

БИОРЕСУРСЫ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ РОССИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ, НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Матишов Г.Г., Макаров М.В., Дворецкий А.Г., Дружкова Е.И. Ильин Г.В., Кавцевич Н.Н., Карамушко О.В., Краснов Ю.В., Любина О.С., Моисеев Д.В., Шавыкин А.А., Бердников С.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра Российской академии наук (ММБИ КНЦ РАН), Мурманск, Россия.

mmbi@mmbi.info

«Сейчас, когда Арктическая зона России переживает новый этап промышленного, социально-экономического, инфраструктурного возрождения, особенно важно предельно сконцентрироваться на теме природосбережения. При вовлечении этого региона в хозяйственный оборот мы обязаны придерживаться тщательно выверенного, взвешенного подхода. В его основе, во-первых, точное знание ресурсного, природного потенциала Арктики и объективная оценка целесообразности тех или иных действий, развитие собственных научно-технологических возможностей по освоению Севера; во-вторых, чёткое, обязательное следование самым строгим экологическим стандартам, безусловный приоритет природоохранных мероприятий; в-третьих, предельная прозрачность хозяйственной деятельности в Арктике, а это в том числе предполагает постоянный диалог с институтами гражданского общества, с природоохранными и экологическими организациями» (из речи президента России В.В. Путина на совещании по вопросу эффективного и безопасного освоения Арктики, 05.06.2014).

Мурманский морской биологический институт с начала его основания проводит исследования в области морской биологии, которые позволили создать постоянно пополняющуюся новыми сведениями базу данных состояния биоты и изменения гидрологических условий за последние 80 лет. Системный подход к изучению арктических морей позволил выявить зависимости состояния биотических компонентов экосистемы от условий окружающей среды, которая отражает не только климатические изменения, но и подвержена усиливающемуся антропогенному воздействию в связи с увеличивающейся хозяйственной деятельностью человека в Арктике. Полученные сведения легли в основу создания карт уязвимости Северо-Западного сектора Арктики от основных антропогенных воздействий и интегрированной математической модели большой морской экосистемы (БМЭ) Баренцева и Белого морей как инструмента для оценки природных рисков, эффективного использования биологических ресурсов и управления хозяйственной деятельностью.

В рамках проекта «Биоресурсы арктических морей России: современное состояние, влияние природных изменений и антропогенных воздействий, научные основы и перспективы использования» Программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Поисковые фундаментальные научные исследования в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации» на 2014 год состоялась морская экспедиция, были проведены исследования и получены новые оригинальные сведения, а также дополнены базы данных о сезонных и многолетних климатических изменениях, колебаниях температуры воды и границ ледового покрова в российском секторе Арктики, выявлены особенности функционирования биоты. Разработанные на основе проведенных исследований сезонные карты интегральной уязвимости от основных антропогенных воздействий и математические экосистемные модели позволяют рассчитать уровень допустимого воздействия и построить математическую модель большой морской экосистемы (БМЭ) Баренцева и Белого морей.

Впервые за историю освоения Арктики ММБИ была проведена комплексная 85-суточная экспедиция собравшая материал в Баренцевом, Карском, Восточно-Сибирском

морях, море Лаптевых и Северном ледовитом океане. Всего было сделано 250 станций (рис. 1). В период экспедиции, наряду с гидрологическими и гидрохимическими исследованиями и отбором проб грунта на химическое и радиоактивное загрязнение, были проведены исследования фито- и зоо- и ихтиопланктона, фито- и зообентоса, ихтиофауны, а также наблюдения за состоянием орнитофауны и распределением морских млекопитающих.

Кроме гидрологических исследований, проведенных в ходе экспедиции, осуществлялись серии попутных наблюдений на судах, следующих по трассе Севморпути, с помощью отрывных батитермографов и была получена информация по термической структуре водных масс в период с мая по октябрь. На основе многолетней базы гидрологических данных для каждого месяца построены профили вертикального распределения климатических норм температуры и солености воды на Кольском и «Медвежинском» разрезах в Баренцевом море.

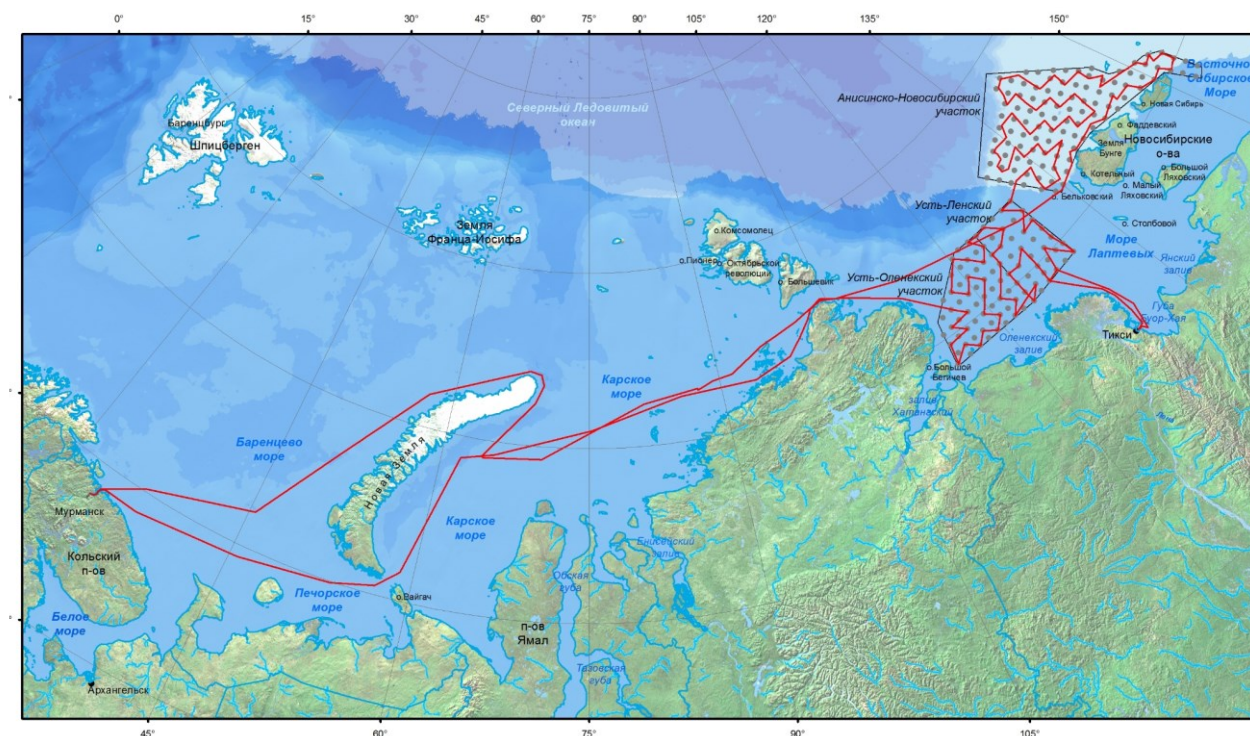


Рис. 1. Маршрут экспедиции НИС «Дальние Зеленцы» в июле-октябре 2014 г.

На основании полученных результатов исследований и электронной базы данных ММБИ (1977-2014 гг.) были выявлены закономерности пространственного распределения, сезонной и многолетней изменчивости ледяного покрова Баренцева моря (рис. 2). Установлено, что в сентябре 2014 г., после периода теплых лет, наблюдалась наибольшая за последнюю четверть века ледовитость Баренцева моря, которая незначительно превзошла норму. Площадь ледяного покрова в Арктике в 2014 г. по сравнению с 2012 г. выросла на 1.6 млн км².

Исследования также показали, что в целом моря Российской Арктики сохраняют относительно низкий уровень антропогенного загрязнения за исключением немногочисленных импактных участков. Хозяйственная деятельность на акваториях морей и на прилегающей суше, как правило, становится эмитентом регионального и локального масштаба и формирует зоны импактного загрязнения морской среды, главным образом на участках портовой инфраструктуры. Долговременное антропогенное влияние на морскую среду Арктики имеет очаговый характер с формированием очагов техногенного загрязнения в приустьевых областях крупных рек и зонах портовой инфраструктуры. Оценка источников и механизмы переноса загрязняющих веществ дифференцированных по масштабам воздействия на глобальные, региональные и локальные (местные) показывает, что

значимость каждого источника изменяется для разных арктических морских бассейнов и даже в различных географических частях морей.

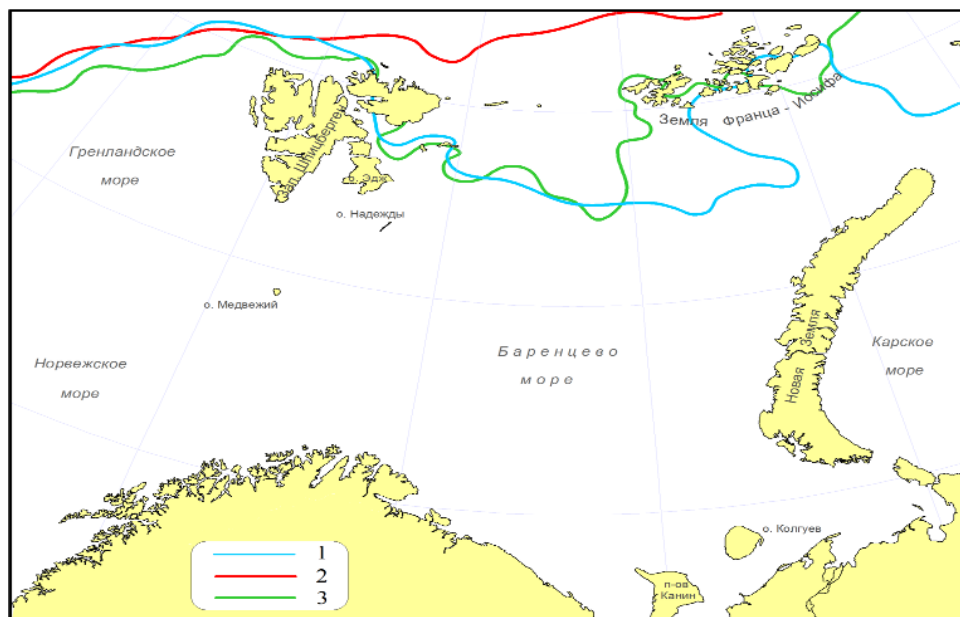


Рис. 2. Положение кромки льда в Баренцевом море в сентябре месяце (1 – холодный 1989 г; 2 – теплый 2005 г; 3 – нормальный 2014 г).

Ведущая роль речного стока в качестве источника загрязнений более выражена в морях восточного сектора Арктики вследствие обширности водосборных территорий и объема годового стока (рис. 3). В западном секторе Арктики (Баренцево, Белое и, отчасти, Карское моря) основными источниками являются водный трансокеанический и воздушный трансграничный переносы загрязнителей. В открытом море содержание тяжелых металлов, пестицидов и радионуклидов в гидробионтах сохраняется на низком уровне, тенденций к росту не обнаруживается.



Рис. 3. Вынос загрязняющих веществ реками в моря российского сектора Арктики, т/год.

Влияние качества среды на биоразнообразие более всего прослеживается также в импактных зонах хозяйственно освоенных участков морского побережья. Показательным

примером такого влияния стал наиболее изученный на арктическом побережье Кольский залив (Баренцево море). В открытом море при сложившемся геохимическом фоне содержание тяжелых металлов, пестицидов и радионуклидов в гидробионтах сохраняется на низком уровне, не обнаруживая тенденций к росту концентраций. На примере динамики ^{137}Cs показано, что пиковые антропогенные нагрузки на морскую среду региона отображаются пиками загрязнения морской биоты в среднем через пятилетний период.

На фоне сезонных и межгодовых изменений факторов внешней среды, а также усиливающегося антропогенного воздействия были выявлены реакции биотической компоненты экосистем арктических морей.

Так впервые были описаны годовые сукцессионные циклы фитопланктона в районах Баренцева моря, различающихся океанологической структурой пелагиали (рис. 4). Наиболее распространены в Арктике пелагические экосистемы открытого шельфа, для которых характерно формирование сезонного пикноклина в теплый период года, термоклина для субарктических и галоклина для арктических областей.



Рис. 4. Сукцессионные циклы арктических и субарктических экосистем открытого шельфа.

На субарктическом шельфе биологическая весна начинается в марте. Максимальных значений количественные показатели сообщества фитопланктона достигают в мае, когда доминируют колониальные диатомеи из родов *Thalassiosira*, *Nitzschia*, *Navicula* и золотистая водоросль *Phaeocystis pouchetii*. Биологическое лето приходится на июнь - июль. В это время сообщество планктонных микроводорослей находится в фазе сбалансированного развития. Доминируют автотрофные жгутиковые (Dinophyceae, Chrysophyceae и Prymnesiophyceae). Далее по году численность и биомасса микрофитопланктонного сообщества постепенно снижаются, достигая к началу ноября своих зимних значений. Зимняя стадия покоя продолжается с ноября по февраль. Ее определяющей чертой является максимальная дезинтегрированность фитопланктонного сообщества.

На арктическом шельфе гидрологический год в пелагиали, покрытой ледяным покровом, начинается с цветения криофлоры подо льдом и дальнейшего формирования прикромочных зон. В составе комплекса микроводорослей доминирующее положение занимают ранневесенние неритические диатомовые и некоторые колониальные жгутиковые, такие как *Phaeocystis pouchetii* и *Dinobryon balticum*. Стратифицированное состояние водной толщи, являющееся результатом таяния ледяного покрова и распреснения поверхностного слоя, сохраняется в арктической пелагиали в период открытой воды до начала активного вертикального осенне-зимнего перемешивания. В результате в летний период, после окончания весеннего цветения, происходит перераспределение биомассы микроводорослей

по вертикали, и в зоне пикноклина формируется ее подповерхностный максимум, в основном за счет *Phaeocystis pouchetii* и *Thalassiosira* spp.

По мере продвижения в высокие широты осенний максимум постепенно выпадает из структуры годового цикла альгоценоза, и сезонная кривая развития микрофитопланктона приобретает однопиковый характер.

Анализ данных по количественным съемкам зообентоса, проводимых ММБИ в Баренцевом море с 1995 г., показал, что высокий уровень биомассы характерен для краевых участков акватории (шельф Новой Земли, Земли Франца-Иосифа, юго-восточная часть и губы и заливы Кольского полуострова, кроме Кольского залива). В этих районах биомасса донных организмов значительно превышала 200 г/м². В центральной части Баренцева моря биомасса бентоса составляла до 100 г/м² (рис. 5). Низкий уровень биомассы в этом районе, скорее всего, указывает на воздействие тралового промысла. Однако, даже при имеющемся уровне донных тралений, в период аномально теплых лет с 2007 по 2012 г., произошел значительный прирост биомассы бентоса, в основном за счет бореальных и бореально-арктических видов, что показано на примере Кольского разреза.

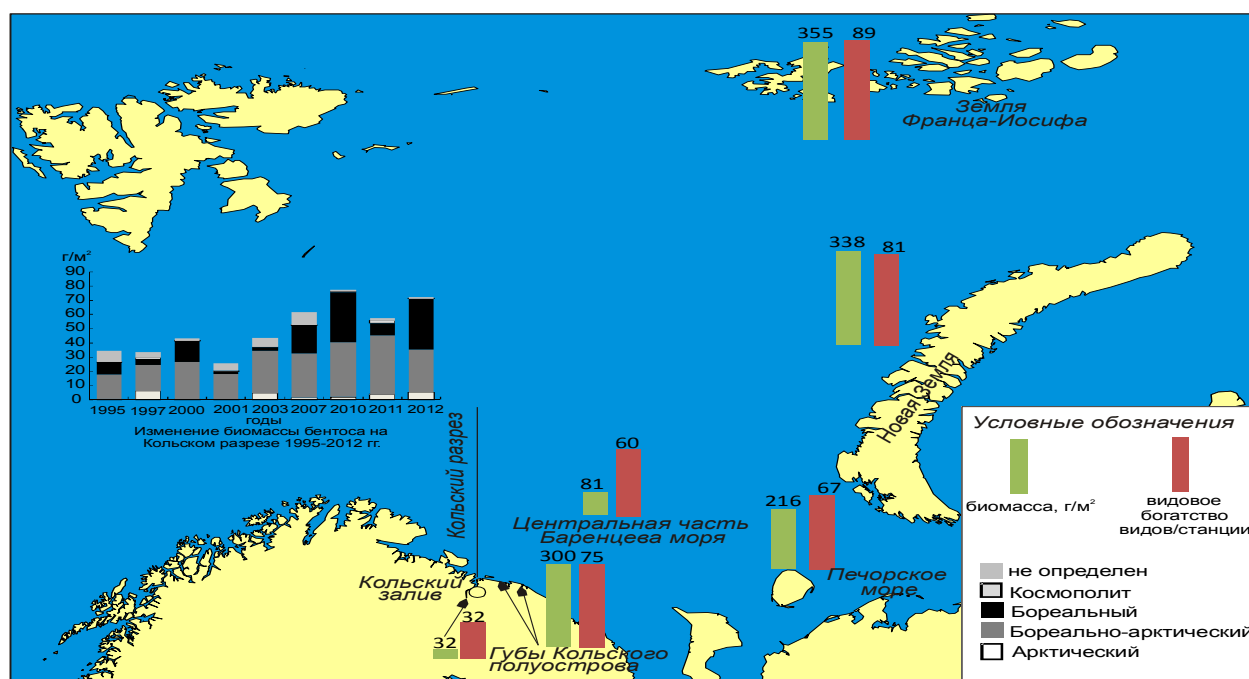


Рис. 5. Биомасса и видовое богатство зообентоса в различных частях Баренцева моря.

В загрязненном антропогенным мусором, нефтепродуктами и бытовыми стоками Кольском заливе зообентос находится в наиболее угнетенном состоянии, что проявляется в сильном снижении биомассы (30 г/м²), видового богатства (32 вида/станции) и численности, появлении супердоминантов полихет *Laonice cirrata* и *Alitta virens*, нарушении вертикальной зональности.

Пики видового разнообразия (которое оценивали как количество видов на станциях) в пространственно-временном масштабе приурочены к экотонам. Наибольшее количество видов выявлено на шельфе арктических архипелагов Земля Франца-Иосифа и Новая Земля (89 и 81 вид на станцию соответственно). В разных участках моря выявлен пик видового богатства на глубине около 150 м, где в Баренцевом море протекают воды Атлантического происхождения. В прибрежной полосе увеличение видового богатства зафиксировано на границе фотической зоны, а в западной части моря на Кольском разрезе – в «нормальный», т.е. промежуточный по теплосодержанию вод период (2003 г.). В этом же участке на примере придонных амфипод пик видового богатства совпадает с зоной совмещения ареалов бореальных и арктических видов. Колебания численности такого ценного промыслового

вида как камчатский краб в прибрежье и открытых районах Баренцева моря также обусловлены изменениями температуры и антропогенным воздействием.

В целом фауна центральной части моря испытывает антропогенную нагрузку в виде тралового изъятия, что привело к снижению биомассы бентоса. В Кольском заливе постоянное длительное загрязнение донных осадков и вод стало причиной не только снижения биомассы и обеднения фауны, но и полностью изменило структуру сообществ, трофический состав, нарушило их вертикальное распределение. Восстановление всех затронутых антропогенным воздействием сообществ, особенно в Кольском заливе может произойти только после ослабления уровня воздействия, либо в отдельных частях залива после полной рекультивации грунтов.

Изменения в экосистемах северных морей также могут быть прослежены на примере рыбных сообществ. Исследования, проведенные в различных районах российской Арктики, позволили получить данные о видовом составе и структуре ихтиофауны от Баренцева до Чукотского морей. Была выполнена инвентаризация видового состава на основании всех зарегистрированных поимок за весь исторический период наблюдений в каждом отдельном водоеме, и представлены данные о структуре ихтиофауны по характеру географического ареала, принадлежности к биотопам и трофическим предпочтениям рыб. В результате ревизии видового состава и структуры ихтиофауны северных морей России установлено, что в целом российском секторе арктических морей встречалось и обитает 284 вида, относящихся к 160 родам, 63 семействам, 28 отрядам и 5 классам. Без полупроходных, проходных и пресноводных видов, постоянно встречающихся на акватории морей, количество только морских видов и подвидов составляет в Баренцевом море 154, Белом – 50, Карском – 60, Лаптевых – 50, Восточно-Сибирском – 26, Чукотском – 78. Наиболее многочисленны представители пресноводной ихтиофауны в Белом и Карском морях, где встречается по 19 видов рыб. В Баренцевом море таких видов 9, Лаптевых – 7, Восточно-Сибирском – 8, Чукотском – только 5. Доля арктических видов неизменно возрастает от Баренцева моря (28 %) до моря Лаптевых (67.1%), а затем снижается, составляя в Чукотском море немногим менее половины от этого показателя (33.0%). Количество арктическо-бореальных видов, доля которых в Баренцевом море достаточно низка (2.2%), плавно возрастает в восточном направлении до Восточно-Сибирского моря (7.8%). Наименьшее количество бореальных видов в море Лаптевых (24.3%), а максимальное в Белом море, что связано с высокой долей пресноводных видов.

Основным биотопом для рыб всех северных морей являются придонные слои и само дно, где в зависимости от района постоянно живут от 36.6 до 67.0% всех видов. Основной трофической группой рыб в высокоширотных морях России являются бентофаги. Их доля в различных морях колеблется от 52.2% (Баренцево море) до 67.1% (море Лаптевых). Относительное количество планктофагов различается между большинством водоемов в меньшей степени и составляет 21.4–23.7%, и только в Чукотском море – 17.5% (рис. 3). Наибольшее количество хищников обитает в Баренцевом море – 24.7%, а минимальное в море Лаптевых – 11.5%. В целом, соотношение планктофагов и хищников в каждом из шести морей достаточно близко и только в море Лаптевых последних почти в два раза меньше.

Структура рыбной части сообществ может меняться во времени и пространстве. В арктических морях основными абиотическими факторами разнообразия являются температура и соленость, которые оказывают прямое влияние на формирование рыбного населения, а в таких морях как Баренцево и Белое доминирующим фактором является промысел. В северных экосистемах, характеризующихся большой степенью доминирования ограниченного числа видов рыб и относительно низкими показателями природного разнообразия, увеличение интенсивности промысла приводит к возрастанию разнообразия за счет выравнивания долей других представителей сообществ. Поэтому, в таких экосистемах, как Баренцево море, увеличение разнообразия и особенно резкое, может служить показателем чрезмерной эксплуатации доминантных популяций рыб, наличия климатических изменений и/или загрязнения водоема.

Таким образом, резкое увеличение видового разнообразия может свидетельствовать о негативных процессах в популяциях доминантных видов рыб, а также о структурных и функциональных перестройках во всем рыбном сообществе и экосистеме в целом. Так на примере наиболее продуктивных районов Арктики можно проследить влияние температурных изменений (рис. 6). Для северной части Норвежского моря разнообразие видов резко снижалось в 1993–1997 гг. и в 2008 г. при увеличении биомассы атлантической сельди, в остальные годы - путассу (1980), мойвы (1983), трески (1990). В двух других районах (Баренцево, северо-восточная часть Гренландского моря) основными видами, оказывавшими влияние на разнообразие, были мойва (1977, 1981, 1984, 1992, 2002) и треска (1994, 2004).

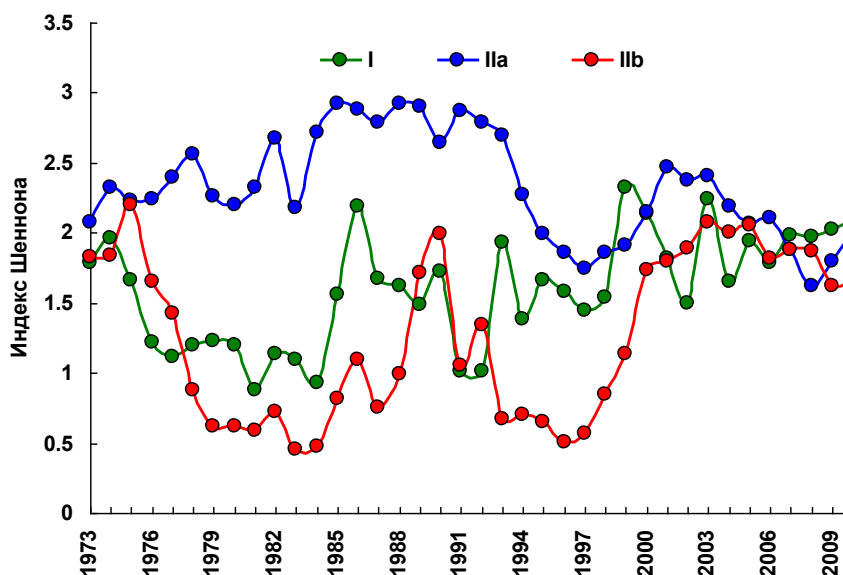


Рис. 6. Динамика разнообразия рыбной части сообществ в наиболее продуктивных районах арктического региона. (I – Баренцево море, IIa – северная часть Норвежского моря, IIb –северо-восточная часть Гренландского моря).

Однако не только климатические флуктуации и антропогенное воздействие могут оказывать влияние на биоту. Так методами генетического анализа было показано, что на Мурманском побережье Баренцева моря бурые водоросли *Fucus distichus* под действием факторов внешней среды способны образовывать различные морфологические формы, оставаясь при этом генетически однородным видом (рис. 7).

Для исследования отбирали растения различной морфологии и произрастающие в различных условиях: 1) растения с талломами длиной до 3 см и шириной 2-3 мм, рецептакулами длиной до 5 мм, с редкими криптостомами, растут небольшими куртинками на отвесных скалах в открытых прямому воздействию океанических волн при солености 33-35‰; 2) растения с талломами длиной до 10 см и шириной около 1 мм, без рецептакулов, с крайне редко встречающимися криптостомами, произрастающих в литоральных ваннах, располагающихся в расщелинах и углублениях скал, не осушающихся в период отлива, при солености от 30 до 38‰; 3) растения до 40-50 см длиной и 1-1,5 см шириной, с крупными рецептакулами и криптостомами по всей поверхности таллома, произрастающие в среднем горизонте литорали в защищенной от прямого действия океанических волн части губы при солености 32-34‰.

Для всех отобранных образцов были получены последовательности ITS1-2 ядДНК с использованием универсальных праймеров, значения генетических расстояний которых сравнивали с растениями побережья Канады. Топологии деревьев, построенных разными методами, оказались сходными. Генетические различия среди образцов *F. distichus* состоят в замене одного нуклеотида в ITS1 у одного из образцов (0.02%). В ходе анализа данных были

выделены субклады баренцевоморских растений в кладах соответствующих видов, сформированных образцами с Канадского побережья, что может объясняться значительной географической обособленностью популяций.

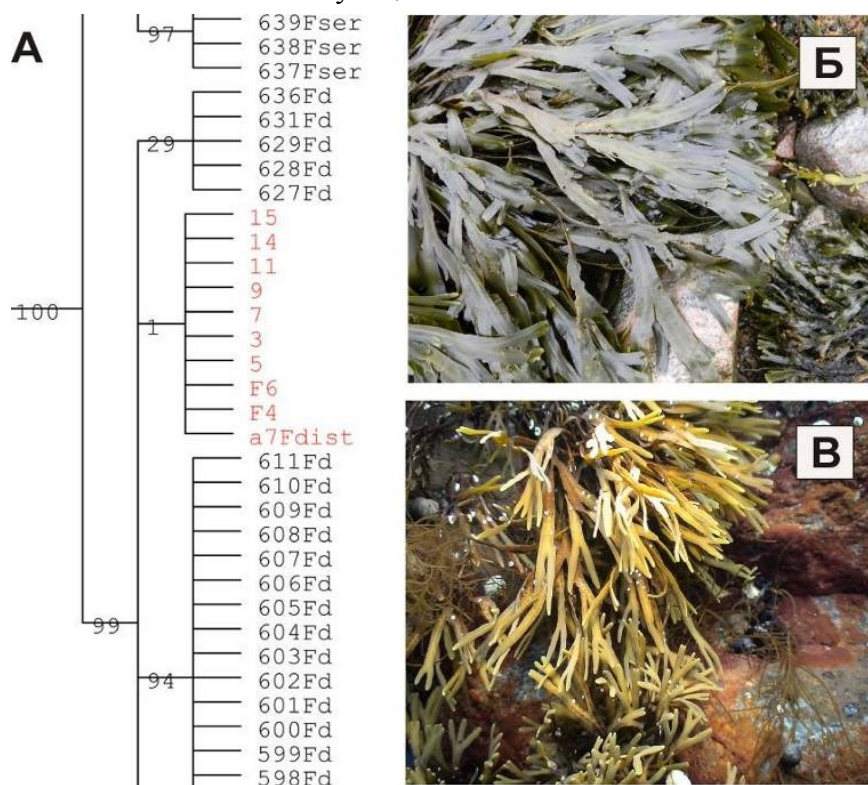


Рис. 7. Участок дендрограммы результатов генетического анализа *Fucus distichus* (А) и внешний вид типичной формы (Б) и растений из литоральных ванн (Б').

В процессе проведения морских и береговых экспедиций впервые были выявлены русла весенней миграции массовых видов морских уток в Карском море: стаи обыкновенных гаг (*Somateria mollissima*) были обнаружены у восточного побережья Южного острова Новой Земли, скопления морянок (*Clangula hyemalis*) - в южной части Карского моря у о. Белый.

Морские птицы являются одним из важнейших звеньев экосистем моря, вследствие чего они являются индикаторами различных изменений в морских экосистемах. В первую очередь, такие изменения отражаются на численности и характере размещения птиц на акваториях морей. Морские птицы, как пелагические хищники, непосредственно влияют на численность ряда видов рыб, в том числе промысловых. В ряде случаев они являются трофическими конкурентами морских млекопитающих и рыболовного промысла.

Многие вопросы экологии морских птиц в их морской период в северных морях еще не изучены. Даже в наиболее исследованных бассейнах, как Баренцево и Белое моря, до сих не представляется возможным получить информацию необходимую для расчета общей численности морских птиц. В еще более труднодоступных для орнитологических наблюдений морях, таких как Карское море, авифауна исследована в значительно меньшей степени. Впервые, за весь обозримый период исследований, был выявлен качественный и количественный состав авифауны, обнаружены места сосредоточения и участки видимого пролета ряда видов морских птиц, описаны места сосредоточения в полыньях и разводьях. Также был выявлен видовой и количественный состав орнитофауны западной части акватории Карского моря, определен сезонный характер размещения морских птиц и обнаружены места их концентрации и пути видимой части миграции.

Орнитофауны Баренцева и Карского морей имеют тесные связи. Большая часть регистрируемых в Карском море морских птиц попадают туда до и после периода размножения, огибая архипелаг Новая Земля с севера и юга. На акватории Карского моря

наивысшая численность морских птиц наблюдается исключительно в период миграций. Однако, большинство мигрантов преодолевают ее без промежуточных остановок. В летний и зимний периоды численность морских птиц на акватории Карского моря минимальна. Тем не менее, не исключена возможность существования масштабной зимовки морских уток в полыньях и разводьях у восточного побережья Южного острова Новой Земли.

Также впервые было осуществлено спутниковое мечение морских зайцев в Белом море. Датчики, определяющие в режиме реального времени координаты нахождения животных, показывают, что в течение 3-х месяцев тюлени держатся вблизи места мечения.

Полученные в ходе проведения комплексных исследований данные о характеристиках и функциональном состоянии биоты, сопоставление их с океанографическими данными в определенный период времени и данными об уровнях и источниках загрязнений, позволили разработать алгоритм и построить сезонные карты интегральной уязвимости Северо-Западного сектора Арктики от основных антропогенных воздействий (нефти, взвеси, буровых растворов, акустического шума, забора воды), примером которых являются карты уязвимости от разливов нефти (рис. 8), на которых видно, что при аварийном разливе наиболее уязвимыми сезонами являются лето и осень, а уязвимыми районами – прибрежная часть Кольского полуострова и юго-западная часть архипелага Новая земля с расположенным напротив нее участком материкового побережья.

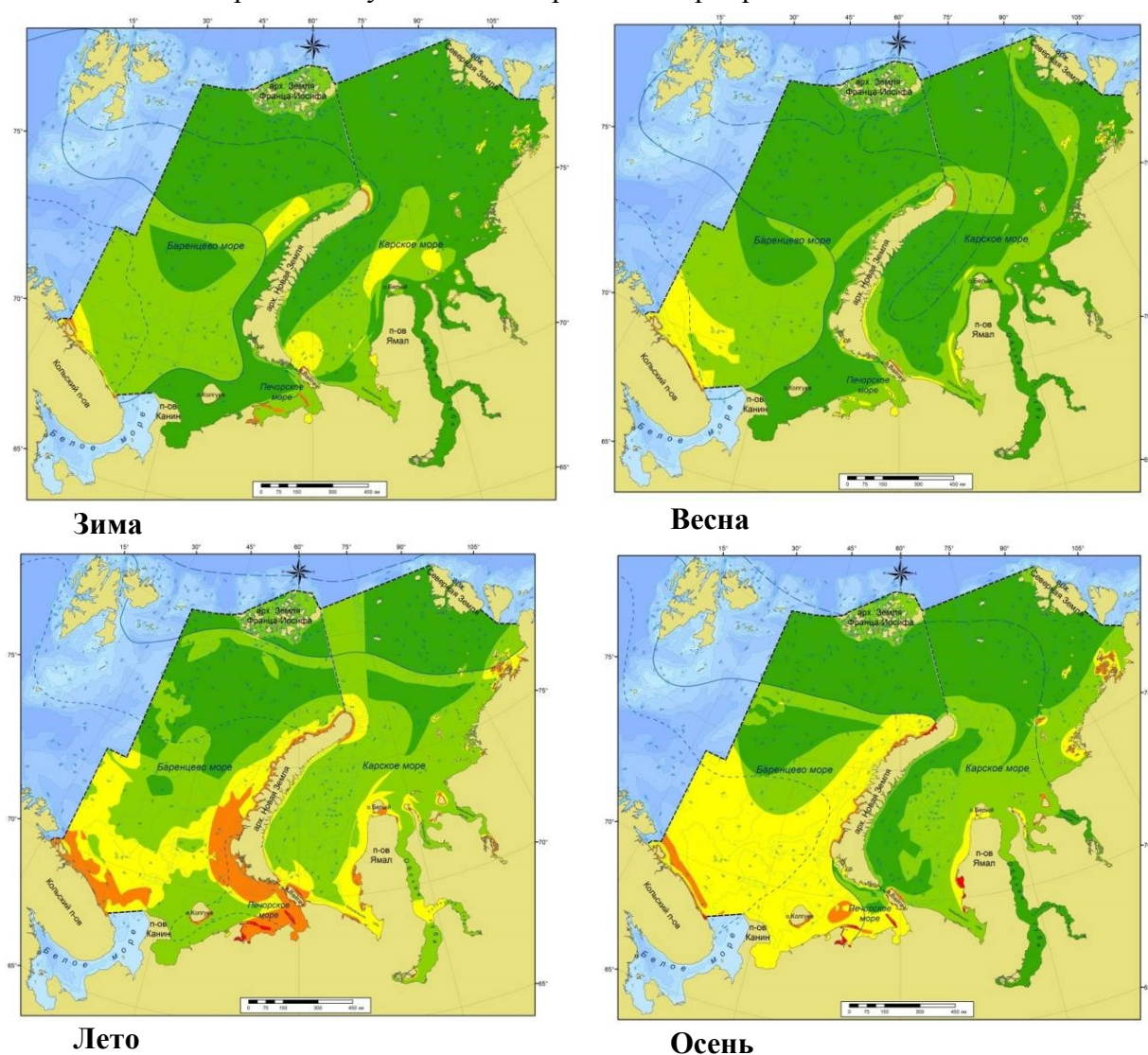


Рис. 8. Карты уязвимости Северо-Западного сектора Арктики от нефтяного загрязнения в различные сезоны года.

Важность построения подобных карт, опирающихся на знание зависимости функционирования всех биотических компонентов прибрежных морских экосистем от условий и состояния окружающей среды, состоит в возможности быстрого реагирования при возникновении нештатных ситуаций или аварийных случаев в том или ином районе Арктики. Не менее важно также, что с помощью представленных карт можно с высокой долей вероятности осуществлять мероприятия по оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) или экологическое сопровождение хозяйственной деятельности в различных регионах.

На основе полученных результатов и оценок, а также базы данных ММБИ и Южного научного центра РАН была разработана интегрированная математическая модель большой морской экосистемы (БМЭ) Баренцева и Белого морей как инструмент для оценки природных рисков и эффективного использования биологических ресурсов (рис. 9). Модель способна анализировать и прогнозировать изменчивость океанографических характеристик, биологической продуктивности, трофодинамики, развития промысловых популяций. На основе выходных данных можно давать рекомендации по управлению промыслом и оценки экологических рисков от морской деятельности, а также оценивать загрязнение среды и темпы и возможности социально-экономического развития региона.

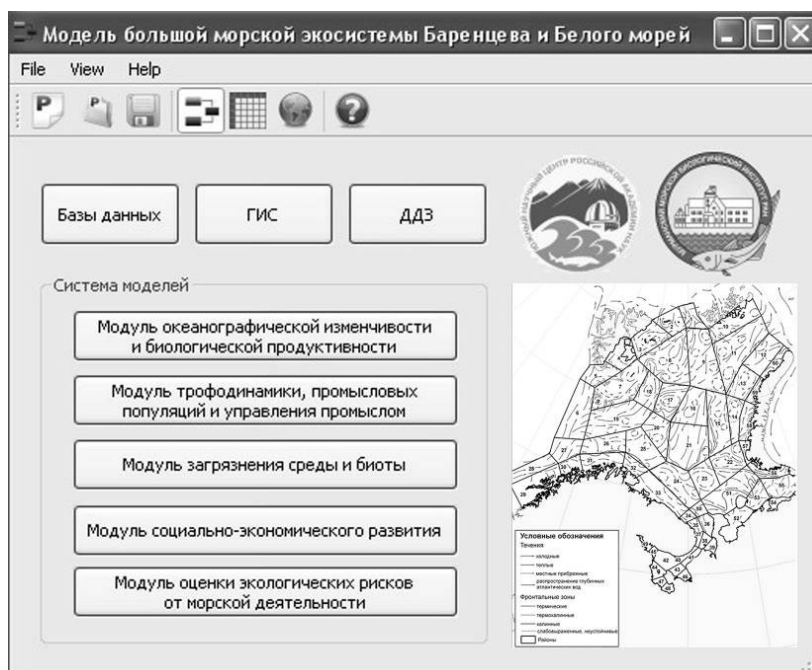


Рис. 9. Основное окно программного комплекса "Математическая модель БМЭ Баренцева и Белого морей".

По мере появления новых данных возникает необходимость разработки моделей экосистем, которые могут быть применены для анализа возможных пробелов в исследованиях. Накопленные данные, представленные вместе в количественной модели, позволяют комплексно рассматривать последствия изменений экосистем. Модели экосистем могут быть полезны для выявления важнейших межвидовых и функциональных связей разных групп организмов, оценки чувствительности экосистемы к изменениям, а также для сценарного тестирования таких воздействий как изменение промысловой нагрузки от рыболовства, климата, и/или загрязнения среды, например, в результате аварий.

Большие морские экосистемы (БМЭ) - участки морского пространства, охватывающие прибрежные воды от устьев рек к морским границам континентального шельфа с площадью порядка 200 тыс. км² и более, границы которых определяются на основе четырех экологических критериев: батиметрии, гидрология, продуктивности и трофических

популяционных связей. Концепция БМЭ оказалась продуктивной для управления на основе модульного подхода (рис. 10).



Рис. 10. Модульная структура математической модели БМЭ Баренцева и Белого морей.

Модуль продуктивности экосистемы. Одним из основных показателей является первичная продукция экосистемы, от уровня которой в конечном итоге зависят запасы рыбных ресурсов. Продуктивность является также индикатором проблемы прибрежной эвтрофикации. Правильно откалиброванные спутниковые данные могут предоставить информацию по таким параметрам как температура поверхности, прозрачность, концентрации хлорофилла.

Модуль рыболовства. Изменения в области биоразнообразия и доминирования видов в рыбных сообществах БМЭ возникли в результате чрезмерной эксплуатации, естественных экологических сдвигов в связи с изменением климата и загрязнения прибрежных районов. Отмечается, что эти изменения могут восходить по пищевой сети к вершине - хищникам и каскадом спускаться вниз по пищевой сети до таких компонентов экосистемы как планктон.

Модуль загрязнения и «здоровья» экосистемы. В некоторых БМЭ загрязнение и эвтрофикация явились важной причиной изменений в добыче морских рыбных популяций. Оценка загрязнения окружающей среды и здоровья всей БМЭ является научной проблемой. Для такого широкого понятия как «здоровье» экосистемы однозначное определение отсутствует.

Социально-экономический модуль подчеркивает практическое применение результатов научных исследований в управлении БМЭ и направлен на интеграцию социальных и экономических показателей с учетом анализа других научных оценок, чтобы гарантировать экономическую эффективность предполагаемых мер управления. Предполагается, что экономисты и аналитики тесно сотрудничают с экологами и другими учеными для выявления и оценок вариантов управления, которые являются научно обоснованными и экономически практичными в связи с использованием товаров и услуг, произведенных экосистемой.

Модуль управления. В настоящее время этот модуль развивается на основе демонстрационных проектов нескольких экосистем, для которых управление экосистемами будет осуществляться более целостно, чем в прошлом.

Имеются примеры разнообразных проектов управления с экосистемных позиций для БМЭ Желтого моря, Гвинейского и Бенгальского течений, Большого Барьерного Рифа и Антарктики. И для Баренцева и Белого морей необходим синтез моделей, учитывающих регионально-адаптированные алгоритмы оценки хлорофилла и основанную на

экспедиционных исследованиях параметризацию связи скорости роста водорослей с температурой, освещенностью и характером вертикального распределения параметров среды и биомассы фитопланктона.

Заключение.

Арктика является труднодоступным регионом, слабо затронутым хозяйственной деятельностью человека, однако ее освоение идет все более нарастающими темпами.

Проводимые ММБИ исследования экосистем арктических морей вносят существенный вклад в понимание механизмов функционирования высокобореальной и арктической биоты, и ее зависимости от изменения условий окружающей среды. Полученные результаты позволяют по-новому взглянуть на существующие теории функционального состояния животных и растительных организмов в различные сезоны года и под воздействием различных внешних факторов. Данные сведения вкупе с построенными математическими моделями позволят прогнозировать последствия и оценивать возможность восстановления морских и прибрежных экосистем при негативном антропогенном воздействии и климатических изменениях окружающей среды.

Антропогенное воздействие совместно с климатическими изменениями оказывает мощное влияние на экосистему арктических морей. Хозяйственная деятельность, в основном, регионального и локального масштаба, формирует зоны загрязнения морской среды, главным образом на участках портовой инфраструктуры. За исключением таких участков природная среда морей Российской Арктики сохраняет относительно низкий уровень антропогенного загрязнения. Однако мониторинг состояния биоресурсов и качества окружающей среды необходим не только при проведении инженерно-экологических изысканий или разработок ОВОС, но и для создания экологических стандартов и для организации природоохранных и восстановительных мероприятий в российском секторе Арктики.