

УДК: 502.2+556.51:004(268.46)

DOI: 10.35595/2414-9179-2019-1-25-122-137

Н.Н. Филатов<sup>1</sup>, П.В. Дружинин<sup>2</sup>, В.В. Меншуткин<sup>3</sup>

## ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ И СОЦИО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ БЕЛОГО МОРЯ И ВОДОСБОРА

### АННОТАЦИЯ

Работа посвящена обоснованию системных исследований социо-эколого-экономических процессов Белого моря и водосбора как региона Арктической зоны РФ. Представлены основные особенности информации о состоянии окружающей среды, изменений климата, базах данных, геоинформационных системах, комплексных атласах, характеризующих социо-эколого-экономические процессы Беломорья (Белого моря и его водосбора), необходимых для системных исследований региона. Цель создания информационно-справочных систем, баз данных, ГИС, атласов – использование их для планирования хозяйственной деятельности, обеспечения фундаментальных исследований, прогноза влияния климатических и антропогенных изменений на экосистемы. Рассматривается состояние и сценарии возможных изменений в экономике региона и их влияния на окружающую среду. Отмечается, что экономическое развитие регионов на водосборе Белого моря происходит медленнее, чем в целом РФ, и обсуждаются причины этого. В работе используются модели, позволяющие оценить влияние развития экономики регионов на окружающую среду водосбора и самого моря. Показано, что состояние окружающей среды по российским регионам определяется в первую очередь степенью развития экономики региона и её структурой – долей промышленности в ВРП. Исследуется влияние экономики и окружающей среды на особенности проживания населения. Обсуждаются состояние рыболовства – одного из основных занятий местного населения региона. Предложены подходы для системных исследований социо-эколого-экономических процессов Беломорья и перспективы разработки когнитивных моделей.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** социо-экономика, окружающая среда, атлас, ГИС, климат, модель, водосбор

---

<sup>1</sup> Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», пр. А. Невского, д. 50, 185030, Петрозаводск, Россия, чл.-корр. РАН, *e-mail*: [nfilatov@rambler.ru](mailto:nfilatov@rambler.ru)  
Northern Water Problems Institute, KRC RAS, Petrozavodsk, A. Nevskogo 50, 183030, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, *e-mail*: [nfilatov@rambler.ru](mailto:nfilatov@rambler.ru)

<sup>2</sup> Институт экономики КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», д. 50, 185030, Петрозаводск, Россия, *e-mail*: [pdruzhinin@mail.ru](mailto:pdruzhinin@mail.ru)

<sup>3</sup> Институт региональных проблем экономики РАН, Санкт-Петербург. 191187, Россия, Санкт-Петербург, Сызранская ул., д. 30/1), *e-mail*: [menshutkina.n@gmail.com](mailto:menshutkina.n@gmail.com)

**Nikolay N. Filatov<sup>1</sup>, Pavel V. Druzhinin<sup>2</sup>, Vladimir V. Menshutkin<sup>3</sup>**

**INFORMATION SUPPORT OF INVESTIGATIONS  
OF ENVIRONMENT AND SOCIO-ECONOMIC CONDITIONS  
OF WHITE SEA AND WATERSHED**

**ABSTRACT**

The work is devoted to the study of the systemic socio-economical-ecological processes of the White Sea and the catchment area as a region of the Arctic zone of the Russian Federation. The study undertakes to substantiate the organization of comprehensive studies of social-environmental-economic processes at the White Sea and in its catchment as a region of the Russian Arctic. Several regions of the Russian Federation occupy the catchment area. The paper demonstrates the main features of the state of the environment, climate change, and provides a description of existing databases and multidisciplinary atlases describing the social, environmental and economic processes in the White Sea catchment which are useful for systematic studies of the region. The purpose of creating information and reference systems, databases, GIS, atlases is to use them to target economic activities, provide basic research, predict the impact of climatic and anthropogenic changes on ecosystems. The present-day state and some scenarios of possible change in the economy and its impact on the environment are considered. It is noted that the rate of economic development in the regions situated in the White Sea catchment is slower than in Russia on average. The main reasons for that are discussed. The paper presents the models that allow assessing the impact of regional economic development on the environment of the catchment area and the water ecosystem of the sea. One of the most important research targets of this study is to estimate the economic impact on the environment and the living condition of the population. It is shown that the state of the environment in the Russian regions is determined primarily by the degree of development of the regional economy and its structure – the share of industry in the GRP. So-called comfortable living conditions are under investigation. Special attention is given to the environmental impact of fisheries, which is one of the main occupations for people in the region. Preliminary results of integrated studies of the social-ecological-economic processes in the White Sea catchment and prospects for the development of cognitive models are proposed.

**KEYWORDS:** socio-economy, environment, atlas, GIS, climate, models, watershed

**ВВЕДЕНИЕ**

Комплексное, системное изучение Белого моря и водосбора представляет особый интерес при активизации деятельности в Арктике в новых социально-экономических условиях и заметном потеплении климата на водосборе. Но для исследований Арктической зоны РФ (АЗРФ) отмечается недостаток информации о ресурсах регионов и источниках воздействия на окружающую среду в виде геоинформационных систем (ГИС), атласов и справочников, необходимых для проектирования, принятия решений. В субъектах РФ, вошедших в Беломорье после 1991 года, наблюдаются серьёзные изменения в социально-экономических условиях, характерные для многих регионов Арктической зоны РФ, которые обусловлены не оскудением природных ресурсов, а

---

<sup>1</sup> Northern Water Problems Institute, KRC RAS, Petrozavodsk, A. Nevskogo 50, 183030, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, *e-mail:* [nfilatov@rambler.ru](mailto:nfilatov@rambler.ru)

<sup>2</sup> Institute of Economics, KRC RAS, Petrozavodsk, A. Nevskogo 50, 183030, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia, *e-mail:* [pdruzhinin@mail.ru](mailto:pdruzhinin@mail.ru)

<sup>3</sup> St. Petersburg Economics and Mathematics Institute of the RAS. 30–1, Syzranskaya st., St. Petersburg, Russia, 191187, *e-mail:* [menshutkina.n@gmail.com](mailto:menshutkina.n@gmail.com)

организационными проблемами, несовершенством современной законодательной базы, регламентирующей экономическую и природоохранную деятельность [Жаров, Иванова, 2015]. Для решения задач изучения и прогнозирования, сложных социо-эколого-экономических процессов Беломорья используются различные базы данных, знаний и ГИС, экономические модели, 3D модели экосистем моря и на завершающем этапе – когнитивные подходы, позволяющие системно описать эти сложные процессы. Важной целевой установкой проводимых исследований является обоснование возможных путей экономического развития Беломорья и улучшение жизни населения.

Беломорье занимает почти 10 % территории Арктической зоны РФ; здесь расположено несколько субъектов РФ – Мурманская, Архангельская, Вологодская области, Республики Карелия и Коми, а также небольшая часть территорий Пермского края, Кировской и Костромской областей, Ненецкого автономного округа и даже Финляндии. Регион имеет практическое значение в рамках освоения ресурсов Арктики, поэтому изучение происходящих процессов является важным. Здесь на достаточно ограниченной территории можно провести комплексные, системные исследования, представляющие интерес для научно-технологического развития АЗРФ. Само Белое море используется для водного транспорта, энергетики, задач обороны, фундаментальных научных исследований, добычи биоресурсов, а территория его водосбора – для добычи алмазов, абразивных и строительных материалов, для лесной и целлюлозно-бумажной промышленности [Белое море и водосбор, 2007]. Для прогностических оценок экосистемы Белого моря ранее выполнялась разработка, калибровка и верификация трёхмерных математических моделей, однако информационная основа проведённых комплексных исследований потребовала обновления, разработки и внедрения новых подходов, моделей и методов.

## ДААННЫЕ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для системных исследований процессов Беломорья выполняется:

- обобщение имеющихся комплексных многолетних данных по водосбору (гидрология, геология, климат, гидрохимия, гидробиология, социо-экономика) с разработкой баз данных, ГИС<sup>1,2</sup> [Свидетельство о регистрации базы данных, 2010];
- обновление комплексного атласа, разработанного ранее и предназначенного для решения социо-эколого-экономических задач региона [Филатов и др., 2014];
- совершенствование трёхмерных математических моделей Белого моря, более корректно воспроизводящих термогидродинамический и ледовый режим моря, а также более высокие трофические уровни экосистемы по сравнению с тем, что было сделано ранее [Яковлев, 2009; Белое море..., 2007]. Откалиброванные и верифицированные модели на примере Белого моря представляют интерес для создания моделей экосистем для Северного Ледовитого океана (СЛО);
- оценка влияния экономики и изменений климата на водосбор и экосистемы моря с использованием модели взаимодействия океана и атмосферы, разработанные в ИВМ РАН с использованием сценариев IPCC<sup>3</sup>;
- изучение динамики и условий проживания населения региона, оценка так называемой комфортности проживания [Филатов, 2017];

<sup>1</sup> Свидетельство о регистрации базы данных «Белое море и водосбор». Авт. Толстикова А.В., Филатов Н.Н., Здоровеннов Р.Э. Белое море и водосбор. 16.08.2010. № 20106200435

<sup>2</sup> Электронный атлас Белого моря и его водосбора. Авт.: Толстикова А.В., Филатов Н.Н., Богданова М.С., Литвиненко А.В., Карпечко В.А., Дерусова О.В., Балаганский А.Ф. № 2017620252 от 01.03.2017

<sup>3</sup> Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.). IPCC, Geneva, Switzerland. 151 p.

- оценка состояния рыболовства и охраны окружающей среды для повышения уровня жизни местного населения;
- разработка и внедрение когнитивных моделей для сложной социо-эколого-экономической системы.

Оценка состояния и будущего развития Беломорья была выполнена для каждого субъекта РФ, входящего в Беломорье при разработке стратегии развития по единым требованиям федерального закона от 28 июня 2014 года № 172-ФЗ «О стратегическом планировании в Российской Федерации» с учётом приказа Минэкономразвития России от 23 марта 2017 № 132 «Об утверждении Методических рекомендаций по разработке и корректировке стратегии социально-экономического развития субъекта Российской Федерации и плана мероприятий по её реализации». Одной из важнейших задач всех стратегий, разработанных для регионов Беломорья, является рост экономики, уровня и качества жизни населения. В долгосрочном развитии региона выделяют, как правило, три основных сценария: консервативный (инерционный), целевой и форсированный (федеральный). Для Арктической зоны Российской Федерации и отдельных её регионов были построены комплексные сценарии развития с участием федеральных, региональных, местных и международных экспертов с использованием SWOT анализа [Petrov et al., 2017]. Подобные сценарии были применены также и для оценки развития ключевых отраслей экономики Архангельской, Вологодской, Мурманской областей, а также Республик Карелия и Коми (например, [Ключникова и др., 2017]). Ключевым индикатором достижения целей всех субъектов РФ является уровень валового регионального продукта (далее – ВРП) на душу населения. Разработанные для регионов стратегии учитывают глобальные экономические процессы, международно-политическую обстановку, а также тенденции развития Российской Федерации, экологические условия регионов и изменения климата.

Для проведения расчётов использована информация с сайтов ФСГС и её региональных подразделений, региональных ведомств, научных институтов и прочих сайтов. Информация по регионам – субъектам РФ, входящим в Беломорье, была взята из сборников ФСГС<sup>1,2</sup>, а также сборников региональных подразделений ФСГС. При подготовке базы данных основных экономических показателей для оценки динамики стоимостных показателей производился их перерасчёт в сопоставимые цены через индексы цен; в некоторых расчётах использовались данные в процентах к определённому году (обычно 2015-му), данные за который брались за 100 %. За отдельные годы информация по экономике поселений, муниципальных образований отсутствовала, поскольку часть информации оказалась конфиденциальной.

Особенности социально-экономического развития Беломорья и влияние экономики на состояние экосистем самого моря ранее рассматривалось для трёх экономических сценариев: «оптимистического», «пессимистического» и так называемого «нулевого развития» [Белое море..., 2007], а также разных климатических сценариях ИРСС (2007). При оценке состояния и развития социо-экономики региона ранее применялись достаточно простые модели [Дружинин, Тержевик, 2007].

В рамках гранта РФФИ «Арктика» № 18-05-60296 используются современные модели развития социо-экономики [Дружинин и др., 2018], а также модели взаимодействия океана и атмосферы, разработанные в ИВМ РАН, новые 3D модели экосистем моря [Яковлев, 2009; Чернов и др., 2016]; впервые для региона используются когнитивные подходы для анализа и прогноза сложных социо-эколого-экономических процессов [Меншуткин и др., 2018].

<sup>1</sup> Охрана окружающей среды в России. 2018: Стат. сб. М.: Росстат, 2018. 125 с.

<sup>2</sup> Регионы России. Социально-экономические показатели. 2016: Стат. сб. М.: Росстат, 2018. 1162 с.

Целью настоящей работы является использование указанного выше современного информационного обеспечения, ГИС, методов и подходов для анализа и прогноза социо-эколого-экономических условий для оценки возможных путей улучшения жизни населения.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Комплексный атлас «Белое море и водосбор»

Разработана электронная и печатная [Филатов и др., 2014] версии общегеографического атласа, в котором представлены актуальные сведения о природе, социально-экономической ситуации, населении, памятниках истории и культуры и других характеристиках водосбора и современные сведения об экосистеме моря. Многоцелевой комплексный атлас предназначен для использования в системах поддержки принятия управленческих решений, проектирования, образовательной деятельности, разработке научных рекомендаций рационального природопользования, охраны ресурсов моря и его водосбора.

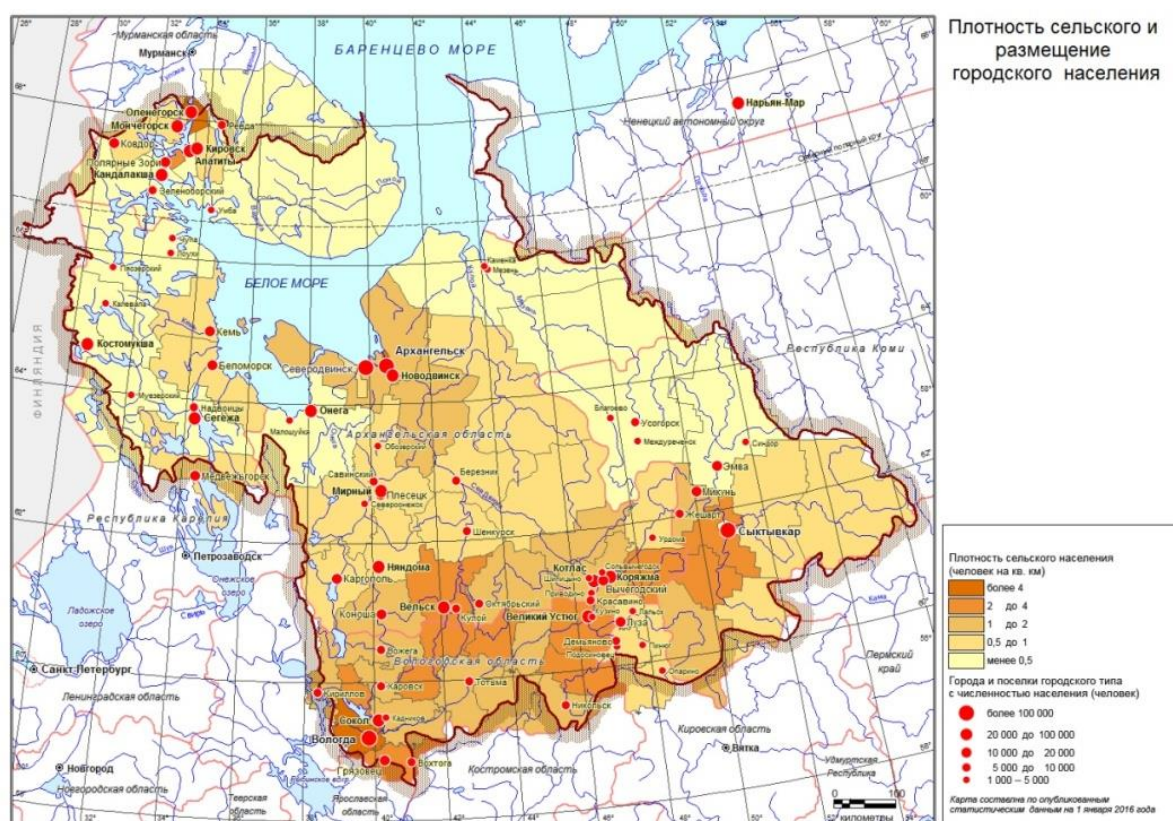


Рис. 1. Карта распределения населения на территориях субъектов Российской Федерации, входящих в водосбор Белого моря по данным на 1 января 2015 года

(плотность сельского и размещение городского населения). Масштаб 1:5 000 000

Fig. 1. Map of the distribution of population in the territories of constituent entities of the Russian Federation included in the catchment of the White Sea according to January 1, 2015 (density of the rural population and distribution of the urban population). Scale 1: 5 000 000

В состав атласа включены сведения по гидрологии, гидрохимии, гидробиологии, геологии моря, а также по климату, геологии водосбора, ландшафтам, лесам, болотам, почвам, водным объектам, энергетике, водному хозяйству, источникам антропогенного воздействия. Тематические карты созданы в среде программного обеспечения ГИС

MapInfo Professional 12.5 с использованием цифровой карты (ЦТКМ) 1:1 000 000 Федерального картографо-геодезического фонда (Лицензионный договор № 1941/2016 от 26 января 2016 года), а также с использованием более мелкомасштабных общегеографических карты в растровом формате в масштабах 1:2 000 000 – 1:6 000 000. В процессе создания тематических карт были использованы слои ЦТКМ 1:1 000 000, которые были разгружены по объектному составу и генерализованы до необходимого масштаба. Электронные карты водосбора представлены в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса-Крюгера, а карты акватории Белого моря в проекции Меркатора WGS84. Общее количество тематических карт и картосхем для водосбора и моря – 86. На рис. 1 представлен пример карты комплексного атласа Беломорья.

### Особенности социо-экономики региона

Развитие экономики Беломорья сдерживается наличием большого количества проблем, связанных с низкой плотностью населения, сконцентрированного в небольшом количестве городов, населённых пунктов и на побережье Белого моря, где традиционным занятием местного населения – поморов – была рыбная ловля, добыча морских животных и марикультура. Проблемы региона обусловлены суровым климатом, высокими затратами на производство и социальную сферу, транспортными проблемами и ограниченным местным рынком ([Лаженцев, 2013]; данные государственной статистики по регионам России).



Рис. 2. ВРП шести регионов, полностью или частично входящим в водосбор Белого моря

Fig. 2. GRP of six regions, fully or partially included in the catchment of the White Sea

Экономика Беломорья зависит от нескольких видов сырья, а, поскольку потребность в этих видах сырья зависит от мирового и российского рынка, их цена подвержена значительным колебаниям, что сильно сказывается на экономике добывающих предприятий и доходах бюджета регионов [Дружинин, Шкиперова, 2017; Ключникова и др., 2017]. К 2017 году только два региона (Архангельская и Вологодская области) из рассматриваемых вышли на уровень 1990 года, а ВРП в республиках Карелии и Коми составил в 2017 году лишь 2/3 от уровня 1990 года. В ходе реформ исчезли или резко сократились многие формы поддержки северных территорий, в частности «северный завоз», уменьшилась разница уровней зарплат [Лаженцев, 2013; Моисеев, 2007]. Поскольку часть функций была передана регионам без финансового обеспечения, а

расходы на севере на поддержание инфраструктуры и другие нужды значительно выше, то региональным властям необходимо собирать больше налогов с предприятий, что также ведёт к замедлению роста. При более быстрых темпах роста российской экономики отставание экономики регионов водосбора Белого моря увеличивается. Проблемы в экономике приводят к оттоку населения. Региональная структура экономики субъектов РФ, входящих в водосбор Белого моря, достаточно стабильна, отмечается небольшой рост экономики Архангельской и Вологодской областей. В 2017 году почти четверть суммарного ВРП приходилась на Республику Коми; немного меньше был вклад Вологодской области, а минимальная (менее 10 %) доля наблюдалась у Республики Карелия (рис. 2).

При картографировании особенностей развития промышленности выявлен факт, что более четверти промышленного производства находится на южном берегу Белого моря в Архангельской области, где расположено много добывающих и перерабатывающих природные ресурсы предприятий. Более половины промышленного производства приходится на Вологодскую область и Республику Коми, в которых расположены крупные предприятия металлургии, целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП), добываются нефть и уголь. Из регионов Беломорья наименее промышленно развита Республика Карелия – около 7 % суммарного промышленного производства.

Одними из важных задач гранта РФФИ № 18-05-60296\18 «Фундаментальные проблемы природной и социальной среды Белого моря и водосбора: Состояние и возможные изменения при разных сценариях изменений климата и экономики» являются применение структурированного подхода к прогнозу будущего развития ключевых отраслей для регионов Беломорья в условиях меняющегося климата и предложение вариантов развития, которые могут быть использованы как фон для обсуждения мероприятий по адаптации к изменениям климата и для разработки долгосрочного прогнозирования.

Сценарии создавались в рамках методологии форсайт-исследования, которая позволяет не только отразить потребности ключевых групп общества, но и необходимые меры для реализации выбранного варианта развития, в конечном итоге имеет практическое значение и может применяться для корректировки текущей социально-экономической политики региона и бизнес-стратегий, в том числе и с разработкой когнитивных моделей [Меншуткин и др. 2018].

Для реализации сценариев важно было использовать знания по ключевым факторам риска и тенденциям развития. Примеры разработки сценариев с использованием форсайт-методики для АЗ РФ получены для Ненецкого автономного округа (НАО); они описывают экономическое развитие, трансарктическую, прибрежную зону, а также человеческий и социальный капитал, положение коренных народов при возможных климатических изменениях [Petrov et al., 2017; O'Neill et al., 2014]. При этом применялись два базовых подхода к разработке региональных сценариев: «сверху» и «снизу». Первый заключается в использовании рамочных сценариев (например, глобального развития или изменения климата) в качестве отправной точки или общего контекста, а второй (сценарий «снизу») подразумевает отсутствие заранее предписанных рамок.

Поскольку регионы, находящиеся на водосборе, существенно различаются по структуре экономики и её особенностям, в качестве интегральной характеристики экономики был выбран ВРП; учитывались также его структура (промышленность, сельское хозяйство, сфера услуг и др.), инвестиции и их структура и другие показатели. Анализ имеющихся данных позволил показать, что экономическое развитие водосбора регионов Белого моря происходит медленнее, чем РФ в целом.

#### **Оценка влияния экономики на состояние окружающей среды**

В работе по гранту РФФИ № 18-05-60296 оцениваются показатели, характеризующие состояние природной среды: выбросы загрязняющих веществ в

атмосферу от стационарных источников, сбросы сточных вод в поверхностные водоёмы, забор воды для промышленного использования, образование токсичных отходов [Дружинин и др., 2018]. По данным статистики, использование водных ресурсов во всех субъектах РФ водосбора Белого моря сокращается начиная с 1990-х годов (данные Росстата, см. выше). За 25 лет потребление свежей воды уменьшилось почти в 2.5 раза в Кировской и Вологодской областях и лишь на 40 % в Республике Коми. Динамика сбросов загрязнённых сточных вод отличается от других показателей. Основное снижение сбросов приходится на начало 90-х годов; по сравнению с 1995 годом в Карелии сбросы не уменьшились, а в Мурманской области даже выросли.

Оценку влияния экономики на окружающую среду можно оценивать с использованием достаточно простых моделей, например таких, как IPAT и STIRPAT [York et al., 2003; Дружинин, Шкиперова, 2017]. В настоящей работе предлагается использовать новый подход для моделирования и прогнозирования экологического состояния территории на основе учёта в модели разнонаправленных факторов и построения сценариев политики федеральных и региональных властей [Дружинин и др., 2018]. Основой подхода является учёт природоохранной деятельности через оценку влияния текущих затрат и инвестиций на природоохранную деятельность (затрат на охрану атмосферного воздуха, водоохранных и других мероприятий), которые уменьшают рост загрязнений, связанный с ростом экономики. Предложенные функции загрязнения могут строиться по частным или комплексным экологическим показателям [Дружинин, Шкиперова, 2017]:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t)$$

где:  $Z(t)$  – исследуемый экологический показатель (абсолютная величина, или прирост за год);  $U_1(t)$  – фактор, отражающий развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющий на окружающую среду (ВРП, инвестиции в экономику и др.);  $U_2(t)$  – фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды и др.);  $A(t)$  – фактор, отражающий влияние структурных сдвигов (оценивается через экспоненту или через изменение структуры секторов);  $t$  – год;  $\mu, \eta$  – константы (факторные эластичности).

Возможно использование и более сложных моделей, в частности:

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\nu(t)$$

где:  $U_3(t)$  – фактор, отражающий изменение действующих производств (инвестиции в модернизацию производства и др.);  $t$  – год;  $\mu, \eta$  и  $\nu$  – константы (факторные эластичности).

По предложенным уравнениям выполнены расчёты по некоторым видам загрязнений (выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, сбросы загрязнённых сточных вод, образование отходов производства и потребления). Для расчётов использовались инвестиции, разделённые на три вида – на новое строительство, на модернизацию и охрану окружающей среды. Проведённые модельные исследования показали, что структурные сдвиги, модернизация экономики и природоохранные инвестиции ведут к снижению уровня загрязнений [Дружинин и др., 2018]. Уровень загрязнений по российским регионам определяется в первую очередь степенью развития экономики региона и её структурой – долей промышленности в ВРП.

#### **Оценка изменения климата и гидрологических условий**

Для оценки возможных изменений климата и его влияния на экосистему Белого моря через изменения температуры воздуха, элементов водного баланса, водного стока рек были использованы как результаты длительных наблюдений, так и результаты восстановления атмосферных характеристик на основе двух глобальных моделей климата: ECHAM5/MPI-OM Института Метеорологии им. Макса Планка (Гамбург, Германия)



[Roeckner, 2006]. В качестве сценариев потепления климата использовались оценки IPCC (2013; см. выше). По сценариям IPCC к 2050 году норма температуры воздуха при G- и GA-сценариях изменения глобального климата для района Белого моря возрастёт на 1–2 °С.

В рамках гранта РФФИ предполагается использовать для Беломорья макроэкономические оценки последствий изменений климата [Оценка макроэкономических..., 2011], а также экономико-климатические модели, разработанные К. Хассельманом [Hasselmann et al., 2015], в том числе так называемой модели совокупной оценки, а именно оптимизационный и системно-динамический подходы [Ковалевский, 2016], которые являются инструментом экономики изменений климата. В последней работе показана перспективность применения системно-динамических моделей в экономике изменений климата и сделан вывод о том, что в некоторых случаях «умеренно неоптимальные» сценарии могут на практике оказаться предпочтительнее оптимальных.

### **Оценка состояния и изменения экосистемы Белого моря**

Состояние экосистемы оценивается на основе результатов исследований долгосрочных наблюдений, так и 3D моделей, разрабатываемых совместно ИВМ [Яковлев, 2009], а также ИВПС и ИПМИ КарНЦ РАН [Чернов и др., 2016]. Прогноз изменений экосистем моря выполняется с использованием модели JASMINE [там же] с применением сценариев изменений климата на водосборе и его влияния через особенности стока рек, качество вод которых и объёмы стока формируются на водосборе Белого моря.

По данным расчётов на модели JASMINE оценены изменения температуры и солёности воды, выявлены сезонный ход и многолетние вариации с временными масштабами порядка 60 и 20 лет. Численные эксперименты, проведённые как ранее на модели И.А. Неёловым и О.П. Савчуком, так и новые эксперименты [Савчук, Неёлов, 2007; Чернов и др., 2016; Толстикова и др., 2018] показали, что и при продолжающемся потеплении климата, и при возможном похолодании климата в регионе не будет наблюдаться усиление эвтрофирования моря; оно останется, как и в настоящее время, в олиготрофном состоянии. Основное влияние на изменение экосистемы моря, повышение его трофического статуса может иметь место, как и ранее, с увеличением антропогенной нагрузки при развитии экономики на водосборе и недостаточных инвестициях в охрану окружающей среды.

### **Оценка комфортности проживания населения Беломорья**

Важным разделом комплексных, системных исследований Беломорья является оценка влияния изменений климата, состояния окружающей среды на здоровье и так называемой комфортности проживания населения [Золотокрылин и др., 2012; Назарова, 2011; Теслер, 1988]. Оценки влияния экономики, среды обитания, в том числе и климата, на условия проживания населения были выполнены ещё в СССР. В результате ряд регионов РФ, входящих в водосбор Белого моря, такие как Мурманская область и частично Архангельская область, Республики Коми и Карелия были отнесены к северным территориям, на которые распространяются определённые социальные льготы [Лаженцев, 2013]. Как показал опыт районирования по природным условиям жизни или комфортности проживания населения [Золотокрылин и др., 2012; Моисеев, 2007], в СССР при отнесении регионов к северным доминировала экономическая составляющая, позволяющая привлечь население в эти регионы. При районировании территории по комфортности и дискомфортам проживания населения использовался как зональный принцип районирования, который в своей основе учитывает преимущественно распространение растительных зон (индекс вегетации), так и азональный принцип [Исаченко, 2003]. Имеющийся опыт даёт основание считать универсальным для территориального эколого-географического анализа геосистемный, или ландшафтно-географический, принцип, основанный на ландшафтной структуре

территории [там же]. В начале 1990-х годов Минэкономразвития РФ была предпринята попытка классификаций территории России по уровню комфортности проживания населения по природно-климатическим факторам, дискомфорта жизнедеятельности населения с выделением новой географической границы Севера [Критерии..., 1991]. В этом документе было рекомендовано использовать интегральный принцип оценки зон комфортности и/или дискомфорта территории для проживания населения. В результате вычисления интегральных показателей и выполненного на их основе районирования оказалось, что южные районы Карелии могут быть отнесены к благоприятной зоне [Назарова, 2011], потому что здесь отсутствуют такие неблагоприятные и опасные явления, как тайфуны, цунами, оползни и так далее, типичные для других регионов; это совершенно не согласуется с ранее выполненным районированием территории по ландшафтам, экологическому потенциалу территории [Исаченко, 2003]. То же отмечалось и для других регионов РФ, в частности, Якутии и Дальнего Востока [Моисеев, 2007; Заболотник, 2007]. При управлении экономическими процессами необходимо учитывать всю сложность, многообразие комплексов с социальной и природной средой, изменениями климата. Эффективность влияния климата на здоровье человека зависит от сочетания с другими компонентами окружающей среды: рельефом, водоёмами, почвой, растительным покровом [Исаченко, 2003]. При этом климат играет роль экологического, лимитирующего фактора, обуславливающего степень комфортности среды обитания.

#### **Применение когнитивного подхода**

На заключительном этапе исследований по проекту используется когнитивный подход для изучения и прогнозирования социо-эколого-экономических процессов Беломорья. Первый опыт внедрения когнитивных моделей для Беломорья приведён в работе авторов [Меншуткин и др., 2018]. В рамках проекта РФФИ № 18-05-60296\18 эта модель включает в себя более 20 переменных данных по экономике, населению, состоянию экосистем моря, вызванному продукцией фитопланктона, вылову рыбы, природоохранному законодательству, загрязнению, климатическим условиям, рыболовству – одному из важнейших занятий местного населения. Используется математический аппарат нечёткой логики [Заде, 1976]. Разрабатываемая когнитивная модель основана на взаимосвязи и взаимозависимости производства, экологических процессов, среды жизнедеятельности человека, интегрируя экономику, экологию и социальные процессы общества. В качестве объекта управления рассматривается не регион, а региональная эколого-экономическая система [Гурман, Рюмина, 2003; Нужина, Юдахина, 2008]. Когнитивная модель Беломорья состоит из четырёх частей: климатической, экосистемной, социально-экономической и управленческой. Временной шаг модели принят равным одному году. Разработанная модель позволяет на качественном уровне подойти к решению проблемы оптимального управления социо-эколого-экономическими процессами в регионах бассейна Белого моря.

Управляющая часть модели посвящена выработке такого распределения инвестиций по регионам, которое при заданной их сумме обеспечит наилучшее развитие всех регионов.

Стремление улучшить уровень жизни населения наталкивается на неопределённость вычисления такого критерия по данным, которые могут быть представлены в настоящей модели. Основным критерием является валовой региональный продукт и минимальная загрязнённость окружающей среды не только в регионах, но и в акватории Белого моря, что важно для рыболовства. Важными критериями для управления является определение соотношения величины инвестиций в развитие регионов и демографические характеристики роста населения для достижения наилучших (комфортных) условий жизни населения. В настоящее время разрабатывается новая версия когнитивной модели, в которой показано, что для повышения уровня жизни населения требуется повысить

возможности вылова рыбы, которые обусловлены улучшением состояния экосистем моря, повышением продуктивности, инвестициями в рыболовство, благоприятствующим законодательством (квоты и лицензирование), вкладом в охрану природы. Всё это должно привести к повышению уровня жизни местного населения. На рис. 3 представлена блок-схема (когнитивный граф), условно названный «Рыболовство», который дополнит ранее созданную когнитивную модель Беломорья [Меншуткин и др., 2018]. Временной шаг расчётов – один год. Численные эксперименты выполняются на 30–40 лет.

В настоящее время ихтиофауна Белого моря включает около 60 видов рыб; из них только примерно 10 видов имеют промысловое значение [Стасенков, Студенов, 2011; Стасенков, 2016]. По мнению ряда авторов, запасы сельди испытывают резкие колебания под влиянием циклических изменений факторов среды, как абиотических, так и биотических, в первую очередь термического режима, наличия нерестового субстрата и условий откорма. Из антропогенных факторов основным является промысел, а именно качественный и количественный состав орудий лова. Причиной снижения вылова явилось не сокращение запасов, а общее ухудшение экономической ситуации при переходе на новые формы хозяйствования. Требуется существенно повысить инвестиции в рыболовство, совершенствовать экономические и социальные отношения, направленные на восстановление промыслов и возврат местного населения на Белое море.

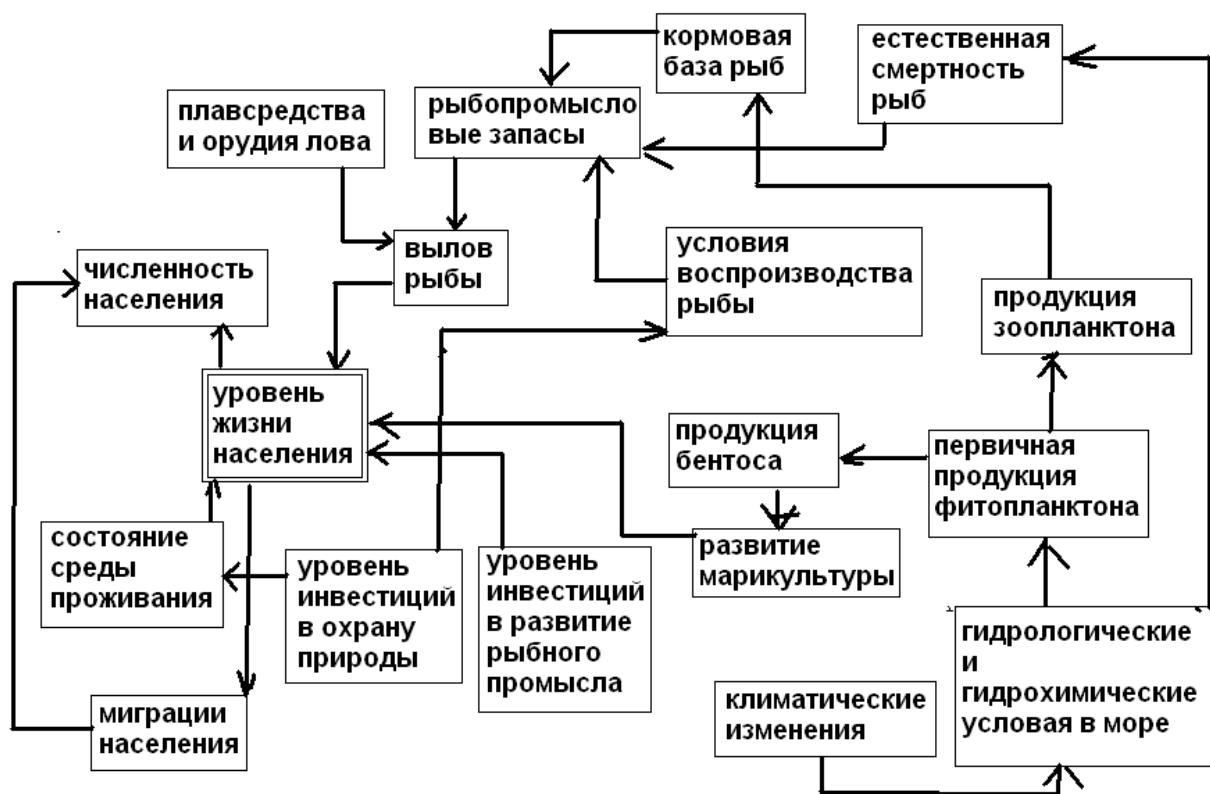


Рис. 3. Блок-схема «Рыболовство» для когнитивной модели Беломорья  
 Fig. 3. Block-diagram “Fishing” for the cognitive model of the White Sea region

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе по гранту РФФИ «Фундаментальные проблемы природной и социальной среды Белого моря и водосбора: Состояние и возможные изменения при разных сценариях изменений климата и экономики» представлено необходимое информационное обеспечение: геоинформационные системы; базы данных; оригинальные математические модели изменений климата на водосборе, термогидродинамики и экосистем моря; модели экономики; сведения об особенностях проживания населения. Показано, что состояние окружающей среды по российским регионам определяется в первую очередь степенью развития экономики региона и её структурой – долей промышленности в ВРП. Представленные особенности разработки когнитивных моделей социо-эколого-экономических процессов Беломорья будут использоваться для задач управления этими процессами.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Работы выполняются по гранту РФФИ «Арктика» № 18-05-60296. Авторы благодарят к.б.н. А.П. Георгиева за предоставленные сведения о рыболовстве, а О.В. Дерусову – за подготовку рис. 1.

## ACKNOWLEDGEMENTS

The work was carried out in accordance with the RFBR project “Arctic” № 18-05-60296. The authors thank PhD A.P. Georgiev for providing information about fishing and Ms O.V. Derusova for drawing of fig. 1.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 349 с.
2. Дружинин П.В., Тержевик А.Ю. Социально-экономические особенности водосбора. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных воздействий. Петрозаводск, 2007. 335 с.
3. Дружинин П.В., Филатов Н.Н., Морошкина М.В., Дерусова О.В., Поташева О.В. Моделирование и пространственный анализ эколого-экономического состояния водосбора белого моря. Материалы Междунар. конф. «ИнтерКарто. ИнтерГИС». Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. Т. 24. Ч. 1. С. 297–309. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-297-309.
4. Дружинин П.В., Шкиперова Г.Т. Влияние природоохранной деятельности на состояние окружающей среды. Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, 2017. № 12. Ч. 7. С. 805–809. Электронный ресурс: <https://www.econom-journal.com/2017-god> (дата обращения 14.02.2018).
5. Жаров В.С., Иванова М.В. Проблемы управления социально-экономическим развитием регионов Арктики. Вестник Мурманского государственного технического университета, 2015. № 3. С. 393–400.
6. Заболотник С.И. Районирование территории России по условиям суровости климатических условий. Наука и техника в Якутии, 2007. № 1 (12). С. 17–22.
7. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и её применение в принятии приближённых решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
8. Золотокрылин А.Н., Кренке А.Н., Виноградова В.В. Районирование России по природным условиям жизни населения. М.: ГЕОС, 2012. 156 с.
9. Исаченко А. Г. Введение в экологическую географию. СПб.: Издат. дом СПбГУ, 2003. 192 с.
10. Ключникова Е.М., Исаева Л.Г., Маслобоев В.А., Алиева Т.Е., Иванова Л.В., Харитоновна Г.Н. Сценарии развития ключевых отраслей экономики Мурманской области в контексте

глобальных изменений в Арктике. Арктика: экология и экономика, 2017. № 1 (25). С. 19–32.

11. *Ковалевский Д.В.* Моделирование системы «мировая экономика – глобальный климат» в рамках оптимизационного и системно-динамического подходов. Научно-технические ведомости СПбГПУ. Экономические науки, 2016. № 6 (256). С. 197–205.

12. Критерии и методические подходы для районирования территории РФ по природным условиям жизнедеятельности населения. М.: Минэкономразвития, 2003. 41 с.

13. *Лажнецов В.Н.* Север России: альтернативы на будущее. Современные производительные силы, 2013. № 2. С. 115–124.

14. *Меншуткин В.В., Филатов Н.Н., Дружинин П.В.* Состояние и прогнозирование социо-эколого-экономической системы водосбора Белого моря с использованием когнитивного моделирования. Арктика. Экология. Экономика, 2018. № 2 (30). С. 79–85. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17.

15. Моделирование социо-эколого-экономической системы региона. Ред. В.И. Гурман, Е.В. Рюмина. М.: Наука, 2003. 175 с.

16. *Моисеев Р.С.* Избранное в 3-х томах. Том 1. Россия и Дальний Восток. Геополитические и социально-экономические аспекты развития. Петропавловск-Камчатский: Издательство КамГУ имени Витуса Беринга, 2007. 245 с.

17. *Назарова Л.Е.* Об оценке комфортности климата Карелии. Труды Карельского научного центра РАН, 2011. № 4. С. 129–133.

18. *Нужина И.П., Юдахина О.Б.* Концептуальная модель региональной эколого-экономической системы. Вестник Томского государственного университета. Экономика, 2008. № 1 (2). С. 54–67.

19. Оценка макроэкономических последствий изменений климата на территории Российской Федерации на период до 2030 года и дальнейшую перспективу. Ред. В.М. Катцов, Б.Н. Порфирьев. М., 2011. 252 с.

20. *Савчук О.П., Неёлов И.А.* Моделирование экосистемных параметров. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных изменений. Петрозаводск, 2007. С. 297–319.

21. *Стасенков В.А.* О промысле наваги. Вестник рыбохозяйственной науки, 2016. Т. 3. № 2 (10). С. 18–26.

22. *Стасенков В.А., Студенов И.И., Новосёлов А.П.* Поморские рыбные промыслы. Мурманск: ПИПРО, 2011. 264 с.

23. *Теслер Р.* Характеристики климата и здоровье человека. Тр. Межд. Симп. ВМО/ВОЗ/ЮНЕП СССР. Ленинград, 22–26.09.86. Л.: Гидрометеиздат, 1988. Т.1. С. 17–41.

24. *Филатов Н.Н., Толстиков А.В., Богданова М.С., Литвиненко А.В., Меншуткин В.В.* Создание информационной системы и электронного атласа по состоянию и использованию ресурсов Белого моря и его водосбора. Арктика: экология и экономика, 2014. № 3 (15). С. 18–29.

25. *Филатов Н.Н.* Опыт информационного обеспечения регионов Севера РФ о состоянии и изменениях водных объектов и водосборов под влиянием климатических и антропогенных факторов. Материалы Междунар. конф. «ИнтерКарто. ИнтерГИС». М.: Изд-во Моск. ун-та, 2017. Т. 23. Ч. 1. С. 130–142. DOI: 10.24057/2414-9179-2017-1-23-130-142.

26. *Чернов И.А., Толстиков А.В., Яковлев Н.Г.* Комплексная модель Белого моря: гидротермодинамика вод и морского льда. Труды КарНЦ РАН. Сер. Математическое моделирование и информационные технологии, 2016. № 8. С. 116–128. DOI: 10.17076/mat397.

27. *Яковлев Н.Г.* Восстановление крупномасштабного состояния вод и морского льда Северного Ледовитого океана в 1948–2002 гг. Часть 1: Численная модель и среднее состояние. Известия РАН, ФАО, 2009. Т. 45. № 3. С. 1–16.
28. *Hasselmann K., Cremades R., Filatova T., Hewitt R., Jaeger C., Kovalevsky D., Voinov A., Winder N.* Free-riders to forerunners. Nature Geoscience, 2015. V. 8. P. 895–898.
29. *O'Neill B.C., Kriegler E., Riahi K., Ebi K.L., Hallegatte S., Carter T.R., Mathur R., van Vuuren D.P.* A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socio-economic pathways. Climate Change, 2014. № 122. P. 387–400.
30. *Petrov A.N., BurnSilver S., Chapin III F.S., Fondahl G., Graybill J.K., Keil K., Nilsson A.E., Riedlsperger R., Schweitzer P.* Arctic sustainability research: Past, present and future. Routledge, 2017. 110 p.
31. *Roeckner E., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kornblueh L., Manzini E., Schlese U., Schulzweida U.* Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model. J. Climate, 2006. V. 19. P. 3771–3791.
32. *York R., Rosa E.A., Dietz T.* STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. Ecological Economics, 2003. V. 46. Iss. 3. P. 351–365.

## REFERENCES

1. Assessment of the Macroeconomic Effects of Climate Change in the Territory of the Russian Federation for the Period up to 2030 and Further Perspective. Ed. V.M. Kattsova and B.N. Porfiriev. Moscow, 2011. 252 p. (in Russian).
2. *Chernov I.A., Tolstikov A.V., Yakovlev N.G.* Integrated model of the White Sea: hydrothermodynamics of water and sea ice. Proceedings of the KarSC of RAS. Ser. Mathematical modeling and information technology, 2016. No 8. P. 116–128. DOI: 10.17076/mat397 (in Russian).
3. Criteria and methodological approaches for zoning the territory of the Russian Federation on the natural conditions of vital activity of the population. Moscow: Ministry of Economic Development, 2003. 41 p. (in Russian).
4. *Druzhinin P.V., Filatov N.N., Moroshkina M.V., Derusova O.V., Potasheva O.V.* Modeling and spatial analysis of the ecological and economic state of the White Sea watershed. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. Petrozavodsk: KarSC RAS, 2018. Petrozavodsk, 2018. V. 24. Part 1. P. 130–142. DOI: 10.24057/2414-9179-2018-1-24-297-309 (in Russian, abs English).
5. *Druzhinin P.V., Shkiperova G.T.* The impact of environmental activities on the state of the environment. Competitiveness in the global world: economics, science, technology, 2017. No 12. Part 7. P. 805–809. Web resource://www.econom-journal.com/2017-god (accessed 14.02.2018) (in Russian).
6. *Druzhinin P.V., Terzhevnik A.Yu.* Socio-economic features of the catchment. White Sea and watershed under the influence of climatic and anthropogenic influences. Petrozavodsk, 2007. 335 p. (in Russian).
7. *Filatov N.N., Tolstikov A.V., Bogdanova M.S., Litvinenko A.V., Menshutkin V.V.* Creation of an information system and an electronic atlas on the state and use of the resources of the White Sea and its catchment. Arctic: Ecology and Economy, 2014. No 3 (15), P. 18–29 (in Russian).
8. *Filatov N.N.* The experience of information support of the regions of the North of the Russian Federation on the status and changes of water bodies and watersheds under the influence of climatic and anthropogenic factors. Proceedings of the International conference “InterCarto. InterGIS”. Moscow: Moscow University Press, 2017. V. 23. Part 1. P.130–142. DOI: 10.24057 / 2414-9179-2017-1-23-130-142 (in Russian).
9. *Hasselmann K., Cremades R., Filatova T., Hewitt R., Jaeger C., Kovalevsky D., Voinov A., Winder N.* Free-riders to forerunners. Nature Geoscience, 2015. V. 8. P. 895–898.

10. *Isachenko A.G.* Introduction to environmental geography. St. Petersburg: Publishing house of SPbSU, 2003. 192 p. (in Russian).
11. *Klyuchnikova E.M., Isaeva L.G., Masloboev V.A., Alieva E.E., Ivanova L.V., Kharitonova G.N.* Scenarios for the development of key sectors of the economy of the Murmansk region in the context of global changes in the Arctic. Arctic: ecology and economy, 2017. No 1 (25). P. 19–32 (in Russian).
12. *Kovalevsky D.V.* Modeling of the system “world economy – global climate” within the framework of optimization and system-dynamic approaches. Scientific and technical statements SPbGPU. Economic Sciences, 2016. No 6 (256). P. 197–205 (in Russian).
13. *Lazhentsev V.N.* North of Russia: alternatives for the future. Modern productive forces, 2013. No 2. P. 115–124 (in Russian).
14. *Menshutkin V.V., Filatov N.N., Druzhinin P.V.* Status and forecasting of the socio-ecological-economic system of the White Sea watershed using cognitive modeling. Arctic. Ecology. Economy, 2018. No 2 (30). P. 79–85. RISC. DOI: 10.25283 / 2223-4594-2018-2-4-17 (in Russian).
15. Modeling the socio-ecological-economic system of the region. Ed. by V.I. Gurman, E.V. Ryumina. Moscow: Science, 2003. 175 p.
16. *Moiseev R.S.* Favorites in 3 volumes. V. 1. Russia and the Far East. Geopolitical and socio-economic aspects of development. Petropavlovsk-Kamchatsky: Publishing house KAMSU named after Vitus Bering, 2007. 245 p. (in Russian).
17. *Nazarova L.E.* On the climate comfort assessment of Karelia. Proceedings of the Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2011. No 4. P. 129–133 (in Russian).
18. *Nuzhina I.P., Yudakhina O.B.* Conceptual model of a regional ecological-economic system. Bulletin of Tomsk State University. Economy, 2008. No 1 (2). P. 54–67 (in Russian).
19. *O’Neill B.C., Kriegler E., Riahi K., Ebi K.L., Hallegatte S., Carter T.R., Mathur R., van Vuuren D.P.* A new scenario framework for climate change research: the concept of shared socio-economic pathways. Climate Change, 2014. No 122. P. 387–400.
20. *Petrov A.N., BurnSilver S., Chapin III F.S., Fondahl G., Graybill J.K., Keil K., Nilsson A.E., Riedlsperger R., Schweitzer P.* Arctic sustainability research: Past, present and future. Routledge, 2017. 110 p.
21. *Roeckner E., Brokopf R., Esch M., Giorgetta M., Hagemann S., Kornblueh L., Manzini E., Schlese U., Schulzweida U.* Sensitivity of simulated climate to horizontal and vertical resolution in the ECHAM5 atmosphere model. J. Climate, 2006. V. 19. P. 3771–3791.
22. *Savchuk O.P., Neelov I.A.* Modeling ecosystem parameters. White Sea and catchment under the influence of climatic and anthropogenic changes. Petrozavodsk, 2007. P. 297–319 (in Russian).
23. *Stasenkov V.A.* About the fishery of navaga. Bulletin of fisheries science, 2016. V. 3. No 2 (10). P. 18–26 (in Russian).
24. *Stasenkov V.A., Studenov I.I., Novoselov A.P.* Pomeranian fisheries. Murmansk: PINRO. 2011. 264 p. (in Russian).
25. *Tesler R.* Characteristics of the climate and human health. Climate and human health. Proceedings of Int. Symp. WMO / WHO / UNEP USSR. Leningrad, 22–26.09.86. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1988. V. 1. P. 17–41 (in Russian).
26. White Sea and watershed under the influence of climatic and anthropogenic influences. Petrozavodsk: KarSC RAS, 2007. 349 p. (in Russian)
27. *Yakovlev N.G.* Restoration of a large-scale state of waters and sea ice of the Arctic Ocean in 1948–2002. Part 1: Numerical model and average state. News of the Russian Academy of Sciences, FAO, 2009. V. 45. No 3. P. 1–16 (in Russian).
28. *York R., Rosa E.A., Dietz T.* STIRPAT, IPAT and ImPACT: analytic tools for unpacking the driving forces of environmental impacts. Ecological Economics, 2003. V. 46. Iss. 3. P. 351–365.

29. *Zabolotnik S.I.* Regionalization of the territory of Russia according to the conditions of severity of climatic conditions. *Science and Technology in Yakutia*, 2007. No 1 (12). P. 17–22 (in Russian).
  30. *Zade L.* The concept of a linguistic variable and its use in making approximate decisions. Moscow: World, 1976. 165 p. (in Russian).
  31. *Zharov V.S., Ivanova M.V.* Problems of management of the socio-economic development of the Arctic regions. *Bulletin of the Murmansk State Technical University*. 2015. No 3. P. 393–400 (in Russian).
  32. *Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V.* The regionalization of Russia on the natural conditions of life of the population. Moscow: GEOS, 2012. 156 p. (in Russian).
-