

Оценка состояния и изменения эколого-социоэкономической системы Белого моря и водосбора*

Н.Н. Филатов, О.Н. Бахмет, П.В. Дружинин, В.В. Менишуткин, Л.Е. Назарова

Представлены результаты системных исследований окружающей среды и социоэкономики Белого моря и водосбора (Беломорья), полученные, в основном, при выполнении проекта РФФИ №18-05-60296, а также разработок по Госзаданиям ФИЦ «Карельский научный центр РАН». Определены изменения в экономике, социальной сфере и окружающей среде, произошедшие за годы реформ с 1991 по 2019 гг. Изучено современное состояние водосбора Белого моря: леса, почвы, гидрологические особенности, изменения климата, а также экономика и социальная сфера. Рассмотрено состояние и изменения экосистем Белого моря при возможном потеплении климата. Для изучения социо-эколого-экономической системы «море – водосбор» разработаны когнитивные модели Беломорья, которые рассматриваются как инструмент для синтеза разнородной информации о сложной системе. Получены прогностические оценки возможных изменений сложной системы региона при разном комплексе экономических и природных условий.

Ключевые слова: Белое море, водосбор, экология, экономика, социальная сфера, демография, моделирование, когнитивные модели.

**Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №18-05-60296) и в рамках Госзадания ИВПС КарНЦ РАН «Комплексные исследования Белого моря и водосбора в интересах развития Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ)».*

Введение

Для реализации программ промышленного, социально-экономического, инфраструктурного возрождения Арктической зоны Российской Федерации (АЗ РФ) необходимо иметь соответствующее научное обоснование [1]. Среди субрегионов АЗ РФ Беломорье (Белое море и водосбор) является наиболее изученным крупным регионом. Кризисные явления региона связаны не с оскудением природных ресурсов, а во многом обусловлены особенностями функционирования экономики в новых условиях, несовершенством современной законодательной базы, регламентирующей экономическую, природоохранную и социальную сферы [2, 3].

Обострились проблемы региона в связи с разразившейся в начале 2020 г. коронавирусной эпидемией, объявленной пандемией и начавшимся глобальным экономическим кризисом. С 2022 г. возникли дополнительные проблемы, связанные с ужесточением экономических санкций западных стран против России. Сегодня очевидно, что прежние подходы к определению роли государства и рыночных отношений, путей экономического развития необходимо совершенствовать и они, несомненно, будут



ФИЛАТОВ
Николай Николаевич
член-корреспондент РАН,
профессор,
Институт водных проблем
Севера КарНЦ РАН



БАХМЕТ
Ольга Николаевна
член-корреспондент РАН,
генеральный директор
Карельского научного центра
РАН



ДРУЖИНИН
Павел Васильевич
Институт экономики КарНЦ РАН



МЕНИШУТКИН
Владимир Васильевич
профессор,
Институт проблем региональной
экономики РАН



НАЗАРОВА
Лариса Евгеньевна
директор Института водных
проблем Севера КарНЦ РАН

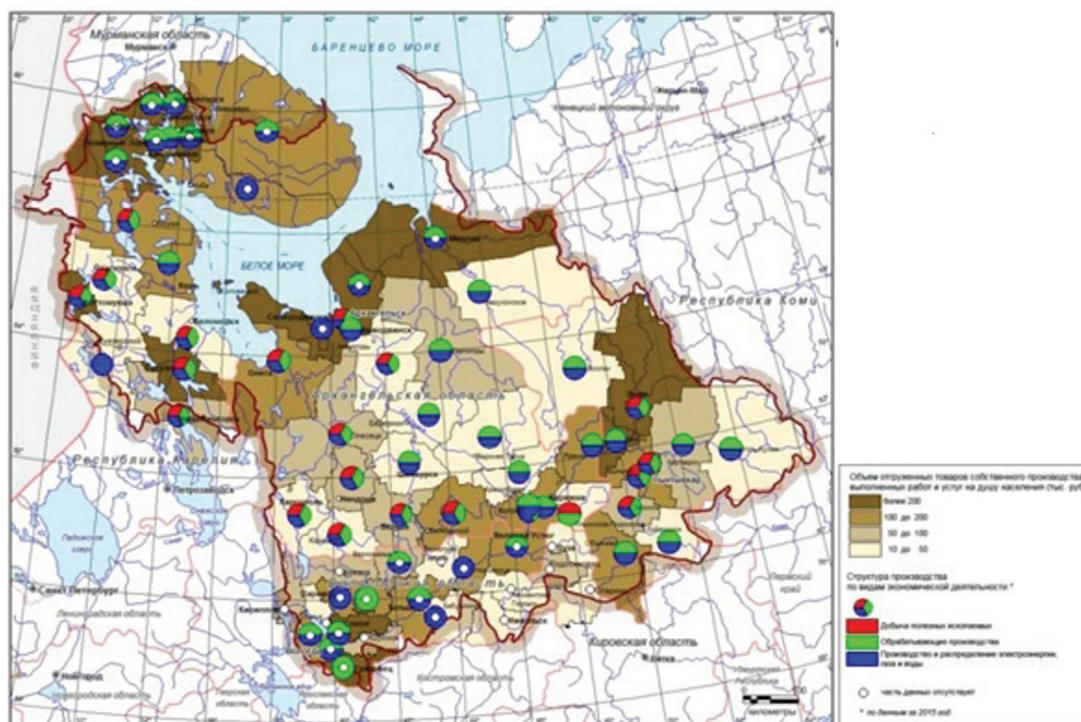


Рис. 1. Регионы, входящие в Беломорье, и промышленность регионов. Сост. О. В. Дерусовой (ИВПС КарНЦ РАН) по данным, представленным П.В. Дружининым, М.В. Морошкиной (ИЭ КарНЦ РАН); карта разработана по Государственному заданию ИВПС КарНЦ РАН.

пересмотрены в условиях так называемой «стратегической неопределенности» [4]. Возросла роль научно обоснованных рекомендаций по управлению, основанных на современных методических подходах, которые обеспечили бы достижение целевых показателей по уровню жизни населения, экономике, функционированию социальной сферы, сохранению окружающей среды.

Общая площадь водосбора Белого моря составляет 717.1 тыс. км², что составляет почти 10% АЗ РФ. Водосбор включает в себя значительную часть площади пяти субъектов Российской Федерации (Архангельской, Мурманской и Вологодской областей, республик Карелия и Коми). Кроме того, в его пределах находятся небольшие территории Пермского края, Кировской и Костромской областей, Ненецкого автономного округа и Финляндии. Основу экономики составляют добыча и переработка природных ресурсов, в первую очередь минеральных и лесных. Ведущая отрасль экономики района – промышленность (добыча и переработка

минерально-сырьевых ресурсов, лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная промышленность, черная и цветная металлургия, топливная промышленность, электроэнергетика, машиностроение), а также рыбная отрасль (рис. 1).

Данные и методы

В последние годы для АЗ РФ созданы современные информационные ресурсы в виде геоинформационных систем (ГИС), атласов и справочников, необходимых для проектирования и принятия решений [5]. В настоящей работе в качестве информационной основы использовались данные, которые вошли в атласы, созданные в ИВПС и ИЭ КарНЦ РАН при участии коллег из институтов ФИЦ КарНЦ РАН, Географического факультета МГУ им. Ломоносова [6]. В состав этих материалов включены сведения о климате, гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, геологии водосбора, ландшафтах, лесах, болотах, почвах, водных объектах, энергетике, водном хозяйстве, источниках антропогенного воздействия. Для моделирования рельефа и гидрографической сети использовались открытые данные глобальной цифровой модели высот (DEM) с пространственным разрешением 3" и 1 м по высоте (<http://viewfinderpanoramas.org>). Для интегрирования физико-географических характеристик территории наземных экосистем Беломорья (рельеф, структура водосборов и водотоков) разработаны

тематические ГИС с использованием космической информации о структуре и динамике растительного покрова [7]. Для анализа генетической структуры лесов на водосборе отбирались образцы хвои или древесины (керны) с модельных деревьев на каждой так называемой постоянной пробной площади (ППП) [7], которые были заложены в естественных сосняках и ельниках северной и средней подзоны тайги Карелии, Мурманской и Архангельской, а также на трех островных популяциях в Белом море. Изучены изменения и изменчивость климата региона по данным наблюдений на станциях и постах Росгидромета. Общая характеристика режима температуры поверхности почвы для водосбора Белого моря составлена по данным, приведенным в «Научно-прикладном справочнике «Климат России», который подготовлен в электронной форме в отделе климатологии ВНИИГМИ-МЦД.

Для моделирования термогидродинамики и экосистемы Белого моря при разном комплексе условий были использованы разные 3D-модели [8]. Для моделирования химико-биологического режима в последние годы использован комплекс моделей JASMINE (<https://sites.google.com/site/modelingthewhitesea/home>).

Были получены сведения о состоянии и изменениях окружающей среды, природных ресурсах, производственной деятельности, уровне и качестве жизни населения, что позволило оценить состояние и дать на качественном уровне прогностические оценки изменения социально-экономического развития Беломорья [9]. Для проведения анализа сложившейся ситуации и построения экономических сценариев использованы открытые статистические данные, предоставляемые Росстатом и ее территориальными органами в статистических сборниках, и материалы, размещенные на официальных сайтах субъектов Российской Федерации. Для выявления тенденций развития применялись методы компаративного, экономического, статистического анализа данных. При построении прогнозов использован сценарный подход прогнозирования социо-эколого-экономического развития с применением в качестве общего контекста рамочных сценариев развития. При построении прогноза динамики экзогенных показателей были использованы для производства – производственные функции, для загрязнений – функции загрязнения, для социальных показателей – линейные регрессионные уравнения. Параметры уравнения для прогнозирования в инерционном сценарии определяются по данным ретроспективного периода. Для других сценариев они изменяются в зависимости от внешних шоков и изменений социально-экономической, структурной и экологической политик.

Для оценки взаимосвязи экологического и социально-экономического развития использовались «окна устойчивости», предложенные финскими учеными [10], которые позволяют определить минимальные и максимальные темпы экономического роста, благосостояния населения и снижение экологической нагрузки [11].

В настоящей работе рассматривалась сложная система, состоящая из множества реально существующих сложных подсистем. Один из таких подходов для решения сложных междисциплинарных проблем – применение методов когнитивного моделирования [12–14]. Результаты системного анализа с применением когнитивного моделирования могут служить основой для построения количественных моделей, необходимых для поддержки принятия управленческих решений, обеспечивающих развитие этого региона [15]. В отличие от традиционных когнитивных моделей в настоящей работе изучено изменение переменных во времени за 100 лет, что позволяет описать связь агентов взаимодействия и охарактеризовать механизмы их взаимной адаптации. Временной шаг моделей принят равным одному году, что дает возможность изучить совместно фундаментальные закономерности экосистем, экономики и демографии региона. Разработанные модели позволяют определить важные для достижения устойчивого развития региона целевые показатели, направленные на оценку возможностей повышения уровня жизни населения, рациональное использование и охрану окружающей среды, развитие социальной сферы Беломорья.

Результаты

Изменчивость и изменения климата Беломорья

Климат исследуемой территории можно охарактеризовать как субарктический – на террито-

рии Ненецкого автономного округа; субарктический морской, имеющий черты континентального, – в Мурманской и северо-западной части Архангельской областей; переходный от морского к континентальному – на территории Карелии; умеренно-континентальный – на территории Вологодской области и Республики Коми [16]. Если сравнить приведенные климатические нормы средней годовой температуры воздуха на водосборе Белого моря за два стандартных климатических периода 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. для различных метеорологических станций, то можно отметить, что в конце XX – начале XXI в. средние многолетние значения годовой температуры воздуха повсеместно превышают климатические нормы на 0.8–1.2 °C (рис. 2).

Данные о средней годовой температуре воздуха в исследуемом районе в течение последнего десятилетия XIX – начале XXI вв. свидетельствуют о почти синхронном характере изменчивости среднегодовой температуры воздуха по всему водосбору Белого моря. Рост температуры с начала века к середине 1950-х гг. сменился похолоданием, в 1980-е гг. тенденции начинают меняться и, начиная с 1989–1990 гг., на территории водосбора Белого моря практически во все годы отмечаются положительные отклонения значений средней годовой температуры воздуха от климатической нормы. Для южных районов исследуемой территории (МС Вологда) в течение последнего десятилетия XIX и до конца XX в. указанные выше тенденции изменений были более сглажены, однако с начала XXI в. в этом районе также наблюдаются положительные аномалии температуры воздуха. Оценка изменений средних многолетних значений температуры воздуха по месяцам показала, что для разных сезонов года температурный режим меняется неравномерно. Наибольшее повышение температуры характерно

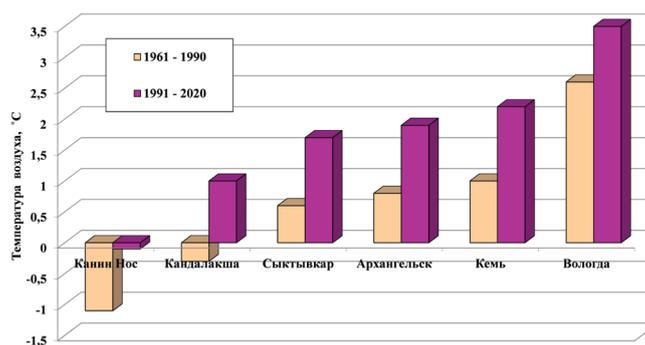


Рис. 2. Средняя годовая температура воздуха по данным метеорологических станций за периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг.

для зимних месяцев, особенно для января (средние значения за 1991–2020 гг. превышают климатические нормы на 1.7–2.9 °C). Анализ изменений количества осадков в районе исследований показывает, что в целом наблюдается рост выпавших осадков. Продолжительность периода, в течение которого наблюдается выпадение твердых осадков, сократилась примерно на два месяца на всей исследуемой территории.

Температура почв водосбора

Средняя годовая температура поверхности почвы по территории водосбора Белого моря изменяется от -0.9...-1.0 °C в районе Канина Носа; 0.0–0.5 °C в Мурманской области; 1.5–2.5 °C в Карелии и Архангельской области; самые высокие значения средней годовой температуры почвы, до 3.7 °C, наблюдались на территории Вологодской области. Средняя многолетняя температура поверхности почвы самого теплого месяца (июля) изменяется от 10.6 °C, по данным наблюдений МС Канин Нос, до 21.2–21.5 °C в Вологодской области. Исследования многолетней динамики средней годовой температуры поверхности почвы показали, что отмечаются положительные отклонения температуры почв от климатической нормы (рис. 3).

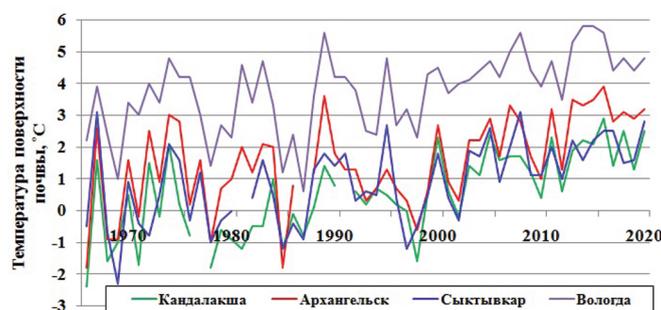


Рис. 3. Средние годовые значения температуры поверхности почвы на водосборе Белого моря, 1966–2020 гг., °C.

Так же, как и для температуры воздуха, наибольшие изменения температуры поверхности почвы наблюдаются в зимний период года, особенно в ян-

варе, когда средние значения за период 1991–2020 гг. были выше средних за предыдущий период на 2.4–3.2 °С. Температура почвы на различных глубинах испытывает значительно меньшие колебания от года к году, чем температура поверхности почвы и прилегающих слоев атмосферы. Однако и на глубинах до 320 см отмечено существенное повышение температуры с начала XXI в.

Ландшафты, почвы, леса водосбора

Исследуемый регион представлен двумя природными зонами – тундрой и тайгой, преимущественно лесами северотаежной подзоны. Территория водосбора довольно однообразна и дифференцируется лишь на три типа северотаежного ландшафта, различающихся по формам рельефа, их генезису, четвертичным отложениям, степени заболоченности территории и преобладающим типам лесных местообитаний. Ландшафты озерных и морских сильнозаболоченных равнин с преобладанием еловых местообитаний характеризуется в целом однообразным слабо террасированным равнинным рельефом с частыми, но незначительными по площади выходами коренных пород в виде абрадируемых плоских скал, низких уступов, мелких холмов и гряд. Общая заболоченность территории превышает 80%, включая открытые болота (как правило, верховые) и заболоченные леса (с мощностью торфяной залежи под древостоями не менее 0.3 м). По ряду основных характерных черт (геоморфологические характеристики) к представленному выше типу ландшафта близок и ландшафт озерных и морских сильнозаболоченных равнин с преобладанием сосновых местообитаний. Он отличается доминированием супесчано-песчаных отложений, более частыми выходами коренных пород и, как следствие, выраженным господством сосновых лесов (свыше 90% покрытой лесом площади). Морское побережье в южной части более пологое, соответственно, аккумуляция морских отложений происходит дальше от уреза воды. Значительно отличается от данных типов ландшафта скальный среднезаболоченный ландшафт с преобладанием сосновых местообитаний. На фоне Прибеломорской низменности его отличает сильнопересеченный денудационно-тектонический рельеф со скальными холмами и грядами различной величины, сложенными бедными в почвообразующем отношении породами гранитного состава. Относительная вертикальная расчлененность рельефа варьирует в пределах 20–80 м. Заболоченность Прибеломорской низменности около 40%.

В рамках проекта РФФИ «Арктика» собрана информация о состоянии почвенного покрова во-

досбора Белого моря. Почвенный покров региона сравнительно молод – 10–11 тыс. лет. Проведенные исследования показали, что на коренных породах и крутых склонах Прибеломорья на Кольском полуострове, лишенных рыхлых отложений, он нередко отсутствует. Только там, где есть хотя бы небольшой чехол рыхлых отложений, происходит формирование почв. Эти почвы сформировались на породах ледникового происхождения (моренных, морских) и элювиально-делювиальных, песчаного и супесчаного гранулометрического состава. В связи с хорошо выраженным мезорельефом территории почвенный покров носит комплексный характер: выпуклые элементы рельефа с автоморфными почвами перемежаются заболоченными низинами. Для нижних частей склонов характерны торфянопodzолы глеевые, в микропонижениях на скальных выступах формируются торфянолитоземы – почвы, в профиле которых основным горизонтом является торфянистый слой, лежащий непосредственно на скальной породе, мощность его обычно составляет 15–20 см. На контакте с коренной породой образуется органоминеральный горизонт мощностью 2–3 см, обогащенный органическим веществом. Заболоченные низины заняты торфяными почвами разного генезиса. В пределах лесной зоны Кольского полуострова на песчаных породах сформировались альфегумусовые подзолы. Формирование глееземов в лесной зоне Кольского полуострова происходит на почвообразующих породах более тяжелого, чем пески и супеси, гранулометрического состава – от легких суглинков до глин. Широко распространены на территории лесной зоны Кольского полуострова торфяные почвы, среди которых преобладают почвы мезотрофных и эутрофных болот. На обширных аккумулятивных равнинах, особенно в восточной части Кольского полуострова, распростра-

нены болота аапа-типа, поверхность которых характеризуется ясно выраженным грядово-мочажинным микро рельефом.

В карельской части водосбора Белого моря на рыхлых четвертичных отложениях в автоморфных условиях распространены различные виды подзолов и подзолистых почв – 60.8% площади на коренных породах – подбуры (0.8) или слабо-развитые почвы: торфяно-литоземы, сухоторфяно-литоземы, литоземы грубогумусовые и др. Кроме того, для почвенного покрова «карельской части» характерно широкое распространение глееподзолистых суглинистых почв, занимающих дренированные местоположения вдоль рек, впадающих в Белое море. В связи с более холодным климатом, низкой испаряемостью, а следовательно, высоким коэффициентом увлажнения, торфяноподзолы глеевые и болотные почвы занимают более 40% площади, при этом среди торфяных почв преобладают торфяные олиготрофные (14%), эутрофные встречаются отдельными массивами.

Почвенный покров Онежского Поморья характеризуется широким распространением торфяных почв, среди которых преобладают почвы мезотрофных и эутрофных болот. Большие площади занимают и торфяноподзолы глеевые. Современная трансгрессия и регрессия морских вод и связанная с ними увлажненность почв в приливно-отливной зоне способствовали формированию маршевых почв, характеризующихся слабо дифференцированным морфологическим профилем, низкой кислотностью в верхних горизонтах и появлением щелочной реакции на глубине 10–15 см. Эти почвы содержат много хлора, серы, водорастворимых минеральных веществ, что нехарактерно для зоны подзолистых почв.

В целом, в связи со сложным рельефом местности большей части территории Карело-Кольского региона почвенный покров ее характе-

ризуется большой сложностью и комплексностью. Распространение почв тех или иных типов обусловлено сочетанием факторов, важнейшими из которых являются рельеф и степень увлажнения. Эти факторы взаимосвязаны, поскольку под влиянием рельефа происходит распределение внутрипочвенных и поверхностных вод в почвенно-грунтовой толще и формируется ее определенный водный режим.

Территории водосбора Белого моря представлены преимущественно лесами северотаежной подзоны. Была получена оценка современного состояния генофондов основных лесобразующих видов водосбора Белого моря и прогноз влияния на них антропогенных факторов, включая изменение климата [7]. Объектами исследования явились малонарушенные популяции ели финской и сосны обыкновенной. Полученные данные свидетельствуют о более высоком уровне генетического, в том числе аллельного, разнообразия по микросателлитным локусам у изученных популяций сосны обыкновенной по сравнению с популяциями ели финской. Из литературных источников известно о снижении параметров генетической изменчивости у популяций сосны обыкновенной и ели финской водосбора Белого моря [17]. Популяции сосны (Пасвик_C1, Мурманск_C2) и ели (Пасвик_E1, Мурманск_E2), произрастающие на северной границе ареалов, а также островные популяции этих видов не обнаружили значительного снижения генетического разнообразия по сравнению с северотаежными популяциями этих видов. Напротив, периферические популяции ели характеризовались более высокими значениями основных параметров генетического, в том числе аллельного, разнообразия по сравнению с северотаежными. С учетом данных о повышении среднегодовой температуры, происходящего особенно быстро в Арктической зоне, высокий уровень генетической изменчивости в периферических популяциях может быть обусловлен как продвижением границы ареалов сосны обыкновенной и ели финской дальше на север благодаря складывающимся на этой территории более благоприятным условиям, так и упомянутой выше историей последнековового расселения этих видов. Выявленный уровень генетического полиморфизма популяций сосны обыкновенной и ели финской водосбора Белого моря свидетельствует о необходимости принятия мер по сохранению и поддержанию генетических ресурсов этих видов (содействие естественному возобновлению, создание лесных культур, селекционные мероприятия) и обеспечение необходимых условия для минимизации рисков антропогенного воздействия и изменений климата.

Сток рек на водосборе

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. Это соотношение является косвенным показателем значительного влияния речного стока на море, что показывает важность учета влияния водосбора на состояние экосистем самого моря [8, 18]. Анализ среднесуточного среднегодового стока рек Беломорья (Северная Двина, Онега, Мезень, Выг, Шуя, Чирка-Кемь, Умба, Поной) за 1950–2015 гг. показывает небольшое увеличение среднегодовых значений стока рек на большинстве изученных рек. Для ряда рек Беломорья отмечается уменьшение стока, в частности, для рек Летняя, Н. Выг. С 1987 по 2010 гг. суммарный сток варьировал от 200 до 310 км³/год (при среднесуточном порядке 230 км³/год). Климатические изменения в регионе оказывают значительное влияние на внутригодовое распределение речного стока, в особенности в зимний период. В работе [19] установлено, что «...многолетние колебания стока характеризуют нечеткая цикличность и чередование периодов разной продолжительности и водности...». Изменения годовых величин стока сопровождались в основном снижением максимальных расходов воды и, наоборот, увеличением минимальных за год расходов.

О состоянии рыболовства на Белом море

Рыболовство на Белом море начиная с XVI–XVII вв. является одной из важных основ развития экономики Поморья. Последние 30 лет работа рыбопромышленной отрасли Беломорья подвержена весьма резким изменениям, происходящим из-за социально-экономических процессов и особенностей законодательства (лицензирование, квоты, запреты на вылов) [20]. К концу XX в. по сравнению с его началом численность населения Беломорского региона, занятого в рыбном промысле, сократилась почти на порядок [21]. В 1950-х гг. суммарные уловы одной только сельди составляли 4–4.5 тыс. т/год, а общие уловы наваги в начале 1980-х гг. достигали 2.5 тыс. т/год. Для промысловых холодолюбивых рыб арктического происхождения, в число которых входят навага и мойва, потепление сказывается на воспроизводстве и уловах неблагоприятно. А с середины 1990-х гг. уменьшение уловов объясняется не только климатическими причинами, но и неблагоприятными социально-экономическими условиями [22]. В работах, посвященных улучшению ситуации с выловом рыбы в Белом море и разработке мер по повышению промысловой продуктивности [22], отмечается необходимость восстановления уровня

воспроизводства, усиления борьбы с загрязнением, устранения препятствий на пути нерестовых миграций, создания и использования искусственных нерестовых субстратов и нерестилищ, мелиорации мест промысла макрофитов, интенсивного развития марикультуры, а также увеличения инвестиций в отрасль. Промысловые биологические ресурсы Белого моря при определенных условиях способны обеспечить не только локальные потребности местного населения (условно поморов), но и улучшить социально-экономические условия всего региона Беломорья.

Моделирование экосистемы Белого моря

Изучение реакции гидрологических характеристик и биогеохимических параметров Белого моря на изменения климата выполнялось с использованием программного комплекса JASMINE [8], который основан на модели термогидродинамики для Северного Ледовитого океана (FEMAO), созданного Н.Г. Яковлевым [23]. Основная цель расчетов на программном комплексе – оценить изменение экосистем Белого моря при потеплении климата на 1–3 °С, а также реакцию экосистем на возможные антропогенные воздействия. При заданном модельном сценарии потепления приповерхностного слоя атмосферы над акваторией Белого моря за период 2020–2029 гг. произойдет увеличение температуры его поверхностного слоя на 1.75 °С и концентраций хлорофилла-*a* почти на 2.2 мг/м³. Полученные данные на программном комплексе JASMINE были агрегированы для использования их в когнитивной модели, которая имеет шаг по времени 1 год, а расчеты выполнялись на несколько десятков лет [8].

Социально-экономические условия Беломорья

Состояние экономики и окружающей среды северных территорий изучено в работах [2, 24] и многих дру-

гих, в которых была показана роль северных регионов для развития страны, в первую очередь в обеспечении ее потребностей в природных ресурсах. К началу реформ северные регионы имели высокий удельный вес добывающих отраслей промышленности и слабо развитую социальную и производственную инфраструктуру. В ходе реформ исчезли или резко сократились многие формы поддержки северных территорий, а на севере значительно выше расходы на поддержание инфраструктуры и другие нужды. Высокая и растущая доля добывающих производств привела к уменьшению спада во время кризиса 1990-х гг. Доля городского населения достаточно высока, что обусловлено природными условиями и особенностями промышленного развития района, трудностями ведения сельского хозяйства в северных широтах.

Спад в экономике привел к постоянному оттоку населения, причем чем севернее регион, тем быстрее там уменьшается население. Лишь два региона из рассматриваемых (Архангельская и Вологодская области) быстро росли в 2000-е гг. и превысили уровень 1990 г. по валовому региональному продукту (ВРП). Другие регионы Европейского Севера достигли лишь 2/3 от уровня 1990 г. по ВРП, в основном из-за сокращения населения и соответственно занятости. Производительность труда у всех регионов превысила уровень 1990 г., у Архангельской области – в 1.6 раза. В значительной степени это связано с ростом добычи углеводородов в Ненецком автономном округе, учитываемом

Таблица 1. Динамика валового регионального продукта по регионам, инерционный сценарий, % к уровню 1990 г.

Регион	Годы		
	2020	2025	2030
Респ. Карелия	67.2	73.8	81.2
Респ. Коми	71.9	83.8	93.3
Архангельская обл.	123.1	135.8	149.7
Мурманская обл.	59.3	62.9	65.8

в составе Архангельской области. Географическое положение влияет на структуру экономики регионов водосбора Белого моря. В северных регионах более развита добывающая промышленность, в более южных – перерабатывающая промышленность; все регионы до 2022 г. были ориентированы на экспорт.

Сельское хозяйство в регионе развито слабо, но в последние 30 лет стало сказываться положительное влияние потепления. Практически во всех регионах водосбора сельскохозяйственное производство снижалось до конца 1990-х гг., затем оно стабилизировалось, и с конца 2000-х гг. начался рост, который, однако, был непродолжительным. Почти половина сельскохозяйственного производства приходится на районы Вологодской области. В большинстве регионов производство сельскохозяйственной продукции сосредоточено вокруг административных центров, поскольку крупный город обеспечивает большой рынок сбыта.

После начала реформ объем инвестиций упал в 5–10 раз, с 1999 г. начался рост, прерываемый кризисами 2008–2009 гг. и 2013–2015 гг., что во многом определяет тенденции развития северных регионов. С 2013 г. в большинстве регионов рост инвестиций сменяется спадом и их объемы не превышают 50% к уровню 1990 г. В условиях кризиса северные регионы снова стали непривлекательны для инвестиций.

На основе анализа динамики основных показателей регионов строились модели, которые в дальнейшем использовались для разработки сценарных условий. Для проведения расчетов использовались следующие показатели – ВРП, индексы промышленного и сельскохозяйственного производства, динамика инвестиций, численности населения и численности занятых, выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, забор свежей воды и сброс сточных вод за 1990–2020 гг., взятые из справочников Росстата [25]. Анализ данных по северным регионам показал, что у них, как и у России в целом, выделяется три периода – до 1998 г., 1999–2008 гг. и с 2009 г.

Были предложены четыре варианта сценарных условий. Первый – инерционный, при сохранении осуществлявшейся в 2010-х гг. экономической по-

литики. Он предполагал сохранение сложившихся тенденций, значит, динамика экзогенных показателей прогнозировалась по временным рядам, динамика производства – по производственным функциям, динамика загрязнений – по функциям загрязнений с сохранением полученных по ретроспективным данным параметров. В данном варианте предполагалось сохранение тенденций последних лет – сокращение занятости и стабилизация объема инвестиций, отсутствие роста природоохранных инвестиций (табл. 1).

Второй вариант (при условии роста мировых цен на сырье) – активизация добычи и первичной переработки сырья – предполагал ускоренный рост инвестиций и изменение структуры экономики в сторону добывающих производств. В данном случае брались для прогнозирования тенденции 1999–2008 гг. и соответствующие параметры моделей.

Третий вариант требовал изменения экономической политики, он был ориентирован на развитие нематериалоемких секторов экономики, развитие инновационного сектора на основе активизации поддержки северных научных центров и университетов, он требовал также ориентации на прикладные исследования и развитие инновационной инфраструктуры. В данном случае требовалось ускорение роста и изменение структуры инвестиций. Для расчетов использовались сплайн-функции, позволяющие изменять параметры моделей.

Четвертый вариант – конфликтный, рассматривавший обострение политической ситуации в Арктике. Предполагалось отрицательное влияние ухудшения общей международной обстановки и борьба за ресурсы Арктической зоны, которая связывалась с реакцией на серьезные климатические изменения. Возможные военные конфликты приводили к ухудшению условий внешнеэкономической деятельности, что для экспортно ориентированных северных регионов вело к новому спаду экономики и снижению доходов населения.

Был проведен анализ социально-экономического развития 10 прибрежных муниципальных районов. В целом в муниципальных образованиях наблюдаются депопуляционные процессы – происходит снижение численности населения. На основе предложенных для регионов сценариев были проведены расчеты по оценке перспектив развития прибрежных муниципалитетов.

Устойчивость и экологизация экономики

Значительное воздействие на окружающую среду связано с высокой долей металлургической промышленности, энергетики и производства бумаги, но спад производства и модернизация эко-

номики привели к улучшению экологической ситуации в регионах. Необходимость обоснования эколого-экономической политики требует разработки и использования новых, более надежных и понятных методов, обеспечивающих комплексный анализ. Технология «окон устойчивости» позволяет одновременно учесть все три составляющие устойчивого развития, определить границы темпов экономического роста, способствующие одновременно повышению благосостояния населения и снижению экологической нагрузки.

Оказалось, что для всех регионов Беломорья в рассматриваемый период существует доступное «окно устойчивости», определенное выбранными показателями. Социально-эколого-экономическое развитие Мурманской и Вологодской областей в целом за 2005–2017 гг. происходило в рамках допустимых границ устойчивости, лишь в отдельные годы выходя за его пределы. ВРП Республики Коми чаще находился за пределами «окна устойчивости». В Республике Карелия только для выбросов загрязненных веществ в атмосферу ВРП почти всегда находился в пределах «окна устойчивости». ВРП Архангельской области только для сбросов загрязненных сточных вод всегда находился в пределах «окна устойчивости». На основе рассматриваемого подхода была разработана методика определения ограничений на динамику ВРП и выведены уравнения, определяющие границы изменения ВРП, в рамках которых сохраняется устойчивое развитие региона, для используемых в расчетах моделей при разных сценарных условиях. Проведенные расчеты для нескольких сценарных условий показали, что при сильной устойчивости экологические ограничения не позволяют ускорить развитие экономики рассматриваемых регионов без изменения экономической политики, в первую очередь требуется измене-

ние структуры экономики. Для окна слабой устойчивости экологические ограничения позволяют наращивать производство в рамках существующей структуры экономики, но необходимы вложения в социальную инфраструктуру. Проведенные расчеты показали, что часть прогнозных вариантов развития экономики регионов не соответствует требованиям устойчивого развития. Рост экономики региона без существенных структурных сдвигов приводит к ухудшению экологической ситуации, для окон сильной устойчивости экологические ограничения обычно нарушаются уже при росте ВРП, достигая 1% в год.

Влияние климатических изменений определялось на основе оценок по моделям изменения объемов производства за десятилетний период и доли сектора в ВРП. Расчеты проводились по линейным и квадратичным функциям, поскольку положительный эффект роста температуры мог смениться отрицательным. Среди секторов экономики последствия изменения климата, в первую очередь, заметны в сельском хозяйстве, слабо развитом на Севере, но к нему относятся и традиционные уклады коренного населения. Изменение климата влияет на лесное хозяйство, а оно является базой лесопереработки, которая вносит заметный вклад в экономику регионов. Также к зависимым от погодных условий секторам экономики российской Арктики относят добычу полезных ископаемых, энергетику, транспорт и туризм [25–26].

Расчеты показали, что для северных регионов потепление приносит рост урожайности и в целом объемов сельскохозяйственного производства. Но доля данного сектора невелика, и прирост ВРП для Архангельской области и Республики Карелия не превышает 0.1%. Для лесного хозяйства положительный эффект от увеличения продуктивности таежных лесов (незначительный за десятилетний

период) компенсируется потерями от новых вредителей и снижения доступности лесных ресурсов из-за сокращения функционирования сезонной транспортной инфраструктуры (зимников). Данный сектор занимает от 0.5 до 3% ВРП в северных регионах, и, по оценкам, снижение объемов лесозаготовок приведет к потерям 0.1–0.2% ВРП. Рыбное хозяйство может получить возможность успешнее развиваться, потепление увеличит кормовую базу, на север сдвинется граница разведения форели и осетровых. Доля данного сектора даже в Карелии не превышает 1%, и даже значительный рост добавит к ВРП лишь 0.3%.

Производство электроэнергии и теплоэнергии составляет от 2 до 5% ВРП. Отопительный сезон может сократиться в среднем на 5–10 дней, но снижение производства теплоэнергии будет компенсироваться прогнозируемым увеличением стока рек и ростом мощности ГЭС.

Для развития водного транспорта появятся новые возможности, увеличится период навигации примерно на 15%, ожидаемое увеличение годового стока рек бассейна Северного Ледовитого океана позволит несколько увеличить перевозки водным транспортом, доля которого пока незначительна. Также можно ожидать роста загрузки морских портов, несмотря на ожидаемое сокращение спроса на углеводороды в Евросоюзе. Сектор туризма пока незначителен, даже в Карелии его доля не превышает 3% ВРП.

Разработка когнитивных моделей сложной социо-эколого-экономической системы Беломорья

Впервые для социо-эколого-экономической системы Беломорья как в рамках проекта РФФИ «Арктика» [13], так и Государственного задания [14] разработано несколько когнитивных моделей, с помощью которых решались многокритериальные задачи определения режима управляющих воздействий, которые обеспечили бы достижение максимального уровня жизни населения, социальной сферы, сохранения окружающей среды и развития экономики. Когнитивная модель Белого моря и водосбора рассматривается как инструмент для синтеза разнородной информации о сложной эколого-социоэкономической системе. Модель дает возможность определения важных для развития региона целевых показателей, направленных на оценку возможностей повышения уровня жизни населения, рационального использования и охраны окружающей среды, развитие социальной сферы Беломорья. Модель имеет иерархическую структуру, включает пять подмоделей, объединенных общей системой управления (рис. 4).

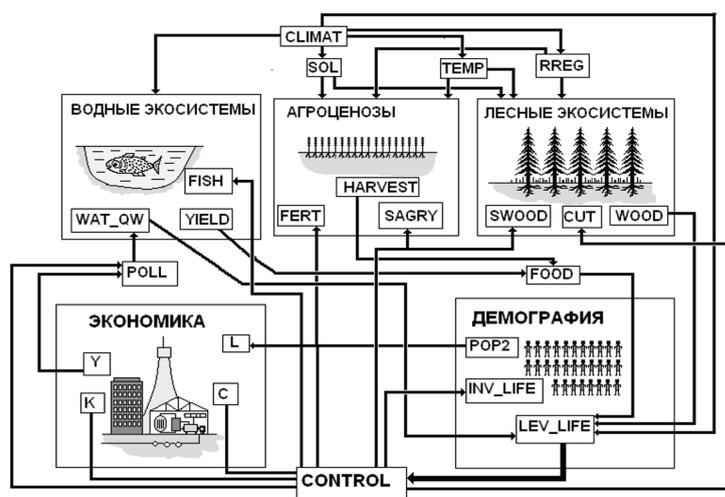


Рис. 4. Общая блок-схема эколого-социоэкономической модели региона (обозначения в тексте) [14].

Подмодель «экономика» предназначена для определения валового регионального продукта (Y) и связанного с ним процесса очистки сточных вод (POLL). Кроме этого, валовый продукт расходуется на изменение уровня жизни населения (LEV_LIFE) и воздействия на сопряженные подсистемы – это рыболовство (FISH), внесение удобрений (FERT) и внутренние нужды – затраты на развитие производственных фондов (K). Прототипом подмодели экономики выбрана модель Солоу – Свана, основанная на производственной функции Кобба – Дугласа. [27].

Подмодель «демография» обеспечивает подмодель экономики сведениями о наличии трудоспособного населения (возраста (L – POP2)). В этой подмодели осуществляется определение уровня жизни населения (LEV_LIFE), величина которого является целевой функцией оптимального управления всей системой.

Подмодель «водные экосистемы» ответственна за имитацию процессов продуцирования органического вещества и его передачу по трофической сети водоема до биомассы популяции промысловой рыбы в море. В Белом море это сельдь и навага. Эта популяция под воздействием рыболовства (FISH) обеспечивает получение вылова (YIELD), который является компонентом питания населения (FOOD). На водные экосистемы действуют изменение климата (CLIMAT) и загрязнение промышленными и бытовыми отходами (POLL). Качество воды (WAT_QW) существенно влияет на уровень жизни населения (LEV_LIFE). Следуя принципу возможного упрощения, водная экосистема представлена в подмодели одной популяцией промысловой рыбы, состоящей из шести возрастных групп, и обобщенных элементов фито- и зоопланктона и бентоса. Первичная продукция фитопланктона (phyto) по-

лагается зависящей от солнечной радиации, представленной в полной модели переменной CLIMAT, и концентрацией биогенных элементов (phos) с имитацией закона Либиха при помощи операции конъюнкции в вероятностной логике. Биомассы зоопланктона (zoo) и бентоса (benthos) как кормовой базы промысловой рыбы определяются как звенья трофической цепи, причем полагается, что развитие бентоса подвержено негативному влиянию ухудшения качества воды (WAT_QW). Возрастные группы популяции промысловой рыбы интерпретируются как биомассы.

Подмодель «агроценозы» (сельское хозяйство) предназначена для имитации данных о сельскохозяйственной деятельности в регионе, в частности о величине урожая (HARVEST). Специфика агросистем определяется климатом, включая сведения о солнечной радиации (SOL), температуре воздуха (TEMP) и осадках (PREC). Существенной характеристикой подмоделей агроценозов является величина площади занимаемых сельскохозяйственными угодьями (SAGRY), которая находится в конкурентных отношениях с площадями занятых лесами и населенными пунктами региона. Эта подмодель разработана на основе системы AGROTOOL [28] с существенным упрощением и приспособлена к возможности стыковки с другими подмоделями.

Подмодель «лесные экосистемы» осуществляет выработку информации о реакции лесов на изменения климатических условий (SOL, TEMP и RREG), интенсивности вырубке (CUT), о загрязнении окружающей среды (POLL) и сокращении территории, занимаемой лесами, под влиянием развития сельского хозяйства и расширения площади населенных пунктов (SWOOD). Подмодель «лесное сообщество» сконструирована на основе моделей, приведенных в монографиях [29, 30]. Переменными, определяю-

щими состояние системы, являются биомасса деревьев (BIOM), масса органического вещества в подстилке и почве (ORGANIC) и содержание минерального азота в почве (NDEP).

Управление всей системой (CONTROL) осуществляется с целью повышения уровня жизни населения (LEV_LIFE) путем изменения инвестиций в промышленность, сельское и лесное хозяйство, рыболовство и рыборазведение, и природоохранные мероприятия.

Динамика элементов модели в течение 100 лет рассматривается при синусоидальных колебаниях климатических условий. Временной масштаб колебаний принят равным 30 годам. При этом все остальные внешние воздействия полагаются постоянными во времени. На экономическую часть системы колебания климата практически не оказывают влияния. В демографической части системы наибольшему влиянию колебания климата подвержен уровень жизни населения. Для развития сельскохозяйственных культур неблагоприятными оказываются только годы с минимальными температурами, в промежутках между минимумами синусоидальный (порядка 30 лет) ход роста растений сглаживается. Из управляющих воздействий на систему существенное значение имеет степень очистки промышленных и бытовых стоков (CLEAN). Достаточно очевидным следствием такого изменения является рост показателя качества воды (WAT_QW) при увеличении степени очистки. Наиболее резко исследуемое воздействие оказывает влияние на вылов промысловой рыбы (YIELD). При отсутствии очистки популяция рыб просто перестает существовать. Уровень жизни населения от введения в действие очистных сооружений в данном примере возрастает почти вдвое.

В проекте «Арктика», финансируемом РФФИ, была создана модель оптимального управления эколого-социальноэкономической системой

Беломорья [13], которая обладает свойством перехода из произвольного начального состояния в новое устойчивое состояние за ~20 лет. Решается многокритериальная задача определения такого режима управляющих воздействий, который обеспечил бы достижение максимальной величины некоторого выбранного критерия; в данном случае это уровень жизни населения в регионе. Были оценены оптимальные воздействия на эколого-экономическую систему при различных вариантах климатических условий (CLIMAT), запасов минеральных ресурсов (MINER) и инвестиций (INVEST), которые обеспечивают максимально высокий уровень жизни населения (LEV_LIFE). Результаты, полученные на когнитивных моделях, применимы для поиска оптимальной стратегии природопользования и при создании систем поддержки принятия решения, но не для инженерных расчетов.

Заключение

Научные разработки проекта «Арктика» были использованы для практических целей, в частности, для обоснования отнесения 38% территории Карелии к Арктической зоне России (<https://stolicaonego.ru/analytics/valentina-pivnenko-monitoring-pensionnogo-zakona-pokazyvaet-cto-vozmozhnost-izmenit-situatsiju-dlja-severnyh-territorij-suschestvuet>).

Выявлено существенное потепление климата на водосборе Белого моря за последние 30 лет с преобладанием положительных аномалий средней годовой температуры воздуха (1-2 °C). Отмечается увеличение средних многолетних годовых сумм атмосферных осадков (в среднем на 40–80 мм). На большей территории водосбора Белого моря значительных изменений режима влажности за 50 лет не выявлено, за исключением роста повторяемости числа дней с относительной влажностью воздуха 30% и менее в один из сроков наблюдений.

Оценено влияние изменений климата на сток рек, почвы и некоторые экономические процессы на водосборе, в том числе на рыболовство. Потепление климата за последние 60 лет не привело к ощутимым изменениям водного баланса Белого моря, но заметно повлияло на повышение температуры воды рек и самого Белого моря, что отразилось на его экосистемах. Оценки изменения температуры почв на водосборе выявили заметное повышение температуры, промерзание почвы на водосборе на глубине 20 см в современных условиях отмечается на 10–15 дней позже, чем в 1966–1990 гг., что сказывается на изменении обмена парниковыми газами в системе почва – атмосфера.

Выполнены оценка современного состояния генофондов основных лесообразующих видов водосбора Белого моря и прогноз влияния на них антропогенных факторов. Полученные данные относительно состояния генофонда основных лесообразующих видов – сосны обыкновенной и ели финской водосбора Белого моря – свидетельствуют о более высоком уровне генетического, в том числе аллельного, разнообразия по микросателлитным локусам у изученных популяций сосны обыкновенной по сравнению с популяциями ели финской. Климатические изменения сильнее отражаются на видах, адаптированных к определенным местообитаниям.

Экономическое развитие регионов на водосборе Белого моря происходило медленнее, чем Российской Федерации в целом: сказывалась неконкурентоспособность обрабатывающих производств из-за суровых природноклиматических условий и отдаленности от основных рынков. Сокращение численности населения продолжается более 30 лет, чем дальше от регионального центра, тем быстрее.

Социо-эколого-экономическое развитие регионов Беломорья в целом за 2005–2017 гг. происходило в рамках допустимых границ устойчивости, лишь в отдельные годы реальный рост ВРП находился за пределами «окон устойчивости».

На основе анализа функционирования сложной системы были предложены три группы возможных сценариев социо-эколого-экономического развития Беломорья: «сырьевой», «диверсификационный» и «конфликтный». Определяющим фактором является зависимость от федеральной политики государства. Опыт северных государств показывает, что наиболее предпочтительным является путь инновационного развития, основанный на активизации поддержки северных научных центров и университетов.

Оценены влияние климатических изменений на экономику районов и условия жизни по регионам. Расчеты показали, что на водосборе Белого моря для большинства сельскохозяйственных культур потепление приводит к росту урожайности. В то же время для лесного хозяйства и некоторых других секторов потепление снижает доступность природных ресурсов и отрицательно сказывается на объемах производства.

Для оценки возможностей устойчивого развития региона создан комплекс когнитивных моделей, которые отражают динамику экономики, состояние и изменения окружающей среды, климата, сельского и лесного хозяйства и социальной сферы. Основной смысл экспериментов с когнитивными моделями заключается не в том, чтобы давать предостерегающие и многообещающие прогнозы развития рыбного хо-

зяйства в Белом море или демографических изменений в Беломорье, а в том, чтобы с помощью когнитивного подхода продемонстрировать возможность рассмотрения сложной системы путем синтеза разнородной информации о комплексной эколого-социоэкономической системе с использованием методов теории искусственного интеллекта: концептуального моделирования и математического аппарата размытой логики.

Продемонстрирована динамика элементов когнитивной модели за 100 лет. Показано, что при квазициклических колебаниях климата экономические параметры мало изменяются, в то время как они сказываются на уровне жизни населения. Заметные колебания при изменении климата отмечаются и в водной экосистеме Белого моря, они сказываются на изменении температуры воды, вылове рыбы, биомассе фито- и зоопланктона, но мало влияют на изменения бентоса. Из управляющих воздействий кроме климата существенное влияние на элементы водной подсистемы оказывает степень очистки промышленных и бытовых стоков. Наиболее сильное воздействие очистка сточных вод оказывает на условия промысла рыбы. Уровень жизни населения при полной очистке вод возрастает почти вдвое по сравнению с вариантом при отсутствии очистки.

Благодарности

Авторы благодарят за участие в работах: к.т.н. В.Н. Баклагина за подготовку базы данных; к.г.н. А.В. Толстикова (ИВПС КарНЦ РАН), к.ф.-м.н. И.А. Чернова (ИПМИ КарНЦ РАН) за выполненные совместно расчеты на модели JASMINE; к.б.н. А.П. Георгиева, главных гидрологов А.Ф. Балаганского, В.А. Карпечко, В.Н. Коваленко, Н.И. Махальскую (все ИВПС КарНЦ РАН) за подготовку гидрологических данных, а также с.н.с.

А.В. Литвиненко, М.С. Богданову и О.В. Дерусову за подготовку картографических материалов; к.б.н. А.А. Ильинова, д.б.н. Б.В. Раевского (ИЛ Кар НЦ РАН) и В.В. Тарасенко (ОКНИ КарНЦ РАН) за подготовку сведений об особенностях леса, почв и ГИС; М.В. Морошкину, А.Е. Курило, Г.Т. Шкиперову (ИЭ КарНЦ РАН) за участие в работе по разделу «экономика региона».

Литература

1. **А.В. Крутиков, О.О. Смирнова, Л.К. Бочарова**
Арктика и Север, 2020, №40(40), 254.
DOI: 10.37482/issn2221-2698.2020.40.254.
2. **В.Н. Лажнецев**
Контуры глобальных трансформаций: политика, экономика, право, 2019, 12(5), 53.
DOI: 10.23932/2542-0240-2019-12-5-53-68.
3. **П.В. Дружинин, Д.А. Зимин**
Вестник СПбГУ. Экономика, 2018, 35(3), 397.
DOI: 10.21638/spbu05.2019.304.
4. **Е.Н. Смирнов**
Вестник МГИМО-Университета, 2020, 13(3), 243.
DOI: 10.21638/spbu05.2019.304.
5. **Н.С. Касимов, В.М. Котляков, А.Н. Чилингаров, Д.М. Красников, В.С. Тихунов**
Лёд и Снег, 2015, 55(1), 4. DOI: 10.15356/2076-6734-2015-1-6-14.
6. **Н.Н. Филатов, А.В. Толстиков, М.С. Богданова, А.В. Литвиненко, В.В. Меницуткин**
Арктика: экология и экономика, 2014, №3(15), 18.
7. **А.А. Ильинов, Б.В. Раевский, О.В. Чирва**
Экологическая генетика, 2020, 18(2), 185.
DOI: 10.17816/ecogen19006.
8. **А.В. Толстиков, И. А. Чернов**
Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Экспериментальная биология, 2019, №6, 92.
DOI: 10.17076/eb95.
9. **А.Е. Курило, П.В. Дружинин, Г.Т. Шкиперова, Е.А. Прокопьев**
Арктика: экология и экономика, 2020, №2(38), 97.
DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-97-108.
10. **J. Luukkainen, J. Kaivo-oja, J. Vehmas, J. Panula-Ontto, L. Nayha**
Sustainability, 2015, 7(11), 14488.
DOI: 10.3390/su71114488.
11. **P.V. Druzhinin, N.N. Filatov, G.T. Shkiperova**
IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science, 2021, 937, 022024. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022024.
12. **В.В. Меницуткин, Н.Н. Филатов, П.В. Дружинин**
Арктика: экология и экономика, 2018, №2(30), 4.
DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17.
13. **В.В. Меницуткин, Н.Н. Филатов**
Водные ресурсы, 2020, 47(3), 348.
14. **В.В. Меницуткин, Н.Н. Филатов**
Морской гидрофизический журнал, 2021, 37(1), 113.
DOI: 10.22449/0233-7584-2021-1-113-13.
15. **А.М. Брехунцов, Ю.В. Петров, О.А. Прыкова**
Арктика: экология и экономика, 2020, №3(39), 34.
DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-34-47.
16. **Н.Н. Филатов, Л.Е. Назарова, П.В. Дружинин**
Труды Карельского научного центра РАН. Сер. Лимнология и океанология, 2019, №9, 30. DOI: 10.17076/lim1117.
17. **E.G. Toth, F. Tremblay, J.M. Housset, Y. Bergeron, C. Carcaillet**
VMC Evol. Biol., 2019, 19(1), 190.
DOI: 10.1186/s12862-019-1510-4.
18. *Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов*, под ред. Н.Н. Филатова, А.Ю. Тержевик, РФ, Петрозаводск, КарНЦ РАН, 2007, 335 с.
19. **Д.В. Магрицкий, Е.С. Повалишников, Н.Л. Фролова**
Арктика и Антарктика, 2019, 3(3), 61.
DOI: 10.7256/2453-8922.2019.3.29939.
20. **С.Ю. Куценко**
Вестник МФЮА, 2018, №2, 200.
21. **В.А. Стасенков**
Вестник МГТУ, 2017, 20(2), 370.
DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-2-370-380.
22. **В.В. Дроздов, Н.П. Смирнов, А.В. Косенко**
Гидрометеорология и экология, 2012, №27, 148.
23. **Н.Г. Яковлев**
Изв. РАН. Физика атмосферы и океана, 2009, 45(3), 383.
24. **А.Г. Гранберг**
Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития, 2002, №4, 3.
25. *Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2018 году»*, РФ, Москва, Минприроды России, НПП «Кадастр», 2019, 844 с.
26. **Л.А. Рябова, Е.М. Ключникова**
Север и рынок: формирование экономического порядка, 2018, №3, 91. DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.3.2018.59.91-111.
27. **В.Т. Курзнев, В.Д. Матвеев**
Экономический рост, РФ, Санкт-Петербург, Питер, 2018, 608 с.
28. **Р.А. Полуэктов, Э.И. Смоляр, В.В. Терлеев, А.Г. Топаж**
Модели продукционного процесса сельскохозяйственных культур, РФ, Санкт-Петербург, СПбГУ, 2006, 396 с.
29. **D.B. Botkin**
Forest Dynamics: An Ecological Model, UK, Oxford, Oxford University Press, 1993, 328 pp. DOI: 10.5860/choice.31-1511.
30. **I. Kozak, V.V. Menshutkin, R.Z. Klekowski**
Modelowanie Elementów Krajobrazu, PL, Lublin, Towarzystwo Naukowe Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego, 2003, 190 pp.

English

Assessment of the Current State and Changes Ecological-Socio-Economic Systems of White Sea and Watershed*

Nikolai N. Filatov

RAS Corresponding Member, Professor,
Northern Water Problems Institute,
Karelian Research Center of RAS
50 Al. Nevsky Ave.,
Petrozavodsk, 185030, Republic
of Karelia, Russia
nfilatov@rambler.ru

Olga N. Bakhmet

RAS Corresponding Member,
General Director
of Karelian Research Centre, RAS
11 Pushkinskaya Str.,
Petrozavodsk, 185000, Russia
obahmet@mail.ru

Pavel V. Druzhinin

Institute of Economics, Karelian Research
Center of RAS
50 Al. Nevskogo Ave.,
Petrozavodsk, 185030, Russia
pdruzhinin@mail.ru

Vladimir V. Menshutkin

Professor,
Institute for Regional Economic Studies,
RAS
38 Serpukhovskaya Str.,
Snt Petersburg, 190013, Russia
menshutkina.n@gmail.com

Larisa E. Nazarova

Director of Northern Water Problems
Institute, Karelian Research Center of RAS
50 Al. Nevsky Ave., Petrozavodsk,
185030, Republic of Karelia, Russia
larisanazarov@yandex.ru

Abstract

The results of system studies of the environment and socio-economics of the White Sea and the catchment area (Belomorye), obtained mainly from the results of RFBR project No. 18-05-60296, as well as developments under State assignments, are presented. The changes in the economy, social sphere and the environment that have occurred during the years of reforms from 1991 to 2019 are determined. The current state of the White Sea watershed has been studied: forests, soils, hydrological features, climate changes, as well as the economy and social sphere. The state and changes of the White Sea ecosystems under possible climate warming are considered. To study the socio-ecological-economic system of the watershed, cognitive models of the White Sea have been developed, which are considered as a tool for synthesizing the heterogeneous information about a complex system. Prognostic estimates of possible changes in the complex system of the region under a different set of economic and natural conditions are obtained.

Keywords: White Sea, watershed, ecology, economics, social sphere, demography, modeling, cognitive models.

**The work was financially supported by RFBR (project 18-05-60296) and carried out within the framework of the Goszadanie to IVPS Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences "Comprehensive Studies of the White Sea and the Watershed in the Interests of the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation (AZ RF)".*

Acknowledgments

The authors are grateful to their colleagues for the contribution to the research: to Ph.D. V.N. Baklagin for the preparation of the database; to Ph.D. A.V. Tolstikov (NWPI KarRC RAS), Ph.D. I.A. Chernov (IAMR KarRC RAS) for jointly performed calculations on the JASMINE model; to Ph.D. A.P. Georgiev, chief hydrologists A.F. Balagansky, V.A. Karpechko, V.N. Kovalenko, N.I. Makhalskaya

(all NWPI KarRC RAS) for updating the hydrological data, as well as to senior researcher A.V. Litvinenko, M.S. Bogdanova and O.V. Derusova for preparation of cartographic materials; to Ph.D. A.A. Ilyinova, D.Sc. (Biology) B.V. Raevsky (KarRC RAS) and V.V. Tarasenko (DMSR KarRC RAS) for preparing information about the features of forests, soils and GIS; to M.V. Moroshkina, A.E. Kurilo, G.T. Shkiperova (IE KarRC RAS) for participation in the work on the division of the regional economy.

Images & Tables

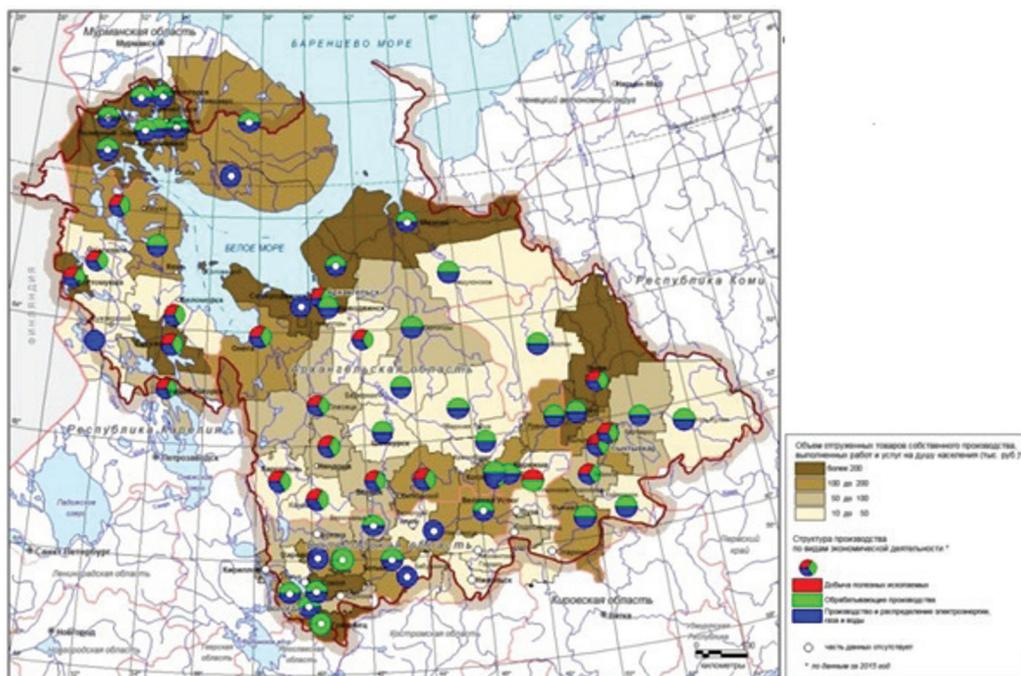


Fig. 1. Regions included in the White Sea region and the industry of the regions. Compiled by O.V. Derusova (NWPI KarRC RAS) according to the data presented by P.V. Druzhinin, M.V. Moroshkina (IE Karelian Research Center RAS); the map was developed according to the State Assignment of the IVPS Karelian Research Center RAS.

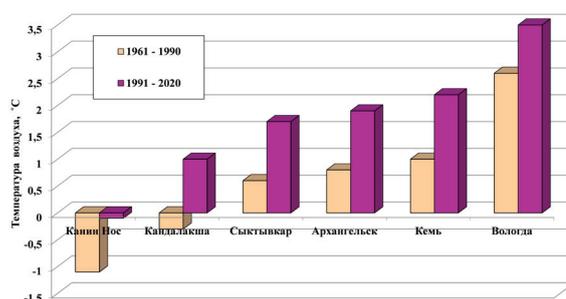


Fig. 2. Average annual air temperature according to meteorological stations for the periods 1961–1990 and 1991–2020.

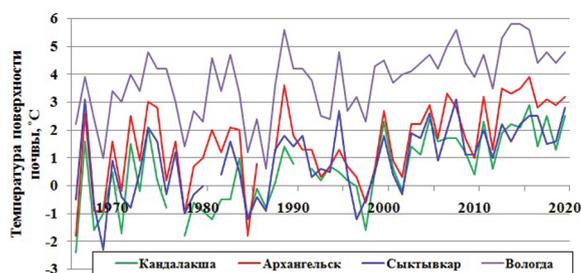


Fig. 3. Average annual soil surface temperatures in the White Sea watershed, 1966–2020, °C.

Table 1. Dynamics of the gross regional product by regions, inertial scenario, % to GRP in 1990

Region	Years		
	2020	2025	2030
Karelia Republ.	67.2	73.8	81.2
Komi Republ.	71.9	83.8	93.3
Arkhangelsk reg.	123.1	135.8	149.7
Murmansk reg.	59.3	62.9	65.8

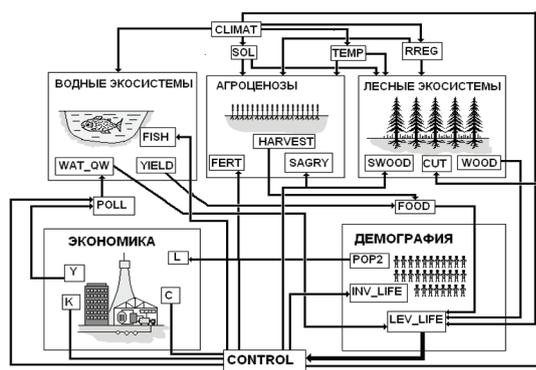


Fig. 4. General block diagram of the ecological-socio-economic model of the region (designations in the text) [14].

References

1. A.V. Krutikov, O.O. Smirnova, L.K. Bocharova *Arctic and North [Arktika i Sever]*, 2020, №40, 254 (in Russian). DOI: 10.37482/issn2221-2698.2020.40.254.
2. V.N. Lazhencev *Outlines of Global Transformations: Politics, Economics, Law [Kontury globalnykh transformatsiy: politika, ekonomika, pravo]*, 2019, 12(5), 53 (in Russian). DOI: 10.23932/2542-0240-2019-12-5-53-68.
3. P.V. Druzhinin, D.A. Zimin *SUJES [Vestnik SPbGU. Ekonomika]*, 2018, 35(3), 397 (in Russian). DOI: 10.21638/spbu05.2019.304.
4. E.N. Smirnov *MGIMO Review of International Relations [Vestnik MGIMO-Universiteta]*, 2020, 13(3), 243 (in Russian). DOI: 10.21638/spbu05.2019.304.
5. N.S. Kasimov, V.M. Kotlyakov, A.N. Chilingarov, D.M. Krasnikov, V.S. Tikunov *Ice and Snow [Led i Sneg]*, 2015, 55(1), 4 (in Russian). DOI: 10.15356/2076-6734-2015-1-6-14.
6. N.N. Filatov, A.V. Tolstikov, M.S. Bogdanova, A.V. Litvinenko, V.V. Menshutkin *Arctic: Ecology and Economy [Arktika: ekologiya i ekonomika]*, 2014, №3(15), 18 (in Russian).
7. A.A. Ilinov, B.V. Raevsky, O.V. Chirva *Ecological Genetics [Ekologicheskaya genetika]*, 2020, 18(2), 185 (in Russian). DOI: 10.17816/ecogen19006.
8. A.V. Tolstikov, I.A. Chernov *Transactions of KarRC of RAS. Ser. Experimental Biology [Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. Ser. Eksperimentalnaya biologiya]*, 2019, №6, 92 (in Russian). DOI: 10.17076/eb95.
9. A.E. Kurilo, P.V. Druzhinin, G.T. Shkiperova, E.A. Prokopen *Arctic: Ecology and Economy [Arktika: ekologiya i ekonomika]*, 2020, №2(38), 97. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-97-108.
10. J. Luukkainen, J. Kaivo-oja, J. Vehmas, J. Panula-Ontto, L. Hayha *Sustainability*, 2015, 7(11), 14488. DOI: 10.3390/su71114488.
11. P.V. Druzhinin, N.N. Filatov, G.T. Shkiperova *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 2021, 937, 022024. DOI: 10.1088/1755-1315/937/2/022024.
12. V.V. Menshutkin, N.N. Filatov, P.V. Druzhinin *Arctic: Ecology and Economy [Arktika: ekologiya i ekonomika]*, 2018, №2(30), 4 (in Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17.
13. V.V. Menshutkin, N.N. Filatov *Water Resources*, 2020, 47(3), 506. DOI: 10.1134/S0097807820030100.
14. V.V. Menshutkin, N.N. Filatov *Physical Oceanography (e-journal)*, 2021, 28(1), 104. DOI: 10.22449/1573-160X-2021-1-104-121.
15. A.M. Brexunczov, Yu.V. Petrov, O.A. Prykova *Arctic: Ecology and Economy [Arktika: ekologiya i ekonomika]*, 2020, №3(39), 34 (in Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2020-3-34-47.
16. N.N. Filatov, L.E. Nazarova, P.V. Druzhinin *Transactions of KarRC of RAS. Ser. Limnology and Oceanology [Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN. Ser. Limnologia i Okeanologiya]*, 2019, №9, 30 (in Russian) DOI: 10.17076/lim1117.
17. E.G. Toth, F. Tremblay, J.M. Housset, Y. Bergeron, C. Carcaillet *BMC Evol. Biol.*, 2019, 19(1), 190. DOI: 10.1186/s12862-019-1510-4.
18. *The White Sea and the watershed under the influence of climatic and anthropogenic factors [Beloe more i vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov]*, Eds N.N. Filatov, A.Yu. Terzhevnik, RF, Petrozavodsk, Publ. KarRC RAS, 2007, 335 pp. (in Russian).
19. D.V. Magritsky, E.S. Povalishnikova, N.L. Frolova *Arktika i Antarktika [Arctic and Antarctic J.]*, 2019, 3(3), 61 (in Russian). DOI: 10.7256/2453-8922.2019.3.29939.
20. S.Yu. Kutsenko *Herald of the Moscow University of Finances and Law [Vestnik MFYuA]*, 2018, №2, 200 (in Russian).
21. V.A. Stasenkov *Vestnik of MSTU [Sci. J. Murmansk State Univ.]*, 2017, 20(2), 370 (in Russian). DOI: 10.21443/1560-9278-2017-20-2-370-380.
22. V.V. Drozdov, N.P. Smirnov, A.V. Kosenko *Hydrometeorology and Ecology [Gidrometeorologiya i ekologiya]*, 2012, №27, 148 (in Russian).
23. N.G. Yakovlev *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, 2009, 45(3), 357.
24. A.G. Granberg *Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya [Economy of the North-West: Problems and Development Prospects]*, 2002, №4, 3 (in Russian).
25. *Gosudarstvenny doklad "O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federacii v 2018 godu" [State Report "On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2018"]*, RF, Moscow, Minprirody Rossii, NPP "Kadastr", 2019, 844 pp. (in Russian).
26. L.A. Ryabova, E.M. Klyuchnikova *Sever i rynek: formirovanie ekonomicheskogo poryadka [The North and the Market: Shaping the Economic Order]*, 2018, №3, 91 (in Russian). DOI: 10.25702/KSC.2220-802X.3.2018.59.91-111.
27. V.T. Kurzenev, V.D. Matveenko *Ekonomichesky rost [The Economic Growth]*, RF, Snt Petersburg, Piter Publ., 2018, 608 pp. (in Russian).
28. R.A. Poluektov, E.I. Smolyar, V.V. Terleev, A.G. Topazh *Modeli produktsionnogo processa selskokhozyaystvennykh kultur [Models of the Production Process of Agricultural Crops]*, RF, Snt Petersburg, SPbSU Publ., 2006, 396 pp. (in Russian).
29. D.B. Botkin *Forest Dynamics: An Ecological Model*, UK, Oxford, Oxford University Press, 1993, 328 pp. DOI: 10.5860/choice.31-1511.
30. I. Kozak, V.V. Menshutkin, R.Z. Klekowski *Modelowanie Elementów Krajobrazu*, PL, Lublin, Towarzystwo Naukowe Katolickiego Uniwersytetu Lubelskiego, 2003, 190 pp.