

УДК 551.46 (268.46)+551.465
Беломорье
– регион для решения
актуальных проблем Арктики

Н.Н. Филатов, чл.-корр. РАН,
А.Ю. Тержевик, кандидат технических наук,
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН
П.В. Дружинин, доктор экономических наук,
Институт экономики КарНЦ РАН

В настоящей работе исследуются закономерности социально-экономического развития Беломорья, антропогенных и климатических воздействий на окружающую среду и экономику водосбора и самого моря за последние 20 лет, с целью создания элементов системы поддержки принятия решений, научного обоснования рационального использования и охраны ресурсов региона. Для диагноза и прогноза динамики экосистем Белого моря, социально-экономического развития региона использованы как результаты анализа имеющихся данных, так и математические модели [11,40,49]. Современные проблемы Беломорья включают комплекс вопросов социо-экономики, геологии, гидрологии, океанологии, экологии, задачи, связанные с обороной страны, деятельностью МЧС, а также с аспектами международного сотрудничества в рамках Баренцева/Евроарктического региона [2,51], что переводит проблему из ранга научной, академической в государственную и международную.

Введение

Белое море – единственное море, полностью находящееся в пределах Российской Федерации, – может быть своеобразным полигоном для отработки решений разнообразных фундаментальных и прикладных проблем, задач обороны, транспорта, энергетики, социально-экономического развития Севера, освоения ресурсов Арктики [2].

Проблемам Белого моря и его водосбора в последние годы были посвящены работы

А.Ф. Алимова с соавторами [1], В.Я. Бергера [3, 4], Б.Г. Житнего [14], А.П. Лисицына [20], Г.Г. Магишова [23], А.М. Никанорова с соавторами [28], В.В. Сапожникова [32], Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевика с соавторами [40], в которых рассматривались разные аспекты состояния моря, особенности его продуктивности, загрязнения, пути рационального использования ресурсов Беломорья.

Площадь водосбора Белого моря более чем в восемь раз превышает площадь самого моря (90 тыс.км²), что является наибольшим показателем

для всех окраинных морей Северного Ледовитого океана [6]. Это соотношение является косвенным показателем существенного влияния речного стока на море. Учитывая относительно небольшие размеры моря и то, что здесь наблюдается практически весь спектр термогидродинамических явлений, характерных для океана, а также имеется возможность контроля процессов на водосборе (внешних воздействий на гра-

ницах), Белое море можно рассматривать как модель Арктики, т.е. объект для калибровки и верификации разрабатываемых математических моделей термогидродинамики и экосистем, совмещенных с современными информационными базами данных. Такие модели созданы и продолжают совершенствоваться в ИВМ РАН [41], ИО РАН [33], ААНИИ [31] и других организациях. По тем же причинам здесь имеются



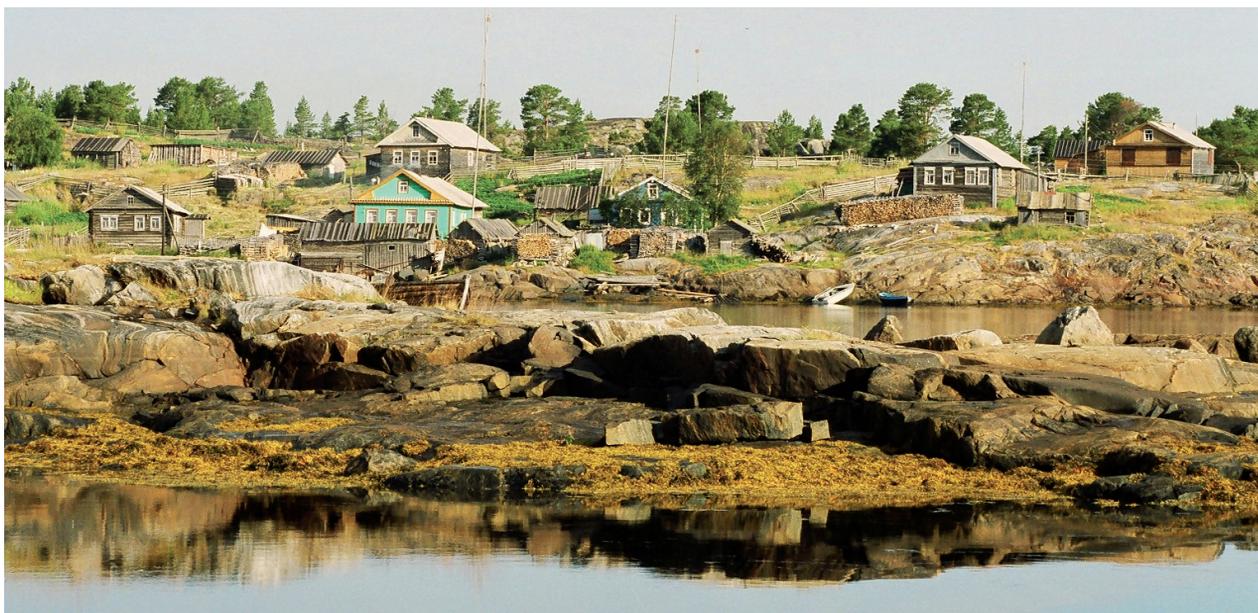
Рис. 1

Карта-схема размещения полезных ископаемых в субъектах Российской Федерации, входящих в водосбор Белого моря. Границы водосбора показаны коричневой кривой

возможности развития методов дистанционного зондирования, системы мониторинга с проведением комплексных подспутниковых экспериментов [49].

Несмотря на то, что Белому морю посвящены многочисленные исследования, остаются нерешенными проблемы понимания функционирования морских и наземных экосистем Беломорья под влиянием изменений климата и антропогенной нагрузки. Во многом это обусловлено отсутствием системного подхода в исследованиях. Большинство работ, которые выполняются разными организациями, не скоординированы и не имеют общих целей, направленных на решение комплексных проблем Беломорья. Обусловлено это ведомственной, а иногда и внутриведомственной разобщенностью, отсутствием общей экспериментальной и информационной баз.

Общая площадь водосбора Белого моря составляет 717,7 тыс. км², более 714 тыс. км² 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 (рис. 1).



Поморская деревня

Остановимся подробнее на исследованиях, выполненных Институтом водных проблем Севера КарНЦ РАН в рамках ФЦП «Мировой океан», проектов ОНЗ РАН, российских и международных грантов, совместно с ММБИ КНЦ РАН, ИО РАН, ИВП РАН, ААНИИ, ИЭ КарНЦ РАН, НИЦЭБ РАН, Международным центром окружающей среды и дистанционных методов им. Нансена) с использованием комплексного подхода к решению социо-эколого-экономических проблем Беломорья.

Результаты исследований

Социально-экономическое состояние регионов на водосборе Белого моря и сценарии антропогенной нагрузки на море.

Экономические показатели для субъектов Федерации, частично входящих в бассейн Белого моря, были оценены путем выделения сведений из общей информации об экономике регионов. 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 [40,49].

Результаты анализа социально-экономического развития за период после 1991 г. показали, что к основным закономерностям экономики Беломорья, как и в целом для РФ, относится общий спад, свертывание градообразующих производств, упадок социальной инфраструктуры [12,19]. В работе А.Ф. Алимова с соавторами [1] показано, что в Белом море за последние 20 лет значительно сократились объёмы промысла водорослей – примерно в 5 раз, рыбы – в 17-20 раз, морских млекопитающих – в 10 раз. Эти кризисные явления связаны вовсе не с оскудением природных ресурсов, а во многом обусловлены несовершенством современной законодательной базы, регламентирующей экономическую и природоохранную деятельность, в том числе вылов рыбы [1,4,14]. В тяжёлом экономическом положении оказались местные жители – поморы из-за квотирования добычи жизненно важных для них биоресурсов моря.

Инвестиции в экономику Беломорья с 1991 г. сократились почти в 10 раз (в два раза больше, чем по России в целом). В результате, по сравнению с 1990 г. наиболее общий показатель развития экономики региона – валовой региональный продукт (ВРП) в 1998 г. упал в два раза, затем стал расти и до кризиса в 2007 г. составлял около 85% (рис. 2). В 2008 г. ВРП Беломорья составлял около 2% от ВВП РФ. Структуры ВРП Мурманской и Архангельской областей близки, в них около 40% в 2008 г. приходится на долю промышленности, прежде всего добывающего сектора, но крайне низка составляющая сельского хозяйства. В Карелии промышленность составляет 33 % ВРП, что соответствует средним показателям по РФ. Промышленность является ведущим сектором экономики Беломорья, но в ходе реформ ее доля значительно сократилась. Надо отметить, что во всех трех регионах Беломорья доля рыбного хозяйства в экономике существенно больше, чем в целом по РФ.

Снижение численности населения Беломорья началось еще в 60-80-х годах прошлого века, ускорившись в период реформ. За последние 20 лет численность населения уменьшилась: в Карелии – на 14%, в Архангельской области – на 20% и в Мурманской – на 30% [9]. Из-за демографического фактора ряд отраслей в регионе было невозможно развивать в прежнем объеме, в частности, рыболовство. Все больше предприятий региона переходит на вахтовый метод. В последние годы темпы снижения численности населения немного замедлились [30].

До 1991 г. на Белом море достаточно развитой считалась рыбодобывающая отрасль, было научно

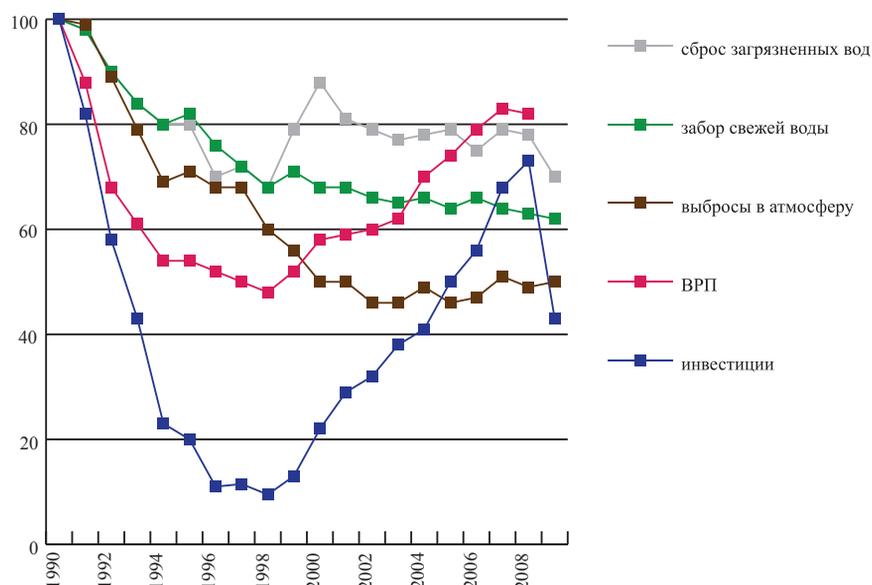
обосновано разведение марикультуры, созданы мидиевые хозяйства, дававшие хорошие результаты [3]. Но после 1991 г. ряд рыбодобывающих компаний ушли на Баренцево море, сократился флот, не стало необходимой поддержки мидиевым хозяйствам, которые постепенно пришли в упадок [4]. Эти и другие факторы способствовали ухудшению социально-экономических условий в регионе. Белое море, как полагают А.Ф. Алимов, В.Я. Бергер [1,4], ошибочно или намеренно считается бедным водоемом. Оно характеризуется высокими показателями обилия и продукции основных элементов экосистем пелагиали и бентали. Запасы рыб не лимитированы уровнем продукции планктона и бентоса. Рациональный промысел и устранение нарушений воспроизводства беломорских рыб должны привести к значительному увеличению их запасов и добычи, которая в наиболее благоприятный период достигала 40 тыс. т в год.

После длительного спада с конца 1990-х годов стал расти объем инвестиций в экономику регионов Беломорья (рис. 2). Наиболее привлекательной была Архангельская область, на которую приходилось более половины всех инвестиций, а в предкризисные 2007-2008 гг. – более 2/3. Инвестиции в этот регион в расчете на душу населения превышали средний уровень по РФ, в то время как в экономику Карелии и Мурманской области они были существенно меньше.

Промышленность Беломорья ранее была ориентирована на развитие ВПК, а также добычу сырья, производство полуфабрикатов для нашей страны и на экспорт. Недостаточность средств, выделяемых на природоохранные мероприятия, привело к ухудшению состояния окружающей среды во многих районах Беломорья, значительному загрязнению водных объектов (крупных рек, эстуариев) молевым сплавом, стоками ЦБП, эвтрофированию и загрязнению моря, что показано в работах А.М. Никанорова с соавторами [7, 28].

В 1990-х годах спад в экономике привел к уменьшению воздействия на окружающую среду, но сохранение старых технологий привело к росту удельных показателей загрязнений. Природоохранные инвестиции были незначительны, они еще уменьшились в 1990-х годах, и их эффективность была низка. В 2000-х годах развитие экономики осуществлялось при заметной модернизации предприятий, росте природоохранных инвестиций и повышении их эффективности. Основные загрязнители в регионе – предприятия ЦБП и металлургии, экспортирующие свою продукцию, имели финансовые возможности реализовывать крупные природоохранные проекты. Конкуренция и требования к качеству продукции

Рис. 2
Динамика некоторых показателей, характеризующих эколого-экономические процессы, состояние окружающей среды Беломорья (1990 г. принят за 100%)



заставили импортировать новое оборудование и переходить к современным технологиям, существенно меньше воздействующим на окружающую среду. В результате удельные показатели по загрязнению уменьшились. Так, за 10 лет выбросы в атмосферу на единицу ВРП Беломорья снизились более чем в два раза, забор свежей воды и сброс загрязненных вод – примерно на 40% (рис. 2).

Для оценки влияния развития экономики Беломорья на окружающую среду, на экосистему Белого моря в будущем был использован сценарный подход, позволяющий просчитывать возможные ситуации и оценивать результаты различных действий федеральных и региональных властей [11,27, 29]. На основе ретроспективного анализа за предыдущий период строились сценарии экономического развития региона, по которым осуществлялось прогнозирование на основе производственных функций и других эконометрических уравнений [25]. Каждый экономический сценарий дополнялся предположениями о соответствующей ему экологической политике, что позволяло задавать параметры специальных уравнений, связывающих экономические параметры и показатели состояния окружающей среды [11].

Для характеристики связи развития экономики с природоохранной деятельностью и состоянием окружающей среды было предложено использовать простые и комплексные показатели - индексы окружающей среды [25, 45]. С их помощью для индикации влияния экономики на окружающую среду определялась динамика загрязнений на единицу ВРП.

В зависимости от изменения внешних условий были рассмотрены следующие подходы к постро-

нию сценариев развития экономики Беломорья: инерционный, при сохранении параметров развития экономики; с активной социально-экономической политикой государства, обусловленной созданием рыночных институтов, стимулированием модернизации производства, поддержкой крупных инвестиционных проектов, созданием системы поддержки инновационной деятельности, уменьшением административных барьеров и другими действиями; активной экономической политики властей субъектов Федерации, направленной на структурную перестройку экономики регионов; активной экологической политикой, связанной с уменьшением налоговой нагрузки при увеличении платежей за ресурсы, стимулированием природоохранной деятельности, ужесточением наказаний за нарушения в области окружающей среды.

В рамках каждого из этих подходов определялись сценарные условия, ориентированные на различные действия российских и региональных властей [37]. По каждому из них с помощью моделей формулировались сценарии, позволяющие определять оценки возможных антропогенных воздействий на водосбор, в частности, по биогенной нагрузке. Таким образом, оценивались изменения в биогенной нагрузке в зависимости от изменений ВРП, его структуры, инвестиций в развитие экономики, финансирования мер по сохранению окружающей среды, что позволило выявить возможное воздействие этих изменений на морские экосистемы.

В качестве примеров приведены только крайние варианты в отношении последствий. При увеличении антропогенной нагрузки в оптимистиче-

ском сценарии развития региона в последующие 10 лет может существенно возрасти ВРП при росте промышленного производства, что приведет к увеличению поступления антропогенной нагрузки на водосбор и, в конечном итоге, отразится в увеличении загрязнений и биогенов в стоке рек от 5 до 10% [40]. При оптимистическом инновационном сценарии развития региона в последующие 10 лет рост ВРП будет связан со структурной перестройкой экономики и развитием новых современных производств, меньше влияющих на окружающую среду. Все это приведет к уменьшению поступления биогенов и загрязнений на водосбор и снижению антропогенной нагрузки на море.

При инерционном сценарии развития экономики региона, основанном на развитии производств по добыче сырья и его первичной переработке, при сохранении нынешнего уровня природоохранной деятельности и ее эффективности следует ожидать ухудшения состояния окружающей среды, роста биогенной нагрузки, загрязнения объектов водосбора и моря. При инерционном пессимистическом сценарии, при снижении экономической активности на водосборе, будет снижаться антропогенная нагрузка, должно уменьшиться загрязнение моря, но при условии сохранения достигнутого объема инвестиций на природоохранную деятельность.

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 [16]. Оценки изменений климата на перспективу до 2100 г. были получены по данным модели глобального климата ECHAM4/OPYC3 (далее для краткости обозначим эту модель аббревиатурой ECHAM4), разработанной для системы океан-атмосфера-суша в Метеорологическом институте Макса Планка [40, 43, 44].

Внутриконтинентальное положение моря, особенности его географического положения, водообмен с незамерзающей частью Баренцева моря, интенсивный вынос тепла атлантическими циклонами, а также частые вторжения арктического воздуха формируют своеобразные черты климата региона. Были проанализированы ряды наблюдений температуры воздуха на водосборе с 1900 по 2008 г. [38, 39]. За этот период средняя годовая температура воздуха увеличилась примерно на 0,5°C за 108 лет, обнаружены

квазициклические колебания с временными масштабами около 20, 4-7 и 2 лет, которые необходимо учитывать при прогностических расчетах влияния изменений климата на водосбор и морские системы. В 2005-2008 гг. температура воздуха была выше нормы на 1,6-2,4°C [26]. По среднемесячным данным во внутригодовом ходе температуры воздуха за 1951-2008 гг. можно отметить ее рост в декабре-марте, который составил 0,6° C/10 лет, летом в августе отмечалось небольшое понижение среднемесячной температуры воздуха на 0,1°C.

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 [17]. В работах В.В. Иванова и В.В. Брызгалю [15], М.П. Максимовой [22] исследованы особенности химического и водного стока в Белое море. Общий среднегодовой сток рек составляет 189-220 км³ в год. В данных длительных измерений суммарного водного стока рек отмечается существенная внутривековая изменчивость. Биогенная нагрузка по трем основным рекам составляет: по азоту 30-40 тыс. т в год, а фосфору – 3-7 тыс. т в год.

Сценарии изменений климата и их влияния на гидрологию водосбора и моря

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 ECHAM4 [44]. Расчеты были выполнены в этом институте сотрудницей Международного центра по дистанционным методам и окружающей среде им. Нансена С.Кузьминой [49]. Численные эксперименты получены для контрольного периода (1950–2000 гг.) и на перспективу до 2050 и 2100 гг. [49]. В качестве сценариев использовались оценки IPCC возможного увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере. В первом случае (сценарий G) предполагается удвоение содержания углекислого и других парниковых газов в атмосфере Земли к 2100 году [17]. Во втором сценарии (GA) дополнительно учитывается прямой эффект влияния аэрозолей техногенного происхождения на радиационный баланс атмосферы. Повышение содержания аэрозолей в атмосфере ведет, как правило, к обратному эффекту – возможному похолоданию из-за отражения части падающего солнечного излучения [35]. В качестве исходной информации для оценки воз-

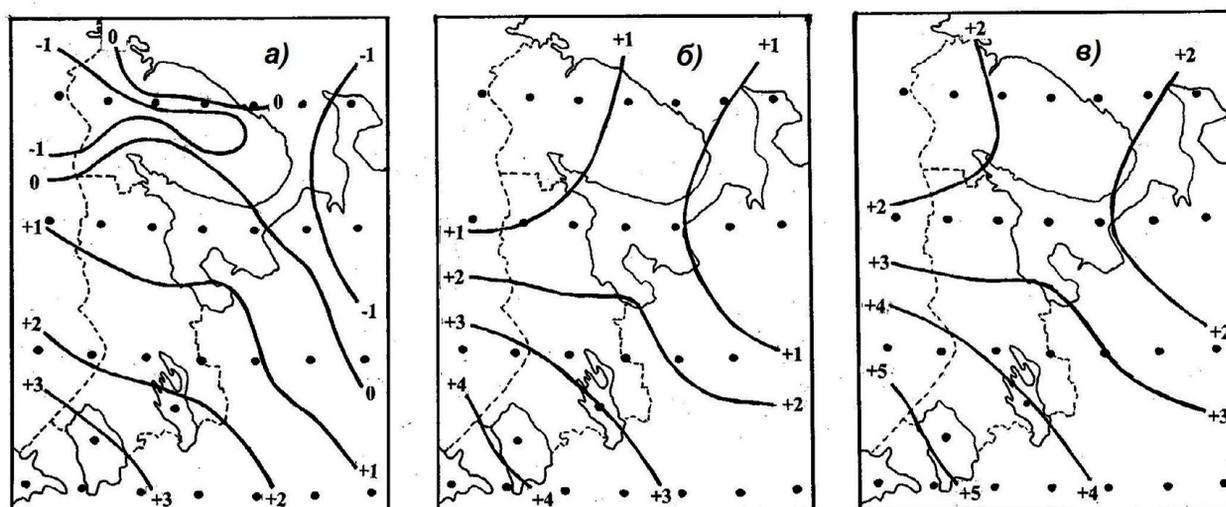


Рис. 3

Пространственное распределение нормы годовой температуры воздуха для периода 1950-2000 гг. (по данным измерений) (а) и 2000-2050 гг. по сценариям GA (б) и G (в), соответственно [16]

можных 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 работе «Климат Карелии» [16, стр. 99-100], нельзя признать удовлетвори-

ной. В соответствии с результатами моделирования в изучаемом регионе возможны заметные изменения климатического режима. В новых климатических условиях на водосборе Белого моря возможно смещение годовых изотерм (рис. 3) и изогьет.

В работе Н.Н. Филатова с соавторами [16, стр. 92-98] была разработана схема сопряжения элементов водного баланса, рассчитанных по ЕСНАМ4, с моделью регионального водного баланса, входными параметрами для которой служили ряды годовой температуры и осадков, полученных на модели климата. Используя данные моделирования, были оценены возможные изме-

Таблица 1

Особо охраняемые
природные территории Республики Коми

Характеристика	Расчетный период, годы		
	1950-2000 гг.	2000-2050 гг. G-сценарий	2000-2050 гг. GA-сценарий
Температура воздуха, оС	0,5	2,5	1,5
Осадки, мм	550	650	580
Испаряемость, мм	361	497	427
Испарение, мм	328	429	374
Приток с водосбора, мм	322	221	207

нения климата и основных элементов водного баланса для всего беломорского бассейна к 2050 г. (таблица 1), которые затем использовались при изучении изменения экосистем моря.

Из таблицы следует, что к 2050 г. норма температуры воздуха при G- и GA-сценариях изменения глобального климата для района Белого моря возрастет на 1-2°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%. Расчеты по сценариям, предусматривающим похолодание климата в регионе, показали, 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 модель, разработанная И.А. Нееловым в ААНИИ [31, 47], основанная на полных уравнениях движения со свободной поверхностью в приближении Буссинеска и гидростатическом приближении [46]. В качестве атмосферного воздействия взяты среднесуточные данные реанализа NCEP за 1948-2000 годы. Использовалась разработанная в ААНИИ [31] так называемая климатическая модель с учетом сезонных и мезомасштабных приливных составляющих. Совмещенная модель термогидродинамики и химико-биологического режима моря была разработана И.А. Нееловым (ААНИИ) и О.П. Савчуком (СПб ГОИН, Стокгольмский университет) [31]. Модель экосистемы моря была апробирована для Балтийского моря [48].

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 [4,13,15-17, 22, 32, 34] были построены соответствующие математические модели экосистем моря [31, 33, 42, 49].

Для описания круговорота азота и фосфора в водной толще и донных отложениях Белого моря использовался биогеохимический модуль, разра-

ботанный О.П. Савчуком [48]. В настоящее время он применяется в качестве экосистемного блока в рамках крупного международного проекта по Балтийскому морю «NEST» [50], который разрабатывался многими странами Балтийского региона как инструмент для поддержки принятия управленческих решений. Начальные и граничные условия, калибровка и верификация модельных расчетов изменений климата на МГК, а также трехмерной модели экосистем основана на созданной в ИВПС КарНЦ РАН комплексной базе данных, имеющей государственную регистрацию [36].

На указанной модели экосистем моря были реализованы следующие численные эксперименты: 1) контрольный (CR) - на срок с 1948 по 2000 гг. и последующее выполнение прогностических расчетов на 7 лет вперед; 2) имитация сценария потепления климата (CLR), в котором среднегодовая температура воздуха увеличивается на 2,0° C; 3) имитация увеличения антропогенной нагрузки (LR) при оптимистическом сценарии экономического развития региона (водосбора Белого моря). Напомним, что в последнем случае в течение 5-10 лет может существенно возрасти внутренний региональный продукт (ВРП) из-за роста экономики, что, в свою очередь, приведет к увеличению поступления биогенов на водосбор и, в конечном итоге, отразится в увеличении химического стока рек на 5-20% [49].

Результаты модельных расчетов показали, что интегральная соленость моря меняется по сезонам с 27,4 летом до 28,4% в зимний период, что связано с сезонными изменениями речного стока. Заметная межгодовая изменчивость солености и других интегральных характеристик обусловлена соответствующими крупномасштабными процессами в атмосфере. Подобно изменениям температуры и солёности воды, сезонный ход экосистемных переменных также претерпевает определённые межгодовые изменения. Они вызваны как долгопериодными колебаниями атмосферных процессов, 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 солености воды, ледяного покрова, биогенных элементов, концентрацию хлорофилла-а, зоопланктона в Белом море [40].

В соответствии со сценарием потепления климата толщина льда и ледовитость Белого моря умень-

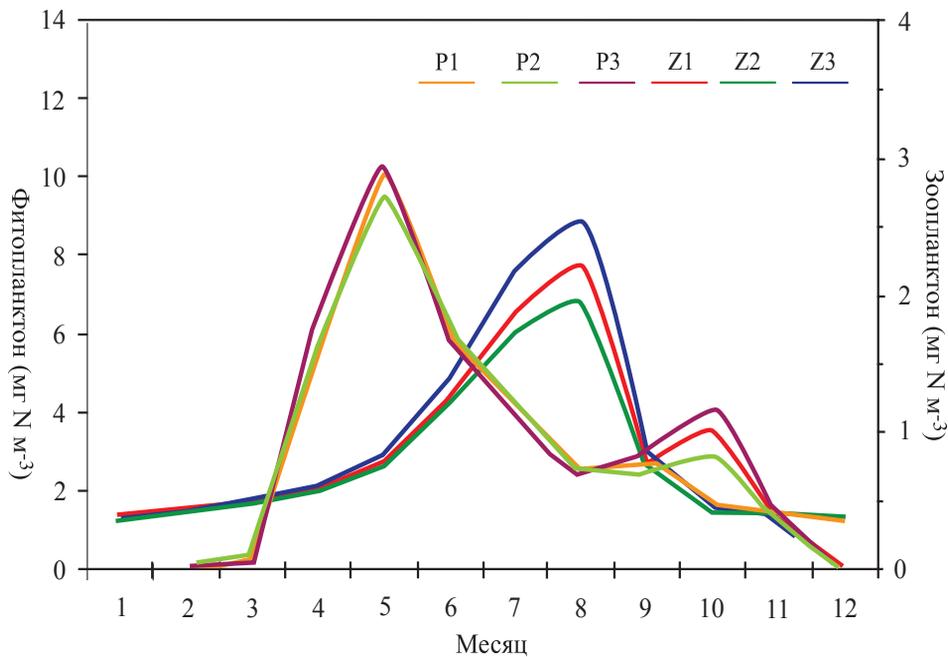


Рис. 4
Интегральная средняя сезонная динамика биомасс фитопланктона (P) и зоопланктона (Z) в Белом море по данным расчетов за пять лет (1996-2000 гг.) в «контрольном» эксперименте (1), при потеплении климата (2) и при увеличении антропогенного воздействия (3). Расчеты выполнены О.П.Савчуком [40]

шаются менее чем на 0,1 м и на 10% соответственно. На рис. 4 представлены рассчитанные интегральные экосистемные характеристики моря при климатических и антропогенных воздействиях.

Вследствие 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.

Выводы и предложения

Системные исследования позволили выявить современные социально-экономические и экологические проблемы Беломорья и оценить их динамику при разном комплексе условий. Численные эксперименты показали, что как климатические, так и антропогенные воздействия, при рассмотренных в работе сценариях поступления биогенов, приводят к незначительным изменениям основных показателей состояния изученных элементов экосистем Белого моря. Как при возможном продолжающемся потеплении, так и похолодании климата в регионе (в рамках рассмотренных сценариев) не будет наблюдаться усиления эвтрофиро-

вания 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. Эта работа – лишь этап дальнейшего развития комплексных исследований социо-эколого-экологических систем Беломорья. Исследования продолжаются как в рамках проектов ФЦП «Мировой океан» [22, 23], так и по проекту «Система Белое море» [20]. Практическая реализация системы поддержки принятия управленческих решений наподобие системы «NEST» для Балтийского моря [48] потребует создания новой комплексной ФЦП для Беломорья, в рамках которой будет осуществляться:

- разработка научных основ возрождения региона, системы принятия управленческих решений с созданием социо-эколого-экономических моделей при объединении усилий ведущих институтов России (ИВМ РАН, ИО РАН, ММБИ, ААНИИ, ИВПС КарНЦ РАН и др.);
- совершенствование систем раннего обнаружения и прогнозирования опасных и чрезвычайных ситуаций, способных привести к значительным негативным социально-экономическим и экологическим последствиям [5].

На примере Беломорья – относительно небольшого региона – возможна практическая реализация

национального плана действий по охране морской среды от антропогенного загрязнения в российской Арктике (НПД-Арктика) [8]. Здесь имеются условия для достаточно полного определения и документирования «горячих точек» региона, которые включают описание деградации и загрязнения экосистем, поверхностных и подземных вод, местных фауны и флоры, влияния окружающей среды на здоровье населения.

Разработанные на примере Беломорья подходы с использованием комплекса разнообразных моделей для решения задач экономики, гидрологии водосбора, изменения климата и экосистем моря требуют дальнейшего совершенствования. В частности, требуется дальнейшее развитие работ по изучению изменений экосистем Белого моря с совершенствованием математических моделей, воспроизводящих более высокие трофические уровни экосистемы.

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, и чрезвычайными ситуациями, и поиском затонувших объектов. Разработка современных математических моделей Северного Ледовитого океана требует не только учета условий на границах с Атлантическим и Тихим океанами, но и натуральных данных для верификации и калибровки моделей, получить которые - чрезвычайно сложная задача. Важно также довести эти модели до состояния конечного продукта, которым могут пользоваться потребители разных отраслей. Это потребует привлечения ведущих специалистов институтов страны, использования специализированного полигона для постановки экспериментов. Создать такой экспериментальный полигон существенно проще на Белом море, чем на других морях Арктики. Его структура может включать и комплексный аварийно-спасательный центр МЧС России, который предполагается организовать на территории Архангельской области [5].

Поскольку интересы России в Арктике – как и арктические проблемы – носят комплексный характер [2, 21, 24, 51], и их решение требует значительных материальных ресурсов, целесообразно объединить средства и возможности организаций РФ для выполнения необходимых системных исследований на примере относительно небольшого, хорошо изученного региона Севера – Беломорья. Это достижимо, как отмечал академик Н.П. Лавров [18], только с использованием программно-целевых методов. Важнейшая

задача - создание комплексного полигона (станции) на Белом море, где можно выполнять полноценные междисциплинарные исследования с привлечением необходимых средств и возможностей заинтересованных организаций, таких как РАН, Росгидромет, Минтранс, МЧС, Минобороны и др. В настоящее время ни одна из существующих на Белом море станций (баз, полигонов) не приспособлена для решения сложных, междисциплинарных проблем. Современный полигон должен содержать компоненты как на море, так и на суше, располагать необходимыми надводными и подводными плавсредствами. Он необходим для создания новых прорывных технологий в области гидрологии, океанологии, метеорологии и климатологии, разработки технических средств поиска и подъема затонувших аппаратов, системы обеспечения функционирования и мониторинга стратегических объектов (таких как планируемый газопровод и сопровождающие производства Штокмановского газоконденсатного месторождения), системы принятия решений (в том числе для научного обеспечения социально-экономических проблем региона). Целевые установки новой федеральной 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.

Авторы благодарны коллегам и соавторам *И.А. Неелову, О.П. Савчуку, Л.Е. Назаровой, Ю.А. Сало*, с которыми были выполнены исследования Белого моря и водосбора в рамках грантов РФФИ и ОНЗ РАН; академику РАН *Г.Г. Матишину* за поддержку совместных исследований по программе ФЦП «Мировой океан»; академику РАН *А.П. Лисицыну* и его коллегам, а также - члену-корреспонденту РАН *Ю.С. Долотову* за совместные исследования в рамках проектов РФФИ и «Система Белое море»; академику РАН *А.Ф. Алимову* и *А.П. Алексееву*, *В.Г. Кулачковой* и *В.Я. Бергеру* (ЗИН РАН) за сотрудничество. Мы признательны коллегам из Международного центра дистанционных методов и окружающей среды им. Нансена *О. Иоханнесену, Л. Петерссону, Л. Бобылеву, С. Кузминой, Д. Позднякову, А. Коросову, Л. Зайцеву* и др., с которыми мы начинали в 1997 г. исследования моря и водосбора в рамках проектов ИНКО-Коперникус и ИНТАС.

Авторы признательны *В.В. Щипцову* за помощь при подготовке рисунка 1, а *В.И. Кухареву* за полезные замечания к статье.

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, С. 792-799.
2. Арктика. Интересы России и международные условия их реализации/ М: Наука. 2002. С. 335
3. Бергер В.Я. Продукционный потенциал Белого моря. Санкт-Петербург/ 2007. С. 290
4. Бергер В.Я., Сухотин А.А. Биологические ресурсы Белого моря, их продукционный потенциал и рациональное использование// Вестник РАН. т. 80, № 11. 2010. С. 968-974.
5. 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. С. 48-51.
6. Брызгалов В.А., Иванов В.В. Сток растворенных веществ на замыкающих створах рек бассейнов Арктических морей России. Многолетняя и сезонная изменчивость // СПб.: ТЕЗА, 2000. Т. 9. Вып. 2. С. 76-89.
7. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биопродуктивности/ Л.: Гидрометеоиздат, 1991. С. 192
8. Горячие точки Севера Европейской территории России (Мурманская обл., Республика Карелия, Архангельская обл.). Прибрежные морские импактные районы Российской Арктики/ Авт. А.В. Евсеев. Доклад АСОПС. 2007.
9. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Республики Карелия в 2009 году/ Изд. дом Карелия. Петрозаводск, 2010. С. 254
10. Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Римский-Корсаков Н.А., Здоровеннов Р.Э., Пронин А.А., Толстиков А.В., Филиппов А.С., Новичкова Е.А., Кутчева И.П., Шевченко В.П. О проявлении морского и речного факторов в фазы прилива и отлива на береговых участках разной конфигурации Белого моря/ Океанология. 2011. том 51. № 1. С. 110–122.
11. Дружинин П.В., Тержевик А.Ю. Социально-экономические особенности водосбора. / В кн. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных воздействий. // Петрозаводск. 2007. С. 335
12. Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т., Морошкина М.В. Влияние развития экономики на окружающую среду: моделирование и анализ расчетов/ Петрозаводск. 2010. С. 231-250
13. Елисов В. В. Оценка водного, теплового и солевого балансов Белого моря // Метеорология и гидрология. 1997. № 9. С. 81-96.
14. Житний Б.Г. Биологические ресурсы Белого моря и их промышленное использование.- Петрозаводск/ КарНЦ РАН. 2007. С. 270
15. Иванов В.В., Брызгалов В.А. Гидролого-гидрохимический режим водосбора Белого моря. / В кн. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных изменений/ Петрозаводск. 2007. С. 52-73.
16. Климат Карелии: Изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы / Отв. Ред. Н.Н. Филатов/ Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. С. 224.
17. Климат России/ СПб.: Гидрометеоздат, 2001. С. 655
18. Лаверов Н.П. Предисловие // В кн. Фундаментальные исследования океанов и морей. Кн. 1. М.: Наука. 2006. С. 5-7.
19. Лаженцев В.Н. (ред.). Север как объект комплексных региональных исследований. Сыктывкар, 2005. С. 512
20. Лисицын А.П. (ред.). Система Белого моря/ Т. 1. М. Научный Мир. 2010. 478 с.
21. Лисицын А.П. Новые возможности четырехмерной океанологии и мониторинга второго поколения – опыт двухлетних исследований на Белом море // Актуальные проблемы океанологии. М.: Наука, 2003. С. 503-556.
22. Максимова М.П. Экосистема Белого моря и проблемы, связанные с ее изучением // Мат. VIII регион. науч.-практ. конф. «Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря»/ Беломорск, 2001. С. 14-18.
23. Матишов Г.Г. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Североевропейского бассейна. Апатиты. 2004. С. 555
24. Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Денисов В.В. Рациональное природопользование в связи с перспективой нефтегазодобычи в Арктике. Вестник РАН. т. 79., № 8. 2009. С. 696-700.
25. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона/ Под ред. В.И. Гурмана, Е.В. Рюминой. М.: Наука. 2003. С. 175

26. Назарова Л.Е. Изменение глобального и регионального климата / Водная среда: обучение для устойчивого развития. Петрозаводск. КарНЦ РАН, 2010. С. 55-64.
27. Национальные и международные приоритеты в Арктике. Авт. А.И. Данилов, В.Г. Дмитриев, Ю.В. Кочемасов, Е.Ю. Кочемасова, Б.А. Моргунов, Н.Ю. Седова, А.Н. Шаров. ГУ ААНИИ/ Санкт-Петербург. 2008. СПб.: ААНИИ, 2008. С. 70
28. Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А. Реки Российской Арктики/ Ростов-на-Дону. 2007. С. 271
29. Пилясов А.Н. Контуры Стратегии развития Арктической зоны России// Арктика: экология и экономика. № 1, 2011. С. 38-47.
30. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2010: Стат. сб. / Росстат. М., 2010. С. 996
31. Савчук О.П., Неелов И.А. Моделирование экосистемных параметров. / В кн. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных изменений. Петрозаводск. 2007. С. 297-319.
32. Сапожников В.В. (ред.). Комплексные исследования экосистемы Белого моря: Сб. научных трудов. Ред. ВНИРО, 1994. 123 с.
33. Семенов Е.В., Булатов М.Б. Анализ результатов работы оперативной модели гидрофизических полей Белого моря в июле-августе 2008 г. ДАН, 2010 г, том 432. номер 3. С. 410-415.
34. Скибинский Л.Э., Морева О.Ю., Артемьев В.Е. Эколого-гидрохимические исследования устьевой области реки Северная Двина и южной части Двинского залива Белого моря. // Труды XII съезда РГО, Т.5. Мировой океан, водоемы суши и климат, С-Пб. 2005. С. 74-89.
35. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияния на отрасли экономики России. – М.: Росгидромет, 2005. С. 28
36. Свидетельство о регистрации базы данных № 20106200435/ авт. А.В. Толстиков, Н.Н. Филатов, Здоровеннов Р.Э. Белое море и водосбор. 16.08. 2010 г.
37. Толстогозов О.В. Стратегия периферийного региона в условиях ограничения информации/ Петрозаводск: КарНЦ РАН. 2010.
38. Филатов Н.Н. Изменения климата Восточной Фенноскандии/ Петрозаводск, 1997. С.147
39. Филатов Н.Н. Характеристика рек водосбора Белого моря. / В кн. Система Белого моря. Т. I. Природная среда. Ред. А.П. Лисицын. А.П.Лисицын. М.: Научный мир. 2010. С. 266-278.
40. Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю. (ред.). Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных воздействий. // Петрозаводск. 2007. С.335
41. Яковлев Н.Г. Моделирование климата океана и морского льда Северного Ледовитого океана с помощью конечно-элементной модели ФЕМАО: к вопросу о понимании роли различных физических процессов в формировании наблюдаемого состояния и воспроизведении их в моделях глобального климата / Проблемы Арктики и Антарктики № 1. 2008. С. 17-26.
42. Якушев Е.В., Михайловский Г.Е.. Моделирование химико-биологических циклов в Белом море. Расчет сезонной изменчивости фосфора, азота и кислорода // Океанология. 1993. Т. 33. №5. С. 695-702.
43. Arctic Environment Variability in context of Global Change. By L. Bobilev et. Al. Springer-Ptaxis. 2003. P. 471
44. Bengtsson L. A Numerical Simulation of Anthropogenic Climate Change // AMBIO, 1997. V. 26. №. 1. P. 58-65.
45. Indices and Indicators of Sustainable Development: Systems Analysis Approach. Abstract book. Second Biennial International Conference «INDEX-99», St.-Petersburg, 1999.
46. Hibler W.D. A dynamic thermodynamic sea ice model // J. Phys. Oceanogr. 1979. V. 9. P. 815-846.
47. Neelov I.A., Savchuk O.P. 3-D IO RAS AARI Coupled Hydrodynamic-biogeochemical model of the White Sea (Final report of INCO-Copernicus Project «WHITESEA» No. ICA2-CT-2000-10014: «Sustainable management of the marine ecosystem and living resources of the White sea». 2003. P. 220
48. Savchuk O. P., F. Wulff. Long-term modeling of large-scale nutrient cycles in the entire Baltic Sea. Hydrobiologia (2009) 629:209–224. DOI 10.1007/s10750-009-9775-z.
49. White Sea: Its Marine environment and Ecosystem dynamics influenced by global change. // N.N. Filatov, D.Pozdnjakov, O.Johannessen, L.Petersson, L.Bobilev. London: Springer-Praxis, 2005. P. 472
50. Wulff F., Savchuk O., Sokolov A., Christoph Humborg and Carl-Magnus Morth. Management Options and Effects on a Marine Ecosystem: Assessing the Future of the Baltic. Ambio Vol. 36, No. 2–3, April 2007. P. 243-249.