

РЕЗУЛЬТАТЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ БЕЛОГО МОРЯ И ЕГО ВОДОСБОРА ДЛЯ РЕШЕНИЯ АКТУАЛЬНЫХ ПРОБЛЕМ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

Филатов Н.Н.¹, Зимин А.В.², Толстиков А.В.¹, Флинт М.В.³, Шевченко В.П.³

¹Руководитель проекта

¹ ФГБУН Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, Петрозаводск,

² ФГБУН СПб филиал Института океанологии РАН, Санкт-Петербург,

³ ФГБУН Институт океанологии РАН, Москва,

nfilatov@rabler.ru

Аннотация

Приводятся сведения о результатах исследований в 2014 г. Института водных проблем Севера КарНЦ РАН по проекту Президиума РАН «Арктика», выполненных совместно с организациями соисполнителями (ИО РАН, Москва и СПб филиалом ИО РАН Санкт-Петербург). Рассматриваются проблемы и пути решения задач освоения Арктической зоны на примере Белого моря и его водосбора (для краткости дальнейшего изложения назовем исследуемый регион Беломорье) как эколого-социо-экономической системы. Отмечается важность улучшения информационного обеспечения и координации при решении научных и практических задач региона, которые необходимы для решения задач современного этапа освоения Арктики.

Ключевые слова: эколого-социо-экономические системы, комплексные исследования, информационное обеспечение

Введение.

Белое море - одно из наиболее изученных морей России на примере которого можно продемонстрировать пути решения ряда научных и практических проблем, задач по освоению Арктической зоны РФ [20]. Площадь водосбора Белого моря 720 тыс. км². в 8 раз превышает площадь акватории моря (91 тыс. км²), что является наибольшим показателем для всех окраинных морей Северного Ледовитого океана и свидетельствует о значительном влиянии процессов на водосборе на экосистемы моря [17], поэтому при проведении комплексных, системных исследований, изучении причин изменений экосистем моря при антропогенных и климатических воздействиях необходимо учитывать влияние водосбора.

Проблемам Белого моря и его водосбора в последние 30 лет были посвящены работы А.Ф. Алимова с соавторами [1, 5], Долотова и др. [9], Б.Г. Житнего [10], А.П. Лисицына [14], Г.Г. Матишова [16], А.М. Никанорова с соавторами [17], В.В. Сапожникова [4, 8, 13], Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика с соавторами [22], в которых рассматривались разные аспекты оценки состояния моря, особенности его продуктивности, загрязнения, пути рационального использования ресурсов Беломорья.

Отметим результаты многолетних исследований по программе «Белое море», направленных на освоение его биоресурсов [1, 5], которая более 20 лет назад объединяла многие научные организации, министерства и ведомства на решение научных и практических задач. В рамках этой программы был проведен широкий комплекс исследований и практической реализации проектов использования биоресурсов моря, путей развития марикультуры с учетом благоприятных физико-географических, климатических и океанологических особенностей моря, наличия

множества закрытых от сильного волнения губ и заливов, а также хорошо развитой транспортной инфраструктура в регионе, относительную близость ко многим промышленным центрам, включая Архангельск, Петрозаводск, Мурманск, Петербург и Москву. К сожалению эти исследования и их практическая реализация были прекращены.

Многолетние исследования по программе «Мировой океан», направленные на исследования влияния климата и антропогенных факторов на экосистемы приполярных областей, как отмечал директор ААНИИ И. Фролов, «рассыпались, на ведомственные программы» и не принесли желаемых результатов [21].

В последние годы уникальный комплекс исследований выполнялся по проекту Президиума РАН под руководством А.П. Лисицына [20]. Были проведены системные исследования о количественном распределении (содержания и потоки), а также о минералогии взвеси, составе ее биогенной части, геохимии, гранулометрии, свойствах природных частиц и загрязнений в атмосфере, в водах рек водосбора, в маргинальных фильтрах, в толще вод моря, в морских льдах и снеге, биоте и в донных осадках. Новый системный подход открывает возможности внедрения мониторинга нового поколения с сочетанием дистанционных методов и непрерывных инситу методов верификации.

Были также выполнены многочисленные исследования по ведомственным проектам и программам, а также рантам РФФИ, ИНТАС, ИНКО-Коперникус и др.

Современные проблемы Белого моря и водосбора в рамках программы освоения Арктической зоны РФ включают широкий комплекс возникших проблем социально-эколого-экономического развития [6, 16, 21], решить которые без новых исследований будет невозможно. При освоении Арктической зоны РФ предусматривается развитие транспортной инфраструктуры региона, создание хордовых веток к Северному морскому пути (СМП) и портам на берегу Северного Ледовитого океана [22]. В этой связи повышается роль уже созданных ранее систем, например, Беломорско-Балтийский канала (ББК), портовых сооружений, дорог, которые необходимо модернизировать в соответствии с новыми задачами освоения региона. Планируется создание нового глубоководного порта в г. Беломорске, при проектировании которого необходимо учесть возможные последствия такого строительства на экосистемы. При возможной реализации проекта освоения Штокманского месторождения и прокладка трубопровода вдоль западного побережья потребуются оценить их влияние на экосистемы Белого моря и водосбора. Требуется также оценить возможное влияние на до сих пор не освоенные энергетические возможности приливов в Мезенском заливе Белого моря и строительство морской Белопорожской ГЭС.

При реализации программ промышленного, социально-экономического, инфраструктурного возрождения Арктической зоны Российской Федерации отмечается недостаток информации о ресурсах Арктической зоны в виде геоинформационных систем (ГИС), отсутствие баз и банков данных, атласов и справочников, систем для поддержки принятия управленческих решений. Специальное совещание по вопросу эффективного и безопасного освоения Арктики в июне 2014 года под председательством В.В. Путина [21] было посвящено актуальным вопросам информационного обеспечения Арктики, в частности, академиком Н.С. Касимовым отмечалось отсутствие необходимых атласов, справочников, в то время как за рубежом имеются таковые для ряда стратегически важных районов российской Арктики имеется [21].

Постанова задач исследований по проекту Арктика по изучению Белого моря и водосбора.

В рамках новой программы Президиума РАН «Арктика» Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН была поставлена задача изучить влияние экосистем Белого моря при разных социо-экономических и климатических изменениях и с учетом новых задач освоения Арктической зоны, в том числе и указанных выше.

Новые исследования ИВПС КарНЦ РАН по программе Арктика учитывают имеющийся опыт по исследованию закономерностей эколого-социо-экономического развития Беломорья при разном комплексе антропогенных и климатических воздействий [23, 24]. Цель исследований - получение новых знаний для создания элементов системы поддержки принятия управленческих решений, научного обоснования рационального использования и охраны ресурсов региона. Выполненные ранее Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН были реализованы в рамках ФЦП «Мировой океан», проектов ОНЗ РАН, российских и международных грантов, совместно с ЗИН РАН, ММБИ КНЦ РАН, ИО РАН, ИВП РАН, ААНИИ, ИЭ КарНЦ РАН, ИВП РАН, НИЦЭБ РАН, Международным центром окружающей среды и дистанционных методов им. Нансена) с использованием комплексного подхода к решению социо-эколого-экономических проблем Беломорья [5]. Отметим основные результаты выполненных ИВПС КарНЦ РАН исследований, полученных с коллегами из других институтов.

Социально-экономическое состояние регионов на водосборе Белого моря и сценарии антропогенной нагрузки на море (Филатов и др. [5, 23]).

Водосбор Белого моря приходится на Российскую Федерацию и включает в себя значительную часть территории пяти ее субъектов (Архангельской, Мурманской и Вологодской областей, Республик Карелия и Коми). Кроме того, в пределах бассейна находятся небольшие части территорий Пермского края, Кировской и Костромской областей, Ненецкого автономного округа и Финляндии. Беломорье – богатый природными ресурсами регион, испытывает достаточно большую антропогенную нагрузку в основном от трех субъектов РФ: Мурманской, Архангельской областей и Республики Карелия, в меньшей степени от Вологодской обл. и Республики Коми. Поскольку рассмотренные регионы, находящиеся на водосборе, существенно различаются по структуре экономики, ее особенностям, в качестве интегральной характеристики экономики был выбран валовой региональный продукт (ВРП), а также его структура (промышленность, сельское хозяйство, сфера услуг и др.), основные фонды и их структура, инвестиции и их структура и другие. Оценивались показатели, характеризующие состояние природной среды: выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от стационарных источников, сбросы сточных вод в поверхностные водоемы, забор воды для промышленного использования, образование токсичных отходов. Для характеристики связи развития экономики с природоохранной деятельностью и состоянием окружающей среды, было предложено использовать простые и комплексные показатели - индексы окружающей среды [23, 33]. С их помощью для индикации влияния экономики на окружающую среду определялась динамика загрязнений на единицу ВРП.

Для оценок влияния экономической деятельности на водосборе были вычислена биогенная нагрузка (по фосфору и азоту) для оптимистического (экономическое развитие территории) и пессимистического. Эти сценарии закладывались в расчеты на 3-D математической модели экосистемы для оценок изменения экосистем Белого моря, его эвтрофирования при разной антропогенной нагрузке.

Изменения климата и гидрологического режима.

Закономерности изменения климата и гидрологических условий региона были охарактеризованы по данным длительных наблюдений на метеостанциях и постах, а также береговых и островных станциях Росгидромета [5]. Оценки изменений климата

на перспективу до 2100 г. были получены по данным модели глобального климата ЕСНАМ4/ОРУС3 (далее для краткости обозначим эту модель аббревиатурой ЕСНАМ4), разработанной для системы океан-атмосфера-суша в Метеорологическом институте Макса Планка [см. 5 и 33].

Одним из важных последствий изменения климата на водосборе может стать изменение элементов водного баланса и водных ресурсов региона и, как следствие, гидрологического режима и состояния экосистем. В работах [8, 13, 17, 18] исследованы особенности химического и водного стока в Белое море. Общий среднегодовой сток рек составляет. В данных длительных измерений суммарного водного стока рек отмечается его большая изменчивость ($189\text{--}220 \text{ км}^3$), а по суммарной биогенной нагрузке по трем основным рекам по азоту - $30\text{--}40 \cdot 10^3 \text{ т год}^{-1}$, а фосфору - $3\text{--}7 \cdot 10^3 \text{ т год}^{-1}$.

Для оценки возможных изменений климата и его влияния на экосистему Белого моря через изменения температуры воздуха, элементов водного баланса, водного стока рек были использованы данные объединенной численной модели глобального климата ЕСНАМ4 [см. 33], численные эксперименты получены для контрольного периода (1950–2000 гг.) и на перспективу до 2050 и 2100 гг. [23]. В качестве сценариев использовались оценки ИРСС возможного увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. В качестве исходной информации для оценки возможных изменений основных характеристик климата и элементов водного баланса (ЭВБ) водосбора были использованы рассчитанные по модели ЕСНАМ4 ряды температуры воздуха и осадков по месяцам за контрольный (1950–2000 гг.) и прогнозный (оценочный) периоды 2000–2050 и 2000–2100 гг. по сценариям G и GA. Данные моделирования достоверно воспроизводят средние месячные и годовые значения температуры воздуха, а также годовые суммы осадков, а вот степень соответствия модельных и фактических месячных сумм осадков для водосбора, как показано в работах [5, 33], нельзя признать удовлетворительной.

Используя данные моделирования, были оценены возможные изменения климата и основных элементов водного баланса для всего беломорского бассейна к 2050 г., которые затем использовались при изучении изменения экосистем моря.

Расчеты ИВПС КарНЦ РАН показали, что к 2050 г. норма температуры воздуха при G- и GA-сценариях изменения глобального климата для района Белого моря возрастет на $1\text{--}2^\circ\text{C}$, годовое количество осадков увеличится на 5–20%. Вследствие более интенсивного роста суммарного испарения (на 14–30%) при потеплении возможно снижение суммарного притока в море с его водосбора на 30–36%. Результаты моделирования [5, 23] свидетельствуют о том, что существенное изменение структуры водного баланса моря маловероятно вследствие того, что изменения основных приходных составляющих (осадков на акваторию и речного притока) составят единицы процентов по отношению к нормам за вторую половину XX века.

Моделирование термогидродинамических процессов и изменения экосистем

Для моделирования термогидродинамических характеристик Белого моря использовалась трехмерная термогидродинамическая модель, разработанная И.А. Нееловым в ААНИИ, которая была сопряжена с экосистемным блоком, разработанным О.П. Савчуком [см. 5, 34].

При моделировании учитывалось, что основу минеральных форм азотсодержащих соединений, потребляемых растениями моря (фитопланктоном и фитобентосом) составляют нитраты. Основной лимитирующий фактор развития фитопланктона – концентрация нитратного азота. На основе результатов исследований, приведенных в работах ИВПС КАРНЦ РАН с коллегами были построены соответствующие математические модели экосистем моря [5, 22, 23, 33, 34].

На указанной модели экосистем моря были реализованы следующие численные эксперименты. Результаты модельных расчетов показали, что интегральная солёность моря меняется по сезонам с 27.4 летом до 28.4‰ в зимний период, что связано с сезонными изменениями речного стока. Заметная межгодовая изменчивость солёности и других интегральных характеристик обусловлена соответствующими крупномасштабными процессами в атмосфере. Подобно изменениям температуры и солёности воды, менялся и сезонный ход экосистемных переменных также претерпевает определённые межгодовые изменения. Они вызваны как долгопериодными колебаниями атмосферных процессов (цикличности 60, ок. 20 лет), так и, возможно, взаимодействием с донными отложениями, играющими роль долговременной памяти системы. Сравнение осредненных значений океанологических параметров, полученных на модели, с данными наблюдений показывает, что математическая модель правильно описывает особенности распределения температуры и солёности воды, ледяного покрова, биогенных элементов, концентрацию хлорофилла-а, зоопланктона, в Белом море [5]. Вследствие возможного уменьшения поступления биогенных веществ с речным стоком до 20% зимнее накопление неорганического азота снижается на 15% по сравнению с контрольным экспериментом, что приводит к весьма незначительному снижению биомассы зоопланктона. В летний период уменьшение поступления фосфатов с речным стоком компенсируется их недоиспользованием фитопланктоном, потребности которого в фосфоре ограничены нехваткой имеющегося азота.

Численные эксперименты показали, что климатические изменения, при рассмотренных в работе сценариях поступлении биогенов, приводят к незначительным изменениям основных показателей состояния изученных элементов экосистем Белого моря по сравнению с современными. Как при возможном продолжающемся потеплении, так и похолодании климата в регионе (в рамках рассмотренных сценариев) не будет наблюдаться усиления эвтрофирования моря, оно останется в олиготрофном состоянии.

Предложенная разработка – единственная на сегодняшний день функционирующая система для Беломорья, которая может использоваться в качестве основы для создания комплекса поддержки принятия решений, научного обоснования реализации практических мер по сохранению качества вод моря [24]. Кроме математических моделей как блока экосистем для оценивания изменений экосистем в масштабе времени год-десятки лет, были проведены работы по внедрению, разработанной в ИО РАН Е.В. Семеновым модели для оперативных прогнозов гидрофизических процессов и полей Белого моря с усвоением данных полигонных и спутниковых наблюдений. Для этого ИВПС КарНЦ РАН совместно с ИО РАН были проведены натурные полигонные исследования и численные эксперименты [7].

Кратко описанные выше работы – лишь этап дальнейшего развития комплексных исследований социо-экономико-экологических систем Беломорья. Эти исследования требуют дальнейшего совершенствования в рамках проекта Арктика.

В качестве основных задач по проекту Арктика на 2014-2017 гг. была поставлены следующие задачи:

- совершенствование математических моделей, воспроизводящих более корректно термогидродинамический и ледовый режим моря, а также более высокие трофические уровни экосистемы.
- выявление тенденций изменений климата в регионе и разработка сценариев изменений климата для прогноза изменений экосистем моря на перспективу 10-50 лет.
- выявление закономерностей социально-экономических процессов в Беломорье.

- оценка возможной антропогенной нагрузки на водосбор и море при разных сценариях экономического режима.

- проведение комплексных системных экспедиционных исследований моря для изучения его современного состояния и изменений. Для этого необходима постановка новых экспериментов как на море, так и на водосборе. Их цель - калибровка и верификация новых моделей, необходимых для оценки эвтрофирования и загрязнения моря, а также для решения разнообразных прикладных задач, связанных с обороной, водным транспортом, распространением и трансформацией загрязненных вод при авариях, чрезвычайных ситуаций, с поиском затонувших объектов. Такие исследования возможны только в результате совместных работ ряда организаций (ИВПС КарНЦ РАН, ИО РАН, ААНИИ Росгидромета, ЗИН РАН и др.).

- создание информационной базы, справочников, атласов для разработки систем поддержки принятия управленческих решений.

Целевые установки новой программы должны быть направлены не только на разработку новейших технологий для создания системы поддержки принятия решений при освоении ресурсов Арктики, но и способствовать возрождению такого важного региона Севера России, как Беломорье.

Результаты исследований по проекту Арктика, выполненных в 2014 г. ИВПС КарНЦ РАН с коллегами из других организаций.

В 2014 г. Институтом водных проблем Севера Кар. НЦ РАН выполнены совместные исследования с организациями соисполнителями (ИО РАН, Москва и СПб Отделение ИО РАН Санкт-Петербург). Работа по проекту состояла из двух разделов:

- Проведение комплексных экспедиций и обобщение имеющихся комплексных данных (гидрология, геология, климат, гидрохимия, гидробиология, социо-экономика).

- Разработка электронного атласа предназначенного для решения научных и практических задач региона. Разрабатываемое информационное обеспечение для Беломорья может использоваться для решения научных и практических задач арктической зоны.

- Совершенствование модели термогидродинамики Белого моря (Чернов, Толстиков, 2013 [26-28]), которая первоначально была создана ИВМ РАН для Северного Ледовитого океана (Яковлев, 2009 [31]) для выполнения расчетов по прогнозу изменений экосистемы моря при климатических и антропогенных воздействиях.

Среди наиболее актуальных задач решаемых коллективом исполнителей были следующие:

- изучение механизмов формирования продуктивности пелагических экосистем моря, является одной из фундаментальных задач отечественной биоокеанологии. Для Белого моря беломорская сельдь *Clupea pallasii marisalbi* Berg относится к числу наиболее массовых пелагических видов рыб, и имеет важное значение как промысловый ресурс. Исследование влияния абиотических факторов окружающей среды в различных частях Белого моря на распределение, размерную структуру и численность личинок беломорской сельди (рук. работ д.б.н. В.М Флинт - ИО РАН [25]). В рамках проводимых исследований выполнены комплексные гидробиологические и гидрофизические исследования (рис.1 а) были выполнены на 3-х полигонах, на которых уже ранее

проводились

исследования

в

2012

г.

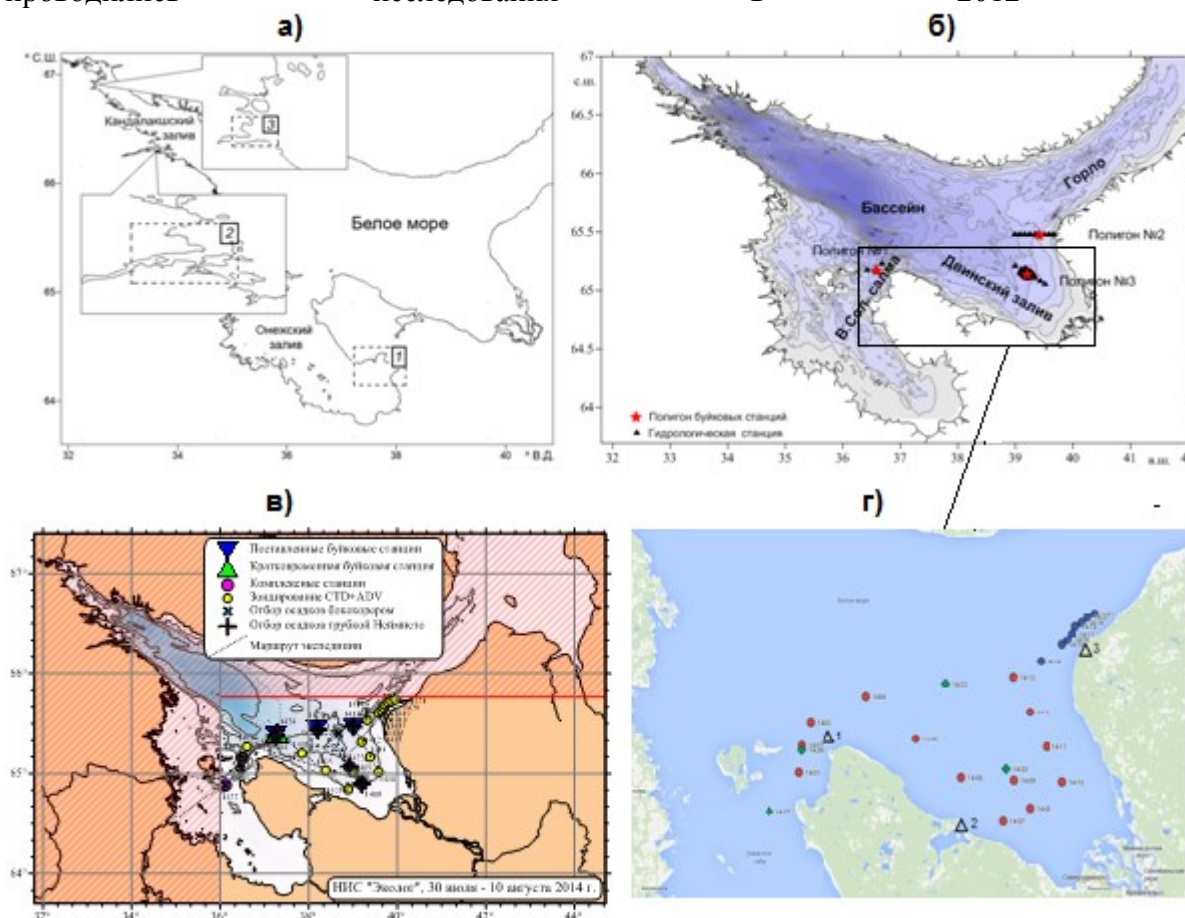


Рис. 1. Схема районов (полигонов) исследований в июне-августе 2014 г. с НИС «Эколог»: а) комплексные гидробиологические и гидрофизические исследования 12-23.06.2014 г.; б) гидрофизические исследования; 8- 27 .07. 2014 г.; г) расположение станций на полигоне гидрофизических измерений.

Исследования популяционной структуры беломорской сельди, в крупных заливах, указали на практически полное отсутствие выноса личинок за границы крупных заливов, что свидетельствует о существовании в их пределах обособленных нерестовых стад сельди.

Выполнена предварительная обработка и анализ полевых наблюдений 2014 г. по изучению массовых видов рыб, их изменений в зависимости от абиотических условий для развития рыбного промысла, что важно для решения проблем обеспечения населения продовольствием в связи с санкциями против РФ.

Гидрофизические исследования по изучению короткопериодной изменчивости термогалинной структуры и динамики вод (А.В. Зимин, СПб филиал ИО РАН и Р.Э. Здоровеннов - ИВПС КАРНЦ РАН), были направлены на исследование гидротермодинамических процессов моря, вызываемых внутренними приливными волнами (схема расположение полигонов показана на рис.1 б, г). Результаты измерений показывают, что выявленные закономерности изменчивости мезомасштабных гидрофизических процессов приводят к периодической интенсификации турбулентного перемешивания, за счет разрушения короткопериодных внутренних волн и малых вихревых структур под влиянием интенсивного приливного потока. Дальнейшие исследования должны быть направлены на установление закономерностей суб-мезомасштабной пространственно-временной

изменчивости гидрофизических полей и их связи с разномасштабными процессами в Белом море на основе модельных подходов и данных целенаправленных контактных и систематических спутниковых наблюдений [11] .

Для решения задач прогноза изменений экосистемы Белого моря под влиянием вариаций климата и антропогенных факторов внедрена Черновым, Толстиком [28] наиболее совершенная с точки зрения точности описания полей солености, температуры воды, течений, ледяного покрова 3-D модель термогидродинамики, разработанная для Северного Ледовитого океана в ИВМ РАН [31]. Модель экосистемы была разработанная ранее И.А. Нееловым и О.П. Савчуком (см. в кн. Филатов, Тержевик [5].) была установлена на вычислительный кластер ИПМИ КарНЦ РАН с настройкой дистанционного доступа через интернет-браузер [27]. В 2015 г. модель термогидродинамики ИВМ РАН, адаптированная для Белого моря будет состыкована с биогеохимическим блоком для моделирования экосистемы Белого моря, на основе которой будут даны прогностические расчеты изменения экосистем Белого моря.

В рамках проекта Арктика выполнены исследования современной седиментационной системы Белого моря, изучение состава и потоков осадочного вещества в водной толще и донных осадках (рук. академик А.П. Лисицын [14]). Основные исследования выполнялись на комплексных океанологических станциях (рис.1 в): проводились гидрофизические работы, отбирались пробы воды отбирались 10-л батометрами Нискина для химико-биологических исследований, отбор проб донных осадков на следующие компоненты: радиохимические исследования; литологические исследования; гранулометрические и минералогические исследования; выделение ледового разнosa; металлы; нефтяные углеводороды и др [29]. Была установлена притопленная буйковая станция с акустическим доплеровским измерителем течений ArgonautMD, Sontek (США) и три базовых станциях в Белом море и одной в Онежском озере с седиментационными ловушками. Выполнялись определения счетных концентраций аэрозольных частиц в атмосфере с помощью счетчика аэрозольных частиц AeroTrak APC-9303-01, TSI. В результате исследований был получен обширный материал, характеризующий систему Белого моря в период летней межени, что дало возможность лучшего понимания функционирования седиментационной системы Белого моря.

Один из важнейших аспектов работы - совершенствование ранее разработанной ИВПС КарНЦ РАН информационной базы данных для Белого моря и водосбора [26] и создание первого электронного комплексного атласа Беломорья [24]. Единственной, постоянно обновляемой электронной информационной системой для Арктики, в том числе и для Белого моря является база данных гидрометеорологических характеристик ЕСИМО Росгидромета [31].

В 2014 г. для Белого моря и водосбора в ИВПС КарНЦ РАН создана первая версия электронного атласа, который можно использовать в качестве прототипа для других регионов Арктической зоны (Филатов и др., 2014 [24]). При создании нового атласа «Белое море и водосбор» авторы исходили из того, что основное его отличие от ранее изданных [2, 3, 15, 18, 19] в том, что в нем представлена актуальная, постоянно обновляемая комплексная эколого-социо-экономическая информация о море и его водосборе. Основная цель создания нового электронного атласа – многоцелевое, широкое и разнообразное его использование при принятии управленческих решений, проектировании, разработке научных рекомендаций рационального природопользования, управления и охраны ресурсами моря и его водосбора, часть которого входит непосредственно в Арктическую зону. Использовался опыт создания атласов для Арктики и России [2, 3, 18, 30, 32]. При создании атласа в первую очередь использовались собственные данные, полученные ранее ИВПС КарНЦ РАН, а также

сведения опубликованные коллегами в изданных атласах и обобщающих монографиях [5, 14, 20].

В электронный атлас включены сведения об океанографических характеристиках моря, включая сведения по гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, геологии моря, географии водосбора, ландшафтам, лесам, болотам, озерам, рекам, источникам антропогенного воздействия, изменениям климата. На рис. 2 показана начальная страница электронного атласа Белого моря и водосбора.

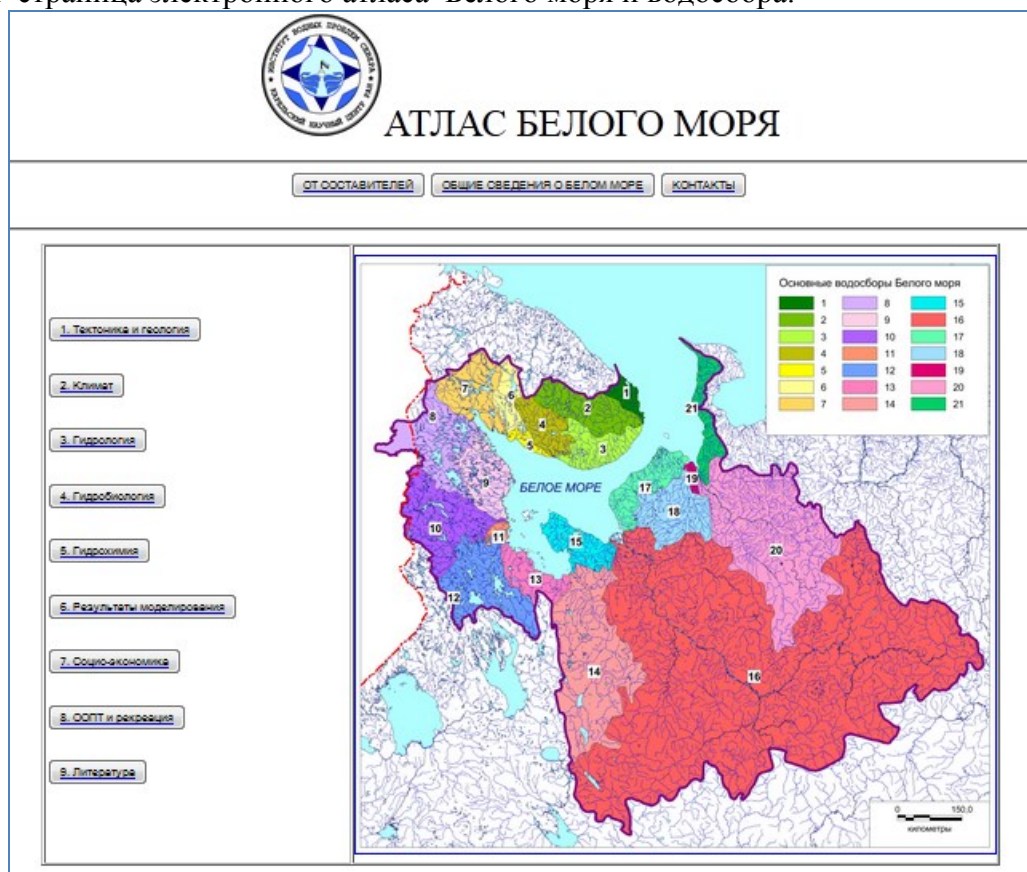


Рис. 2. Начальная страница комплексного электронного атласа Белого моря и водосбора.

Разработанная версия многоцелевого электронного атласа найдет применение в задачах рационального использования ресурсов моря и водосбора, прогнозе состояния моря при разнообразных природных климатических и антропогенных сценариях, а также при возможных чрезвычайных ситуациях, когда требуется оперативный прогноз и принятие управленческих решений. Представленные в атласе сведения могут использоваться для создания системы поддержки принятия управленческих решений Арктической зоны, наподобие системы NEST, которая была создана для поддержки принятия решений по сохранению и рациональному использованию 14 государствами региона Балтийского моря (NEST [34]).

Благодарности. Авторы благодарны заместителю директора ИВПС КарНЦ РАН В.Н. Коваленко за организацию экспедиционных исследований на НИС «Эколог», ст.н.с., к.г.н. Р.Э. Здореннову, к.г.н., к.г.н., с.н.с. Назаровой Л.Е., м.н.с. М.С. Богдановой, с.н.с., к.г.н. С.Г. Кобылянскому, к.г.-м.н. А.А. Ключиткину и всем коллегам, которые принимали участие в полевых и камеральных работах по проекту Арктика в 2014 г.

Выводы

- В 2014 г. выполнен широкий комплекс полевых исследований на НИС «Эколог» и работ по созданию информационного обеспечения Белого моря и водосбора.
- Получены новые сведения о влиянии абиотических факторов окружающей среды в различных частях Белого моря на распределение, размерную структуру и численность личинок беломорской сельди. Эти исследования важны для развития рыбного промысла на Белом море.
- Получен обширный материал, характеризующий систему Белого моря в период летней межени, что дало возможность лучшего понимания функционирования седиментационной системы Белого моря, особенностей перемешивания.
- Совместно ИПМИ и ИВПС КарНЦ РАН внедряется наиболее современная математическая модель термогидродинамики, первоначально разработанная в ИВМ РАН для Белого моря, которая будет использоваться в новой версии экологической модели для прогноза изменений экосистемы моря при климатических и антропогенных воздействиях.
- Впервые разработана версия многоцелевого электронного комплексного (социо-эколого-экономического) атласа Белого моря и водосбора, который найдет применение в задачах рационального использования ресурсов моря и водосбора, прогнозе состояния моря при разнообразных природных климатических и антропогенных сценариях, а также при возможных чрезвычайных ситуациях и принятии управленческих решений, что соответствует задачам реализации программ промышленного, социально-экономического, инфраструктурного возрождения Арктической зоны Российской Федерации, с разработкой соответствующих информационных систем обеспечения. Представленные в атласе сведения могут использоваться для создания системы поддержки принятия управленческих решений Арктической зоны и как прототип для других арктических регионов.
- Электронный атлас, пакет программ, включающий набор 3-D математических моделей и постоянно обновляемую базу данных представляет собой единственную на сегодняшний день функционирующую для Белого моря и водосбора систему, которая может использоваться в качестве основы для создания комплекса поддержки принятия решений, научного обоснования реализации практических задач Арктической зоны.

Литература.

1. Алимов А.Ф., Алексеев А.П., Бергер В.Я. Марикультура как способ увеличения промысловых Ресурсов Белого моря. Вестник Российской Академии Наук, 2008, Том 78, М 9, 792-799.
2. Атлас Арктики. Издательство: Главное управление геодезии и картографии. Ленинград. 1985. 204.
3. Атлас климатических изменений в больших морских экосистемах Северного полушария (1878-2013) / Ред. Матишов Г.Г., Шерман К., Левитус С., NOAA Atlas NESDIS 69, U.S.Gov.Printing, Wash., D.C., 2004. 250.
4. Белое море. Биологические ресурсы и проблемы их рационального использования. Ч. I, II. СПб., 1995. 168.
5. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Ред. Н. Филатов, А. Тержевик. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 349 .
6. Веселов И.А., Чуприян А.П. О мерах МЧС России по обеспечению реализации экономических и инфраструктурных проектов в Арктике и создание системы

- специализированных аварийно-спасательных центров. Арктика. Экология и экономика. № 1, 2011. 48-51.
7. Волженский Н., А.А. Родионов, Е.В. Семенов, Н.Н. Филатов, А.В. Зимин, М.Б. Булатов. Опыт верификация оперативной модели мониторинга Белого моря в 2004-2008 г.г. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. т. 5. 2009, 33-42.
 8. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1 и 2.: «Белое море». Л.: Гидрометеоиздат, 1991.
 9. Долотов Ю. С., Н. Н. Филатов, Н. А. Римский-Корсаков, Р. Э. Здоровеннов, А. А. Пронин, А. В. Толстиков, А. С. Филиппов, Е. А. Новичкова, И. П. Кутчева, В. П. Шевченко. О проявлении морского и речного факторов в фазы прилива и отлива на береговых участках разной конфигурации Белого моря. Океанология, 2011, том 51, № 1, 110–122.
 10. Житний Б. Г. Биологические ресурсы Белого моря и их промысловое использование / под ред. В. Д. Федорова. Петрозаводск: Союз рыбопромышленников Карелии, КарНЦ РАН, 2007. 268 .
 11. Зимин А. В., Романенков Д. А., Родионов А. А., Жегулин Г. В., Родионов М. А. Экспедиционные исследования короткопериодной изменчивости гидрофизических полей Белого моря в августе 2013 г. // Фундаментальная и прикладная гидрофизика, 2014. Т. 7. № 1. 85 -92.
 12. Климат морей России и ключевых районов Мирового океан. Электронный атлас Единой системы информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО). ВНИИГМИ МЦД. Обнинск. (http://www.esimo.ru/atlas/Beloe/1_1.html).
 13. Комплексные исследования экосистемы Белого моря / Сапожников В.В. М.: ВНИРО. 1994. 120.
 14. Лисицын А.П. и др. Взвесь и гидрооптика Белого моря: новые закономерности количественно распределения гранулометрии. // В Кн. Актуальные проблемы океанологии. М. Наука. 2003 г. 556-607.
 15. Матишов Г.Г., Зуев А.Н., Голубев В.А., Адров Н.М., Тимофеев С.Ф., Карамушко О.В., Павлова Л.В., Браунштейн А.А., Фадякин О.Ю., Бузань А.П., Моисеев Д.В., Смоляр И., Локарнини Р., Татушко Р., Бойер Т., Левитус С. Климатический атлас морей Арктики 2004: Часть Базы данных Баренцева и Белого морей – океанография и морская биология. Silver Spring, MD, USA/ 2004. 148 .
 16. Матишов Г.Г., Дженюк С.Л. Задачи научного обеспечения морской деятельности в зоне северного морского пути //Арктика: Экология И Экономика. 2014. N 1 (13). С. 48-56
 17. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики. Ростов –на-Дону. 2007. 271.
 18. Океанографические условия и биологическая продуктивность Белого моря (Аннотированный атлас). Мурманск: ПИНРО, 1991. 115.
 19. Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения. Атлас. М. МГУ. Ред. Алексеевский, Магрицкий Д.В., Тикунов В.С. М. 2013. 145.
 20. Система Белого моря. Природная среда водосбора Белого моря. Под. Ред. А.П. Лисицына. – М.: Научный мир, Т. 1. 2010. 480.
 21. Сопровождение по вопросу эффективного и безопасного освоения Арктики. <http://www.kremlin.ru/news/45856>.
 22. Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. Официальный сайт Правительства РФ www.government.ru. 20.02. 2013.

23. Филатов Н.Н., Дружинин П.В., Тержевик А.Ю. Беломорье – регион для решения актуальных проблем Арктики // Арктика: Экология и экономика. 2011. № 2. 91-101.
24. Филатов Н.Н., Толстиков А.В., Богданова М.С., Литвиненко А.В., Меншуткин В.В. Создание информационной системы и электронного атласа по использованию ресурсов Белого моря и его водосбора // Арктика: экология и экономика. № 3 (15), 2014. 18-29.
25. Флинт М.В., Суханова И.Н. Влияние прибрежных фронтов на структуру и продуктивность пелагических экосистем // Физические, геологические и биологические исследования океанов и морей. М.: Научный мир. 2010. 446-465.
26. Толстиков А.В., Филатов Н.Н., Здоровеннов Р.Э. Белое море и его водосбор // Свидетельство о Государственной регистрации базы данных № 2010620435. 16 августа 2010 г.
27. Чернов И.А., Толстиков А.В. Визуализация и сравнение результатов моделирования термохалинных и гидродинамических полей Белого моря // Свид. об офиц. рег. программ для ЭВМ № 2014618474. 21 августа 2014 г.
28. Чернов И.А., Толстиков А.В. Численное моделирование крупномасштабной динамики Белого моря // Труды КарНЦ РАН. No 4. Сер. Математическое моделирование и информационные технологии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2014. 137-142.
29. Шевченко В.П., Р. Э. Здоровеннов, М. Д. Кравчишина, и др. Системные исследования белого моря в период летней Межени 2009 г. В рейсе научно-исследовательского судна “Эколог”. Океанология, 2010, том 50, № 4, 666–670.
30. Электронный атлас России. Иллюстрированная картографическая энциклопедия / М.: Ассоциированный картографический центр-М. 2013. <http://www.softlabirint.ru/2014/08/13/>.
31. Яковлев Н.Г. Воспроизведение крупномасштабного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана в 1948-2002 гг. Часть 1: Численная модель и среднее состояние // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2009. Т. 45. № 3. 1-16.
32. 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.
33. Filatov N.N., Pozdnyakov D.V., Johannessen O.M. et al. White Sea. Its Marine Environment and Ecosystem Dynamics Influenced by Global Change. Chichester: Springer-Praxis Publishing, 2005. 472 .
34. Savchuk O. P., Wulff F. Long-term modeling of larges cale nutrient cyclesin the entire Baltic Sea / Hydrobiologia. 2009. № 629. 209-224.