо больше (в 1.4–2.2 раза для водорослей из губы Лодейная), чем в рецептакулах (таблица).

В исследованных нами пробах бурой водоросли *F. vesiculosus* было обнаружено 8 незаменимых аминокислот: валин, изолейцин, лейцин, лизин, метионин, треонин, триптофан, фенилаланин. Содержание данной группы свободных аминокислот оказалось невелико – от 0.35 до 0.81 % суммарного содержания свободных аминокислот (рис. 2). При сравнении содержания незаменимых аминокислот оказалось, что в репродуктивных структурах их содержание больше (в 1.3–2.3 раза), чем в апексах, за исключением растений из бухт Девкина Заводь и Оскара. По сравнению со средней частью таллома в рецептакулах *F. vesiculosus*, собранных в бухте Девкина Заводь, губе Ура, в районе Абрам-мыса и губе Белокаменная, содержалось больше незаменимых свободных аминокислот (в 1.6–3.9 раза). А для фукусов из бухт Корабельная, Оскара и губы Лодейная содержание незаменимых аминокислот в рецептакулах либо не отличалось от их содержания в средней части таллома (для водорослей из бухты Корабельная и губы Лодейная), либо оказалось в 2.2 раза ниже (для водорослей из бухты Оскара). Среди обнаруженных незаменимых аминокислот в наибольшем количестве содержались фенилаланин (0.04–0.33 мг/г сухой массы), треонин (0.14–0.30 мг/г сухой массы) и валин (0.03–0.13 мг/г сухой массы).

Из данных, представленных на рис. 2, видно, что в рецептакулах *F. vesiculosus*, произрастающих в губе Ура, в районе Абрам-мыса, губе Белокаменная и бухте Корабельная, доли

в суммарном содержании основных свободных аминокислот (аланина, аспарагиновой и глутаминовой кислот, серина), суммы незаменимых аминокислот и суммы остальных аминокислот (аргинина, гидроксипролина, гистидина, глицина, пролина, тирозина, цистина с цистеином) практически одинаковые. Доля аланина составляет 12.6–15.9 %, аспарагиновой кислоты – 13.1–21.3 %, глутаминовой кислоты – 50.3–53.4 %, серина – 3.1–4.7 %, суммы незаменимых аминокислот – 5.3–5.7 % и суммы остальных аминокислот – 5.1–8.1 %. В то же время доли этих же свободных аминокислот и сумм аминокислот в рецептакулах водорослей из бухт Девкина Заводь, Оскара и губы Лодейная отличаются от указанных. Для аланина доля в суммарном содержании свободных аминокислот в рецептакулах водорослей из бухт Девкина Заводь и Оскара оказалась выше и составила 27.9–28.7 %, а в рецептакулах водорослей из губы Лодейная – ниже (8.7 %). Доля аспарагиновой кислоты в рецептакулах водорослей из бухты Оскара оказалась такой же (17.7 %), как и в рецептакулах водорослей из губы Ура. Но доля этой же аминокислоты в рецептакулах водорослей из бухты Девкина Заводь составила всего 5.1 %, а в рецептакулах водорослей из губы Лодейная – 43.2 %. Содержание глутаминовой кислоты в рецептакулах *F. vesiculosus* из губы Лодейная оказалось самым низким и составило 20.8 %, для водорослей из бухты Девкина Заводь – 28.6 %, а для водорослей из бухты Оскара – 41.0 %. Доля серина в рецептакулах водорослей из бухт Девкина Заводь, Оскара и губы Лодейная практически не отличалась от доли этой же аминокислоты в рецептакулах водорослей из остальных районов сбора (5.7, 3.1 и 2.8 % соответственно). Процентное содержание суммы незаменимых аминокислот в рецептакулах водорослей из бухты Оскара было практически такое же, как и в рецептакулах водорослей из губы Ура (5.9 %), а в рецептакулах водорослей из бухты Девкина Заводь и губы Лодейная оно составило 11.1 и 13.8 % соответственно, что в 1.9–2.6 раза выше, чем в рецептакулах водорослей из губ Ура, в районе Абрам-мыса, губы Белокаменная и бухты Корабельная. Доля содержащихся в незначительном количестве свободных аминокислот в рецептакулах водорослей из бухты Оскара оказалось немного ниже (4.3 %), чем в рецептакулах водорослей в районе Абрам-мыса. Но в рецептакулах водорослей из губы Лодейная и бухты Девкина Заводь доля этой группы свободных аминокислот оказалась выше и составила 10.7 и 20.8 % соответственно (рис. 2).

На содержание свободных аминокислот в различных частях таллома, а также на их соотношение могут оказывать влияние различные факторы. Известно, что в период активного роста свободные аминокислоты расходуются на конструктивные процессы, при этом они накапливаются в ростовой зоне слоевища (Зимина, Подкорытова, 1976). У вида *F. vesiculosus* весной происходит параллельное интенсивное развитие как вегетативных, так и репродуктивных структур (Кузнецов, Шошина, 2003). Известно, что для начала процесса образования репродуктивных структур у ламинарии японской, помимо оптимальной температуры, необходимым фактором является определенное содержание свободной глутаминовой кислоты (Подкорытова, 1980). Вполне вероятно, что в процессе развития рецептакул у *F. vesiculosus* могут накапливаться некоторые свободные аминокислоты, которые впоследствии будут расходоваться растением на образование и созревание гамет. Использование свободных аминокислот на пластический обмен в ходе формирования и созревания гамет вполне может вызвать снижение их концентрации в рецептакулах. Вероятнее всего содержание и соотношение свободных аминокислот в репродуктивных структурах *F. vesiculosus* зависит от стадии зрелости этих структур. Но для подтверждения этого необходимо провести дополнительные исследования.

Заключение. Количественное содержание и соотношение свободных аминокислот в рецептакулах *F. vesiculosus* зависит от места произрастания бурой водоросли и, вероятно, связано со стадией развития репродуктивных структур.

Преобладание в составе свободных аминокислот аланина, аспарагиновой и глутаминовой кислот в рецептакулах *F. vesiculosus*, скорее всего, объясняется их активным участием в процессах формирования и созревания гамет.

Различия в содержании и соотношении свободных аминокислот в рецептакулах *F. vesiculosus* скорее всего могут свидетельствовать об их степени зрелости. Для определения связи между степенью зрелости рецептакул *F. vesiculosus* и количественным содержанием и соотношением свободных аминокислот в них требуется проведение дополнительных исследований.

Работа выполнена по теме 9-14-01 (62) «Научные основы инновационных технологий биологически активных веществ водорослей Баренцева моря» (№ ГР 01 2014 53843, № в ГЗ 0228-2018-0005).

Литература

Зимина Л.С., Подкорытова А.В. Определение глутаминовой кислоты в водорослях // Изв. ТИНРО. 1976. Т. 99. С. 19–22.

Клиндух М.П. Содержание некоторых свободных аминокислот в бурой водоросли *Fucus vesiculosus* бухты Белокаменная Кольского залива Баренцева моря // Материалы XXX юбилейной конференции молодых ученых ММБИ, посвященной 150-летию со дня рождения Н.М. Книповича «Проблемы океанографии, биологии и освоения биоресурсов морей российской Арктики». Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2012. С. 90–97.

Клиндух М.П. Исследование свободных аминокислот бурых и красных водорослей Баренцева моря методом ВЭЖХ // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН): Тез. докл. междунар. науч. конф. (г. Мурманск, 1–3 апреля 2015 г.). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2015. С. 107–109.

Клиндух М.П. Влияние возраста и места произрастания на состав и содержание свободных аминокислот бурой водоросли *Fucus vesiculosus* L. // Окружающая среда и человек. Современные проблемы генетики, селекции и биотехнологии: Матер. междунар. науч. конф. и молодежной науч. конф. памяти чл.-корр. РАН Д.Г. Матишова. Ростов н/Д.: Изд-во ЮНЦ РАН, 2016. С. 295–297.

Клиндух М.П. Массовые свободные аминокислоты в апикальной и средней частях таллома бурой водоросли *Fucus vesiculosus* // Исследования экосистем морей Арктики: Матер. XXXV конф. молодых ученых ММБИ КНЦ РАН, посвященной Году экологии в России. Мурманск: Изд. ММБИ КНЦ РАН, 2017. С. 39–44.

Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Водоросли Камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток: Дальнаука, 1997. 154 с.

Конева А.А., Аминина Н.М. Химический состав различных частей слоевища *Alaria marginata* P. et R. (Laminariales, Phaeophyta) // Изв. ТИНРО. 2013. Т. 175. С. 333–338.

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

Подкорытова А.В. Динамика некоторых свободных аминокислот ламинарии японской в процессе роста и образования репродуктивной ткани // Исследования по технологии рыб, продуктов. Владивосток: Изд-во ТИНРО, 1980. С. 53–57.

Промысловые и перспективные для использования водоросли и беспозвоночные Баренцева и Белого морей. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1998. 628 с.

Buggeln R.G., Lucken S. Kinetic characteristics of photoassimilate translocationin *Alaria esculenta* (Laminariales, Phaeophyceae) // Planta. 1979. V. 147. P. 241–245.

Citharel J., Villereit S. Recherches sur les constituants azotes des algues marines. II-Les principaux acides amines de *Fucus spiralis* L. et leur variation au cours de la croissance de l'algue // Bull. Soc. Fr. Physiol. Veget. 1965. V. 11, № 4. P. 343–350.

Schmitz K., Srivastava L.M. On the fine structure of sieve tubes and the physiology of assimilate transport in *Alaria marginata* // Can. J. Bot. 1975. V. 53. P. 861–876.

Schmitz K., Srivastava L.M. Long distance transport in *Macrocystis integrifolia* I. Translocation of ^{14}C-labelled assimilates // Plant Physiology. 1979. V. 63. Iss. 6. P. 995–1022.

Schmitz K., Luning K., Willenbrink J. CO_2-fixierung und stofftransport in benthischen marinen algen. II. Zum ferntransport ^{14}C-markierter assimilate bei *Laminaria hyperborea* und *Laminaria saccharina* // Z. Pjlanzenphysiol. 1972. Bd. 67. S. 418–429.

Thomas P.C., Subbaramaiah K. Seasonal variations in growth, reproduction, alginic acid, mannitol, iodine and ash contents of brown alga *Sargassum wightii* // Indian J. Mar. Sci. 1991. V. 20. P. 169–175.

Wheeler P.A., North W.J. Effect of nitrogen supply on nitrogen content and growth rate of juvenile *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta) sporophytes // J. Phycology. 1980. V. 16. P. 577–582.

Wheeler P.A., Stephens G.C. Metabolic segregation of intracellular free amino acids in *Platymonas* (Chlorophyta) // J. Phycology. 1977. V. 13. P. 193–197.

МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ АТЛАНТИЧЕСКИХ ВОД В ЗАЛИВЕ ИС-ФЬОРД (О. ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН) В 2001–2017 ГОДАХ

Т.М. Максимовская
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. Океанографические условия заливов и фьордов о. Западный Шпицберген со стороны Гренландского моря определяются взаимодействием атлантических вод, приходящих с Западно-Шпицбергенским течением, поверхностных арктических, поступающих из Баренцева моря, и материковым стоком. Ис-фьорд является крупнейшим заливом о. Западный Шпицберген. Он ориентирован с запада на восток, площадь составляет порядка 2380 км^2, длина – более 100 км, максимальная глубина – 415 м (Демешкин, 2015). Для него характерно преобладание следующих водных масс: поверхностной, атлантической, трансформированной, промежуточной, арктической, зимней и местного происхождения. В поверхностном слое залива поздней весной и летом преобладает поверхностная водная масса, которая формируется под воздействием солнечной радиации, речного стока и талых вод, поступающих с ледников. Она имеет температуру выше 1 °С и соленость до 34 ‰, вблизи ледников соленость менее 28 ‰. Атлантической водной массе соответствуют температура более 3 °С и соленость выше 34.9 ‰. Вследствие смешения с арктическими водами и непосредственно водами залива образуется трансформированная атлантическая водная масса. Для нее характерны температура выше 1 °С и соленость более 34.7 ‰. Промежуточной водной массе соответствует температура больше 1 °С и соленость в диапазоне от 34 до 34.7 ‰. Охлаждение вод в зимне-весенний период приводит к образованию двух водных масс непосредственно в заливе: зимней (с температурой менее –0.5 °С и соленостью выше 34.4 ‰) и местного происхождения с температурой ниже 1 °С и соленостью примерно 34 ‰ (Fjord-shelf …, 2008).

Цель работы – анализ межгодовой динамики распространения атлантических вод в заливе Ис-фьорд по данным экспедиционных исследований 2001–2017 гг.

Материал и методы. В данной работе использовали массив океанографических данных, полученных в ходе экспедиций ММБИ с 2001 по 2017 гг. Профилирование толщи вод залива осуществлялось с борта НИС «Дальние Зеленцы» с помощью СТД-зондов фирмы Sea Bird Electronics (США). Выполненные океанографические измерения не имеют регулярной основы во времени и пространстве, однако практически все станции расположены вдоль оси залива, что дает возможность охарактеризовать основные черты его гидрологического режима. Результаты исследований ММБИ представлены в ряде публикаций (Моисеев, Ионов, 2006; Моисеев, Громов, 2009; Мещеряков и др., 2014; Моисеев, Бобров, 2015).

В работе анализируются данные о вертикальном распределении температуры и солености вод, полученные в общей сложности с 67 станций (рис. 1): 8–10.08.2001 г. – 4, 3–6.07.2002 г. – 5, 12.08.2003 г. – 3, 22–26.08.2008 г. – 3, 5–6.08.2009 г. – 4, 27.11–6.12.2015 г. –

15, 21–25.07.2017 г. – 16, 15–21.11.2017 г. – 17. При работе использовали разрезы температуры и солености, проходящие вдоль центральной оси Ис-фьорда по направлению к Булле-фьорду, построенные в программе Golden Software Surfer.

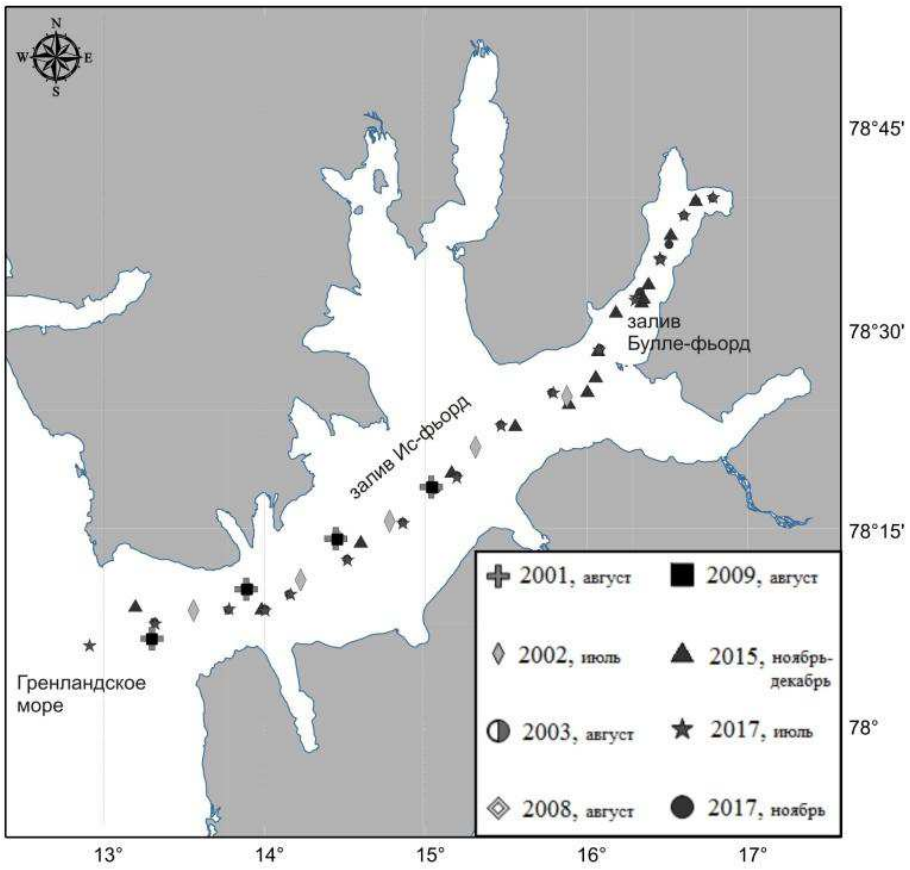


Рис. 1. Положение океанографических станций, выполненных в 2001–2017 гг.

В качестве критерия влияния адвекции атлантических вод на термохалинный режим залива нами принимаются дальность и площадь распространения, средняя величина температуры в слое, ограниченном изохалиной 34.8 ‰. Приток атлантических вод носит нерегулярный характер и зависит от особенностей атмосферной циркуляции, в частности сильные и продолжительные северные ветры приводят к аномальному проникновению атлантических водных масс в залив (Потепление …, 2010). В связи с этим, а также малым количеством натурных наблюдений в качестве граничной была принята соленость 34.8 ‰. Указанная соленость характерна в большей степени атлантическим трансформированным водам, но может служить надежным показателем влияния атлантических вод даже в те периоды, когда их адвекция была минимальной. Используемая точка отсчета расположена на линии створа между мысами у входа в устье залива.

Результаты. В летний период отмечается тенденция к распространению атлантических вод в виде линз, ограниченных глубинами 150 и 250 м. Тогда как в период осенне-зимней конвекции распространение атлантических вод наблюдалось по всей толще вод примерно с горизонта 100 м и до дна. За рассматриваемый период максимальный заток атлантических вод в летние месяцы наблюдался в июле 2017 г., когда водная масса соленостью 34.8 ‰ занимала слой на глубине от 45 до 230 м, проникая на расстояние 20.7 км от входа в Ис-фьорд. Минимальный заток наблюдался в августе 2003 г., когда слой, ограниченный изохалиной 34.8 ‰ составлял на продольном разрезе всего 0.03 км^2 (рис. 2). Средняя температура воды в этом же слое в летний период (2001–2009 гг.) имела значимую тенденцию к повышению,

при размахе значений в 1.17 °С. Наибольшего значения средняя температура достигала в 2009 г., когда в залив поступила линза атлантических вод малого объема, однако в июле 2017 г. температура ядра входящих атлантических вод превысила таковую 2009 г. на 0.6 °С.

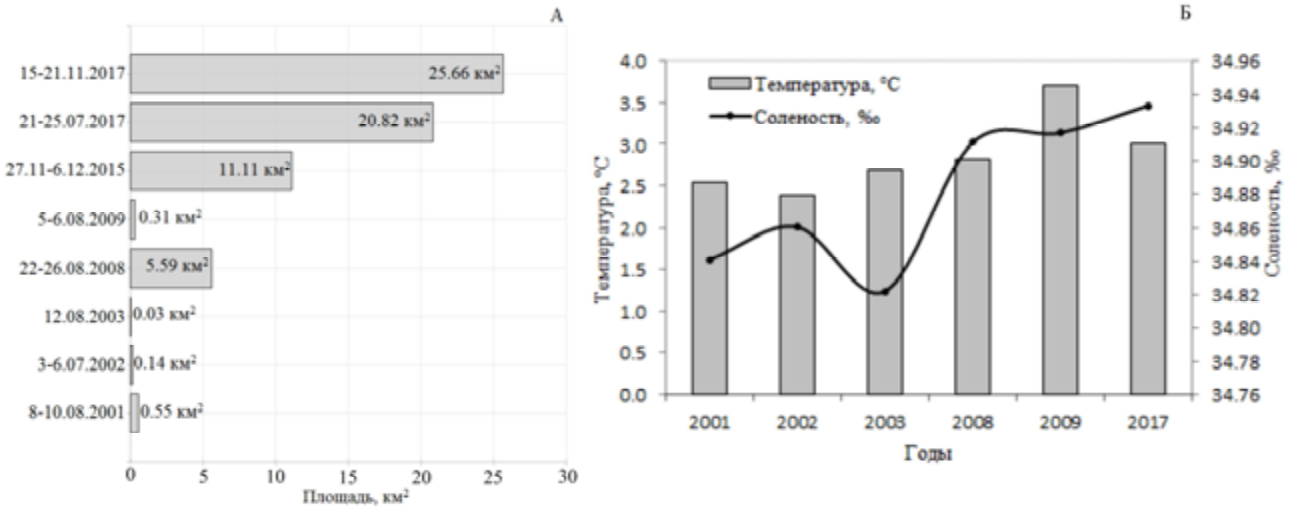


Рис. 2. Межгодовая изменчивость площади (А) и средних значений температуры и солености (Б) в области распространения атлантических вод на продольном разрезе

В зимний период (ноябрь–декабрь) было проведено лишь две экспедиции в 2015 и 2017 гг. В это время приток атлантических вод проходил с большей интенсивностью в сравнении с летними месяцами. В частности, средняя температура вод в ноябре–декабре превышала таковую в июле–августе на 1.4 °С в ограниченном изохалиной 34.8 ‰ слое. Максимальный приток атлантических вод в Ис-фьорд наблюдался в середине ноября 2017 г., когда теплые и соленые воды, поступающие с Западно-Шпицбергенским течением, занимали толщу вод с 60 м до дна вплоть до входа в Булле-фьорд (рис. 3).

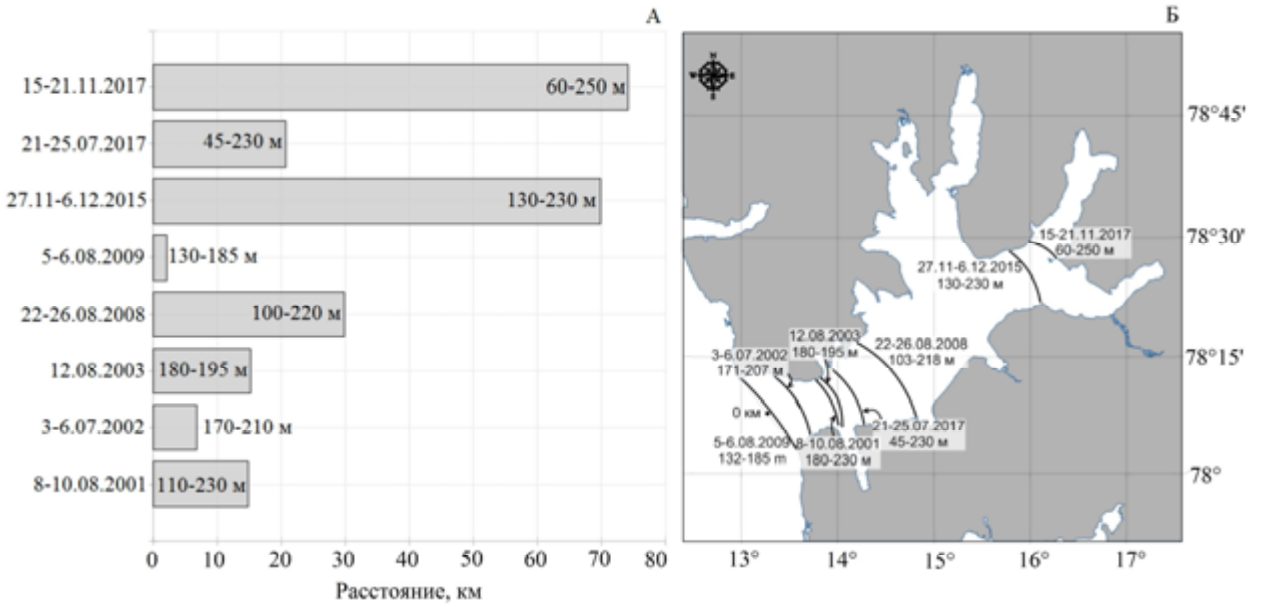


Рис. 3. Межгодовая динамика дальности распространения и границ слоя (А) и положение условной границы распространения (Б) атлантических вод в заливе

Заключение. В результате анализа межгодовой изменчивости распространения атлантических вод в заливе Ис-фьорд было установлено, что максимальная адвекция атлантических вод за анализируемый период наблюдалась в июле и ноябре 2017 г., а минимальная – в августе 2003 г.

Автор выражает благодарность сотрудникам ММБИ, проводившим полевые работы в 2001–2017 гг.

Работа выполнена в рамках госзадания ММБИ КНЦ РАН.

Литература

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

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

Моисеев Д.В., Бобров К.А. Океанографические исследования в заливе Грен-фьорд // Арктическое морское природопользование в XXI веке – современный баланс научных традиций и инноваций: Тез. докл. междунар. науч. конф. (к 80-летию ММБИ КНЦ РАН). Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2015. С. 168.

Моисеев Д.В., Громов М.С. Термохалинные условия в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2003 и 2008 гг. // Комплексные исследования природы архипелага Шпицберген. Вып. 9. М.: ГЕОС, 2009. С. 332–335.

Моисеев Д.В., Ионов В.В. Некоторые результаты океанографических исследований в заливах и фьордах о. Западный Шпицберген летом 2001 и 2002 гг. // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Вып. 6. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2006. С. 261–270.

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

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

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПОТОК ОСАДОЧНОГО ВЕЩЕСТВА В ОЗЕРЕ БРЕТЪЁРНА (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

Н.И. Мещеряков
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Озеро Бретъёрна – уникальный объект для изучения ледниково-озерного осадконакопления. В силу труднодоступности и относительной «молодости» как географического объекта озеро мало изучено. Котловина озера сформировалось 700–100 лет назад в результате экзарационной деятельности ледника (Тарасов, Кокин, 2007). Свой современный вид озеро приобрело примерно 80 лет назад, после значительного отступления ледника Грёнфьорд (Кокин, Тарасов, 2008). В силу этого данные по столь молодому географическому объекту вызывают особый интерес, а седиментологические исследования дают фактический материал для пояснения особенностей современного осадконакопления в высокоширотной Арктике.

Попытки оценить особенности осадконакопления в водоеме предпринимались неоднократно сотрудниками ММБИ КНЦ РАН под руководством проф. Г.А. Тарасова (Тарасов, Кокин, 2007; Кокин, Тарасов, 2008). Однако изучению вертикального потока осадочного вещества в водной толще озера не было уделено достаточно внимания.

Цель работ – изучение поступления терригенного материала на дно оз. Бретъёрна. Экспедиционные работы проводились 28.08–16.09.2017 г.

Район работ включает в себя оз. Бретъёрна и его водосборную площадь (рис. 1). Озеро расположено в краевой зоне ледника Грёнфьорд, к югу от кута залива Грён-фьорд. В настоящее время ледники Западный и Восточный Грёнфьорд разгружают свои талые воды в озеро, которое в свою очередь регулирует сток ручья Бретъёрна в залив Грён-фьорд.

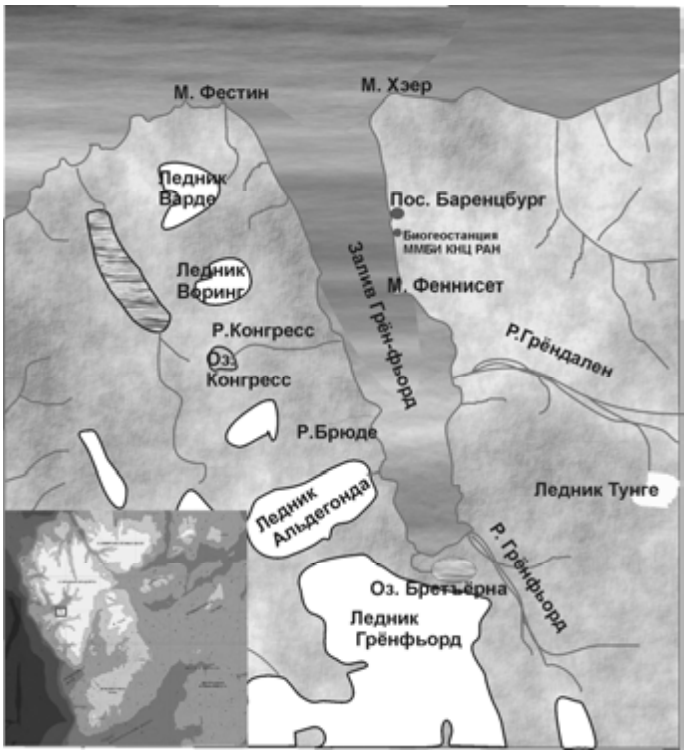


Рис. 1. Схема постановки седиментологических ловушек в районе работ

Отбор проб проводили 30.08–12.09.2017 г. с помощью контейнерных седиментологических ловушек (Потоки …, 1994) и батометра Нискина. Для определения характеристик термической структуры водной толщи использовался зонд RBRXR 620. Седиментологические ловушки устанавливали севернее географического центра озера (77°29.56' с. ш., 14°27.40' в. д.) (рис. 1). Место постановки ловушек выбиралось с учетом подводного рельефа и глубины озера.

Ловушки крепились за металлическую скобу у верхнего основания капроновым фалом к системе поплавков. К нижнему основанию крепился утяжеляющий груз, препятствующий подводному дрейфу ловушки. Полученная конструкция присоединялась капроновым фалом к стационарному бую, который имел вид постоянно действующей платформы, удерживающейся в определенной точке за счет якоря (рис. 2). Ловушки устанавливали на глубине 5 и 15 м.

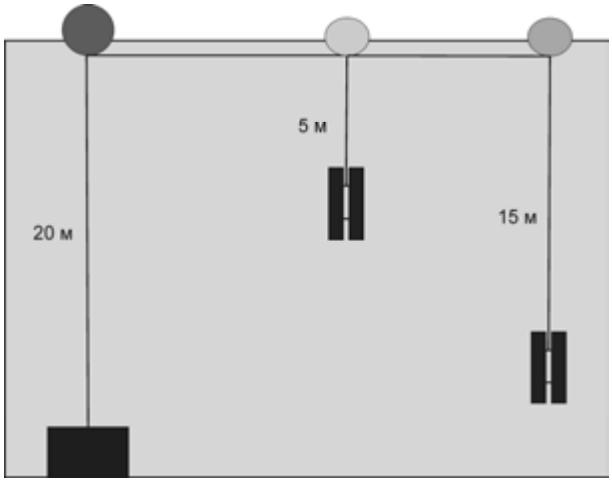


Рис. 2. Схема постановки седиментологических ловушек на оз. Бретъёрна

Через 48 ч после установки системы проводился подъем ловушек для снятия пластикового контейнера с пробами взвеси и заправки нового контейнера, после чего ловушки вновь отправляли на заданную глубину (рис. 2). Для отбора проб взвеси в водной толще озера использовался батометр Нискина. Пробы отбирали с придонного и поверхностного горизонтов в точке установки ловушек с дискретностью 48 ч, также осуществляли измерение температуры воды.

Данные по температурному режиму и количеству выпавших осадков получены из архива норвежской национальной общественной телерадиовещательной организации (NRK) и метеорологического института Норвегии для пос. Баренцбург.

Всего при помощи седиментологических ловушек на горизонтах 5 и 15 м отобрано 13 проб взвеси, батометром Нискина – 17 проб взвеси, распределенной в водной толще. Зондом RBRXR 620 выполнено 6 измерений температуры водной толщи озера.

Первичная обработка материала осуществлялась на биогеостанции ММБИ КНЦ РАН, а также в лаборатории Российского научного центра на Шпицбергене (пос. Баренцбург). При этом проба из контейнера пропускалась через предварительно подготовленную (высушенную до постоянной массы) мембрану типа МФАС – ОС-2. Размер пор мембранного фильтра 0.45 мкм, диаметр 47 мм. Далее проба высушивалась до постоянной массы при температуре 50 ^{o}C и взвешивалась на весах с точностью до 0.001 г.

В период исследований в районе работ фиксировалась аномально высокая для этого времени года температура воздуха – 3.7–7.2 ^{o}C (характерные температуры для августа – 2–6 ^{o}C, сентября – –3...1 ^{o}C). Устойчивый переход через 0 ^{o}C обычно фиксируется 18–20 сентября (Семенов и др., 2002; Анциферова и др., 2014), но в 2017 г. первые отрицательные температуры были зафиксированы 7 октября, а устойчивый переход через 0 ^{o}C оформился к концу октября. Количество осадков выпавших с 29 августа по 3 сентября составило 30.8 мм, что является месячной нормой для данного времени года. При этом максимальное количество выпавших осадков приходится на 29 августа (14.4 мм) и 3 сентября (13.3 мм) (рис. 3). Температура окружающей среды и атмосферные осадки оказывали существенное влияние на температуру водной толщи озера, которая изменялась в пределах от 3.4 до 4.2 ^{o}C.

По результатам исследований установлено, что в период работ скорость поступления осадочного материала на дно оз. Бретъёрна за 48 ч изменялась в пределах от 0.66 до 82.74 г/м^2. В поверхностном слое водного столба (0–5 м) скорость поступления соответствовала 0.52–3.31 г/м^2 (рис. 3).

Содержание взвеси в поверхностном слое изменялась от 0.006 до 0.15 г/л, в придонном – от 0.25 до 0.01 г/л (рис. 3). Наибольшее количество взвеси отмечалось в период обильного выпадения осадков.

Вертикальный поток терригенных частиц в водоеме тесно связан с погодными особенностями региона. Среди наиболее значимых факторов следует выделить температурный режим и атмосферные осадки. Наибольшая скорость поступления осадочного материала на дно фиксировалась в период повышения среднесуточных температур, выпадения обильных осадков и повышения уровня воды в озере. Вертикальный поток осадков приурочен:

а) к поступлению тонкодисперсного материала, выносимого талыми ледниковыми водами в период абляции ледникового массива Грёнфьорд;

б) к смыву и перемещению временными водотоками продуктов выветривания по уклонам поверхности в период обильного выпадения осадков;

в) к береговым абразионным процессам, наиболее интенсивно протекающим в период изменения уровня воды в озере.

Результаты, полученные в ходе исследований, являются одними из первых шагов на пути понимания процессов современного осадконакопления в оз. Бретъёрна. Для более полного понимания данного научного вопроса требуются дополнительные исследования в районе работ во все сезоны.

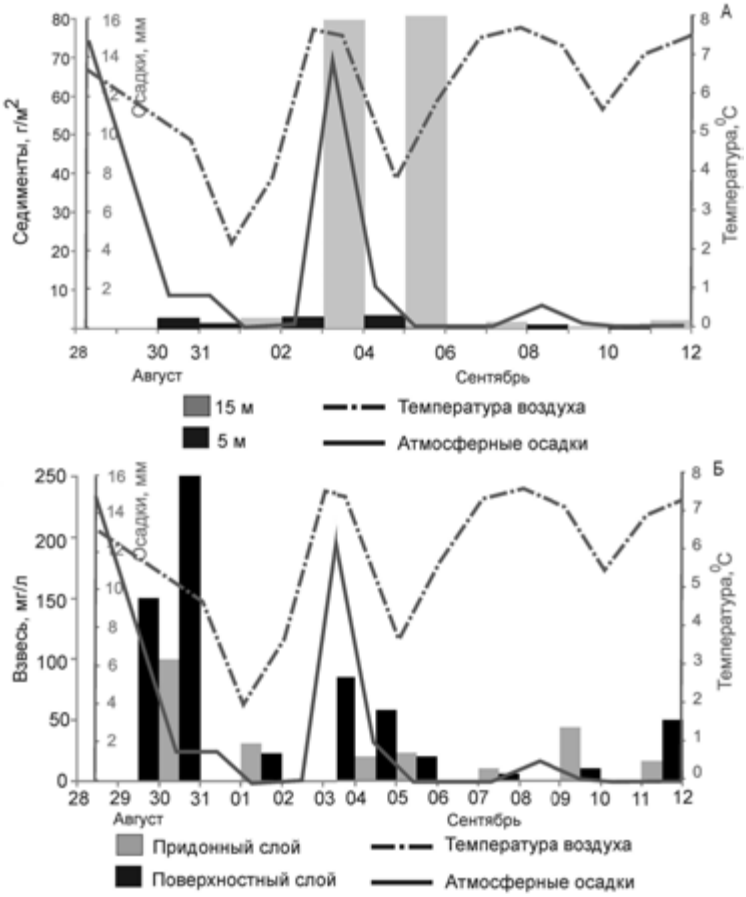


Рис. 3. Метеорологические характеристики и содержание минеральных частиц в пробах взвеси, отобранных с помощью седиментологических ловушек (А) и батометра Нискина (Б)

Автор выражает признательность Г.А. Тарасову за научную консультацию по ряду вопросов, связанных с методикой выполнения данной работы, а также А.В. Кузнецову за помощь в проведении научно-исследовательских работ.

Работа выполнена в рамках госзадания ММБИ КНЦ РАН.

Литература

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

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

Потоки осадочного вещества в Карском море и в эстуариях Оби и Енисея / А.П. Лисицын, В.П. Шевченко, М.Е. Виноградов и др. // Океанология. 1994. Т. 34, № 5. С. 748–758.

Семенов А.В., Анциферова А.Р., Даыдов А.А. Климат Баренцбурга. Изменения основных характеристик за последние 40 лет (по данным наблюдений зональной гидрометобсерватории «Баренцбург») // Комплексные исследования природы Шпицбергена. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2002. С. 139–145.

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

ОСОБЕННОСТИ КЛЕТОК КРОВИ СЕРЫХ ТЮЛЕНЕЙ В УСЛОВИЯХ НЕВОЛИ

Т.В. Минзюк
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

У морских млекопитающих имеются особенности строения и функционирования кроветворной системы, обусловленные длительной эволюцией в водной среде, не содержавшей патогенных микроорганизмов (Cavagnolo, 1979; Сыкало, 1989; Соколова, Денисенко, 2006). Определение лейкоцитарной формулы крови, морфометрических параметров лейкоцитов и эритроцитов позволяет идентифицировать группы клеток с различными иммунологическими функциями, оценить их функциональную активность. Описание ряда морфометрических параметров (размеры, форма, структура) клеток крови морских млекопитающих представлены в небольшом числе исследований (Ronald et al., 1969; DeMonte, Pilleri, 1979; Кавцевич, Ерохина, 1996; Мисюра, Богданова, 1997; Clark et al., 2002). Гематологические параметры крови широко используются в медицине и ветеринарной практике, особенно для оценки состояния популяций морских млекопитающих в естественной среде обитания, а также в ходе реабилитации и длительном содержании животных в условиях неволи.

Настоящая работа посвящена сравнительному анализу морфометрических параметров эритроцитов и лейкоцитарной формулы крови серых тюленей в естественной среде обитания и неволе.

В природных условиях (о. Большой Айнов, Баренцево море) взяты пробы крови от серых тюленей следующих возрастных групп: новорожденные (n = 8), питающиеся молоком (2–3 недели, n = 6), завершившие молочное питание (1–1.5 мес., n = 12), самостоятельно питающиеся рыбой щенки (3–4 мес., n = 6) и взрослые животные (3.5 года, n = 2 и 1 год, n = 4). В условиях неволи кровь брали от трех животных, содержащихся в аквакомплексе экспериментального полигона Мурманского морского биологического института (Кольский залив): № 1 (самец, 9 мес.), № 2 (самка: 7 и 9 мес.) и № 3 (самка, 9 мес.).

Кровь у тюленей отбирали из экстрадуральной вены (Geraci, Smith, 1975), морфологию клеток изучали на мазках крови, окрашенных смесью Романовского-Гимза, с помощью микроскопа Axio Imager M1, оснащенного программным обеспечением AxioVision (фирмы Zeiss). Определяли соотношение форменных элементов и следующие морфометрические показатели эритроцитов: площадь и диаметр (величины, характеризующие размер клетки), оптическую плотность (интенсивность окраски). Определяли наличие незрелых и патологических форм эритроцитов.

Сравнительный морфологический и морфометрический анализ клеток крови серых тюленей, обитающих в условиях неволи и естественной среде обитания, позволил выявить некоторые особенности их клеточного состава (рис. 1).

У серых тюленей на всех возрастных этапах в периферической крови присутствуют палочкоядерные формы, их число составляет 1–4 %. Базофилы у большинства морских млекопитающих, в том числе и у исследованных нами серых тюленей, отсутствуют или обнаруживаются в небольших количествах – до 2 % (Medway, Geraci, 1964; Ronald et al., 1969; Богданова, Лебедев, 1971; DeMonte, Pilleri, 1979; Engelhardt, 1979; Кавцевич, Ерохина, 1996; Boily et al., 2006).

В периферической крови серых тюленей наблюдается нейтрофильный профиль крови (рис. 1). Физиологический перекрест лейкоцитарной формулы отмечается в возрасте 1–1.5 мес., в условиях неволи уравнивание количества нейтрофилов и лимфоцитов выявлено у животного № 3. Появление физиологического перекреста на ранних этапах постнатального онтогенеза

у тюленей, по-видимому, обусловлено интенсивной пролиферацией лимфоидных клеток, связанной с развитием системы специфического иммунитета животных. А высокий уровень сегментоядерных нейтрофилов рассматривается как приспособление, обеспечивающее неспецифическую защиту организма от инфекций (Алексеев, 1998).

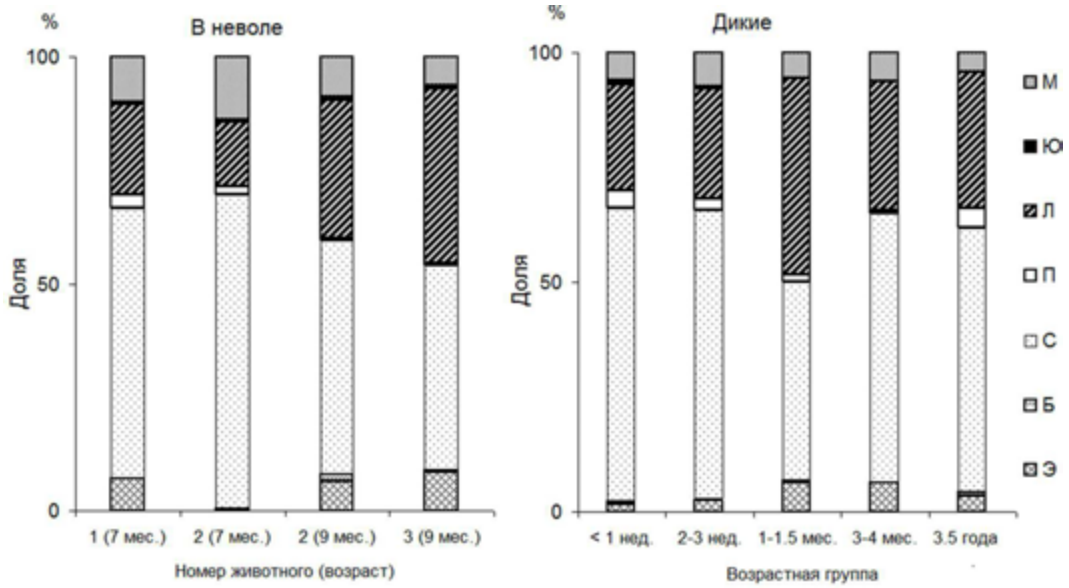


Рис. 1. Показатели лейкоцитарной формулы серых тюленей:
М – моноциты, Ю – юные клетки, Л – лимфоциты, П – палочкоядерные нейтрофилы, С – сегментоядерные нейтрофилы, Б – базофилы, Э – эозинофилы

У самок тюленей и дельфинов, в отличие от самцов, встречаются нейтрофилы с тельцами Барра, представляющими собой половой хроматин (Кавцевич, 1989; Романов, 1991; Кавцевич, Ерохина, 1996). Ядро состоит из 2–8 сегментов (количество сегментов в ядрах или индекс Гинека у серых тюленей, исследованных на лежбищах, в среднем составляет 3.50). Наибольшие изменения в клеточном составе крови отмечены у самки серого тюленя № 2 (рис. 1). В первой пробе количество сегментоядерных нейтрофилов и моноцитов высокое – 69 и 14 % соответственно, а число эозинофилов менее 1 %. Нейтрофилы в основном полисегментированные (индекс Гинека – 4.6) (таблица).

Индекс Гинека в нейтрофилах серых тюленей

Номер животного	Возраст	Индекс Гинека
1	7 мес.	3.30
2	7 мес.	4.60
	9 мес.	3.85
3	9 мес.	4.38

Понижение количества эозинофилов в крови до минимума (0–1 %) наблюдается при инфекционных заболеваниях в фазе обострения, сложных травмах, анемиях, гнойных инфекциях. У тюленей № 1 и № 2 отмечено присутствие бактерий в цитоплазме сегментоядерных нейтрофилов (рис. 2) и моноцитов крови (рис. 3), у тюленя № 3 выявлены в крови нейтрофилы (2–3 %) с кариорексисом ядра (распадом ядра на отдельные части не связанные между собой, округлой формы и резко пикнотичные, темные бесструктурные образования) (рис. 4), что также свидетельствует о наличии инфекции у животного.

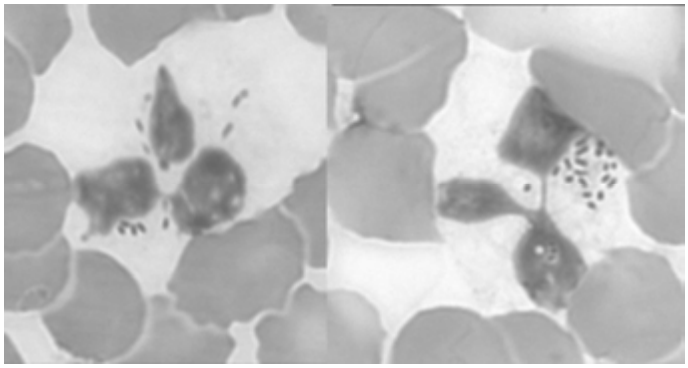


Рис. 2. Бактерии в сегментоядерных нейтрофилах серых тюленей

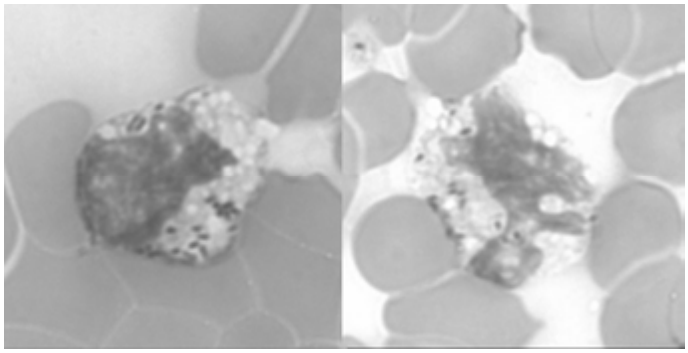


Рис. 3. Бактерии в моноцитах серых тюленей

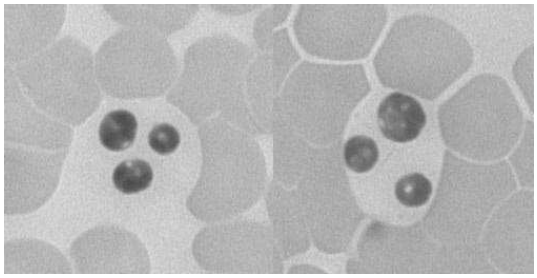


Рис. 4. Кариорексис ядра в нейтрофилах серых тюленей

Бактерии в крови морских млекопитающих были ранее обнаружены нами также у щенков тюленей-хохлача (рис. 5) в Гренландском море (25 апреля–3 мая 2009 г.) во время зверобойного промысла.

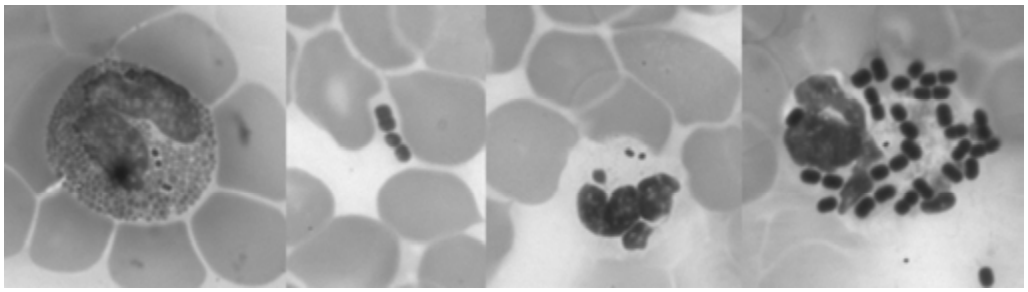


Рис. 5. Бактерии в эозинофилах, лейкоцитах и плазме крови у тюленя-хохлача

По размеру, форме, интенсивности окрашивания и локализации в плазме и клетках крови бактерии у хохлача и серых тюленей отличаются. При окрашивании по Романовскому-Гимза метиленовый синий дает красно-фиолетовое окрашивание палочковидных бактерий, что позволяет их отнести к группе грамположительных. Среди морских млекопитающих встречаются ряд известных болезней, вызываемых данной группой бактерий: рожистое воспаление, туберкулез, пневмококковые инфекции, сальмонеллез и другие. У дельфинов-афалин в первые месяцы неволи развивается состояние, рассматриваемое как предболезнь (Биркун, 1986), обусловленное резким увеличением обсемененности животных микроорганизмами. Согласно результатам нашей работы и у тюленей в неволе отмечены бактериальные инвазии. Микробиологическое исследование не проводилось, поэтому оценить тип, характер (вероятно носительства) и интенсивность заболевания не представляется возможным.

У всех серых тюленей встречаются также нейтрофилы с ядрами необычной формы, когда нити хроматина соединяют сегменты ядра не последовательно, а сходятся в одной точке, а также выявлены в периферической крови клетки с сегментированным ядром и розовыми цитоплазматическими гранулами неправильной формы с размытыми границами, иногда они содержат вакуоли (рис. 6). Их число у серых тюленей составляет до 2.5 % всех гранулоцитов. Похожие лейкоциты с крупными красноватыми зернами и вакуолями выявлены у собак (Риган, 2000). Нами также обнаружен данный тип клеток у морского зайца, тюленя хохлача и кольчатой нерпы (Минзюк, Кавцевич, 2010; Минзюк и др., 2015).

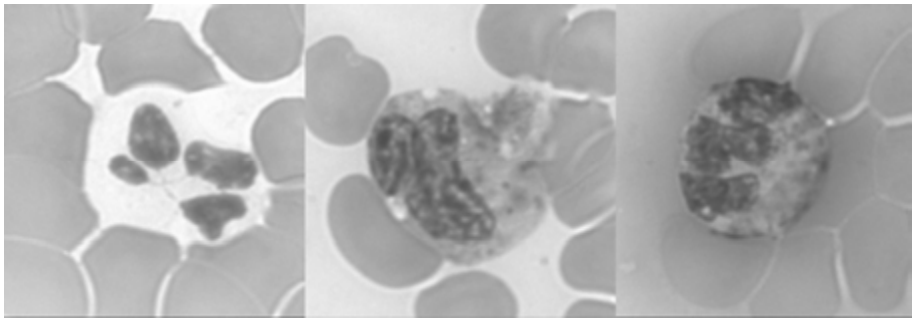


Рис. 6. Необычные клетки в крови серых тюленей

В циркулирующей крови здоровых животных эозинофилы составляют 1–7 %, отсутствие или снижение их количества (менее 1 %, что наблюдается у щенка серого тюленя № 2, 7 мес.) является следствием начала воспалительного процесса или гнойных инфекций. У настоящих тюленей (в частности, у гренландского тюленя) количество эозинофилов у некоторых животных доходит до 36 %. Показано, что у тюленей уровень эозинофилов значительно выше, чем считалось ранее (Кавцевич, 2001; Boily et al., 2006; Size …, 2007). У дельфинов количество эозинофилов превышает таковое у здорового человека в 4–5 раз (Богданова, Лебедев, 1971; Мисюра, Богданова, 1997). У свободноживущих щенков обыкновенного тюленя резкое увеличение числа эозинофилов и моноцитов наблюдается на 150-е сутки жизни (через месяц после завершения молочного питания) (Hematology …, 2010).

У щенков тюленей в возрасте до 1 недели, как правило, низкое содержание эозинофилов. Возрастает количество данных клеток у серых тюленей, преимущественно, в период завершения щенками молочного питания и при переходе к самостоятельному питанию рыбой. То есть в 1–1.5 мес. щенки больше не получают с молоком матери антител для защиты от инфекций, а собственные механизмы специфического иммунитета еще только формируются. Эозинофилия в периферической крови млекопитающих наблюдается при аллергических реакциях разного происхождения (Предтеченский, 1960). Основную роль аллергенов играют вещества, поступающие с воздухом и пищей (особенно в период начала самостоятельного питания). Как одна из наиболее вероятных причин эозинофилии крови китообразных рас-

сматриваются паразитарные инвазии (Богданова, Лебедев, 1971; Ridgway, 1972), при которых гельминты выделяют продукты обмена и токсические вещества в организм хозяина. Среди ластоногих гельминтозы также широко распространены. У взрослых морских млекопитающих в течение жизни наблюдается постепенное снижение количества эозинофилов параллельно с сокращением числа паразитов (Hematology …, 1988).

Морфологически моноциты серых тюленей сильно отличаются друг от друга по величине клетки, форме, плотности и размерам ядра, присутствию вакуолей. В среднем их количество составляет 4–8 %, у самки № 2 возрастает до 14 %. Моноцитоз может наблюдаться при различных видах лейкемий и инфекциях, вызванных отдельными бактериями и простейшими. Большинство лимфоидных клеток крови серых тюленей – малые и средние лимфоциты с узким ободком базофильной цитоплазмы.

Во всех возрастных группах серых тюленей как в условиях неволи, так и у свободноживущих преобладают нормальные (по форме) эритроциты – дискоциты. У тюленей в первые недели жизни наблюдается повышенное содержание в крови числа эхиноцитов (зубчатых клеток) и сфероцитов. У щенков в условиях неволи также выявляются единичные сфероциты, шизоциты и эхиноциты (до 1 %), количество последних у самки № 2 (9 мес.) повышается до 10 %.

Наблюдается возрастание количества макроцитов (рис. 7) в группе бельков (с диаметром более 8 мкм) – 68–73 %, что вероятно, обеспечивается присутствием у них большого числа сфероцитов, имеющих больший размер (площадь и диаметр) по сравнению с дискоцитами. Следует отметить, что макроцитоз, как физиологическое явление, наблюдается у новорожденных (человека) в течение первых двух недель жизни и исчезает к 2-месячному возрасту. Почти у всех щенков серых тюленей в условиях акваполигона наблюдается выраженный макроцитоз (59–63 % эритроцитов) и низкая интенсивность окрашивания эритроцитов (низкое содержание гемоглобина в эритроцитах), что, вероятно, связано с наличием бактериальных инфекций у данных животных.

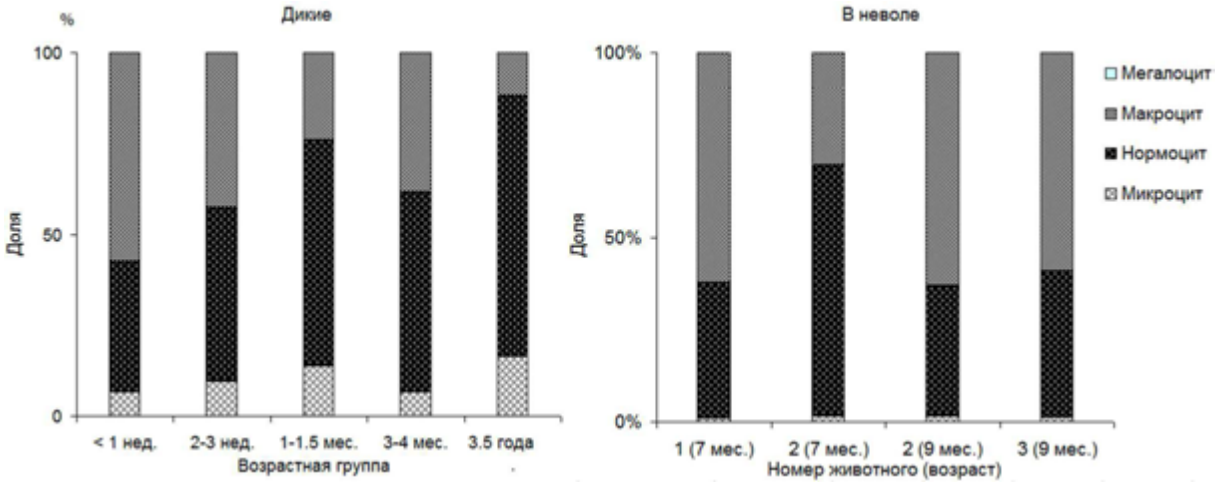


Рис. 7. Соотношение эритроцитов по размеру у серых тюленей

Значительные изменения клеточного состава крови у тюленей отмечены в возрасте 1–1.5 мес., в частности, появление физиологического перекреста, что свидетельствует об интенсивном становлении клеточного иммунитета. Присутствие в крови у щенков тюленей на ранних этапах онтогенеза большого количества низкодифференцированных клеточных форм и эозинофилов, уравнивание числа сегментоядерных нейтрофилов и лимфоцитов, высокая вариабельность по цвету, размерам и форме эритроцитов свидетельствуют, что у щенков происходит активное формирование кроветворной системы в этот период.

Таким образом, исследование гематологических показателей крови серых тюленей в условиях неволи выявило признаки бактериальных инфекций у обследованных щенков. Наряду с присутствием в нейтрофилах и моноцитах окрашенных палочковидных бактерий, наблюдаются изменения в их лейкоцитарной формуле крови, в частности, отсутствие или низкое количество эозинофилов, моноцитоз и макроцитоз. Физиологический перекрест и кариорексис у одного из щенков тюленей наиболее вероятно обусловлены интенсивной пролиферацией лимфоидных клеток, связанной с работой системы специфического иммунитета.

Работа выполнена по теме № 9-18-01 (50; 51) «Экология и физиология морских млекопитающих арктических морей» (№ в ГЗ 0228-2018-0017).

Литература

Алексеев Н.А. Гематология детского возраста: Руководство для врачей. СПб.: Гиппократ, 1998. 544 с.

Биркун А.А. Микробиологический аспект адаптации дельфинов к условиям неволи // Изучение, охрана и рациональное использование морских млекопитающих: Тез. докл. IX Всесоюз. совещ., г. Архангельск, 9–14 сентября 1986 г. Архангельск, 1986. С. 41–43.

Богданова Л.Н., Лебедев В.Г. Некоторые клинические показатели крови черноморских дельфинов // Морфология и экология морских млекопитающих (дельфины). М.: Наука, 1971. С. 126–129.

Кавцевич Н.Н. Структура популяции лимфоцитов периферической крови афалины (цитохимическое исследование): Автореф. дис. … канд. биол. наук. М., 1989. 18 с.

Кавцевич Н.Н. Клеточный состав крови гренландских тюленей различного возраста // Докл. РАН. 2001. Т. 380, вып. 2. С. 280–282.

Кавцевич Н.Н., Ерохина И.А. Биохимические и цитологические исследования морских млекопитающих в Арктике. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1996. 169 с.

Минзюк Т.В., Кавцевич Н.Н. Новые данные о клеточном составе крови тюленя хохлача // Докл. РАН. 2010. Т. 435, вып. 5. С. 714–717.

Минзюк Т.В., Кавцевич Н.Н., Светочев В.Н. Новые данные о клеточном составе крови морского зайца // Докл. РАН. 2015. Т. 462, вып. 6. С. 727–729.

Мисюра А.Г., Богданова Л.Н. Система крови черноморской афалины // Черноморская афалина *Tursiops truncatus ponticus*: морфология, физиология, акустика, гидродинамика. М.: Наука, 1997. С. 186–213.

Предтеченский В.Е. Руководство по клиническим лабораторным исследованиям. М.: Медгиз, 1960. 964 с.

Риган В.Дж, Сандерс Т.Г, Деникола Д.Б. Атлас ветеринарной гематологии. М.: ООО «Аквариум Лтд», 2000. 136 с.

Романов В.В. Иммунный статус афалин, содержащихся в неволе, как критерий инфекционной устойчивости: Дис. … канд. биол. наук. М., 1991. 230 с.

Соколова О.В., Денисенко Т.Е. Иммуно-микробиологические исследования в экологическом аспекте у некоторых видов морских млекопитающих // Морские млекопитающие Голарктики: Сб. науч. тр. по матер. 4-й междунар. конф., Санкт-Петербург, 10–14 сент. 2006 г. СПб., 2006. С. 487–492.

Сыкало А.И. Информационные аспекты эволюции гидробионтов и антропогенный пресс // Физиология морских животных: Тез. докл. Всерос. конф., г. Мурманск, 1989 г. Апатиты: Изд. КНЦ АН СССР, 1989. С. 113.

Boily F., Beaudoin S., Measures L.N. Hematology and serum chemistry of harp (*Phoca groenlandica*) and hooded seals (*Cystophora crystata*) during the breeding season, in the Gulf of St. Lawrence, Canada // J. Wildlife Diseases. 2006. V. 42, № 1. P. 115–132.

Cavagnolo R.Z. The immunology of marine mammals // Developmental and Comparative Immunology. 1979. V. 3, № 2. P. 245–257.

Clark P., Boardman W.S., Duignan P.J. Cytology of haematological cells of otariid seals indigenous to Australasian waters // Australian Veterinary J. 2002. V. 80, № 3. P. 161–164.

DeMonte T., Pilleri G. Cetacean hematology. II. The blood cells // Invest. Cetacea. 1979. V. 10. P. 289–306.

Engelhardt F.R. Haematology and plasma chemistry of captive pinnipeds and cetaceans // Aquatic Mammals. 1979. V. 7, № 1. P. 11–20.

Geraci J.R., Smith T.G. Functional hematology of ringed seals (*Phoca hispida*) in the Canadian arctic // J. Fish. Res. Board Can. 1975. V. 32. P. 2559–2564.

Hematology and serum chemistry values in the beluga (*Delphinapterus leucas*) / L.H. Cornell, D.S. Duffield, B.E. Joseph, B. Stark // J. Wildlife Diseases. 1988. V. 24, № 2. P. 220–224.

Hematology and serum chemistry in stranded and wild-caught harbor seals in central California: reference intervals, predictors of survival, and parameters affecting blood variables / D.J. Greig, F.M. Gulland, C.A. Rios, A.J. Hall // J. Wildlife Diseases. 2010. V. 46, № 4. P. 1172–1184.

Medway W., Geraci R.J. Hematology of bottlenosed dolphin (*Tursiops truncatus*) // Am. J. Physiol. 1964. V. 207, № 7. P. 1367–1370.

Ridgway S.H. Homeostasis in the aquatic environment // Mammals of the Sea, biology and medicine. 1972. Ch. 10. P. 590–747.

Ronald K., Foster M.E., Johnson E. The harp seal, *Pagophilus groenlandicus* (Erxleben, 1777). II. Physical blood properties // Can. J. Zool. 1969. № 3. P. 461–468.

Size and distribution of oxygen stores in harp and hooded seals from birth to maturity / J.M. Burns, K.C. Lestyk, L.P. Folkow et al. // J. Comparative Physiology B. 2007. № 177. P. 687–700.

ОСОБЕННОСТИ РАЗМНОЖЕНИЯ ДВУСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ *MACOMA CALCAREA* (BIVALVIA, TELLINIDAE) В РАЗНЫХ РАЙОНАХ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

А.Э. Носкович, Л.В. Павлова
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. *Macoma calcarea* – бореально-арктический вид двустворчатых моллюсков, который широко распространен во всех северных морях России. В Атлантическом океане данный вид расселяется на юг до Балтийского моря, в Тихом океане – до залива Посьета и Монтеррей (Наумов, 2006). Как и все двустворчатые моллюски, *M. calcarea* играет важную роль в морских экосистемах, служит кормом для многих видов донных беспозвоночных, рыб, птиц, морских млекопитающих, а также участвует в биофильтрации и переотложении донных осадков. Несмотря на широкое распространение этого вида в арктической и бореальной зоне, его обилие и важную роль в некоторых донных сообществах, многие аспекты биологии данного моллюска, в том числе и размножение, изучены недостаточно.

Известно, что моллюски *M. calcarea* раздельнополы (Ockelmann, 1958; Oertzen, 1972). Нерест у них, в зависимости от условий обитания, может происходить в разное время года: в Балтийском море – в зимние и весенние месяцы (Oertzen, 1972), у берегов Гренландии – в летние месяцы (Thorson, 1936). Сдвиг нереста от теплых до самых холодных месяцев года является единственным средством обеспечения существования вида и позволяет расширять площадь его распространения (Oertzen, 1972). В неблагоприятных условиях моллюски могут

размножаться не каждый год, что наблюдается в Гренландском море (Ockelmann, 1958). *Macoma calcarea* предположительно производит пелагические планктотрофные личинки (Oertzen, 1972). Сведения о половой структуре, размерах и возрасте наступления половой зрелости в литературе отсутствуют. В Баренцевоморском регионе многие аспекты биологии данного вида не исследованы.

Поскольку *M. calcarea* занимает видное место в составе прибрежных сообществ Баренцева моря (Зацепин, 1962), для прогнозирования возможных изменений, вызванных климатическими флуктуациями или антропогенным воздействием, необходимы данные об основных показателях его репродуктивной биологии. В связи с широким географическим распространением *M. calcarea* также значительный интерес вызывает изучение биологии этого моллюска в различных частях ареала.

В данной работе использован материал из Баренцева и Печорского морей. Печорское море – часть Баренцева, однако имеет свою особую историю развития, обладает своеобразным рельефом и строением осадочной толщи, отличается гидрологическим и ледовым режимом (Печорское …, 2007). Подобные различия в условиях обитания могут оказать влияние на биологические характеристики поселений *M. calcarea*.

Цель данного исследования – выяснение особенностей размножения двустворчатого моллюска *M. calcarea* в районах Баренцева моря с различным гидрологическим режимом. В задачи исследования входило проанализировать в сравнительном аспекте размерную и половую структуры, размер наступления половой зрелости и размеры зародышевой раковины, оценить ориентировочно сроки размножения моллюсков.

Материал и методы. Моллюски, собранные в Баренцевом и Печорском морях с 2006 по 2011 гг. сотрудниками Мурманского морского биологического института в ходе дночерпательных и водолазных работ, послужили материалом для исследования. В прибрежье южной части Баренцева моря пробы были отобраны в губах Ура, Ивановская и Дроздовка, в восточной части моря – у берегов Новой Земли, в Печорском море – в губе Варандейская (табл. 1). Глубина отбора проб от 5 до 165 м. Всего было изучено 784 моллюска.

Длину раковины у *M. calcarea* измеряли с помощью штангенциркуля с точностью до 0.1 мм, у мелких особей – с помощью окулярной линейки бинокулярного микроскопа. Пол моллюсков определяли на давленом препарате гонады. Диаметр ооцитов, а также длину зрелых сперматозоидов измеряли при помощи окуляр-микрометра. По степени развития половых желез дифференцировали ювенильных и половозрелых моллюсков. Различали следующие стадии зрелости гонад (Методы …, 1990):

1) начало гаметогенеза – в препарате различимы мелкие ооциты (у самок) или незрелые сперматоциты (у самцов);

2) активный гаметогенез – у самок преобладают крупные ооциты на ножках (цитоплазматических стебельках), у самцов помимо сперматоцитов в небольшом количестве встречаются зрелые сперматозоиды;

3) преднерестовая стадия – у самок многочисленные крупные свободные (преимущественно без ножек) зрелые ооциты, у самцов – зрелые сперматозоиды;

4) нерестовая – в микропрепарате редкие или единичные зрелые гаметы;

5) посленерестовая – в микропрепарате половые клетки неразличимы.

Длину зародышевой раковины определяли преимущественно у мелких моллюсков, так как у более крупных особей она уже не видна из-за повреждений верхнего слоя раковины в районе макушки. Измерения проводили при помощи окуляр-микрометра.

Статистическая обработка данных выполнена с использованием программы Microsoft Office Excel 2007. Соответствие соотношения полов равномерному распределению (1:1) для каждого года исследований проверяли на основе критерия χ^2 (Ивантер, Коросов, 2003). Для попарного сравнения выборок использовали непараметрический критерий Манна–Уитни (Ивантер, Коросов, 2003).

Таблица 1

Объем материала и характеристика районов отбора проб

Дата отбора	n	Координаты		N, экз.	T, °C	S, ‰	H, м	Грунт
		с. ш.	в. д.					
Губа Ивановская								
20.08.2011 г.	6	68°20.069 68°18.958	38°28.599 38°33.138	184	7.7–13.1	19.5–33.8	5.0–15.0	Песчано-Илистый
Губа Дроздовка								
17.08.2011 г.	6	68°21.326 68°20.164	38°25.196 38°24.789	215	7.2–8.6	33.6–33.9	5.9–21.0	Песчано-Илистый
Губа Ура								
28.08.2007 г.	3	69°22.912	32°54.371	104	10.6	32.4	5.0–7.0	Песчано-илистый
Губа Варандейская								
15.11.2010 г.	6	69°38.582 69°68.775	57°74.377 56°88.173	42	2.3–3.2	32.5–32.9	20.0–35.0	Песчано-илистый, глина
16.11.2010 г.	8	69°72.521 69°85.548 69°98.604	55°28.482 55°63.863 56°00.265	43	1.4–3.5	33.4–34.5	45.0–80.0	Ил, тяжелая глина, камни, песок
Прибрежье арх. Новая Земля								
19.08.2006 г.	3	73°27.095 73°26.974 75°26.927	52°59.697 52°59.790 52°59.780	30	–0.37	34.7	59.8	Средние, крупные пески
20.08.2006 г.	6	75°25.039 75°25.160 75°25.279 75°33.074 75°33.212 75°33.374	56°00.417 56°00.727 56°01.175 56°33.800 56°34.314 56°34.889	62	–1.8…–0.7	34.8–35.2	148.8–165.0	Тяжелая глина, ил, щебень, галька
01.09.2007 г.	5	75°32.560 75°32.691 75°25.019 75°25.029 75°25.046	56°18.564 56°17.533 55°59.696 55°59.226 55°58.818	50	0.7–0.8	34.8–34.9	158.8–165.0	Ил, мелкие камни, песок, глина
02.09.2007 г.	8	74°44.041 74°44.203 74°44.339 73°27.509 73°27.609 73°27.747 72°40.202 72°40.276	54°54.086 54°54.319 54°54.528 53°00.779 53°00.968 53°01.297 51°35.276 51°35.376	54	0.6–1.4	34.6–34.9	64.4–130.0	Илистый песок, камни, валуны, ракуша

ПРИМЕЧАНИЕ. n – количество проб, N – количество моллюсков, T – придонная температура, S – соленость, H – глубина.

Результаты и обсуждение. Длина раковины у особей из районов исследований изменялась от 0.8 до 39.2 мм (табл. 2). В прибрежных популяциях губ Ивановская, Дроздовка, Ура и Варандейская размерный состав *M. calcarea* оказался довольно сходным (рис. 1, кри-

терий Манна–Уитни: $U > 29.0$, $p > 0.05$). В размерной структуре существенно доминирует молодь. Особи с длиной раковины до 3.8 мм особенно многочисленны в губах Дроздовка и Ура (83–90 % численности выборки). В губе Ивановская и Варандейская данная размерная группа доминирует в меньшей степени – 60–65 % (рис. 1).

Таблица 2

Основные статистические параметры размерного состава исследованных популяций

Район	Объем выборки, экз.	Минимум, мм	Максимум, мм	Среднее, мм	Медиана	Стандартное отклонение
Губа Ивановская	184	0.8	29.0	4.8	3.2	4.5
Губа Дроздовка	215	1.0	13.4	2.8	1.4	2.6
Губа Ура	104	1.1	23.5	2.9	1.8	3.8
Губа Варандейская	85	1.1	32.7	5.3	2.8	6.4
Прибрежье арх. Новая Земля	196	1.0	39.2	15.7	13.7	11.6

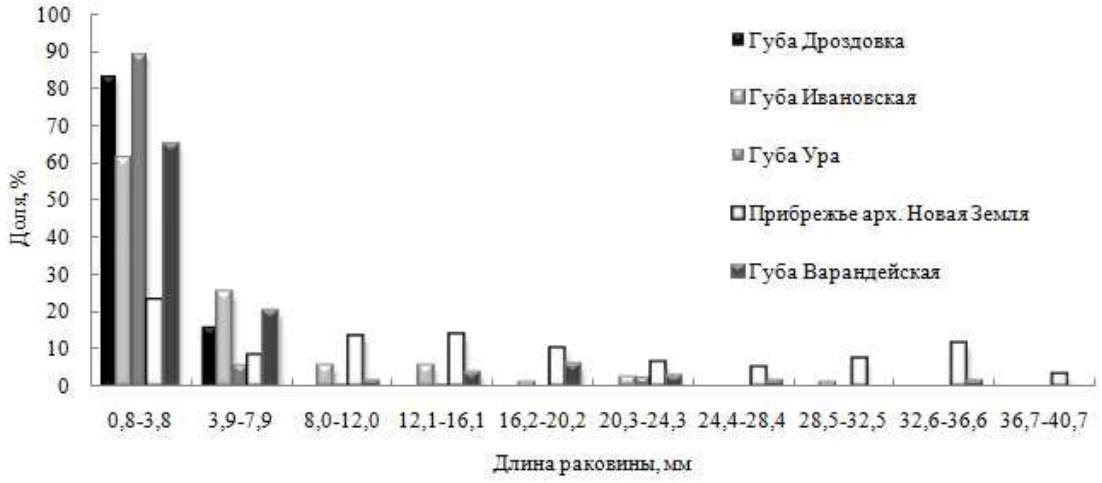


Рис. 1. Размерный состав моллюсков *M. calcarea* в районах исследований

Размерная структура популяций *M. calcarea* из прибрежья арх. Новая Земля отличается от таковой других районов исследований (критерий Манна–Уитни: $U < 26.0$, $p < 0.05$). Здесь не выявлено такого резкого доминирования молоди по сравнению с другими районами (доля моллюсков длиной до 3.8 мм – 20 %). В отличие от южной части Баренцева моря в прибрежье архипелага размерные классы моллюсков разнообразнее, и в общей выборке они представлены более равномерно (рис. 1).

Различия в размерном составе моллюсков *M. calcarea* из южной и восточной части Баренцева моря обусловлены условиями их обитания. Известно, что на скорость роста и размер раковины влияют такие параметры как соленость, температура воды, глубина, грунт (Rasmussen, 1973), содержание растворенного кислорода. В губах Мурмана и Печорском море температура и соленость воды более изменчивы, чем у берегов Новой Земли, причем, чем меньше глубина обитания моллюсков, тем условия становятся более нестабильными. У берегов арх. Новая Земля пробы были отобраны на значительной глубине (табл. 1), где моллюски менее подвержены перепадам температуры и солености. Такие более постоянные условия способствуют выживанию крупноразмерных моллюсков *M. calcarea*. Однако пополнение популяции молодью на такой глубине и в таких условиях происходит не столь хорошо, как в губах южной части Баренцева моря.

Во всех районах исследований особи с длиной раковины менее 4.8 мм оказались неполовозрелыми. Максимальные размеры ювенильных особей в разных районах исследований отличались (табл. 2). Доля половозрелых моллюсков постепенно увеличивалась у особей с длиной раковины от 4.8 до 8.4 мм (табл. 2). В губе Дроздовка у моллюсков половая зрелость наступала при меньшей длине, чем в других рассматриваемых районах. По этому показателю наши расчеты отличаются от данных, полученных другими исследователями для моллюсков *M. calcarea* из северных частей ареала. У побережья Западной Гренландии *M. calcarea* имеют развитую гонаду при длине раковины 9 мм (Petersen, 1978). А у близкородственного вида *M. balthica* моллюски достигают половозрелости при длине раковины 8 мм (Максимович, 1980).

Минимальные размеры половозрелых самцов *M. calcarea* варьировали в незначительных пределах – от 4.8 до 7.9 мм. У самок в силу малого количества этот показатель изменялся существеннее (табл. 3).

Таблица 3

Длина раковины неполовозрелых и половозрелых моллюсков *M. calcarea*, мм

Район	Неполовозрелые особи	Половозрелые	
		самцы	самки
Губа Дроздовка	1.0–5.5	4.8–13.4	7.3–7.9
Губа Ивановская	0.8–8.4	7.2–29.0	8.1–24.1
Губа Ура	1.1–5.8	7.0–23.5	14.5*
Прибрежье арх. Новая Земля	1.0–6.7	7.9–38.7	10.6–39.2
Губа Варандейская	1.1–5.9	6.2–23.8	8.5–32.7

*Отмечена лишь одна самка.

Соотношение доли половозрелых и неполовозрелых моллюсков оказалось схожим в губах южного побережья Баренцева моря, включая и губу Варандейская (рис. 2). Особенно сильно ювенильные особи доминировали в губах Ура и Дроздовка. По-видимому, условия для размножения и успешного оседания личинок в этих районах сложились особенно удачно по сравнению с другими. Следует отметить малую долю неполовозрелых моллюсков и значительное преобладание половозрелых особей в районе арх. Новая Земля. Известно, что в неустойчивых растущих популяциях увеличивается число потомков, размножение начинается раньше (Одум, 1986). С этой точки зрения, учитывая особенности размерного состава и размер полового созревания, а также долю молоди в поселениях, состояние популяций *M. calcarea* из прибрежья Мурмана и Печорского моря можно характеризовать как нестабильное. Состояние новоземельской популяции *M. calcarea*, напротив, более стабильно, а популяция устойчива.

В исследованных популяциях соотношение полов оказалось далеким от 1:1. Повсеместно отмечено количественное преобладание самцов над самками (рис. 2). Наиболее велика разница в соотношении между самками и самцами в губе Дроздовка (1:6), наименее – в губе Варандейская (1:1.5). Такое соотношение полов может быть вызвано различными факторами, как генетическими, так и экологическими. Известно, что у многих видов пол зависит от температуры. Также данное соотношение может быть вызвано высокой смертностью самок в исследуемых районах (Одум, 1986). У некоторых видов двустворчатых моллюсков наблюдается явление протандрии, когда у ювенильных особей формируются мужские половые клетки (Coe, 1943). В целом, на данном этапе исследования затруднительно интерпретировать подобное неравномерное соотношение полов.

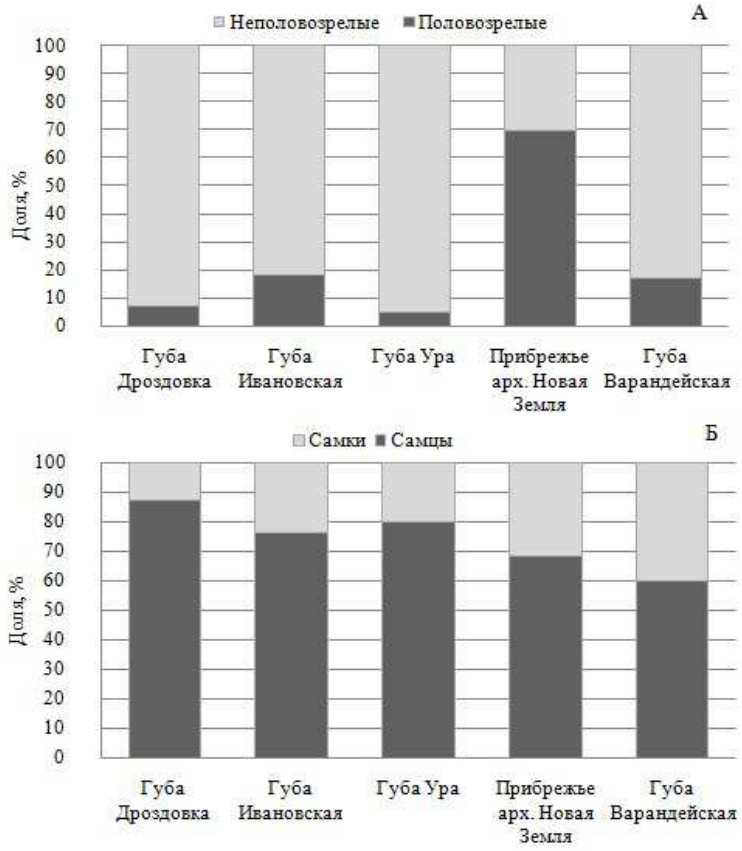


Рис. 2. Соотношение половозрелых и неполовозрелых моллюсков *M. calcarea* (А) и соотношение полов в популяции *M. calcarea* (Б)

Сроки размножения моллюсков может определить по стадиям зрелости гонад. Самки *M. calcarea* в преднерестовой стадии были обнаружены только в прибрежье арх. Новая Земля – 20 % (рис. 3). Учитывая, что пробы были отобраны в августе, можно предположить, что нерест в данном районе будет проходить в осенние месяцы. В других районах исследования самок со зрелыми ооцитами обнаружено не было, у них преобладали стадии активного гаметогенеза или его начала. Самый большой процент самок на стадии начала гаметогенеза был отмечен в августе в губе Ивановская (75 %). Нерест моллюсков в этом районе, возможно, должен проходить в зимние месяцы. В губе Дроздовка самки на стадии начала гаметогенеза и активного гаметогенеза находятся в равном соотношении. В губе Ура были обнаружены самки только на стадии активного гаметогенеза, но следует учесть, что объем выборки был мал. В губах Дроздовка и Ура нерест можно ожидать в зимние месяцы, а в губе Варандейская, где пробы были отобраны в середине ноября, размножение у *M. calcarea* могло начаться весной. В Балтийском море моллюски со зрелыми гаметами встречаются преимущественно в зимние и весенние месяцы (Oertzen, 1972). Наши данные по срокам размножения в губах южного побережья Баренцева моря в целом сходны с литературными. В поселениях моллюсков у арх. Новая Земля размножение, видимо, сдвинуто на другой сезон в силу условий обитания.

Длина зародышевой раковины *M. calcarea* в районах исследований варьировала от 0.2 до 0.48 мм, особенно широкий размах значений наблюдали у моллюсков с побережья арх. Новая Земля (табл. 4). Известно, что размеры молоди уменьшаются в условиях достатка ресурсов и отсутствия давления хищников или конкурентов (Одум, 1986). С этой точки зрения сильное варьирование размеров зародышевой раковины в прибрежье арх. Новая Земля

вызывается определенными факторами среды, свойственными данному району (например, особенности пищевых ресурсов). Следует отметить, что в исследуемых поселениях размер зародышевой раковины напрямую коррелирует со средним размером раковины моллюска.

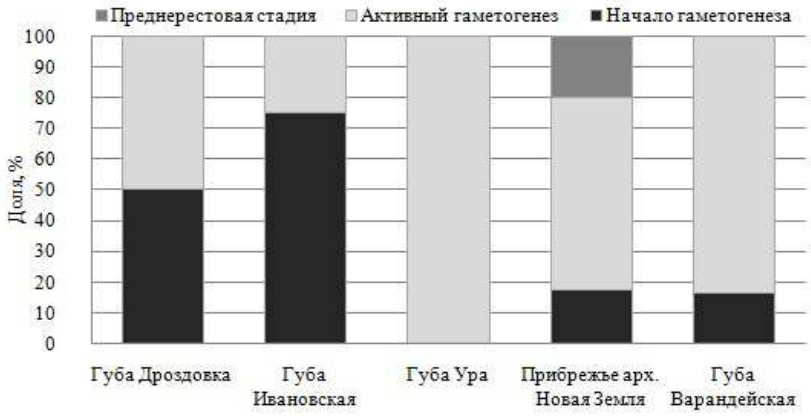


Рис. 3. Соотношение самок *M. calcarea* на разных стадиях гаметогенеза в районах исследований

Таблица 4

Длина зародышевой раковины в исследованных популяциях *M. calcarea*, мм

Район	Объем выборки, экз.	Минимум	Максимум	Среднее	Медиана	Стандартное отклонение
Губа Ивановская	144	0.30	0.45	0.38	0.37	0.03
Губа Дроздовка	194	0.25	0.42	0.34	0.35	0.05
Губа Ура	100	0.30	0.43	0.36	0.36	0.02
Губа Варандейская	72	0.32	0.43	0.37	0.38	0.02
Прибрежье арх. Новая Земля	66	0.2	0.48	0.34	0.35	0.08

Таким образом, сходные гидрологические условия обитания моллюсков *M. calcarea* в губах южной части Баренцева моря обусловили сходство размерного состава поселений данного вида и некоторых репродуктивных показателей. Условия обитания в южной части моря можно назвать более теплыми (вдоль берега на восток проходит теплая ветвь Атлантического течения) и в то же время – изменчивыми. Район губы Варандейская (Печорское море) подвержен ослабленному влиянию системы Гольфстрим – главного фактора формирования водных масс Баренцевоморского бассейна, и может считаться более холодноводным. Наиболее суровые температурные условия характерны для прибрежья арх. Новая Земля. Вместе с тем здесь наблюдаются минимальные колебания гидрологических условий по сравнению с другими районами исследований. В таких условиях формируются поселения *M. calcarea* с другой размерной структурой, в которых размножение происходит в иные сроки, нежели в губах южной части Баренцева моря.

В районе арх. Новая Земля состояние популяции *M. calcarea* более стабильно, хотя пополнение молодью незначительно. Размерные классы моллюсков здесь представлены наиболее полно, особи в данном районе достигают более крупных размеров, в их поселениях численно преобладают половозрелые моллюски. Возможно, условия для размножения, питания и развития личинок в прибрежье арх. Новая Земля не столь благоприятны, как в других районах исследований. В прибрежье Западного и Восточного Мурмана, а также в губе Варандейская Печорского моря популяции *M. calcarea* менее стабильны, хотя условия для

размножения более благоприятны. Здесь в поселениях моллюсков крайне многочисленна молодь, достигающая половой зрелости при меньших размерах, чем на востоке Баренцева моря. Особи с крупными размерами редки, по-видимому, вследствие более высокой смертности. Во всех районах исследований среди половозрелых моллюсков *M. calcarea* преобладают самцы. Обычно в популяциях многих других видов соотношение полов бывает равным или сдвинуто в сторону самок. Причина такого дисбаланса в половой структуре *M. calcarea* не ясна и нуждается в дальнейшем исследовании.

Работа выполнена по теме 9-13-02 (52; 51) «Биоразнообразие и экология зообентоса Баренцева моря, его водосборного бассейна и сопредельных акваторий» (№ ГР 01 2013 66849, № в ГЗ 0228-2018-0002).

Литература

Зацепин В.И. Сообщества фауны донных беспозвоночных мурманского прибрежья Баренцева моря и их связь с сообществами Северной Атлантики // Тр. Всесоюз. гидробиол. общ-ва. 1962. Т. 12. С. 245–344.

Ивантер Э.В., Коросов А.В. Введение в количественную биологию. Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд. ПетрГУ, 2003. 304 с.

Максимович Н.В. Особенности экологии некоторых массовых двустворчатых моллюсков Белого моря: Автореф. дис. … канд. биол. наук. Л., 1980. 26 с.

Методы изучения двустворчатых моллюсков / Под ред. Г.Л. Шкорбатова, Я.И. Старобогатова. Л.: Изд. Зоол. ин-та АН СССР, 1990. 208 с. (Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 219).

Наумов А.Д. Двустворчатые моллюски Белого моря. Опыт эколого-фаунистического анализа. СПб.: Изд. ЗИН РАН, 2006. 367 с.

Одум Ю. Экология: В 2-х т. М.: Мир, 1986. Т. 2. 376 с.

Печорское море: прошлое, настоящее, будущее / Ю.А. Павлидис, С.Л. Никифоров, С.А. Огородов, Г.А. Тарасов // Океанология. 2007. Т. 47, № 6. С. 927–939.

Coe W.R. Sexual differentiation in mollusks. I. Pelecypods // Quart. Rev. Biol. 1943. V. 18, № 2. P. 154–164.

Ockelmann W.K. The zoology of East Greenland marine Lamellibranchiate // Meddr. Grenland. 1958. V. 122(4). P. 256.

Oertzen J.-A. Cycles and rates of reproduction of six Baltic Sea bivalves of different zoogeographical origin // Mar. Biol. 1972. V. 14. P. 143–149.

Petersen G.H. Life cycles and population dynamics of marine benthic bivalves from the Disco Bugt area of West Greenland // Ophelia. 1978. V. 17, № 1. P. 95–120.

Rasmussen E. Systematics and ecology of the Icefjord marine fauna (Denmark) // Ophelia. 1973. V. 11. P. 1495.

Thorson G. The larval development, growth and metabolism of Arctic marine bottom invertebrates // Meddr. Grenland. 1936. V. 100. P. 1–155.

СОСТОЯНИЕ ВОД БАРЕНЦЕВА МОРЯ НА СТАНДАРТНЫХ РАЗРЕЗАХ III (МЫС НОРДКАП–О. МЕДВЕЖИЙ) И XIX (О. МЕДВЕЖИЙ–МЫС СЁРКАП) ЗИМОЙ 2017 ГОДА

И.А. Пастухов
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. Стандартные океанографические разрезы III (мыс Нордкап–о. Медвежий) и XIX (о. Медвежий–мыс Сёркап) проходят по западной границе Баренцева моря. Через разрез мыс Нордкап–о. Медвежий с Нордкапским течением поступает в Баренцево море примерно

3.5 Св, через разрез о. Медвежий–мыс Сёркап проходит противоток, и в Норвежское и Гренландское моря поступает примерно 0.9 Св. Мониторинг на разрезе III проводится с 1929 г. В 1960-е годы отбор проб на разрезе осуществлялся до 26 раз в год, в последнее время – ежеквартально (Ожигин, Ившин, 1999). Разрезы пересекают устойчивые участки климатической фронтальной зоны Баренцева моря.

Сотрудники ММБИ КНЦ РАН на НИС «Дальние Зеленцы» с 11 ноября по 14 ноября 2017 г. проводили исследования на разрезах III и XIX (рис. 1), в ходе которых были получены гидрохимические данные по содержанию растворенного кислорода, фосфатов, нитритного азота.

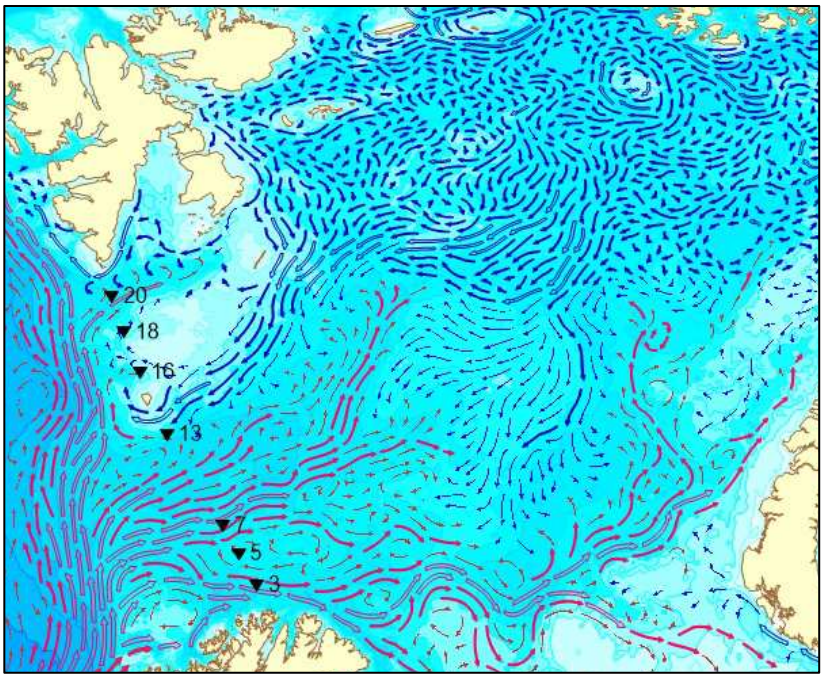


Рис. 1. Расположение гидрохимических станций и направления течений на исследуемой акватории

Всего на 7 станциях отобрано 35 проб. Вода для проведения анализов отбиралась с помощью пластиковых батометров системы Нискина со стандартных горизонтов 0, 10, 25, 50, 75 и 100 м. Все аналитические определения выполнены сразу же после отбора проб воды, непосредственно на борту судна. Измерение нитритов (NO_2) и фосфатов (PO_4) осуществлялись на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ по стандартным гидрохимическими методикам (Агатова и др., 1991). Неорганический растворенный фосфор ($P–PO_4^{3-}$) определяли по методу Морфии–Райли, нитритный азот ($N–NO_2^-$) – методом Бендшнайдера и Робинсона, растворенный кислород (O_2) – титрометрическим методом Винклера.

Результаты. Анализ гидрологических данных с привлечением литературных сведений (Матишов и др., 1997) показал, что на станциях 3, 5, 7 и 20 преобладают атлантические водные массы, в то время как на станциях 13, 16 – арктические. Станция 18 характеризуется сложным составом водных масс.

Распределение кислорода на исследуемой акватории подчинялась двум основным факторам. Во-первых, оно зависит от температуры воды. Так на южных станциях разреза III и близкой к Шпицбергену ст. 20 температура воды была выше (6.35–7.83 ^oC), чем в районе о. Медвежий, где в поверхностных слоях температура не превышала 5.35 ^oC. Во-вторых, немаловажным фактором, влияющим на распределение кислорода, является адвекция, наибольшие значения которой отмечаются в этом районе как раз в холодное время года (Гидрометеорология …, 1990). Из северных районов поступают насыщенные кислородом холодные

арктические воды, которые смешиваясь в районе о. Медвежий с теплыми атлантическими водами Нордкапского течения (Loeng, 1991), создают на поверхности локальный максимум насыщения кислородом (рис. 2). Если на южных станциях разреза III содержание кислорода даже на поверхностных горизонтах не превышало 93 %, то на станциях вблизи о. Медвежий и Шпицбергенской банки оно выше 100 %. Это в целом соответствует сезонным закономерностям, характерным для данного времени года (92–100 % в поверхностном горизонте, снижение содержания кислорода от поверхности ко дну; Матишов и др., 1997).

В распределении нитритного азота на исследуемой акватории (рис. 3) отсутствует стратификация, что позволяет утверждать о переходе к зимнему типу распределения биогенов. Максимальные концентрации для исследуемого района наблюдаются, как и для кислорода, в районе о. Медвежий, где достигают 23 мкг/л (ст. 13). Высокие концентрации нитритов наблюдаются в районах полярного фронта, где адвективные потоки подымают биогены со дна, а также в районах близких к суше, где они поступают с поверхности (Гидрометеорология …, 1992). Данный район испытывает суммарное влияние этих факторов.

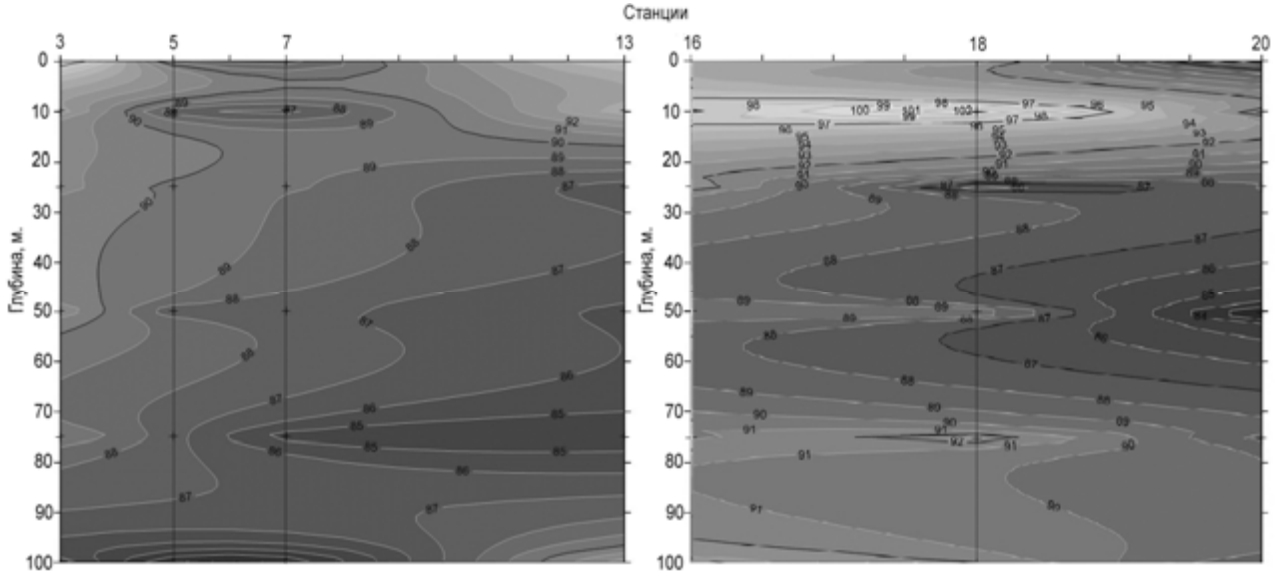


Рис. 2. Содержание кислорода в водах исследуемой акватории

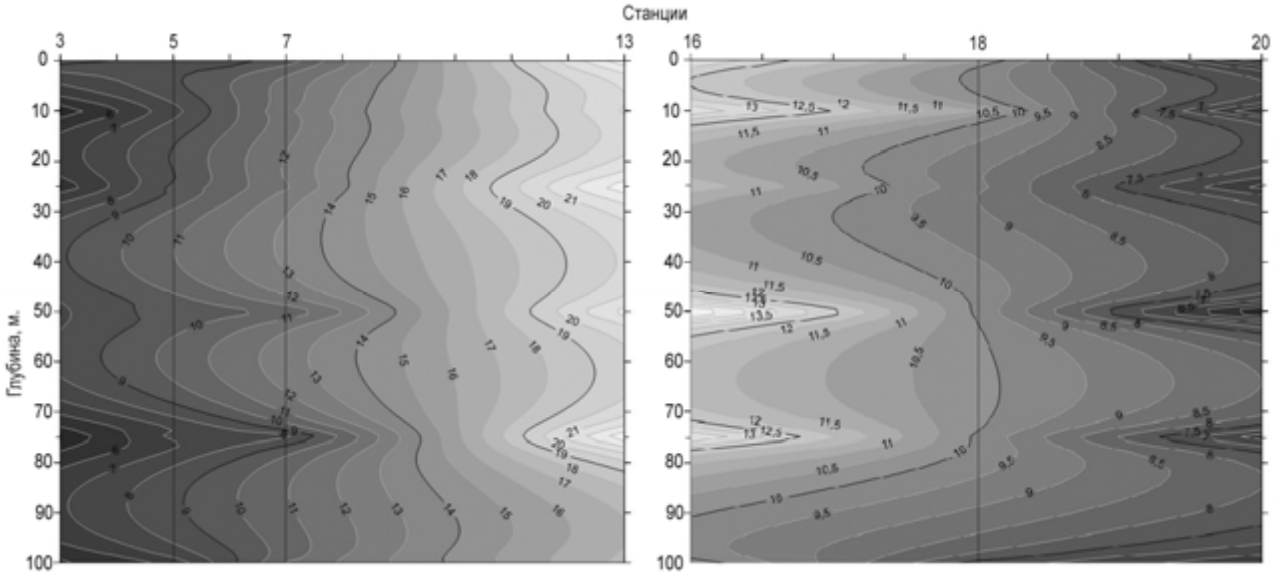


Рис. 3. Распределение нитритов в водах исследуемой акватории

Картина распределения фосфатов в данном районе (рис. 4) противоположна таковому нитритов и кислорода. Значительное влияние на максимумы концентраций оказывают атлантические водные массы, которые поднимают со дна богатые фосфатами воды на поверхность над Шпицбергенской банкой, где отмечено их наибольшее содержание относительно всех остальных станций (до 72 мкг/л), причем максимумы зарегистрированы как в придонном горизонте, так и на глубине 10 м. На всех остальных точках отмечено типичное для зимнего периода распределение фосфатов с максимумом в придонных горизонтах (64–68 мкг/л).

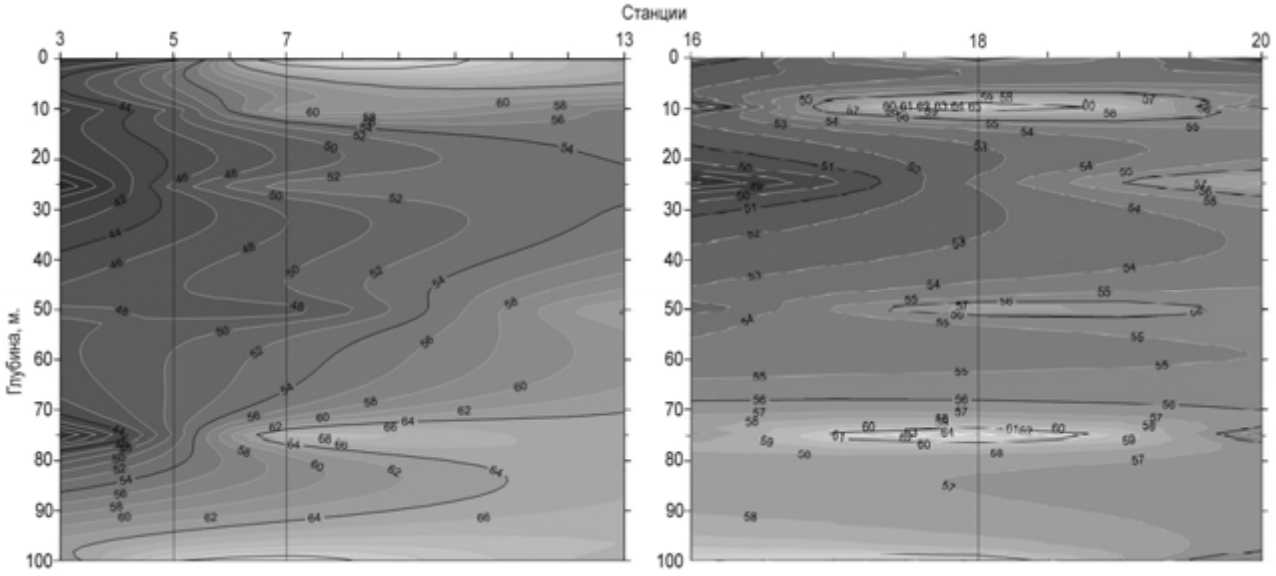


Рис. 4. Распределение фосфатов в водах исследуемой акватории

Выводы. На территории исследуемого района нами отмечены следующие закономерности:

1) характер распределения и концентрация биогенных элементов находится в прямой зависимости от происхождения и гидрологических параметров преобладающих водных масс;

2) наступление гидрологической зимы, которая характеризуется выравниванием концентраций биогенов по всей глубине водного столба;

3) значительное влияние адвективных процессов на распределение биогенных элементов в районе о. Медвежий и фосфатов в районе Шпицбергенской банки.

Работа выполнена по теме 9-17-01 (51) «Особенности организации арктических планктонных сообществ в условиях современных климатических изменений (Баренцево, Карское моря и море Лаптевых)» (№ ГР АААА-А17-117-52310083-5, № в ГЗ 0228-2018-0001).

Литература

Агатова А.И., Налетова И.А., Зубаревич В.Л. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. М.: Агропромиздат, 1991. 224 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1 / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. Л.: Гидрометеоиздат, 1990. 280 с.

Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и основы формирования биологической продуктивности / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. СПб.: Гидрометеоиздат, 1992. 181 с.

Ожигин В.К., Ившин В.А. Водные массы Баренцева моря. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1999. 48 с.

Матишов Г.Г., Павлова Л.Г., Ильин Г.В. Химические процессы в экосистемах северных морей. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 1997. 404 с.

Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // Polar Res. 1991. V. 10. P. 5–18.

ГЕЛЬМИНТОФАУНА АРКТИЧЕСКОГО ГОЛЬЦА *SALVELINUS ALPINUS* И КУМЖИ *SALMO TRUTTA* В СИСТЕМЕ ОЗЕР ВБЛИЗИ ГУБЫ РУЧЬЕВСКАЯ (КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ)

М.П. Плаксина
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Арктический голец *Salvelinus alpinus* Linnaeus, 1758 и кумжа *Salmo trutta* Linnaeus, 1758 являются важными промысловыми видами и перспективными объектами разведения. В странах Арктического бассейна, особенно в Исландии, скандинавских странах, Канаде, США большое внимание уделяется выращиванию арктического гольца в условиях марикультуры. При этом своевременное и систематическое проведение паразитологического контроля объектов разведения позволяет определить эпизоотическую ситуацию по инвазионным болезням рыб, разработать противоэпизоотические мероприятия для обеспечения и повышения эффективности производства в условиях аквакультуры.

К настоящему времени фауна паразитов арктического гольца и кумжи бассейнов Баренцева и Белого морей изучена довольно подробно. Этому посвящены многочисленные работы отечественных специалистов (Полянский, 1955; Митенев, 1982, 1984, 2000; Митенев, Шульман, 1988, 1999). У гольца в пределах Голарктики отмечено 276 видов паразитов, у кумжи насчитывается 42 вида. Качественное разнообразие фауны паразитов гольца определяется их эврибионтностью и широким спектром питания (Буторина, 2009). В связи с этим большое значение приобретает паразитологический мониторинг, поскольку среди паразитов гольца и кумжи есть виды, имеющие эпизоотическое и медицинское значение, в том числе опасные для молоди и половозрелых рыб в аквакультуре. Соответственно, паразитологические данные имеют большое значение для оценки эпизоотического состояния водоемов и перспективы отбора рыб как объектов для разведения.

Материал и методы. Материал для исследования был собран в системе озер вблизи губы Ручьевская осенью 2017 г. Губа расположена на северном берегу Сайда-губы (Кольский залив). Всего методом полного паразитологического вскрытия обследовано 15 особей гольца и 10 особей кумжи. При работе использовали микроскопы МС-2 Zoom (Россия) с ув. 20, МикМед–2 (Россия) с ув. 10, 20, 40 и Olympus BX53 (Япония), оснащенные измерительной линейкой и цифровой фотокамерой.

Обнаруженные паразиты фиксировали в соответствии с общепринятыми методиками (Быховская-Павловская, 1985). Для моногеней сразу же готовили постоянные глицерин-желатиновые препараты. Гельминты фиксировали 70°-м этиловым спиртом. Цестоды окрашивали ацето- и квасцовым кармином, проводили через серию спиртов (70–100º), просветляли в гвоздичном масле и заключали в канадский бальзам.

Для характеристики численности паразитов использовали экстенсивность инвазии (ЭИ – отношение количества рыб, зараженных паразитом данного вида, к общему количеству рыб в выборке, %), интенсивность инвазии (ИИ – количество особей данного вида паразита в одной особи хозяина, экз.) и индекс обилия (ИО – отношение общего количества каждого вида гельминтов в хозяине к общему количеству обследованных особей рыб данного вида, экз.).

При работе использовали «Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Паразитические многоклеточные» (1985, 1987), а также отдельные статьи с первоописанием гельминтов.

Результаты и обсуждение. У гольца обнаружено 5 видов паразитов, относящихся к трем классам: моногенеи *Tetraonchus* sp., половозрелые цестоды *Eubothrium salvelini* (Schrank, 1790), личинки цестод *Proteocephalus* sp. l. и *Diphyllobothrium* sp., нематода *Cystidicola fari-*

onis (Fischer, 1798). Самыми массовыми по показателям зараженности являются цестоды (таблица). У кумжи обнаружены лищь *Proteocephalus* sp. l. и *Diphyllobothrium* sp. (таблица).

Гельминтофауна гольца и кумжи в системе озер вблизи губы Ручьевская

Таксон	*Salvelinus alpinus* (n = 15)			*Salmo trutta* (n = 10)		
	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.	ЭИ, %	ИИ, экз.	ИО, экз.
Monogenea						
Tetraonchus sp.	40	1–11 (3.2±1.6)	1.3±0.7	–	–	–
Cestoda						
Eubothrium salvelini	53	2–18 (5.7±2)	3.7±1.9	–	–	–
Proteocephalus sp. l	60	3–129 (30±14.5)	19.3±9.2	40	2–4 (3±0.6)	1.2±0.5
Diphyllobothrium sp.	73	2–47 (14.7±4.4)	11.0±3.6	30	7–31 (21±7.1)	6.2±3.6
Nematoda						
Cystidicola farionis	53	1–2 (1.2±0.2)	0.7±0.2	–	–	–

Из паразитов с прямым циклом развития отмечена лишь моногенея *Tetraonchus* sp. у гольца. Плохая сохранность материала не позволила определить точный систематический статус этой формы.

Основную роль в питании гольца и кумжи играет зоопланктон (Буторина и др., 1980), следствием чего была сравнительно высокая зараженность обоих видов рыб цестодами *Eubothrium salvelini*, *Proteocephalus* sp. l. и *Diphyllobothrium* sp. *Eubothrium salvelini* – паразит лососевых рыб, специфичный для рода *Salvelinus*. Промежуточные хозяева – циклопы, возможно присутствие резервуарных хозяев. В кишечнике рыб паразит живет в течение двух лет, оказывает на рыб патогенное влияние и может приводить к их гибели (Boyce, 1979). Промежуточные хозяева *Diphyllobothrium* sp. – прежде всего диаптомусы и в меньшей степени циклопы, вторые промежуточные и резервуарные хозяева – преимущественно лососевые, хариусовые и сиговые рыбы, а окончательные хозяева – рыбоядные птицы и млекопитающие (Делямуре и др., 1985). Дифиллоботрииды живут в рыбах в течение нескольких лет, при этом аккумулируются и оказывают патогенное воздействие на рыб вплоть до элиминации (Kennedy, 1978).

Промежуточные хозяева *Proteocephalus* sp. – веслоногие ракообразные (циклопы и диаптомусы), возможно участие хищных рыб в качестве резервуарных хозяев. Паразит не оказывает патогенного влияния на рыб даже при высоких показателях инвазии.

Находки нематоды *Cystidicola farionis* указывают на наличие в рационе гольца амфипод, олигохет и личинок насекомых – промежуточных хозяев данного паразита. Паразит живет в рыбе не менее 2 лет и способен накапливаться в течение жизни, вызывая изменения стенки плавательного пузыря, а при высоком уровне инвазии приводить к гибели рыб (Giaever et al., 1991).

Высокая зараженность цестодами *Proteocephalus* sp. и *Diphyllobothrium* sp. у гольца свидетельствует о доминирующей роли планктонных организмов в питании рыб. В то же время более редкие находки этих гельминтов у кумжи, возможно, связаны с питанием.

При изучении арктического гольца и кумжи не было обнаружено опасных паразитов, которые могли бы вызвать массовую гибель рыб в природных условиях. Однако *Tetraonchus* sp., *Diphyllobothrium* sp. и *Eubothrium salvelini* относятся к группе патогенных. Так, моногенея *Tetraonchus* sp. поражает жаберный аппарат рыб, тем самым вызывая кровоизлияния и некроз жаберной ткани. В природных условиях массовой гибели рыбы при этом не наблюдается, но при искусственном выращивании в условиях скученного содержания и малой подвижности рыб паразиты могут нанести ущерб.

При оценке эпизоотического состояния популяции гольца в системе озер вблизи губы Ручьевская (Кольский залив) обращает на себя внимание наличие у рыб плероцеркоидов *Diphyllobothrium* sp., которые находятся в капсулах на поверхности внутренних органов (пищевод, желудок, пилорические придатки) и в жировой ткани. Инвазия сопровождается снижением темпов роста, жизнеспособности и ухудшением общего состояния рыб. Также зараженность плероцеркоидами дифиллоботриид у гольцов представляет опасность для человека, поскольку эти цестоды могут использовать людей в качестве окончательных хозяев. Высокая экстенсивность (73 %) и интенсивность заражения (до 47 экз. на рыбу) этим паразитом позволяют оценить эпизоотическое состояние гольца в данном водоеме как неблагополучное. Следовательно, рыбу из этого района нельзя использовать в качестве исходного материала для искусственного разведения.

Заключение. В результате паразитологических исследований гольца и кумжи из озер вблизи губы Ручьевская обнаружено 5 видов паразитов, принадлежащих к 3 систематическим группам. Из них *Eubothrium salvelini* характерен только для рыб рода *Salvelinus.*

Паразитофауна кумжи характеризуется бедностью видового состава паразитов – у них отмечено наличие *Proteocephalus* sp. l. и *Diphyllobothrium* sp.

Полученные данные могут быть использованы при выборе районов для отлова объектов разведения. Эту информацию необходимо учитывать при организации рыбоводных заводов и для пополнения запасов рыб.

Работа выполнена по теме 9-13-07 (51; 52) «Паразиты в экосистемах северных морей: видовой состав, распределение, взаимоотношения с хозяевами» (№ ГР 01-2013-66844, № в ГЗ 0228-2018-0008).

Литература

Буторина Т.Е. Эколого-фаунистический анализ паразитов гольцов рода *Salvelinus* (Salmoniformes: Salmonidae) Голарктики: Автореф. дис. … докт. биол. наук. Владивосток, 2009. 42 с.

Буторина Т.Е., Пугачев О.Н., Хохлов П.П. Некоторые вопросы экологии и зоогеографии гольцов рода *Salvelinus* Тихоокеанского бассейна // Популяционная биология и систематика лососевых. Владивосток: Изд. ДВНЦ АН СССР, 1980. С. 82–96.

Быховская-Павловская И.Е. Паразиты рыб. Руководство по изучению. Л.: Наука, 1985. 131 с.

Делямуре С.Л., Скрябин А.С., Сердюков А.М. Основы цестодологии // Дифиллоботрииды – ленточные гельминты человека, млекопитающих и птиц. М.: Наука. 1985. Т. XI. С. 199.

Митенев В.К. Экологические особенности паразитофауны гольца *Salvelinus alpinus* (L.) европейского Севера // Планктон прибрежных вод Восточного Мурмана. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1982. С. 105–119.

Митенев В.К. Паразитофауна проходных лососей *Salmo salar* и *Salmo trutta* L. водоемов Кольского полуострова // Эколого-паразитологические исследования северных морей. Апатиты: Изд. КФ АН СССР, 1984. С. 88–97.

Митенев В.К. Паразиты пресноводных рыб Кольского Севера (фауна, экология, зоогеография): Автореф. дис. … докт. биол. наук. М., 2000. 46 с.

Митенев В.К., Шульман Б.С. Эколого-фаунистический анализ паразитов рыб реки Умба // Эколого-популяционный анализ паразито-хозяинных отношений. Петрозаводск: Кар. фил. АН СССР, 1988. С. 3–20.

Митенев В.К., Шульман Б.С. Паразиты рыб водоемов Мурманской области. Систематический каталог. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1999. 72 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Паразитические многоклеточные. Ч. I. Л: Наука, 1985. Т. 2. 452 с.

Определитель паразитов пресноводных рыб фауны СССР. Паразитические многоклеточные. Ч. III. Л.: Наука, 1987. Т. 3. 583 с.

Полянский Ю.И. Материалы по паразитологии рыб северных морей СССР. Паразиты рыб Баренцева моря // Тр. Зоол. ин-та АН СССР. 1955. Т. 19. С. 5–170.

Boyce N.P.J. Effects of *Eubothrium salvelini* (Cestoda: Pseudophyllidea) on the growth and vitality of sockeye salmon, *Oncorhynchus nerka* // Can. J. Zool. 1979. V. 57, № 3. P. 597–602.

Giaever A., Klemetsen A., Halvorsen O. Infection of *Cystidicola farionis* Fisher (Nematoda: Spiruroidea) in the swim bladder of Arctic charr, *Salvelinus alpinus* (L.), from Takvatn, North Norway // Nordic J. Freshwater Res. 1991. V. 66. P. 63–71.

Kennedy C.R. Studies on the biology of *Eubothrium salvelini* and *E. crassum* in resident and migratory *Salvelinus alpinus* and *Salmo trutta* and *S. salar* in North Norway and the islands of Spitsbergen and Jan Mayen // J. Fish Biol. 1978. V. 12, № 2. P. 147–162.

СПОСОБНОСТЬ БУРЫХ ВОДОРОСЛЕЙ *FUCUS VESICULOSUS* К ОЧИСТКЕ МОРСКОЙ СРЕДЫ ОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Д.О. Салахов
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

В современной науке накоплен обширный фактический материал о воздействии тяжелых металлов на морские макрофиты. Большинство исследователей рассматривает фукусовые водоросли, доминирующие на литорали арктических морей, как объекты мониторинга, способные улавливать изменения в содержании тяжелых металлов в морской среде. Известна способность водорослей-макрофитов накапливать тяжелые металлы в концентрациях в 1000–10000 раз больше по сравнению с их содержанием в воде (Bailey, Stokes, 1985). Но о способности водорослей «удерживать» накопленные тяжелые металлы сведений мало, и большая их часть носит гипотетический характер.

Объект исследований – литоральные водоросли *Fucus vesiculosus* Linnaeus, 1753, доминирующие среди фукусовых водорослей Баренцева моря и обладающие широким диапазоном толерантности к факторам внешней среды, антропогенной нагрузке (Воскобойников, 2006).

Цель исследований – определение роли *F. vesiculosus* в очистке морской среды от тяжелых металлов.

Материал и методы. Эксперименты проводили на базе лаборатории ММБИ в термостатированном прилавке при постоянном освещении 16–18 Вт/м^2 и температуре 6–8 ^{o}C с постоянной аэрацией. Талломы *F. vesiculosus* в возрасте 2–3 лет (4–6 дихотомических ветвлений), предварительно адаптированные к искусственным условиям среды, очищали от обрастателей, взвешивали на аналитических весах и помещали в стеклянные емкости, содержащие 2.5 л морской воды соленостью 35 ‰. В емкости вносили 10 мг/л нитрата свинца либо арсената натрия.

Эксперимент состоял из двух частей.

Задача первой части эксперимента состояла в анализе сорбционной способности водорослей. Длительность опыта – 10 сут. После опыта у водорослей анализировали содержание тяжелых металлов и фотосинтетическую активность. Параллельно определяли концентрацию свинца и мышьяка в воде с растениями и без них.

Задачей второй части эксперимента было определение способности водорослей удерживать тяжелые металлы. Для этого растения с накопленными в ходе первой части эксперимента металлами помещали в чистую воду на 5 сут. Анализировали содержание тяжелых металлов в водорослях и воде, а также фотосинтетическую активность растений.

Варианты экспериментов:

1) морская вода + водоросли (контроль),
   морская вода с добавлением тяжелых металлов + водоросли (эксперимент);
2) чистая морская вода без водорослей (контроль),
   чистая морская вода + водоросли с накопленными металлами (для второй части).

Концентрацию тяжелых металлов в воде измеряли методом атомно-абсорбционной спектрометрии на базе Центра лабораторного анализа и технических измерений по Мурманской области (г. Мурманск), а в водорослях – методом атомно-абсорбционной спектрометрии на базе Центра стандартизации метрологии и испытаний по Мурманской области (г. Мурманск).

Интенсивность фотосинтеза определяли скляночным методом в кислородной модификации (метод Винклера; Лурье, 1973) по изменению содержания кислорода в воде за период инкубации талломов. Растения помещались в стеклянный сосуд объемом 500 мл на 1 ч к источнику света. Для контроля использовали «холостую» пробу (изменение содержания кислорода в емкости без водоросли). Интенсивность фотосинтеза рассчитывали в микрограммах O_2 на 1 г сырой массы таллома в 1 ч.

Результаты и обсуждение. За 10 сут. первой части эксперимента содержание свинца и мышьяка в воде в присутствии водорослей уменьшилось (табл. 1). При этом отмечалось увеличение содержания тяжелых металлов в фукусе.

Таблица 1

Концентрация тяжелых металлов в воде и водорослях до и после эксперимента

Металл	Концентрация до опыта		Концентрация после опыта	
	в воде, мг/л	в водорослях, мг/кг	в воде, мг/л	в водорослях, мг/кг
Свинец	10	0.13	0.22	244
Мышьяк	10	1.76	1.29	62.98

При переносе водорослей с высоким содержанием свинца в чистую воду через 5 сут. эксперимента концентрация металла в воде сохранялась в пределах ПДК (табл. 2).

Таблица 2

Концентрация свинца в воде после второй части эксперимента

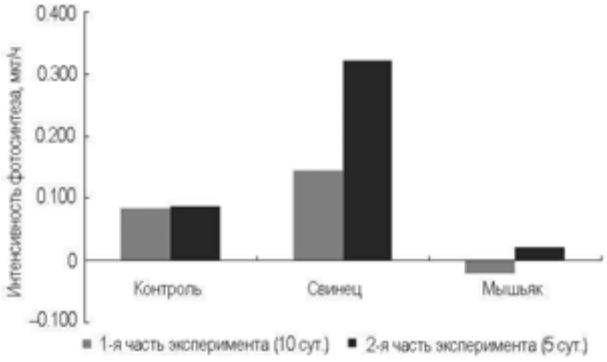
Характеристика	Свинец, мг/л
Концентрация металла после опыта (5 сут.)	0.102
Концентрация металла в контроле (чистая вода)	0.0033
ПДК для рыбохозяйственных водоемов	0.1

В водорослях же концентрация тяжелых металлов значительно не изменилась: до эксперимента – 244 мг/кг, после эксперимента – 199.11 мг/кг.

Вероятнее всего, увеличение концентрации тяжелых металлов в воде после помещения в них водорослей с накопленными тяжелыми металлами объясняется тем, что часть нитрата свинца, не проникшая в ткани *F. vesiculosus*, «смылась» чистой водой с поверхности талломов.

При воздействии свинца на *F. vesiculosus* в концентрации 10 мг/л интенсивность фотосинтеза достоверно увеличилась по сравнению с контрольным экземпляром, в то время, как воздействие мышьяка в такой же концентрации было губительным для фукуса и через 10 сут. эксперимента фотосинтез отсутствовал (рисунок), наблюдалось разрушение тканей таллома.

При переносе растений, подвергнутых воздействию свинца, в чистую воду интенсивность фотосинтеза возрастает в 2 раза (рисунок).



Интенсивность фотосинтеза *Fucus vesiculosus* в течение экспериментов

Полученные нами результаты по аккумуляции тяжелых металлов водорослями согласуются с литературными данными (Христофорова, 1989; Камнев, 1989; Воскобойников 2006). В естественной среде поглощение тяжелых металлов водорослями из воды происходит всей поверхностью таллома (Возжинская, Камнев, 1994). В отношении большинства металлов распространяется действие полисахаридного связывания (Камнев, 1989). Металлоустойчивость и металлоемкость фукусовых водорослей, вероятно, связана с наличием в них альгиновых кислот, локализованных в клеточных стенках и межклеточном пространстве (Воскобойников, 2006). Гулуроновые кислоты образуют, нерастворимые в воде альгинаты тяжелых металлов, обладающие прочными связями, и высокой степенью аккумуляции, что приводит к увеличению периода полувыведения металлов (Preston, 1973; Христофорова, 1989). Тяжелые металлы влияют и на функциональную активность водорослей. Физиологическое значение свинца и его воздействие на макрофиты изучено слабо. По данным С.В. Мурадова (2014), многие макрофиты способны накапливать свинец без патологических и морфологических изменений. Видимо свинец не оказывает негативного влияния на процессы фотосинтеза.

Мышьяк один из наиболее токсичных элементов, непосредственно влияющий на физиологические процессы, проходящие в водорослях. Для каждого вида макрофитов существует некоторый предел, после которого поступившие в организм металлы угнетают их жизнедеятельность. В дальнейшем происходит нерегулируемое поступление металлов в ткани растений, которое может стать причиной гибели водоросли (Бурдин и др., 1990). Вероятнее всего, введенная в нашем эксперименте концентрация мышьяка превысила допустимый предел и вызвала гибель растения.

Выводы. Экспериментально показана способность водорослей накапливать и удерживать в тканях тяжелые металлы.

Анализ физиологического состояния макрофитов показал, жизнеспособность растений при воздействии высоких концентраций нитрата свинца. Высокие же концентрации арсената натрия вызвали гибель растений.

Накапливая и удерживая тяжелые металлы в тканях макрофиты могут играть важную роль в защите морской среды от поступающих в нее поллютантов.

Выводы о возможности использования макрофитов в биоремедиации морской среды от тяжелых металлов пока преждевременны из-за отсутствия технологий их последующей переработки.

Автор выражает благодарность за помощь в проведении экспериментов сотрудникам ММБИ КНЦ РАН Г.М. Воскобойникову, И.В. Рыжик, Д.В. Пуговкину, И.С. Усягиной.

Работа выполнена при финансовой поддержке Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2014–2020 годы» (уникальный идентификатор проекта RFMEFI61616X0073, соглашение № 14.616.21.0073).

Литература

Бурдин К.С., Крупина М.В., Савельев И.Б. Физиологические механизмы регулирования содержания тяжелых металлов в морских макроводорослях // Вестн. МГУ. Сер. 16. Биология. 1990. № 2. С. 35–41.

Возжинская В.Б., Камнев А.Н. Эколого-биологические основы культивирования и использования морских донных водорослей. М.: Наука. 1994. 202 с.

Воскобойников Г.М. Механизмы адаптации, регуляции роста и перспективы использования макрофитов Баренцева моря: Автореф. дис. … докт. биол. наук. Мурманск, 2006. 46 с.

Камнев А.Н. Структура и функции бурых водорослей. М.: Изд-во МГУ, 1989. 200 с.

Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. Изд. 2-е. М.: Химия, 1973. 376 с.

Мурадов С.В. Воздействие тяжелых металлов на водоросли-макрофиты Авачинской губы // Естественные технические науки. 2014. № 9-9. С. 1998–2002.

Перечень рыбохозяйственных нормативов предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды и водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. М.: Изд-во ВНИРО, 1999. 304 с.

Христофорова Н.К. Биоиндикация и мониторинг загрязнения морских вод тяжелыми металлами. Л.: Наука, 1989. 192 с.

Bailey R.S., Stokes P.M. Evaluation of filamentous algae as biomonitors of metal accumulation on softwater lakes: A multivariate approach: Aquat. Toxicol. and Hazard Assessment 7th symp., Milwaukee, Wis. Philadelphia, 1985. 177 p.

Preston A. Heavy metals in British waters // Nature. 1973. V. 242. P. 95–97.

КАЧЕСТВЕННЫЙ И КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПИТАНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЛЕМОНОСНОГО БЫЧКА В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

С.А. Чаус
Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, г. Мурманск

Введение. Карское море является акваторией с богатым хозяйственным потенциалом и вызывает интерес в первую очередь у геологов, гидрофизиков и экологов, а из компонентов живой среды в основном изучаются планктон и бентос (Экосистема …, 2008). Ихтиофауна Карского моря в целом изучена пока недостаточно и причиной этого является удаленность многих районов, суровость климатических условий и низкая рыбопродуктивность. Большинство опубликованных работ по ихтиофауне посвящено изучению крупнейших губ и заливов (Кобелев, Новоселов, 2001; Матковский, Степанов, 2001), а исследования открытых акваторий все еще достаточно редки. С учетом того, что биология отдельных видов изучена отрывочно, имеется потребность в дополнительных материалах. Всестороннее исследование ихтиофауны Карского моря, тщательное изучение биологии и экологии, в том числе непромысловых рыб, важны для рационального использования продукционных возможностей водоема, понимания функционирования арктических экосистем и взаимоотношений между организмами. Одним из важнейших аспектов биологии рыб является их питание и пищевые взаимоотношения, позволяющие проследить трансформацию вещества и энергии в экосистемах. Следует отметить, что данные по питанию рыб Карского моря достаточно ограничены (Долгов и др.,

2014), и поэтому целью настоящей работы является анализ качественных и количественных показателей питания одного из непромысловых видов – арктического шлемоносного бычка *Gymnocanthus tricuspis* (Reinhardt, 1830), для которого данные по питанию в Карском море практически отсутствуют.

Материал и методы. Материал собран в морских экспедициях ММБИ в Карском море на НИС «Дальние Зеленцы» в 2012, 2015 и 2016 гг. (рис. 1). Лов выполнялся донным тралом (чертеж № 2387) с ячеей 138 мм и мелкоячейной вставкой 12 мм. Горизонтальное раскрытие трала составляло 12–14 м, вертикальное – 4.5–3.5 м. Траления осуществляли со скоростью 2.5–3.0 узла в течение 30 мин. Также были выполнены траления в пелагиали со скоростью 3.5–3.6 узлов продолжительностью 30 мин. Мелководные районы с глубинами менее 10–20 м были обследованы с использованием трала Сигсби с длиной рамы 1 м, высотой 30 см и сетным полотном с ячеей 7 мм. Продолжительность буксировки составляла 30 мин при скорости 1.5 узла. Рыб фиксировали 4 %-м раствором формалина и доставляли на берег.

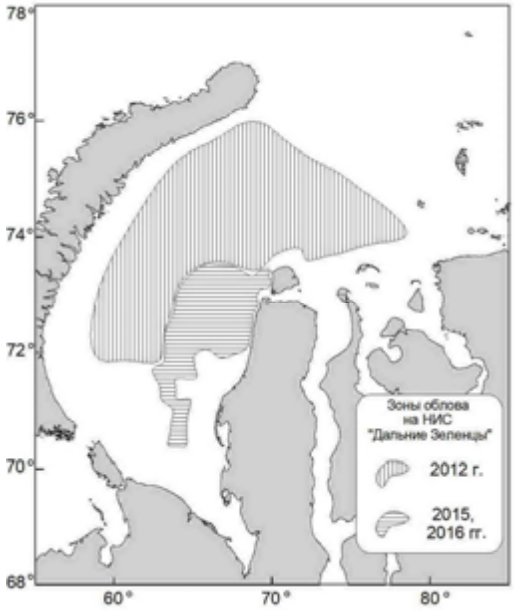


Рис. 1. Районы ихтиологических работ в Карском море в 2012, 2015 и 2016 гг.

Анализ содержимого желудков выполнены в лабораторных условиях с использованием стандартного количественно-весового метода (Правдин, 1966; Методическое …, 1974; Инструкции …, 2004). При анализе питания использованы показатели массовой доли (m) – процент массы конкретного пищевого объекта от общей массы пищевого комка, а также частота встречаемости (f) – процент желудков с данным пищевым компонентом от общего количества желудков с пищей. В качестве показателя интенсивности питания использовали индекс наполнения желудков, рассчитываемый как отношение общей массы пищевого комка к общей массе тела рыбы, выраженное в продецимилле ($^{o}/_{ooo}$). Всего исследовано 38 экз. арктического шлемоносного бычка. Пищевые объекты определены до максимально возможного ранга.

Результаты и обсуждение. В ходе исследования желудков арктического шлемоносного бычка были обнаружены представители 9 видов, относящиеся к 12 отрядам, 8 классам, 4 типам.

Основным объектом питания арктического шлемоносного бычка по массе были полихеты – 22.12 % (рис. 2). Также значимыми объектами являлись изоподы *Synidotea nodulosa* и *Synidotea bicuspida*, кумовый рак *Diastylis glabra*, полихета *Phyllodoce groenlandica* и амфиподы. Общая масса каждой из этих групп варьировала в пределах 11.21–22.12 %. В целом полученные сведения сходны с ранее опубликованной информацией по питанию рассматриваемого вида (Брискина, 1939), однако в основном эти данные приведены для Баренцева моря.

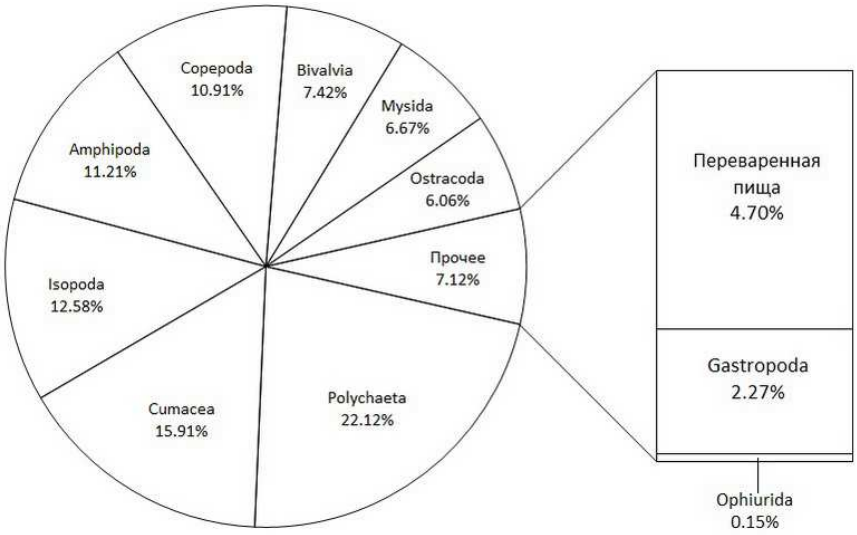


Рис. 2. Состав питания арктического шлемоносного бычка по массе в юго-западной части Карского моря

Полихеты преобладали в питании и по встречаемости – 36.4 % (рис. 3). Кроме них отмечены изоподы и кумовые раки, частота встречаемости которых превышала 20 %. Также в питании отмечены остракоды, мизиды и двустворчатые моллюски, масса которых составляла 6.06–7.42 % при частоте встречаемости 6.1–15.1 %. В желудках ювенильных особей арктического шлемоносного бычка обнаружены преимущественно представители Copepoda. Единично отмечены офиура *Stegophiura nodosa* и гастроподы семейств Naticidae и Cylichnoidae.

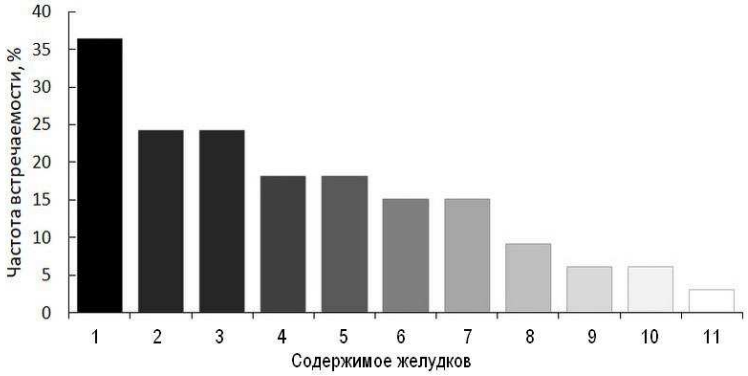


Рис. 3. Частота встречаемости объектов питания в желудках арктического шлемоносного бычка в юго-западной части Карского моря:

1 – Polychaeta, 2 – Isopoda, 3 – Cumacea, 4 – Amphipoda, 5 – переваренная пища, 6 – Copepoda, 7 – Binalvia, 8 – Mysida, 9 – Ostracoda, 10 – Gastropoda, 11 – Ophiurida

Сравнение полученных данных с материалами по Баренцеву морю показало, что полихеты являются одним из основных объектов питания как в Карском море, так и в Баренцевом (Долгов, 1995). Это выражается в их доминирующем положении по массе и частоте встречаемости (табл. 1). В основу питания рассматриваемого вида в Баренцевом море входят также гаммариды, в то время как в желудках рыб из Карского моря эти организмы не обнаружены. В питании арктического шлемоносного бычка из данного района отмечены амфиподы *Onisimus* sp., *Ampelisca* sp., *Lysianassa* sp., *Tryphosites* sp., Hyperiidae, которые в совокупности составили 11.21 % по массе и 18.1 % по частоте встречаемости. В Баренцевом море в желудках арктического шлемоносного бычка обнаружена также молодь тресковых (Долгов, 1995). Следует отметить, что интенсивность питания особей из Карского моря была выше, чем в Баренцевом море.

Таблица 1

Состав пищи арктического шлемоносного бычка в Карском и Баренцевом морях, %

Пищевые объекты	Карское море (2012, 2015, 2016 гг.)		Баренцево море* (1987–1994 гг.)	
	m	f	m	f
Foraminiferida	–	–	0.24	5.0
Polychaeta	22.12	36.3	24.47	20.0
Polychaeta sp.	11.82	18.2	–	–
Phyllodoce groenlandica	5.45	15.1	–	–
Polynoidae sp.	4.85	6.1	–	–
Anaitides	–	–	2.67	5.0
Crustacea	–	–	13.83	20.0
Gammaridea	–	–	16.73	35.0
Decapoda	–	–	9.17	10.0
Amphipoda	11.21	18.2	–	–
Tryphosites longipes	0.30	3.0	–	–
Onisimus sp.	0.30	3.0	–	–
Ampelisca sp.	3.03	3.0	–	–
Lysianassa sp.	1.52	3.0	–	–
Hyperiidae	6.06	6.1	–	–
Cumacea	15.90	24.4	–	–
Diastylis sp.	0.30	3.0	–	–
Diastylis glabra	15.61	21.2	–	–
Ostracoda	6.06	6.1	–	–
Ostracoda sp.	3.03	3.0	–	–
Rabilimis septentrionalis	3.03	3.0	–	–
Ophiuridae	0.15	3.0	–	–
Stegophiura nodosa	0.15	3.0	–	–
Copepoda	10.91	15.2	–	–
Gastropoda	2.27	6.0	–	–
Naticidae sp.	0.90	3.0	–	–
Cylichnoides sp.	1.36	3.0	–	–
Bivalvia	7.42	15.2	–	–
Bivalvia sp.	2.73	9.1	–	–
Hiatella arctica	4.70	6.1	–	–
Mysidae	6.67	9.1	–	–
Mysida sp.	3.64	6.1	–	–
Mysis polaris	3.03	3.0	–	–
Isopoda	12.58	24.2	–	–
Synidotea bicuspida	3.93	9.1	–	–
Synidotea nodulosa	8.64	15.2	–	–
Gadus morhua juv.	–	–	17.14	5.0
Переваренная пища	4.70	18.2	15.70	45.0
Количество исследованных желудков	38		20	
Пустые желудки, %	15.2		–	
Средний индекс наполнения, $^{o}/_{ooo}$	211.7		169.3	

*По: Долгов, 1995.

Сравнение состава пищи особей, пойманных в Карском море в разные годы, показало, что полихеты являются одним из основных компонентов питания (табл. 2). В каждый отдельный год организмы этой группы составляли более 20 % по массе и частоте встречаемости. В северной части района исследований в 2012 г. амфиподы имели определяющее значение в питании рыб, составляя 30 % по массе и частоте встречаемости.

Таблица 2

Состав пищи арктического шлемоносного бычка в Карском море в 2012, 2015 и 2016 гг., %

Пищевые объекты	2012 г.		2015 г.		2016 г.	
	m	f	m	f	m	F
Polychaeta	20.0	20.0	23.64	36.4	22.5	50
Polychaeta sp.	–	–	20	27.3	14.17	25
Phyllodoce groenlandica	4.0	10.0	3.64	9.1	8.33	25
Polynoidae sp.	16.0	20.0	–	–	–	–
Amphipoda	30.0	30.0	4.55	9.1	1.66	16.7
Tryphosites longipes	–	–	–	–	0.83	8.3
Onisimus sp.	–	–	–	–	0.83	8.3
Ampelisca sp.	10.0	10.0	–	–	–	–
Lysianassa sp.	–	–	4.55	9.1	–	–
Hyperiidae	20.0	20.0	–	–	–	–
Cumacea	10.0	10.0	–	–	35.42	58.33
Diastylis sp.	–	–	–	–	0.83	8.3
Diastylis glabra	10.0	10.0	–	–	34.58	50
Ostracoda	–	–	18.18	18,2	–	–
Ostracoda sp.	–	–	9.09	9.1	–	–
Rabilimis septentrionalis	–	–	9.09	9.1	–	–
Ophiuridae	–	–	–	–	0.42	8.3
Stegophiura nodosa	–	–	–	–	0.42	8.3
Copepoda	–	–	32.73	45.5	–	–
Gastropoda	–	–	4.09	9.1	2.5	8.3
Naticidae sp.	–	–	–	–	2.5	8.3
Cylichnoides sp.	–	–	4.09	9.1	–	–
Bivalvia	10.0	10.0	5	9.1	7.5	25
Bivalvia sp.	–	–	–	–	7.5	25
Hiatella arctica	10.0	10.0	5	9.1	–	–
Mysidae	10.0	10.0	10.91	18.2	–	–
Mysida sp.	–	–	10.91	18.2	–	–
Mysis polaris	10.0	10.0	–	–	–	–
Isopoda	8.0	10.0	–	–	27.92	50
Synidotea bicuspida	–	–	–	–	10.83	25
Synidotea nodulosa	8.0	10.0	–	–	17.08	33.3
Переваренная пища	12.0	20.0	0.91	9.1	2.08	25
Количество исследованных желудков	11		14		13	
Пустые желудки, %	9.1		21.4		7.7	
Средний индекс наполнения, $^{o}/_{ooo}$	179.6		140.1		283.7	

В желудках особей, пойманных в 2015 г., отмечены только копеподы, но следует отметить, что 64 % вскрытых экземпляров были неполовозрелыми.

Ключевым объектом питания арктического шлемоносного бычка в 2016 г. были кумовые раки *D. glabra*. Стоит отметить, что двустворчатые моллюски обнаружены в содержимом желудков в каждый год исследований, но особого значения в питании они не имели. В данный период интенсивность питания заметно выше (283.7 $^{o}/_{ooo}$), чем в другие годы.

Выводы. Спектр питания арктического шлемоносного бычка в Карском море включает 9 видов организмов. Наиболее часто встречающиеся из них – полихета *P. groenlandica*,

изопода *S. nodulosa*, кумовый рак *D. glabra*. В желудках обнаружено большое разнообразие амфипод (5 семейств). В питании молоди значительную часть пищи составляют представители Copepoda.

Сравнительный анализ питания арктического шлемоносного бычка в Карском и Баренцевом морях показал, что в целом полихеты являются основным объектом питания в каждом из водоемов.

В северной части района исследований в 2012 г. определяющее значение в питании арктического шлемоносного бычка имели амфиподы. Значительную долю в питании в 2015 г. занимали копеподы. В 2016 году отмечено наиболее разнообразное и интенсивное питание. Полихеты, амфиподы и двустворчатые моллюски отмечены в питании в каждый год исследований, однако последние не имеют доминирующего значения.

Работа выполнена по теме 9-13-05 (51; 52) «Биология и экофизиология рыб Арктики» (№ ГР 01 2013 66846, № в ГЗ 0228-2018-0006).

Литература

Брискина М.М. Питание непромысловых рыб Баренцева моря // Тр. ВНИРО. 1939. Т. IV. С. 339–354.

Долгов А.В. Некоторые вопросы биологии непромысловых рыб Баренцева моря // Проблемы рыбохозяйственной науки в творчестве молодых: Сб. докл. конф.-конкурса молодых ученых и специалистов ПИНРО. Мурманск: Изд. ПИНРО, 1995. С. 69–94.

Долгов А.В., Бензик А.Н., Четыркина О.Ю. Питание непромысловых рыб и их роль в продуктивности экосистемы Карского моря // Современные методы оценки биопродуктиности вод промрайонов Мирового океана. М.: Изд-во ВНИРО, 2014. С. 190–208 (Тр. ВНИРО. Т. 152).

Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях европейского Севера и Северной Атлантики. 2-е изд. М.: Изд-во ВНИРО, 2004. 300 с.

Кобелев Е.А., Новоселов А.П. Состав ихтиофауны и структура популяций промысловых рыб Байдарацкой губы Карского моря // Биологические ресурсы прибрежья российской Арктики: Матер. к симп. Беломорск, 2001. С. 57–63.

Матковский А.К., Степанов С.И. Ихтиофауна, миграции и особенности сезонного распределения рыб в Обской губе // Биологические ресурсы прибрежья российской Арктики: Матер. к симп. Беломорск, 2001. С. 74–85.

Методическое пособие по изучению питания и пищевых отношений рыб в естественных условиях. М.: Наука, 1974. 254 с.

Правдин И.Ф. Руководство по изучению рыб. М.: Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.

Экосистема Карского моря / Под общ. ред. Б.Ф. Прищепы. Мурманск: Изд. ПИНРО, 2008. 261 с.

КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ СЕРОГО ТЮЛЕНЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА НЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧАСТОТОЙ 8 ГЦ

А.П. Яковлев

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, Мурманск

Введение. Нормальные условия жизнедеятельности предполагают наличие обычного для организмов геомагнитного поля. Значительное снижение величины локального магнитного поля небезразлично для организмов (Бинги, 2012). Изучение поведения животных

с очевидностью показало, что некоторые из них воспринимают весьма слабые магнитные поля (такие, например, как магнитное поле Земли). Наличие органа, ответственного за магниторецепцию, доказано лишь у некоторых видов (Jungerman, Rosenblum, 1980; Парадокс …, 2006).

Природные электромагнитные поля не только чрезвычайно малы по сравнению с техническими помехами, но и кажутся слишком слабыми, чтобы воздействовать на биохимические процессы в живых системах. Тем не менее, проблема возможного действия слабого магнитного поля достаточно актуальна (Бреус и др., 2016). Большинство эффективных для воздействия на живой организм частот магнитного поля находятся в интервале 0.01–60 Гц, поскольку совпадают с собственными ритмами функционирования головного мозга, нервной системы, сердца и других систем организма (Хабарова, 2002).

Физические механизмы биологического действия низкоинтенсивного магнитного поля все еще не установлены. Наиболее часто обсуждают те из них, которые опираются на: а) возможное присутствие в тканях магнитных наночастиц (магнитосом); б) вовлеченность в метаболизм реакций с участием спин-коррелированных пар свободных радикалов; в) долгоживущие вращательные состояния дипольных белковых молекул; г) метастабильные состояния жидкой воды (Бинги, 2012). Преобразование сигнала магнитного поля в биологический отклик происходит в нескольких уровнях, каждому из которых соответствует свой механизм. Изменение состояния первичной биофизической мишени вызывает варьирование концентраций биохимических интермедиатов, которые, в свою очередь, влекут преобразования на уровне систем и далее на уровне поведения целостного организма (Бинги, 2016).

Магнитным биологическим эффектом называют закономерное изменение какой-либо величины, характеризующей состояние организма в меняющихся магнитных условиях пребывания. Если есть массивы измерений в условиях обычного и измененного магнитного поля, то применяя, например, статистический анализ, можно вычислить вероятность того, что гипотеза о неслучайном различии массивов верна. Величину эффекта часто определяют как разность средних значений по выборочным распределениям в контроле и опыте. При таком определении величина эффекта имеет физическую размерность (Бинги, 2012).

В настоящее время стало ясно, что независимо от того, каким именно образом осуществляется магниторецепция, геомагнитное поле следует рассматривать как фактор окружающей среды, имеющий потенциальную значимость для различных таксономических групп (Биогенный …, 1989). Установлено, что такие эффекты как безошибочная ориентация многих видов животных во время их сезонных миграций обусловлены взаимодействием геомагнитного поля с магнитосомами (Walker et al., 2002; Visual …, 2009). В научной литературе было обосновано предположение о том, что наиболее вероятным из внешних источников синхронизации со средой обитания для гидробионтов является электромагнитное поле резонатора Земля–ионосфера, преимущественно в области частот 6–8 Гц. Электромагнитное поле резонатора Земля–ионосфера существует с древнейших времен, и настройка гидробионтов на это поле представляется вполне естественной (Сопоставление …, 1998).

Совместно со специалистами Полярного геофизического института было создано устройство для исследования влияния искусственного магнитного поля на водные биологические объекты с целью выявления биологических магнитных эффектов у представителей настоящих тюленей (Устройство …, 2016).

Цель исследований – изучить влияние искусственных магнитных полей с частотой 8 Гц на количественные показатели двигательной активности у серых тюленей.

Материал и методы. Объект исследования – половозрелая самка серого тюленя *Halichoerus grypus* Fabricius, 1791 в возрасте 12 лет. Животное было отловлено в 2005 г., содержалось в условиях открытого вольерного аквакомплекса ММБИ в Кольском заливе.

Исследования проводились в устройстве для изучения влияния искусственного магнитного поля на водные биологические объекты (рис. 1). Центральная часть бассейна была

оснащена деревянным помостом, расположенным на уровне среза воды. По периметру борта чаши располагалась излучающая магнитное поле антенна, подключенная к задающему генератору, установленному в аппаратной.

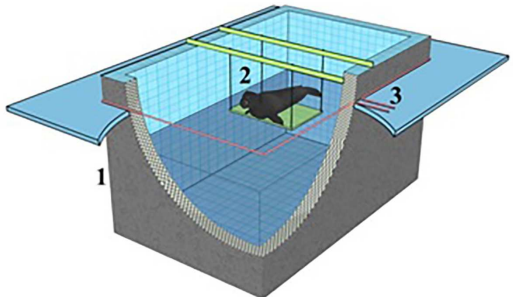


Рис. 1. План-схема бассейна аквариальной с излучающей магнитное поле антенной:
1 – чаша бассейна; 2 – помост; 3 – излучающая антенна

Искусственное магнитное поле генерировалось с помощью экспериментального источника, разработанного сотрудниками ПГИ; напряженность поля синусоидальной формы превышала напряженность геомагнитного поля (45–50 А/м). Состав источника магнитного поля включал задающий генератор с перестраиваемой несущей частотой в диапазоне 0.01–36 Гц и излучающую антенну, огибающую бассейн по периметру с образованием горизонтальной рамки (рис. 1).

Наблюдение за испытуемым животным осуществлялось с использованием камеры наружного наблюдения. Видеоматериал записывался с помощью TV-тюнера kWorld, установленного на персональный компьютер.

Задающий магнитное поле генератор, система видеонаблюдения и другое исследовательское оборудование располагалось в отдельном помещении; контакт животного с человеком во время проведения экспериментов был исключен.

Экспериментальные данные получены с использованием метода сплошного протоколирования и метода регистрации отдельных поведенческих проявлений (Попов, Ильченко, 1990). При обработке видеоматериала учитывались следующие поведенческие проявления: нахождение животного под водой и на поверхности, выход на помост, нехарактерные поведенческие проявления, позы и движения (при наличии). Так же проводилась регистрация частоты выполнения определенных движений за фиксированный промежуток времени (плавание по круговой траектории).

Для снижения вклада систематических изменений, вызванных, например, физиологическими ритмами или приобретением навыка в процессе тестирования, организуют так называемую имитацию воздействия, мнимую экспозицию, или плацебо-контроль. Суть состоит в том, что часть опытов проводят в отсутствие экспозиции (Бинги, 2012). С целью исключить подобные явления, нами были проведены фоновые наблюдения, а также эксперименты с мнимым воздействием, во время проведения которых задающий генератор и вспомогательное оборудование было включено, при этом магнитное поле не генерировалось.

В качестве количественной оценки двигательной активности животного использовался индекс активности, а также количественные показатели – среднее число кругов под водой и среднее время, которое затрачивает тюлень на совершение одного круга (Экспериментальное …, 2007).

Проведенные нами ранее исследования по кратковременному воздействию электромагнитного поля показали, что двигательная активность серого тюленя значительно изменяется при его экспозиции в таком поле с частотами 2–8 Гц (Яковлев и др., 2016). Была проведена серия из пяти экспериментов по воздействию электромагнитного поля с частотой 8 Гц на се-

рого тюленя, длительностью 7 ч каждый. Фоновые наблюдения и эксперимент с мнимым воздействием продолжались по 4 ч в 3-кратной повторности. Для количественной оценки двигательной активности тюленя во время экспериментов с экспозицией в магнитном поле с частотой 8 Гц проводились наблюдения непосредственно до и после воздействия магнитного поля.

При обработке полученных данных применена описательная статистика. Статистическая обработка полученных данных осуществлялась с помощью программного обеспечения Microsoft Excel (Microsoft, USA).

Результаты и обсуждение. Нами было рассчитано процентное соотношение времени, проведенного тюленем под водой, на поверхности воды и на помосте от общего бюджета времени наблюдения для каждой серии экспериментов (рис. 2). Оказалось, что при фоновых наблюдениях и в экспериментах с мнимым воздействием, фиксируются довольно частые выходы тюленя на помост, а время, проведенное им на помосте, достигает 2.12 % общего времени наблюдения в эксперименте с мнимым воздействием и 2.34 % при фоновых наблюдениях. Напротив, при экспозиции животного в магнитном поле с частотой 8 Гц общее время, проведенное им на помосте, составило всего 0.17 % от общего времени наблюдений.

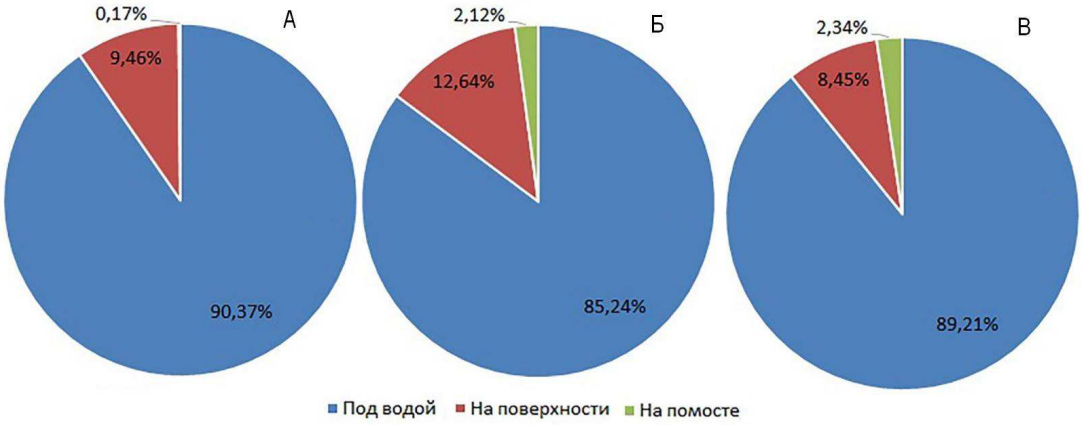


Рис. 2. Доля времени, проведенного тюленем под водой, на поверхности и на помосте от общего бюджета времени наблюдений:

А – эксперименты с генерацией магнитного поля частотой 8 Гц; Б – эксперименты с мнимым воздействием; В – фоновые наблюдения

По всей видимости, такая картина может быть связана с тем, что ластоногие на суше менее подвижны, чем в воде. Обычно тюлени реагируют на приближение наземного хищника или человека путем ухода в воду. Такая реакция животных свидетельствует о том, что водная среда является для ластоногих более безопасной, относительно наземной, в воде они имеют больше шансов уйти от опасности, или неблагоприятного внешнего фактора (Peter, 2002).

Время, проведенное тюленем под водой и на ее поверхности, незначительно варьировало в экспериментах с генерацией магнитного поля и с мнимым воздействием, а также при фоновых наблюдениях (рис. 2). Эти параметры не в полной мере отражают реальную картину двигательной активности животного. Количественная оценка двигательной активности необходима для получения объективных данных при определении влияния различных факторов на поведение тюленей. Для более полного представления о количественных характеристиках уровня двигательной активности тюленей было введено понятие индекс активности – отношение проявления активности к числу регистрации отсутствия двигательной активности (Экспериментальное …, 2007). Для оценки двигательной активности был проведен учет частоты выполнения определенных движений за фиксированный промежуток времени (движение по круговым траекториям) и время зависания на поверхности и в толще воды.

В экспериментах с частотой 8 Гц были проведены наблюдения непосредственно до, во время и после экспозиции животного в магнитном поле. Эти наблюдения позволили проследить динамику изменения индекса активности и количественных параметров двигательной активности, а также сравнить полученные результаты с данными фоновых наблюдений и экспериментов с мнимым воздействием (таблица).

Индекс активности и количественные показатели двигательной активности серого тюленя

Стадия эксперимента	Время зависания на поверхности и в толще воды, %	Время движения по круговым траекториям, %	Индекс активности	Среднее число кругов за 1 мин	Среднее время на 1 круг, с
До воздействия магнитного поля	31.63	68.37	2.2	4.1±0.2	10.7±0.5
Во время экспозиции в магнитном поле	13.06	86.94	6.7	7.6±0.4	6.8±0.3
После воздействия магнитного поля	27.39	72.61	2.7	4.6±0.3	9.5±0.7
Мнимое воздействие	38.24	61.76	1.6	4.6±0.2	11.5±0.5
Фоновые наблюдения	45.80	54.20	1.2	2.9±0.3	11.3±0.8

В период наблюдения до воздействия магнитного поля индекс активности составил 2.2, среднее число кругов за 1 мин, совершаемых тюленем, – 4.1±0.2, а среднее время, за которое совершался один круг, – 10.7±0.5 с. Во время экспозиции тюленя в магнитном поле с частотой 8 Гц индекс активности вырос более чем в 3 раза – 6.7, среднее число кругов за 1 мин выросло до 7.6±0.4, а среднее время на один круг сократилось до 6.8±0.3 с. Рост индекса активности и увеличение числа кругов при сокращении времени на их совершение свидетельствует о достаточно резком повышении двигательной активности, животное значительно интенсивней передвигалось по периметру бассейна. Подобное явление можно связать с возникшим беспокойством или чувством тревожности у животного на фоне воздействия магнитного поля.

В период после воздействия магнитного поля наблюдалось достаточно резкое снижение индекса активности – практически до первоначального уровня, уменьшилось среднее количество кругов, совершенных тюленем за 1 мин, и увеличилось время, затрачиваемое на их совершение. Такая динамика индекса активности и количественных параметров двигательной активности свидетельствует о достаточно интенсивном характере влияния экспозиции в магнитном поле с частотой 8 Гц на серого тюленя. При этом изменения в поведении наблюдаются именно во время экспозиции, достаточно резко угасая после прекращения воздействия магнитного поля.

В экспериментах с мнимым воздействием и при фоновых наблюдениях индекс активности находился на низком уровне и составил 1.6 и 1.2 соответственно, что сопоставимо с индексом активности животного во время наблюдений в период до и после воздействия магнитного поля. Среднее число кругов за 1 мин и время, затрачиваемое на их совершение, так же находятся в сопоставимых диапазонах, исключая период воздействия магнитного поля на серого тюленя (таблица).

Таким образом, количественные характеристики двигательной активности и индекс активности дают более детальную картину поведения животного во время экспериментов и фоновых наблюдений.

Выводы. При экспозиции серого тюленя в магнитном поле с частотой 8 Гц отмечено:

1) практически полное избегание животным выходов на помост, а общее время, проведенное тюленем на нем за весь период наблюдений, составляет 0.17 %, что практически в 14 раз меньше, чем в экспериментах с «мнимым воздействием» и при фоновых наблюдениях;

2) индекс активности и совершенное тюленем среднее количество кругов выше, а время, затраченное на совершение одного круга, ниже при экспозиции животного в магнитном поле с частотой 8 Гц, чем при фоновых наблюдениях, экспериментах с мнимым воздействием и непосредственно до и после воздействия магнитного поля.

Работа выполнена по теме 9-16-01 (51) «Исследование влияния электромагнитных полей и оптических характеристик среды на изменение в структуре поведения настоящих тюленей. Возможность практического использования» (№ ГР АААА-А16-116051110102-9, № в ГЗ 0228-2018-011).

Литература

Бинги В.Н. Два типа магнитных биологических эффектов: индивидуальный и групповой // Биофизика. 2012. Т. 57, вып. 2. С. 338–345.

Бинги В.Н. Первичный физический механизм биологических эффектов слабых магнитных полей // Биофизика. 2016. Т. 61, вып. 1. С. 201–208.

Бреус Т.К., Бинги В.Н., Петрукович А.А. Магнитный фактор солнечно-земных связей и его влияние на человека: физические проблемы и перспективы // Успехи физических наук. 2016. Т. 186, № 5. С. 568–576.

Биогенный магнетит и магниторецепция. Новое о биомагнетизме: В 2-х т. Пер. с англ. / Под ред. Дж. Киршвинка, Д. Джонса, Б. Мак-Фаддена. М.: Мир, 1989. Т. 1. 353 с.; Т. 2. 525 с.

Парадокс магнитобиологии: анализ и перспективы решения / В.Н. Бинги, В.А. Миляев, Д.С. Чернавский, А.Б. Рубин // Биофизика. 2006. Т. 51, вып. 3. С. 553–559.

Попов С.В., Ильченко О.Г. Методические рекомендации по этологическим наблюдениям за млекопитающими в неволе. М.: Изд. Моск. зоопарка, 1990. 77 с.

Сопоставление магнитных вариаций в экваториальной зоне и полярной шапке для магнитной бури 13 марта 1989 г. / Ю.П. Цветков, А.Н. Зайцев, В.И. Одинцов и др. // Геомагнетизм и аэрономия. 1998. Т. 38, № 2. С. 74–84.

Устройство для исследования влияния искусственного электромагнитного поля на водные биологические объекты: Патент на полезную модель № 166414 Рос. Федерация, МПК51 G 01 R 1/00 (2006/01) / Е.Д. Терещенко, В.Ф. Григорьев – Заявка № 2016125093; приоритет изобретения 22.06.2016; Срок действия патента 22.06.2016, опубл. 27.11.2016, Бюл. № 33.

Хабарова О.В. Биоэффективные частоты и их связь с собственными частотами живых организмов // Биомедицинские технологии и радиоэлектроника. 2002. № 5. С. 56–66.

Экспериментальное изучение поведения тюленей / Н.Н. Кавцевич, А.Л. Михайлюк, И.А. Березина, А.С. Юрко // Экспериментальные исследования морских млекопитающих в условиях Кольского залива. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2007. 194–229 с.

Яковлев А.П., Михайлюк А.Л., Григорьев В.Ф. Оценка изменений параметров поведения серого тюленя при воздействии на него электромагнитных полей экстремально низких частот в диапазоне 0.01–36 Гц // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 1/2. С. 345–352.

Jungerman R.L., Rosenblum B. Magnetic induction for the sensing of magnetic fields an analysis // J. Theor. Biol. 1980. V. 87. P. 25.

Peter L.T. Behavior // Encyclopedia of marine mammals / F.P. William, B. Würsig, J.G.M. Thewissen (Eds.). California: Academic Press San Diego, 2002. P. 87–94.

Visual but not trigeminal mediation of magnetic compass information in a migratory bird / M. Zapka, D. Heyers, C.M. Hein et al. // Nature. 2009. V. 461. P. 1274–1277.

Walker M.M., Dennis T.E., Kirschvink J.L. The magnetic sense and its use in long-distanse navigation by animals // Current Opinion in Neurobiology. 2002. № 12. P. 735–744.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Макаревич П.Р., Моисеев Д.В. 40 лет научно-исследовательскому судну «Дальние Зеленцы» …… 5

Ахметчина О.Ю. Исследование факторов среды, влияющих на наличие и распределение мшанок ……..... 12

Болтенкова М.А., Романова Н.Д. Бактерии и вирусы вод Обской губы и прилегающего шельфа Карского моря …… 18

Бондарев О.В. Ихтиофауна литоральной и верхней сублиторальной зоны Кольского залива в апреле 2010 года ……..... 22

Булавина А.С. Оценка устойчивости системы река–морской залив к антропогенному загрязнению …….. 28

Валуйская Д.А., Зимина О.Л. Некоторые особенности радиоактивного загрязнения макробентоса морей Лаптевых и Карского …….. 31

Ващенко А.В. Бактериопланктон Мурманского прибрежья (Кольский полуостров, Баренцево море) …… 34

Венгер М.П. Закономерности распределения бактерио- и вириопланктона Баренцева моря в летний период ……... 38

Даурцева А.В. Количественное определение содержания фукоксантина в экстрактах из фукусовых водорослей Баренцева моря методами высокоэффективной жидкостной хроматографии и спектрофотометрии …… 44

Зайцев А.А., Трошичев А.Р. Регистрация диких морских млекопитающих в районе биотехнического аквакомплекса ММБИ в Кольском заливе ……..... 49

Запорожцев И.Ф. Разработка компьютерной технологии построения временных рядов оценок затока атлантических вод в Баренцево море по термохалинным данным разреза «Кольский меридиан» …….. 52

Захарова Л.В., Облучинская Е.Д. Определение растворимости биологически активных веществ гидробионтов Баренцева моря в экологически чистых растворителях ……... 54

Клиндух М.П. Свободные аминокислоты в рецептакулах *Fucus vesiculosus* весной …….... 58

Максимовская Т.М. Межгодовая динамика распространения атлантических вод в заливе Ис-фьорд (о. Западный Шпицберген) в 2001–2017 годах ……... 64

Мещеряков Н.И. Вертикальный поток осадочного вещества в озере Бретъёрна (Западный Шпицберген) …… 67

Минзюк Т.В. Особенности клеток крови серых тюленей в условиях неволи …….. 71

Носкович А.Э., Павлова Л.В. Особенности размножения двустворчатых моллюсков *Macoma calcarea* (Bivalvia, Tellinidae) в разных районах Баренцева моря ……..... 77

Пастухов И.А. Состояние вод Баренцева моря на стандартных разрезах III (мыс Нордкап–о. Медвежий) и XIX (о. Медвежий–мыс Сёркап) зимой 2017 года ……..... 84

Плаксина М.П. Гельминтофауна арктического гольца *Salvelinus alpinus* и кумжи *Salmo trutta* в системе озер вблизи губы Ручьевская (Кольский залив) ……..... 88

Салахов Д.О. Способность бурых водорослей *Fucus vesiculosus* к очистке морской среды от тяжелых металлов …… 91

Чаус С.А. Качественный и количественный анализ питания арктического шлемоносного бычка в юго-западной части Карского моря …….. 94

Яковлев А.П. Количественные показатели двигательной активности серого тюленя при воздействии на него магнитного поля с частотой 8 Гц ……..... 99

CONTENTS

Page

Makarevich P.R., Moiseev D.V. Forty years of the RV «Dalnie Zelentsy» ……. 5

Akhmetchina O.Yu. Investigation of environmental factors affecting the presence and distribution of bryozoans …… 12

Boltenkova M.A., Romanova N.D. Bacteria and viruses in Ob Inlet and the adjacent waters of the Kara Sea ……... 18

Bondarev O.V. Fish fauna in the littoral and upper sublittoral zones of Kola Inlet in April 2010 ……... 22

Bulavina A.S. Assessment of sustainability of the river–harbor system to man-caused pollution …….. 28

Valuiskaya D.A., Zimina O.L. Some features of radioactive contamination of macrobenthos in the Laptev and Kara Seas ……... 31

Vaschenko A.V. Bacterioplankton of the Murman Coast (Kola Peninsula, Barents Sea) …… 34

Venger M.P. Patterns of the distribution of bacterioplankton and virioplankton in the Barents Sea in summer …… 38

Daurtseva A.V. Quantitative determination of fucoxanthin content in extracts from fucus algae of the Barents Sea using high-performance liquid chromatography and spectrophotometry …… 44

Zaitsev A.A., Troshichev A.R. Registration of wild marine mammals around the MMBI biotechnical aquacomplex in Kola Inlet ……. 49

Zaporozhtsev I.F. Development of a computer technology for constructing time series of estimates of the inflow of Atlantic waters into the Barents Sea on the basis of thermohaline data collected at the Kola Meridian Transect ……. 52

Zakharova L.V., Obluchinskaya E.D. Determination of the solubility of biologically active substances derived from aquatic organisms living in the Barents Sea in environmentally friendly solvents ……... 54

Klindukh M.P. Free amino acids in stichidia of *Fucus vesiculosus* in spring …….. 58

Maksimovskaya T.M. Inter-annual dynamics of the distribution of Atlantic waters in Isfjorden Bay (Spitsbergen Island, Svalbard) in 2001–2017 ……. 64

Mescheryakov N.I. Vertical sediment flow in Lake Bretjørna (Spitsbergen Island, Svalbard) 67

Minzyuk T.V. Features of blood cells in gray seals living in captivity ……. 71

Noskovich A.E., Pavlova L.V. Peculiarities of reproduction of bivalve mollusks *Macoma calcarea* (Bivalvia, Tellinidae) in different areas of the Barents Sea …… 77

Pastukhov I.A. Status of Barents Sea waters at Transect III (North Cape–Bear Island) and Transect XIX (Bear Island–Sørkapp) in winter 2017 ……. 84

Plaksina M.P. Helminth fauna in the Arctic char *Salvelinus alpinus* and trout *Salmo trutta* in the system of lakes near the mouth of Ruchievskaya Bay (Kola Inlet) …….. 88

Salakhov D.O. The ability of brown algae *Fucus vesiculosus* to purify marine environment from heavy metals …….. 91

Chaus S.A. Qualitative and quantitative analysis of the Arctic helmet bull diet in the southwestern Kara Sea …… 94

Yakovlev A.P. Quantitative indices of motor activity of the gray seal when exposed to a magnetic field with a frequency of 8 Hz ……. 99

Научное издание

ИССЛЕДОВАНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ЭКОСИСТЕМ

Материалы XXXVI конференции молодых ученых
ММБИ КНЦ РАН, посвященной 40-летию
научно-исследовательского судна «Дальние Зеленцы»

Печатается по решению Ученого совета
Мурманского морского биологического института
Кольского научного центра
Российской академии наук

Дизайн обложки И.С. Пернацкая
Перевод В.В. Пономарев

Подписано к печати 27.03.2018.
Формат бумаги 60x84 1/8.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура Times/Cyrillic.
Усл. печ. л. 10.2. Тираж 100 экз.