

УДК 551.46 (268.41)

К оценке океанологической изученности Баренцева и Белого морей

С.Л. Дженюк

Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН

Аннотация. Дана характеристика современного уровня знаний об океанологических характеристиках и показателях состояния экосистем Баренцева и Белого морей. Предложен методический подход к оценке изученности океанологического и гидробиологического режима, основанный на статистическом описании исследуемых параметров. Показано наличие многочисленных пробелов в изученности морских экосистем на разных уровнях их организации.

Abstract. The present level of knowledge on the oceanological and ecosystem parameters of the Barents and White Seas has been characterized. The methodological approach to the estimation of state of knowledge on the oceanological and hydrobiological regime based on the statistical description of the investigated parameters has been proposed. Numerous gaps in the investigations on the different levels of ecosystem organization have been shown.

Ключевые слова: океанология, экосистемы, Баренцево море, Белое море, изученность, мониторинг, статистическая модель, тренды, изменчивость, цикличность

Key words: oceanology, ecosystems, Barents Sea, White Sea, state of knowledge, monitoring, statistical model, trends, variability, cyclicality

1. Введение

Исследования среды и экосистем Баренцева и Белого морей на методическом и техническом уровне, отвечающем современным требованиям, проводятся уже более столетия. На Баренцевом море они восходят к работам научно-промысловой экспедиции под руководством Н.М. Книповича, начатым в 1899 г. На Белом море этапным моментом было открытие биологической станции на Соловецких островах в 1883 г. В 1920-30-х гг. на обоих морях Н.Н. Зубовым, В.В. Тимоновым, В.Г. Богоровым, Е.М. Крепсом и другими океанологами и гидробиологами были выполнены исследования, ставшие классикой современной науки.

В последующем развитии выделяется этап 1970-80-х гг., когда был организован полномасштабный мониторинг Баренцева и Белого морей, включающий регулярные глубоководные съемки на стандартных разрезах, работы по программе Общегосударственной системы наблюдений и контроля загрязнения окружающей среды (ОГСНК), наблюдения на сети береговых станций, инструментальные авиасъемки. Были выполнены многочисленные теоретические исследования по применению статистических методов в океанологии и математическому моделированию океанологических процессов. Результаты этого этапа наиболее полно отражены в серии фундаментальных монографий по морям СССР (России), изданной под руководством Государственного океанографического института (ГОИН) в начале 90-х гг. (*Гидрометеорология...*, 1990; 1991а).

В области гидробиологии в эти годы последовательно развивался экосистемный подход, основанный на учете совокупности внешних воздействий и закономерностей функционирования экосистемы на разных трофических уровнях. Применительно к морям Западной Арктики этот подход представлен, в частности, в работах Мурманского морского биологического института (ММБИ) (*Жизнь...*, 1989; *Матишов и др.*, 1994).

Начало 2000-х гг. характеризуется активизацией работ по всем направлениям – морским экспедициям, фундаментальным исследованиям среды и биоты, моделированию океанологических процессов, разработке информационных и биологических технологий. Организационной основой исследований Баренцева и Белого морей на этом этапе стала подпрограмма "Исследования природы Мирового океана" в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) "Мировой океан".

По результатам исследований академических и отраслевых институтов в арктических морях получены достаточно полные представления о структуре и динамике морских экосистем и прежде всего единой экосистемы Баренцева и Белого морей как наиболее продуктивной и отражающей климатическую динамику в области взаимодействия Северной Атлантики и Арктического бассейна (*Matishov et al.*, 2003; *Матишов и др.*, 2007; 2011). По Белому морю за короткий срок были изданы две монографии по результатам выполнения международных проектов (*Filatov et al.*, 2005; *Белое море...*, 2007) и авторская монография (*Бергер*, 2007).

Таким образом, в настоящее время нет недостатка в научных обобщениях и справочном материале о среде и экосистемах Баренцева и Белого морей. Однако реальную изученность океанологических характеристик и процессов нельзя признать равномерной и полной. Существуют значительные пробелы в тематических областях и пространственно-временном покрытии объектов исследования. Во многом это объясняется спецификой морских экспедиционных и береговых

исследований. При планировании комплексных экспедиций невозможно в равной степени учесть особенности каждого из объектов исследований и, тем более, особенности их пространственного поведения и сезонной динамики. При выполнении стандартных разрезов в фиксированные сроки могут быть пропущены аномальные состояния планктонных сообществ, миграции рыб и другие биологические процессы. К тому же районы и сроки плавания часто зависят от внешних обстоятельств, не имеющих отношения к научным задачам: финансирования, наличия разрешений, технической оснащенности, координации работ. Что же касается береговых исследований, то степень изученности прибрежных вод и литорали впрямую зависит от их доступности. Этим объясняется обилие работ, выполненных на Кольском заливе и в губе Дальнезеленецкой Баренцева моря, в Двинском и Кандалакшском заливах Белого моря. Помимо профессиональной научной деятельности, такие участки побережья используются для учебных практик и поставляют материал для многочисленных студенческих и аспирантских работ.

В научной литературе всегда даются оценки современного уровня знаний по отдельным направлениям или проблемам, но они, как правило, являются качественными. В морской метеорологии и физической океанографии существует понятие освещенности морской акватории попутными или специализированными наблюдениями. Однако такие данные используются только для показа относительно более или менее освещенных районов (*Гидрометеорология...*, 1990; *Climatic...*, 2004). Не применяются количественные критерии, позволяющие выделить районы и интервалы времени с недостаточной плотностью информации (хотя для некоторых задач гидрометеорологии они разработаны и апробированы).

В морской биологии и экологии оценки изученности сводятся к минимуму. Обычно отмечается либо полное отсутствие предшествующих данных (это особенно характерно для Баренцева моря, где многие участки акватории и прибрежные зоны ни разу не посещались специализированными экспедициями), либо наличие в прошлом эпизодических нерегулярных наблюдений. Между тем, при разработке исследовательских программ необходимо ориентироваться на объективные количественные оценки изученности. Далее рассматривается один из возможных подходов к их получению.

2. Вероятностные критерии оценок изученности морской среды и экосистем

Количественная оценка уровня знаний в той или иной тематической области возможна при наличии обоснованной рабочей гипотезы о вероятностных свойствах изучаемых объектов. Предлагаемый подход аналогичен методологии, ранее разработанной нами применительно к задачам экологического мониторинга (Дженюк, 2002; 2005). Это вполне естественно, поскольку исследование и мониторинг представляют собой разные по смыслу, но сходные по организации этапы познавательного процесса. На этапе исследования определяется набор количественных показателей нового для науки объекта, устанавливаются его статистические свойства, ареалы, диапазон изменчивости, связность в пространстве и времени. Только после этого возможна организация мониторинга на основе статистической модели поведения объекта.

В метеорологии и физической океанографии совокупность объектов исследования полностью определена. Исследовательские задачи сводятся к их статистическому описанию. В задачах химической океанологии и контроля загрязнения морской среды перечень объектов постоянно пополняется, но подходы к их изучению в целом аналогичны. Морские биологические исследования отличаются открытыми и постоянно пополняемыми перечнями объектов. Обнаруживаются новые виды и таксономические группы более высокого ранга, пересматривается популяционная структура известных видов, выделяются группы организмов по их пространственному положению или месту в трофических связях. Объектами экосистемных исследований должны быть потоки вещества и энергии. По результатам исследований формируется перечень контролируемых показателей для проведения комплексного мониторинга окружающей среды.

Существуют две разновидности мониторинга, различающиеся по организации и набору контролируемых параметров: мониторинг выделенного объекта (например, тропического циклона, пятен загрязнения, мигрирующей популяции) и мониторинг среды на определенном участке географического пространства. Для выделенного объекта набор переменных, описывающих его состояние, включает геодезические координаты, тогда как при мониторинге среды эти координаты изначально заданы. Отсюда следуют два альтернативных подхода к изученности: она может оцениваться по отношению к определенному объекту (подвижному или стационарному) или к составляющим природного комплекса в заданных географических границах. На практике может возникнуть потребность в обоих подходах (например, объектом изучения может быть популяция редкого биологического вида сама по себе или в российском секторе Баренцева моря), но в долгосрочных исследовательских программах чаще ставятся задачи второго типа.

Концепция изученности, как и мониторинга, основывается на том, что показатели, отражающие состояние морских экосистем, представляют собой случайные величины, а их изменения во времени – случайные процессы. Для описания объекта вне географической среды, например, морфологии и физиологии организмов, может быть достаточным вычисление математического ожидания и

стандартного отклонения. Если же изучается природный комплекс в естественных условиях, результаты должны быть представлены в виде реализации случайного процесса – временного ряда.

В общем случае временные ряды показателей состояния среды всегда поддаются разделению на тренд, периодические компоненты и "белый шум". Отсутствие тренда является необходимым (но не достаточным) условием статистической однородности исследуемого параметра. Оценки климатических трендов лежат в основе всех современных работ и дискуссий по проблеме глобального потепления (IPCC, 2001; *Современные...*, 2006). Более того, вся климатология как область знания и сфера практической деятельности основана на положениях о стационарности климата. Наличие климатических трендов не отрицается, но предполагается, что они, в свою очередь, устойчивы и предсказуемы.

Для региона Баренцева и Белого морей оценки современных трендов климатических параметров приведены в ряде работ, преимущественно по данным наблюдений береговых станций, позволяющих получить многолетние непрерывные ряды (Белое..., 2007; *Зубакин, Бузин, 2008; Грищенко, 2010* и др.). По данным спутниковых съемок оцениваются тренды ледовитости арктических морей (Алексеев и др., 2007).

В работах по морской биологии и экологии требования к статистической однородности многолетних данных обычно невыполнимы, и даже существование этой проблемы не всегда осознается. Выводы о климатической изменчивости морских экосистем часто основываются на фрагментарных данных, не совпадающих по районам, сезонам и методам сбора материала. Исключением являются данные многолетних наблюдений на морских биостанциях, однако они нерепрезентативны для открытых морских акваторий и прибрежных зон с различающимися физико-географическими условиями.

Необходимость учета периодических составляющих вполне очевидна при проведении наземных исследований. В гидрометеорологии, ботанике, ландшафтоведении и других дисциплинах выработаны общеизвестные подходы к выделению суточной и годовой ритмики. В морских исследованиях эти задачи не столь тривиальны. Суточный ритм важен только для явлений и процессов, зависящих от освещенности в поверхностном слое моря. Суточный ход метеорологических параметров отсутствует или незначителен. Сезонные изменения выражены значительно слабее, чем в наземных экосистемах, особенно на больших глубинах. Изменения температуры воды и обусловленные ими биологические процессы в глубинных слоях запаздывают по отношению к поверхностным, причем степень запаздывания зависит от интенсивности вертикального перемешивания в разные сезоны.

Для описания морских экосистем чрезвычайно важен учет приливных циклов. На Баренцевом и Белом морях преобладают правильные полусуточные приливы с периодом, близким к 12.5 ч, модулированные циклами, связанными с фазами Луны (сизигийные и квадратурные приливы). В океанологии применяются хорошо известные методы выделения приливных составляющих или, наоборот, их фильтрации из рядов наблюдений. Однако сочетания суточного и приливного ритмов, которые ежедневно сдвигаются относительно друг друга на небольшой интервал времени, создает разнообразие природных ситуаций, которое не поддается учету формальными статистическими приемами. Приливные колебания уровня являются ведущим фактором, определяющим биологические процессы и условия хозяйственной деятельности на литорали, береговых осушках и мелководной бентали.

Случайные флуктуации во временных рядах и неоднородности пространственных распределений, которые описываются корреляционными функциями, важны прежде всего для научного обоснования системы мониторинга и прогнозирования. Высокая изменчивость на малых интервалах характерна для метеорологических процессов (этим определяются строгие требования к пространственному и временному разрешению наблюдений). Морская среда намного более стабильна, что позволяет использовать для анализа данные с большими разрывами во времени. Так, данные ММБИ о теплой аномалии в атлантической водной массе Баренцева моря, непрерывно сохранявшейся с 2001 по 2008 г., полученные только по результатам летних съемок (Матушов и др., 2010), совпадают с выводами Полярного института рыбного хозяйства и океанографии (ПИРО), полученными при выполнении разрезов не реже раза в квартал (Бойцов, 2008).

Биологические процессы протекают в чрезвычайно широком диапазоне пространственно-временных масштабов и отличаются разнообразием вероятностных свойств. Поэтому выбор стратегии исследований в каждом отдельном случае становится нетривиальной задачей. Эта проблема особенно актуальна при сборе первичных биологических данных. Повторные отборы проб позволяют повысить надежность статистических оценок, но однородность выборки всегда может быть поставлена под сомнение (например, каждая проба бентоса представляет собой уникальный фрагмент донного биоценоза).

Суперпозиция тренда, периодических компонент и "белого шума" может рассматриваться как модель временного ряда исследуемого параметра. В океанологических задачах, для которых большое значение имеет однородность среды, она может дополняться моделями случайных полей и вертикальных распределений. В практической работе статистическая интерпретация натурных данных, как правило, не очевидна. Это можно проиллюстрировать графиком многолетних изменений океанологических параметров, который в разных вариациях присутствует во многих работах по Баренцеву морю. Здесь мы воспользовались иллюстрацией из работы В.Д. Бойцова (рис. 1). По мнению автора, около 1920 г. произошло однократное изменение океанологического режима, которое выразилось в сдвиге

климатических норм температуры воды и ледовитости. Однако возможны и другие интерпретации этих данных. "Потепление Арктики" в первой половине XX в. и современная теплая аномалия в начале 2000-х годов могут представлять собой проявление природной цикличности с периодом около 60 лет. Если же ограничиться участком ряда за последние 50 лет (как более надежно обеспеченным натурными данными), в нем усматривается линейный тренд потепления и снижения ледовитости со значениями, близкими к 0.02 °С/год и 0.4 %/год соответственно. Такие оценки в современной литературе часто используются для подтверждения теории глобального антропогенного потепления.

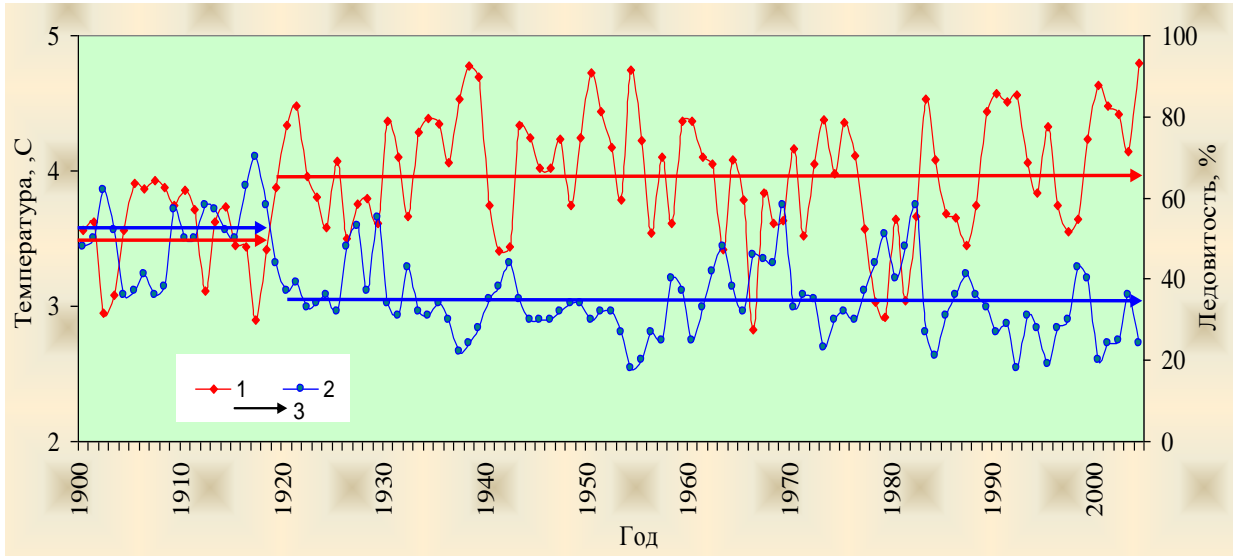


Рис. 1. Колебания температуры воды слоя 0-200 м Мурманского течения (1), ледовитости Баренцева моря (2) и их средние значения (3) в 1900-1919 гг. и 1920-2004 гг. (Бойцов, 2006)

Представление временного ряда в виде композиции составляющих может быть более эффективным инструментом исследования, чем непосредственная статистическая обработка натуральных данных. Наглядным примером является статистическое моделирование течений на приливных Баренцевом и Белом морях. По отдельности все их компоненты хорошо изучены. Аналогом тренда служит постоянная составляющая, показанная на многочисленных картах течений. Периодические приливные течения также хорошо изучены и представлены на ежечасных картах приливного цикла. Непериодические дрейфовые течения достаточно надежно рассчитываются по простым формулам. Вместе с тем траектории переноса в поверхностном слое, построенные по данным инструментальных измерений, всегда выглядят как случайные блуждания с определенным генеральным направлением и полусуточными циклическими вариациями. Непериодическая составляющая суммарного переноса в общем случае представляет собой суперпозицию термохалинного, дрейфового, инерционного и стокового (в прибрежной зоне) течений, которые не поддаются разделению из-за неполноты информации о вынуждающих силах.

В работе (Матишов и др., 2006) приведены оценки статистических свойств некоторых гидрометеорологических параметров Баренцева моря (в сопоставлении с Азовским). Такой подход позволяет выявить отсутствующие или недостаточно достоверные компоненты временных рядов и тем самым объективно оценить состояние изученности морской среды. Его можно распространить и на параметры экосистем (продуктивность, биомассу, пути миграций), но пробелы в знаниях в этом случае, как правило, значительно больше. Ниже мы будем оценивать уровень знаний о среде и экосистемах с использованием этой концепции, хотя ее полная формализация для реальных объектов исследований обычно недостижима.

3. Изученность океанологических характеристик и процессов

В истории исследований Баренцева моря преимущественное внимание уделялось температурному режиму. Сведения о температуре воды имеют первостепенное значение в промышленной океанологии. Гидрофизические и акустические процессы в водной толще зависят прежде всего от температуры воды, так как изменчивость солености в пелагиали Баренцева моря относительно невелика. Данные термохалинных съемок постоянно используются для расчетов циркуляции вод и водообмена динамическим методом. Именно поэтому такое большое значение придается регулярности выполнения съемок на вековых и стандартных разрезах и формированию баз океанологических данных.

На Баренцевом море система глубоководных съемок ориентирована на сетку стандартных и "вековых" разрезов, среди которых особое место занимает разрез VI по Кольскому меридиану (рис. 2а).

На нем выдерживается наибольшая регулярность и обеспечена наибольшая плотность наблюдений во все месяцы года. Поэтому выводы о вековой изменчивости океанологических процессов обычно относятся именно к этой части моря (*Матишов и др.*, 2007; *Levitus et al.*, 2009). Это представляется оправданным, т.к. процессы в атлантической водной массе, которую пересекает разрез VI, определяют тенденции изменения климатической системы Западной Арктики и Северной Европы, а также состояние промысловых экосистем. С другой стороны, в северных и восточных районах моря, где стандартные разрезы выполняются крайне редко, океанологические условия более стабильны и меньше сказываются на изменчивости экосистем.

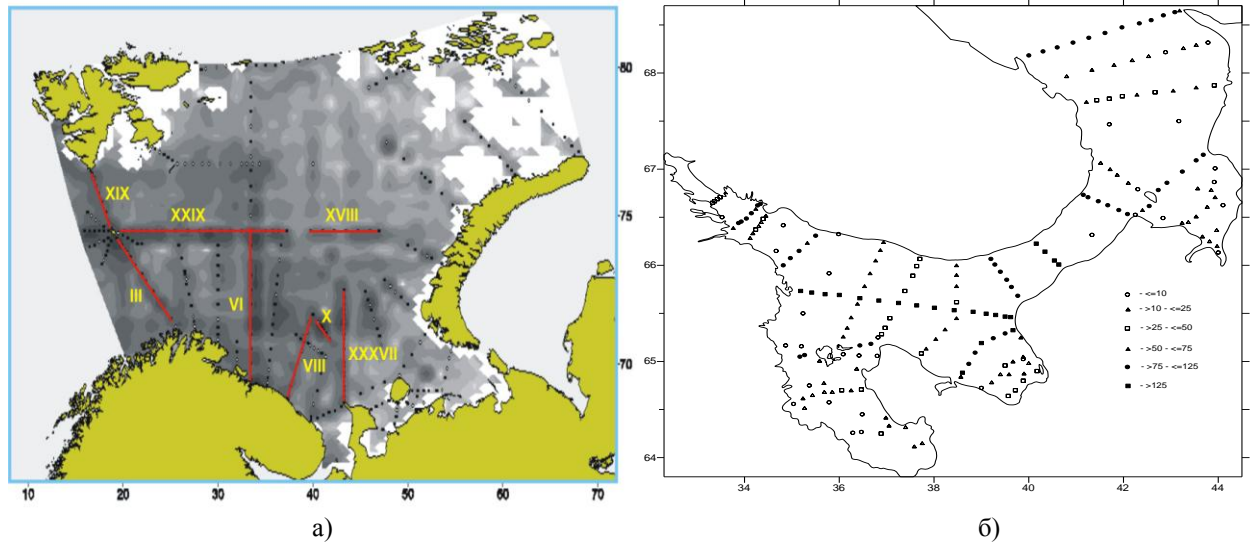


Рис. 2. Схемы разрезов и освещенность глубоководными наблюдениями: а) – вековые (сплошные линии) и стандартные (пунктир) разрезы Баренцева моря; заливкой показана плотность наблюдений на 10000 км² за период 1900-2006 гг. – от 0 (отсутствие заливки) до 6-8 тыс. (наиболее темные участки); б – стандартные разрезы Белого моря (показатели освещенности за период 1942-1987 гг.)

Белое море в силу своих небольших размеров и хорошей доступности равномерно покрыто сеткой разрезов, которые до недавнего времени выполнялись систематически (рис. 2б). В ледовый период съемки не выполнялись, но гидрологические условия зимы относительно стабильны и мало сказываются на морской деятельности.

Исследования динамики вод и ледяного покрова длительное время проводились преимущественно для решения задач, связанных с навигацией. С началом освоения шельфа они стали важнейшей частью инженерно-гидрометеорологических изысканий и обеспечения экологической безопасности. Хорошо изучен уровень режим побережий (*Гидрометеорология...*, 1990; 1991). Изученность течений открытого моря в значительной степени основывается на результатах инструментальных наблюдений, выполненных в 1960-1970-е годы, а также расчетов с использованием динамического метода (*Гидрометеорология...*, 1990). В работах последних лет классическая схема постоянных течений Баренцева моря уточнена с привлечением новых гидрологических данных (*Matishov et al.*, 2009).

Как уже отмечалось выше, для оценок морских течений с точностью, достаточной для большинства практических приложений, могут использоваться имеющиеся климатические карты и простые расчетные методы. Это косвенно подтверждается тем, что инструментальные наблюдения, выполненные в большом количестве за последние два десятилетия на буровых платформах в юго-восточной части Баренцева моря, не изменили общую картину изученности и практически не упоминаются в научной литературе.

Качественно новыми методами наблюдений за течениями являются измерения с автономных буйковых станций, а также при помощи дрейфующих буев Argos (*Loeng, Saetre*, 2001). Результаты обработки этих данных по западной части Баренцева моря (*Захарчук*, 2004) в целом подтвердили известные закономерности. Впервые удалось проследить инерционные непериодические компоненты течений синоптического масштаба, которые не поддаются расчету традиционными методами.

В истории изученности ветрового волнения, как и течений, выделяется период 1960-1970-х гг., когда впервые на морях СССР были организованы массовые инструментальные наблюдения. На основе их результатов были разработаны расчетные методы, которые с небольшими модификациями используются до настоящего времени в качестве более надежного средства исследования, чем данные волнографных измерений (для достоверного описания режима ветра и волнения необходимы ряды

непрерывных наблюдений от 10 до 30 лет, что нереально для решения текущих задач морской деятельности). Почти исчерпывающее описание режима волнения Баренцева и Белого морей содержится в (*Гидрометеорология...*, 1990; 1991a). В последние годы новые расчетные оценки по Баренцеву морю были получены по продленным рядам с использованием успешно апробированного спектрального метода (*Лавренов и др.*, 2004). Они не привели к пересмотру более ранних результатов, но свидетельствуют о некоторой тенденции к повышению штормовой активности, что может быть существенным при планировании работ на шельфе.

Степень изученности ледовых условий на протяжении XX века во многом зависела от менявшихся методов наблюдений (судовых, авиационных). В 1970-1980-е годы был выполнен большой объем специализированных работ для нефтегазового комплекса, результаты которых, дополненные режимными обобщениями, наиболее полно представлены в монографии *Г.К. Зубакина* (1987). В дальнейшем в развитие этого направления проводились исследования ледяного покрова в перспективных районах шельфа (*Бузин*, 2008), частоты появления айсбергов в Баренцевом море (*Abramov*, 1992) и ряд других.

С началом систематических спутниковых наблюдений впервые открылась возможность получать регулярные данные, характеризующие ледовитость и сплоченность ледяного покрова арктических морей. На их основе получены современные оценки климатической изменчивости ледяного покрова (*Johannesen et al.*, 2004; *Алексеев и др.*, 2007; *Зубакин, Бузин*, 2008). В ММБИ с использованием архива спутниковых карт была создана база данных по ледовым условиям Баренцева моря за 30-летний период для совместного анализа данных о ледовитости, миграциях треки и районах работы промыслового флота (*Жичкин*, 2009).

Гидрохимический режим Баренцева и Белого морей в целом стабилен, и его описание для открытых морских акваторий в научно-справочных пособиях (*Гидрометеорология...*, 1991b; 1992) можно считать исчерпывающим. Исключение составляют зоны маргинальных фильтров, ярко выраженные в устьях Северной Двины и других беломорских рек. В последние годы они стали объектом тематических исследований Института океанологии РАН и Института водных проблем Севера (*Кособокова и др.*, 2004; *Филатов и др.*, 2004). Эти зоны отличаются высокими градиентами солености и гидрохимических показателей, подвержены сильной сезонной изменчивости и играют важную роль в формировании биологической продуктивности (*Лисицын*, 2003; *Система...*, 2010).

По отношению к химическому и радиационному загрязнению морей понятие изученности применимо лишь отчасти, т.к. источники загрязнения и их относительный вклад постоянно меняются. Во многих случаях это приводит к непредсказуемым трендам, намного перекрывающим естественную изменчивость. Вместе с тем, на Баренцевом и Белом морях, где хозяйственная деятельность сосредоточена на небольших участках побережья (как правило, примыкающих к устьям рек, по которым поступает загрязнение с водосборных бассейнов), выделяются акватории с устойчиво высоким загрязнением водной среды и лонных осадков: Кольский, Двинской и Кандалакшский заливы, Варангер-фьорд. В последние годы в таких районах проводились специализированные исследования, в том числе и с международным участием в пограничных водах России и Норвегии (*Savinov et al.*, 2003; *Dahle et al.*, 2006). Наиболее полная сводка новых данных по обим морям содержится в работе (*Ильин и др.*, 2011). Экологическая ситуация в наиболее уязвимой части прибрежной зоны – Кольском заливе – освещена в региональной монографии (*Кольский...*, 2009).

4. Изученность морских биоценозов

Все оценки продуктивности морей в прошлом, по меньшей мере до начала 90-х гг., были получены по данным наблюдений экспедиционных судов, крайне неравномерно распределенных по пространству и во времени. С началом спутниковых измерений биологических показателей поверхностного слоя Мирового океана появился поток регулярных сопоставимых данных, частично использованных уже в работе (*Романкевич, Ветров*, 2001). Однако из-за методических различий в способах обработки сохраняется большой разброс результатов (*Смирнова и др.*, 2005). В работе (*Дженюк*, 2009) проблемы интерпретации спутниковых данных были рассмотрены на примере снимков Онежского залива. Отмечена, в частности, несопоставимость спутниковых и судовых данных по пространственно-временным масштабам, что во многом обесценивает результаты подспутниковых экспериментов.

Состояние изученности экосистемы Баренцева моря на основных трофических уровнях освещено в недавней работе (*Матишов и др.*, 2007). По Белому морю аналогичные сведения содержатся в работе (*Бергер*, 2007). Поэтому далее мы остановимся преимущественно на некоторых методических проблемах, вытекающих из общей концепции изученности, представленной выше.

Сообщества фитопланктона хорошо изучены с позиций биоразнообразия (*Matishov et al.*, 2000). В последние годы особое внимание уделялось сезонным циклам жизнедеятельности фитопланктона в арктических морях, в том числе в их наиболее продуктивных эстуарных зонах (*Макаревич*, 2007; *Макаревич, Дружкова*, 2010). Хорошо известно, что вспышки численности ("цветение" фитопланктона) протекают за короткое время и часто не улавливаются по данным судовых съемок. Наряду с этим и пространственные распределения фитопланктона отличаются высокой изменчивостью даже в

однородных условиях. Это наглядно видно на примере данных, приведенных в работе (Водопьянова, 2011). Здесь на одной из станций разреза, выполненного в августе 2010 г. в центральной части Баренцева моря (71.5° с.ш., 45° в.д.), обнаружен локальный экстремум содержания хлорофилла а свыше 12 мг/м³ при фоновых значениях от 0.5 до 2.0 мг/м³. Даже если поставить под сомнение данные этой станции (в гидрометеорологии такие выбросы, заведомо превышающие 3 σ , отбраковываются), вариации оставшихся значений достигают 1 : 10.

Отсюда следует, что даже при регулярности и высокой плотности судовых съемок реальный диапазон изменчивости не поддается достоверному определению. Спутниковые данные, несмотря на значительные инструментальные и методические погрешности, следует считать безальтернативным способом описания фитопланктонных сообществ на больших пространствах.

Сообщества зоопланктона более стабильны, чем фитопланктонные, и их изменчивость регулируется крупномасштабными факторами (интенсивностью течений, речным стоком, продуктивностью вод) (Тимофеев, 2001). Тем не менее, и для них по натурным данным выявляется пространственная неоднородность, которую трудно объяснить вариациями гидрологических условий. Так, по данным летних наблюдений в Воронке Белого моря (Дворецкий, 2011), различия значений биомассы между отдельными участками акватории по меньшей мере в 5 раз обнаружены там, где в Белое море заходит устойчивое прибрежное течение, а гидрофизические параметры должны быть выровнены сезонным термоклинном и приливным перемешиванием.

Исследования зообентоса Баренцева и Белого морей проводятся с начала XX века, однако систематическими их признать нельзя. Даже на разрезе по Кольскому меридиану, по данным которого изучается климатическая изменчивость бентоса, существуют большие разрывы в рядах наблюдений (Фролова и др., 2007; Матишов и др., 2010). Вместе с тем, бентосные сообщества более стабильны, чем планктонные (благодаря малой подвижности особей и большой продолжительности жизни у многих видов), поэтому даже разрозненные данные съемок позволяют дать удовлетворительное описание бентоса. К настоящему времени изучено видовое разнообразие сообществ (List..., 2001; Денисенко, 2007) и выявлены изменения в структуре (соотношение арктических и бореальных видов), обусловленные климатической динамикой (Фролова и др., 2007; Денисенко, 2007). В чувствительных прибрежных районах структура бентосных сообществ изучается как индикатор антропогенного загрязнения (Самохина, 2009).

Ихтиологические исследования Баренцева и Белого морей проводятся непрерывно еще с конца XIX века и охватывают всю акваторию, на которой ведется промысел. Тем не менее, видовой список ихтиофауны постоянно корректируется. Последнее такое обобщение по Баренцеву морю представлено в работе (Карамушко, 2008). Описание ихтиофауны Белого моря, которая по видовому богатству и промысловой ценности значительно уступает баренцевоморской, содержится в работе (Бергер, 2007). Показателями состояния экосистемы на этом уровне служат биомасса (и производный от нее промысловый запас), ареалы распространения отдельных видов, размерный и возрастной состав, структура питания. Обязательно учитывается многолетняя и сезонная изменчивость, тогда как требования к географической привязке невысоки. Возможности исследований по этому направлению в настоящее время ограничены не столько дефицитом данных, сколько трудностями доступа к результатам рыбопромысловых съемок.

Морские млекопитающие и птицы представляют собой наиболее подвижную часть морской экосистемы, не связанную географическими границами. В литературе преобладают результаты изучения отдельных видов и популяций (Гренландский..., 2001; Светочев, Светочева, 2010 и др.). В качестве обзоров, содержащих сводки видов и их краткое описание, можно рекомендовать по Баренцеву морю соответствующие разделы монографии (Научно-методические..., 1997) (где это сделано в контексте экологической экспертизы Штокмановского проекта), по Белому морю – монографию (Бергер, 2007).

Публикацию непосредственных результатов наблюдений в этом случае нельзя признать эффективной. Она в определенной мере оправдана, если речь идет о редких встречах животных в труднодоступных районах (Биология..., 2007). Напротив, неудачно представлены данные в работе (Атлас..., 2002), где на многочисленных иллюстрациях показаны картосхемы распределения птиц по данным отдельных визуальных учетов. Это, по существу, случайная выборка, статистически не обеспеченная ни по одному показателю состояния популяций (неточно и само название "Атлас птиц Печорского моря", т.к. работа не является картографической).

Таким образом, изученность биологических объектов с позиций вероятностного описания нельзя признать удовлетворительной. Как правило, отсутствующи многолетние ряды сопоставимых наблюдений, которые позволили бы получить функции распределения, рассчитать нормы и диапазоны изменений с разной доверительной вероятностью. Недостает информации для выявления многолетних трендов и цикличностей, что не позволяет уверенно выделить последствия антропогенных воздействий на фоне природных изменений.

Ограничения существующей системы наблюдений (как в исследовательских, так и в мониторинговых целях) вряд ли будут восполнены в ближайшем будущем. Возможности дистанционного зондирования ограничены поверхностью и поверхностным слоем моря, измеряемый

набор параметров пока недостаточен для комплексного описания среды и биоценозов. Стационарные океанологические буи дороги в эксплуатации, их использование оправдывается только важностью сбора данных на площадках инженерных изысканий или вблизи экологически опасных объектов. Дрейфующие буи позволяют решать только небольшой круг задач.

В этих условиях представляется перспективным подход, основанный на оценке потенциала экологических ниш для поддержания видового разнообразия и продуктивности биоценозов. Геологическая среда литорали и бентали с этой точки зрения хорошо изучена и, за редкими (хотя и важными) исключениями, достаточно консервативна. Экологические характеристики и показатели изменчивости водной и воздушной среды также в целом известны. Это позволяет экстраполировать условия хорошо изученных районов на все участки пелагиали, бентали и прибрежной зоны морей. Эффективным средством прикладных исследований по данному направлению являются геоинформационные системы, позволяющие выделять зоны с однородными условиями среды и проводить необходимые измерения (например, объема выделенных частей бассейна как вмещающих емкостей, распределения бентали по ступеням глубин, площадей приливных осушек).

5. Заключение

Для оценок изученности показателей состояния среды и биоценозов предложена информационная концепция, ранее разработанная применительно к задачам экологического мониторинга. Описание нового объекта исследований должно состоять из контролируемого набора параметров, для каждого из которых получена функция распределения (или, как минимум, выполнены предварительные расчеты математического ожидания, дисперсии, дана вероятностная оценка наблюдавшихся экстремумов).

Критерием достаточной изученности того или иного океанологического параметра, позволяющей перейти от исследовательских задач к мониторинговым, должна быть статистическая модель его пространственных распределений и временных рядов. Такие модели хорошо известны в гидрометеорологии, где они используются для обоснования размещения сети наземных (в том числе береговых) наблюдений и стандартных океанологических разрезов, задания дискретности наблюдений, учета сезонных явлений. В морской экологии и биологии по ряду причин эти подходы используются лишь отчасти, и их необходимость даже не всегда осознается. По мере совершенствования дистанционных методов наблюдений и сокращения традиционных судовых съемок возникают новые проблемы интерпретации данных, не согласованных по компонентному, пространственному и временному разрешению.

За более чем столетнюю историю исследований Баренцева и Белого морей созданы базы данных и знаний, в целом достаточные для решения задач современной морской деятельности. Вместе с тем, выявляются значительные различия и пробелы в изученности морских экосистем на разных уровнях их организации, что не позволяет объективно выделить природные тренды и цикличности, а также степень воздействия антропогенных факторов.

Литература

- Abramov V.A.** Russian iceberg observations in the Barents Sea, 1933-1990. *Polar Research*, v.11(2), p.93-97, 1992.
- Climatic Atlas of the Arctic Seas 2004. NOAA Atlas NESDIS 58, World Data Center for Oceanography-Silver Spring, International Ocean Atlas and Information Series, v.9, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C., 148 p., CD-ROM, 2004.
- Dahle S., Savinov V., Petrova V.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Norwegian and Russian Arctic marine sediments: Concentrations, geographical distribution and sources. *Norwegian Journal of Geology*, v.86, p.41-50, 2006.
- Filatov N., Pozdnyakov D., Johannessen O.** White Sea: Its marine environment and ecosystem dynamics influenced by global change. *London, Springer*, 472 p., 2005.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). *Climate Change 2000. Cambridge: Cambridge University Press*, 2001.
- Johannessen O.L., Bengtsson M.W., Miles S.I.** Arctic climate change: Observed and modelled temperature and sea ice variability. *Tellus*, v.56A(4), p.328-341, 2004.
- Levitus S., Matishov G., Seidov D., Smolyar I.** Barents Sea multidecadal variability. *Geophysical Research Letters*, v.36, N 19, p.1-13, 2009.
- List of species of free-living invertebrates of Eurasian arctic seas and adjacent deep waters. *St-Petersburg, Publ. House of Zoological Institute RAS*, 132 p., 2001.
- Loeng H., Saetre R.** Features of the Barents Sea Circulation. Institute of Marine Research. *Fisken og Havet*. N 1, p.1-40, 2001.
- Matishov G.G., Denisov V.V., Dzhenyuk S.L.** Contemporary state and factors of stability of the Barents Sea large marine ecosystem. Large marine ecosystems of the world: Trends in exploitation, protection and research. *Elsevier*, p.41-74, 2003.

- Matishov G.G., Makarevich P., Timofeev S.** Biological atlas of the Arctic Seas 2000: Plankton of the Barents and Kara Seas. NOAA Atlas NESDIS 39. U.S. Gov. Printing Office, Wash., D.C., 348 p., 2000.
- Matishov G.G., Matishov D.G., Moiseev D.V.** Inflow of Atlantic-origin waters to the Barents Sea along glacial troughs. *Oceanologia*, v.51, N 3, p.293-312, 2009.
- Savinov M.V., Savinova T.N., Matishov G.G., Dahle S., Næs K.** Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) and organochlorines (OCs) in bottom sediments of the Guba Pechenga, Barents Sea, Russia. *The Science of the Total Environment*, v.306, N 1-3, p.39-56, 2003.
- Алексеев Г.В., Захаров В.Ф., Иванов Н.Е.** Изменения современного климата Арктики. *Труды ААНИИ*, т.447, с.7-17, 2007.
- Атлас птиц Печорского моря: распределение, численность, динамика, проблемы охраны. *Апатиты, КНЦ РАН*, 164 с., 2002.
- Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. *Петрозаводск, КарНЦ РАН*, 335 с., 2007.
- Бергер В.Я.** Продукционный потенциал Белого моря. Исследования фауны морей. *СПб., ЗИН РАН*, т.60 (68), 292 с., 2007.
- Биология и океанография Северного морского пути. Баренцево и Карское моря. *М., Наука*, 323 с., 2007.
- Бойцов В.Д.** Изменчивость температуры воды Баренцева моря и ее прогнозирование. *Мурманск, ПИНРО*, 292 с., 2006.
- Бойцов В.Д.** Является ли увеличение температуры воздуха и воды Баренцева моря и уменьшение его ледовитости в последние два десятилетия аналогом потепления Арктики 1920-1950 гг.? *Природа шельфа и архипелагов российской Арктики. Вып. 8. Мат. междунар. науч. конф. (Мурманск, ноябрь 2008 г.). М., ГЕОС*, с.51-56, 2008.
- Бузин И.В.** Оценки отдельных элементов ледового режима северо-восточной части Баренцева моря и шельфа Новой Земли. *Труды ААНИИ*, т.450, с.111-131, 2008.
- Водопьянова В.В.** Пространственное распределение хлорофилла а фитопланктона на акватории Баренцева моря в августе 2010 г. *Мат. XXIX конф. молодых ученых ММБИ (Мурманск, май 2011 г.). Мурманск, ММБИ КНЦ РАН*, с.38-42, 2011.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. *Л., Гидрометеоиздат*, 280 с., 1990.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. *СПб., Гидрометеоиздат*, 182 с., 1992.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия. *Л., Гидрометеоиздат*, 240 с., 1991а.
- Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. *Л., Гидрометеоиздат*, 193 с., 1991б.
- Гренландский тюлень: современный статус вида и его роль в функционировании экосистем Баренцева и Белого морей. *Под ред. Г.Г. Матишова. Мурманск, ООО "МИП-999"*, 220 с., 2001.
- Грищенко И.В.** Изменения климата на юго-востоке Баренцева моря. *Природа шельфа и архипелагов российской Арктики. Комплексные исследования природы Шпицбергена. Мат. междунар. науч. конф. (Мурманск, октябрь 2010 г.). М., ГЕОС*, с.68-71, 2010.
- Дворецкий В.Г.** Структура зоопланктонного сообщества в Воронке и Мезенском заливе летом 2008 г. *Мат. XXIX конф. молодых ученых ММБИ (Мурманск, май 2011 г.). Мурманск, ММБИ КНЦ РАН*, с.61-65, 2011.
- Денисенко С.Г.** Зообентос Баренцева моря в условиях изменяющегося климата и антропогенного воздействия *В кн.: Динамика морских экосистем и современные проблемы сохранения биологического потенциала морей России. Владивосток, Дальнаука*, с.418-511, 2007.
- Дженюк С.Л.** Методология информационного обеспечения мониторинга окружающей среды. *Автореф. дис. ... доктора геогр. наук, СПб.*, 40 с., 2002.
- Дженюк С.Л.** Методология информационного обеспечения морского экосистемного мониторинга. *Морские нефтегазовые разработки и рациональное природопользование на шельфе. Ростов н/Д, ЮНЦ РАН*, с.367-387, 2009.
- Дженюк С.Л.** Экологический мониторинг как информационная технология. *Современные информационные и биологические технологии в освоении ресурсов шельфовых морей. М., Наука*, с.108-118, 2005.
- Жизнь и среда полярных морей. *Под ред. О.А. Скарлато, Г.Г. Матишова. Л., Наука*, 240 с., 1989.
- Жичкин А.П.** Атлас российского промысла трески в Баренцевом море (1977-2006 гг.). *Мурманск, Радица*, 212 с., 2009.
- Захарчук Е.А.** Синоптическая изменчивость течений в западной части Баренцева моря по данным наблюдений на буйковых станциях. *Комплексные исследования процессов, характеристик и*

ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 1. Апатиты, КНЦ РАН, с.335-350, 2004.

- Зубакин Г.К.** Крупномасштабная изменчивость состояния ледяного покрова морей Северо-Европейского бассейна. *Л., Гидрометеиздат*, 160 с., 1987.
- Зубакин Г.К., Бузин И.В.** Характеристика многолетних изменений параметров климатической системы Баренцевоморского региона и возможный механизм ее развития. *Труды ААНИИ*, т.450, с.59-80, 2008.
- Ильин Г.В., Матишов Д.Г., Касаткина Н.Е.** Формирование антропогенного загрязнения и экосистемное здоровье морей российской Арктики. *Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты, КНЦ РАН*, с.277-325, 2011.
- Карамушко О.В.** Видовой состав и структура ихтиофауны Баренцева моря. *Вопросы ихтиологии*, т.48, № 3, с.291-308, 2008.
- Кольский залив: освоение и рациональное природопользование. *Отв. ред. Г.Г. Матишов; Мурман. мор. биол. ин-т КНЦ РАН. М., Наука*, 381 с., 2009.
- Кособокова К.Н., Пантюлин А.Н., Рахор А.** Комплексные океанографические исследования в Белом море в апреле 2003 г. *Океанология*, т.44, № 2, с.313-320, 2004.
- Лавренев И.В., Дымов В.И., Пасечник Т.А.** Адаптация модели ветрового волнения AARI-RD2 для акватории. *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 1. Апатиты, КНЦ РАН*, с.387-398, 2004.
- Лисицын А.П.** Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море. *Актуальные проблемы океанологии. М., Наука*, с.503-556, 2003.
- Макаревич П.Р.** Планктонные альгоценозы эстуарных экосистем: Баренцево, Карское и Азовское моря. *М., Наука*, 223 с., 2007.
- Макаревич П.Р., Дружкова Е.И.** Сезонные циклические процессы в прибрежных планктонных альгоценозах северных морей. *Ростов н/Д, ЮНЦ РАН*, 280 с., 2010.
- Матишов Г.Г., Гаргопа Ю.М., Бердников С.В., Дженюк С.Л.** Закономерности экосистемных процессов в Азовском море. *М., Наука*, 304 с., 2006.
- Матишов Г.Г., Голубев В.А., Жичкин А.П.** Температурные аномалии вод Баренцева моря в летний период 2001-2005 гг. *ДАН*, т.412, № 1, с.112-114, 2007.
- Матишов Г.Г., Дженюк С.Л., Моисеев Д.В., Жичкин А.П.** Климатические изменения морских экосистем российской Арктики. *Проблемы Арктики и Антарктики*, № 3 (86), с.7-21, 2010.
- Матишов Г.Г., Ильин Г.В., Макаревич П.Р.** Экосистемы Баренцева и Белого морей и уровни их антропогенного загрязнения. *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 2. Апатиты, КНЦ РАН*, с.20-63, 2007.
- Матишов Г.Г., Макаревич П.Р., Ильин Г.В.** Структура и современное функционирование баренцевоморской экосистемы. *Комплексные исследования больших морских экосистем России. Апатиты, КНЦ РАН*, с.91-116, 2011.
- Матишов Г.Г., Тимофеев С.Ф., Дробышева С.С., Рыжов В.М.** Эволюция экосистем и биогеография морей Европейской Арктики. *СПб., Наука*, 222 с., 1994.
- Научно-методические подходы к оценке воздействия газонефтедобычи на экосистемы морей Арктики (на примере Штокмановского проекта). *Под ред. Г.Г. Матишова, Б.А. Никитина. Апатиты, КНЦ РАН*, 394 с., 1997.
- Романкевич Е.А., Ветров А.А.** Цикл углерода в арктических морях России. *М., Наука*, 302 с., 2001.
- Самохина Л.А.** Оценка влияния бенз(а)пирена на количественные характеристики зообентоса Белого моря и юго-восточной части Баренцева моря. *Вестник Поморского университета*, № 2, с.76-82, 2009.
- Светочев О.Н., Светочева В.Н.** Нерпа Белого моря: численность, распределение, питание. *Апатиты, КНЦ РАН*, 241 с., 2010.
- Система Белого моря. *Отв. ред. А.П. Лисицын. М., Научный Мир*, т.1, 478 с., 2010.
- Смирнов Г.В., Еремеев В.М., Агеев М.Д.** Океанология: средства и методы океанологических исследований. *М., Наука*, 795 с., 2005.
- Современные глобальные изменения природной среды. *Под ред. Н.С. Касимова, Р.К. Клиге. М., Научный мир*, т.1, 696 с., 2006.
- Тимофеев С.Ф.** Влияние климатических факторов на изменчивость биомассы зоопланктона в различных частях Баренцева моря. *Вековые изменения морских экосистем Арктики. Климат, морской перигляциал, биопродуктивность. Апатиты, КНЦ РАН*, с.33-49, 2001.
- Филатов Н.Н., Здоровеннов Р.Е., Петров М.П.** Комплексные океанологические исследования Онежского залива Белого моря. *Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. Вып. 1. Апатиты, КНЦ РАН*, с.111-128, 2004.
- Фролова Е.А., Любина О.С., Дикаева Д.Р.** Влияние климатических изменений на зообентос Баренцева моря (на примере нескольких массовых видов). *ДАН*, т.416, № 1, с.1-3, 2007.