

УДК 502.2:007(470.2)

DOI: 10.35595/2414-9179-2020-1-26-30-44

В.В. Меншуткин¹, Н.Н. Филатов²

ОПЫТ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ: К ВОПРОСУ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

АННОТАЦИЯ

Предложен обзор когнитивных моделей для эколого-социально-экономической системы региона, разработанных авторами. Для оценки возможностей устойчивого развития региона — Белого моря и водосбора (Беломорья), рассмотрен комплекс когнитивных моделей, которые отражают динамику экономики, состояние и изменения окружающей среды, климата, сельское и лесное хозяйство и социальную сферу. Разработаны четыре разной степени сложности когнитивные модели эколого-социально-экономической системы региона, которые использовались для определения разных целевых показателей, направленных на оценку возможностей повышения уровня жизни населения, рациональное использование и охрану окружающей среды, развитие определённых отраслей экономики и социальной сферы региона. В первой модели в качестве основной целевой функции рассматривалась возможность гармоничного экономического развития всех субрегионов (субъектов РФ), входящих в водосбор, для устойчивого развития Беломорья. Оценивалось соотношение величины инвестиций в развитие субрегионов и демографические характеристики населения для достижения наилучших (комфортных) условий проживания населения. Вторая модель была разработана для того, чтобы изучить возможности повышения уровня жизни населения с использованием рыболовства — традиционного занятия местного населения поморов. В третьей модели решалась многокритериальная задача определения такого режима управляющих воздействий, который обеспечил бы достижение максимальной величины уровня жизни населения региона при разных сценариях состояния экономики и изменений климата. Четвёртая, наиболее сложная модель, учитывала предыдущие разработки, построена по иерархическому принципу и может быть использована для разных целей управления: повышения уровня жизни населения, охраны окружающей среды, развития экономики. Результаты могут служить основой для построения системы количественных моделей, необходимых для разработки систем поддержки принятия управленческих решений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: когнитивная модель, социально-экономика, население, окружающая среда, устойчивое развитие

¹ Институт региональных проблем экономики РАН, ул. Серпуховская, д. 38, 190013, Санкт-Петербург, Россия; *e-mail*: menshutkina.n@gmail.com

² Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН», пр. А. Невского, д. 50, 185030, Петрозаводск, Республика Карелия, Россия; *e-mail*: nfilatov@rambler.ru

Vladimir V. Menshutkin¹, Nikolai N. Filatov²

EXPERIENCE OF ASSESSING STATE AND FORECASTING OF SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEM: TO THE QUESTION OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION

ABSTRACT

A review of various cognitive models for the region developed by the authors is proposed. To assess the opportunities for sustainable development of the region — the White Sea and the watershed, a set of cognitive models that reflect the dynamics of economic characteristics, the state and change of the environment, climate, agriculture and forestry and the social sphere are developed. Four models of the ecological-socio-economic system of the region are presented, which are used to determine different targets aimed at assessing the possibilities of improving the of living standard of the population, rational use and protection of the environment, the development of certain sectors of the economy and social sphere of the region which important for sustainable development of the region. In the first cognitive model for the region, the main objective function was considered to ensure the best possible development of all subregions (constituent entities of the Russian Federation) included in the watershed. The ratio of the magnitude of investments in the development of subregions and the demographic characteristics of the population to achieve comfortable living conditions was estimated. The second model was developed in order to study the possibilities of improving the living standards of the population using fisheries — a traditional occupation of the local Pomor's population. The third model solved the multi-criteria problems of determining such a regime of control actions that would ensure the achievement of the maximum living standard of the population under different scenarios of the state of the economy and climate change. The fourth model took into account previous developments, is built on a hierarchical principle and can be used for various management purposes.

The model is intended for prognostic assessments at a qualitative level of ongoing changes in a complex socio-ecological-economic system under various scenarios of economy, environmental management and climate change. The results can serve as the basis for constructing a system of quantitative models necessary for the development of management decision support systems.

KEYWORDS: cognitive model, socioeconomics, population, environment, sustainable development

ВВЕДЕНИЕ

За прошедшие почти 30 лет прошли многочисленные форумы, состоялись дискуссии о концепции устойчивого развития, в соответствии с которой необходимо соблюдать баланс между решением социальных, экономических проблем и сохранением окружающей среды. Острота дискуссий об устойчивом развитии за эти годы существенно ослабла, но в связи с разразившейся в начале 2020 г. коронавирусной эпидемией, объявленной пандемией и глобальным экономическим кризисом, проблема устойчивого развития в глобальном и региональном аспектах снова стала как никогда актуальна. Важно ответить на вопросы, как противостоять возникшим угрозам глобального и регионального развития, как сохранить здоровье населения и окружающей среды и как восстановить экономику. Из-за глобальной катастрофы в виде неожиданно агрессивного противника человечества — нашествия Covid-

¹ Regional Economics Institute of Russian Academy of Sciences, Serpukhovskaya st., 38, 190013, St. Petersburg, Russia; e-mail: menshutkina.n@gmail.com

² Northern Water Problems Institute of Karelian Research Centre of RAS, A. Nevsky ave, 50, 185030, Petrozavodsk, Republic of Karelia, Russia; e-mail: nfilatov@rambler.ru.

19, прежние подходы к определению роли государства и рыночных отношений, путей экономического развития, развитию социальной сферы, глобализации и национальных интересов, несомненно, будут пересмотрены. В контексте устойчивого развития риски от глобального потепления, которому отводилось одно из ведущих мест среди наиболее значимых глобальных угроз, в новой ситуации потускнели. Сейчас как на общегосударственном, так и региональном уровнях принципиальное значение имеют в первую очередь проблемы национальной безопасности, здравоохранения, борьбы с бедностью, восстановления экономики, качества окружающей среды для нормального проживания, которые становятся приоритетными по сравнению с рисками, обусловленными изменениями климата.

Для системного анализа, прогнозирования на качественном уровне сложных социо-эколого-экономических проблем потребуется применение соответствующих по сложности математических моделей, в которых должны быть заложены производственные отношения, социальные, демографические, и природно-климатические процессы.

Решить сложные проблемы взаимодействия человеческого общества, экономики, с экологическими системами Земли с применением математических моделей, использующих аппарат систем дифференциальных уравнений, основанных на применении законов сохранения оказалось весьма сложным. Принципиальная разнородность элементов изучаемой системы привело к необходимости поиска новых методов моделирования, например, в рамках искусственного интеллекта [Kosko, 1993]. Один из таких подходов для решения сложных междисциплинарных проблем — применение методов когнитивного моделирования [Альбертин, 2016], область использования которых интенсивно расширяется из лингвистики и психологии к области моделирования социо-эколого-экономических систем [Горелова, Рябцев, 2012; Ross, 2005]. Этот же подход был использован для оценки возможностей устойчивого развития социо-экономических систем Черноморского, Кавказского, Каспийского суб-регионов [Горелова, Рябцев, 2012], а также Арктики [Crépin et al., 2017; Petrov et al., 2017].

Для изучения сложной социо-эколого-экономической системы Беломорья, которая занимает почти 10 % территории Арктической зоны РФ, был использован когнитивный подход, как инструмент синтеза разнородных сведений о регионе. Этот подход может представлять интерес для оценки состояния, прогностических оценок, разработки систем поддержки принятия решений, обоснования действий для устойчивого развития региона.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Построение модели некоторого объекта заменяется созданием системы логических связей, которые на основании знаний экспертов или других источников информации устанавливают связь между переменными моделируемого объекта. Основная трудность при построении социо-эколого-экономических систем заключается в качественной разнородности величин, характеризующих состояние подсистем, составляющих единое целое. При подобном подходе к представлению знаний о моделируемом объекте естественно использовать шкалирование переменных [Заде, 1976]. Все переменные представляют собой непрерывные величины, определённые в диапазоне от 0 до 1. Это соответствует представлению о том, что для любой переменной системы можно указать максимальные и минимальные значения. Эти величины могут быть интерпретированы как качественные оценки моделируемой величины. С математической точки зрения такое представление соответствует аппарату нечёткой или размытой логики (fuzzy logic) [Kosko, 1993]. В настоящей модели используются функции нечёткой конъюнкции (CON), нечёткой дизъюнкции (DIS) и нечёткого отрицания (NO). Преобразования переменных в течение одного временного шага осуществляются при помощи функций нечёткой логики — отрицания NO, конъюнкции CON и дизъюнкции DIS:

- При моделировании сложной социо-эколого-экономической системы водоём-водосбор учитывались как прямые, так и обратные связи внутри подсистем и между ними. Исследование основано на системном подходе, поэтому все подсистемы модели должны быть чувствительны к использованию разнообразных пространственно-временных

данных разного масштаба, характеризующих подсистемы, и реагировать на разные сценарии внешних воздействий.

- Для информационного обеспечения когнитивных моделей использовались разработанные ИВПС КарНЦ РАН геоинформационные системы, базы данных, атлас Белого моря и водосбора. Для оценки и прогноза развития экономики применялись модели [Власов, Шимко, 2005; Дружинин и др., 2018]. Сведения об изменениях и изменчивости климата получены по данным наиболее длительных инструментальных наблюдений на метеорологических станциях (МС) и постах Федеральной службы РФ по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. В качестве сценариев изменений климата использовались оценки ИРСС [ИРСС, 2014], согласно которым норма температуры воздуха (осреднённая за 30 лет) в регионе может возрасти к 2030 г. на 1–2 °С. Динамика рыболовства в Белом море изучалась по работе, посвящённой соответствующей проблеме [Шерстков и др., 2009]. Изменения экосистем Белого моря оценивались с использованием 3D-моделей, основанных на уравнениях геофизической гидродинамики и различных балансовых соотношениях [Толстиков, Чернов, 2019]. Промысловые уловы в Белом море оценивались по данным многолетних наблюдений [Шибяев, 2015], изменения в экономике регионов — с использованием функции Кобба–Дугласа и различных эмпирических зависимостей [Курзев, Матвеев, 2018]. Для социологических подсистем применялось агент-ориентированное моделирование [Макаров, Бахтизин, 2013].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Первая модель Беломорья была разработана в 2018 г. [Мениуткин и др., 2018] и состояла из четырёх частей: климатической, экосистемной, социально-экономической и управленческой для всех семи субрегионов — субъектов РФ, входящих в водосбор. Основная цель — проблема гармонического развития всех субрегионов и самое главное — улучшение условий проживания населения. Модель включала более 20 переменных об экономике, населении, состоянии экосистем моря, продукции фитопланктона, вылове рыбы, загрязнении, климатических условиях, рыболовстве — одном из важнейших занятий местного населения и др. параметрах. Разработанная 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 [Моделирование..., 2003].

Управленческая часть модели посвящена разработке механизма, централизованного для всего региона и местного управления. Цель этого управления заключается в достижении устойчивого развития всей социально-экономической системы при различных сценариях изменения климатических условий, инвестиционного климата и структурных изменениях самой системы. В отличие от традиционных когнитивных моделей, упомянутых во введении, настоящая модель предусматривает изменение переменных во времени за 40 лет. Временной шаг модели принят равным одному году.

Когнитивная карта модели показана на рис. 1. Климатическая часть модели включает описание состояний таких величин, как среднегодовая температура воздуха $TEMP_A$, атмосферные осадки за год $PRES$, суммарное испарение EVA и суммарный годовой сток рек в Белое море $FLOW$. Последняя величина подразделяется по Северной Двине (ND), Мезени (ME), Онеге (ON), Поною (PON) и Кеми, Нижнему Выгу и Ковде (KWK). Значения всех перечисленных величин по годам оцениваются по литературным данным [Белое море..., 2007; Дружинин и др., 2018; Филатов и др., 2019]. Индексы переменных: MUR, KAR, ARK, VOL, KOL свидетельствуют о принадлежности к субъекту РФ, входящему в водосбор.

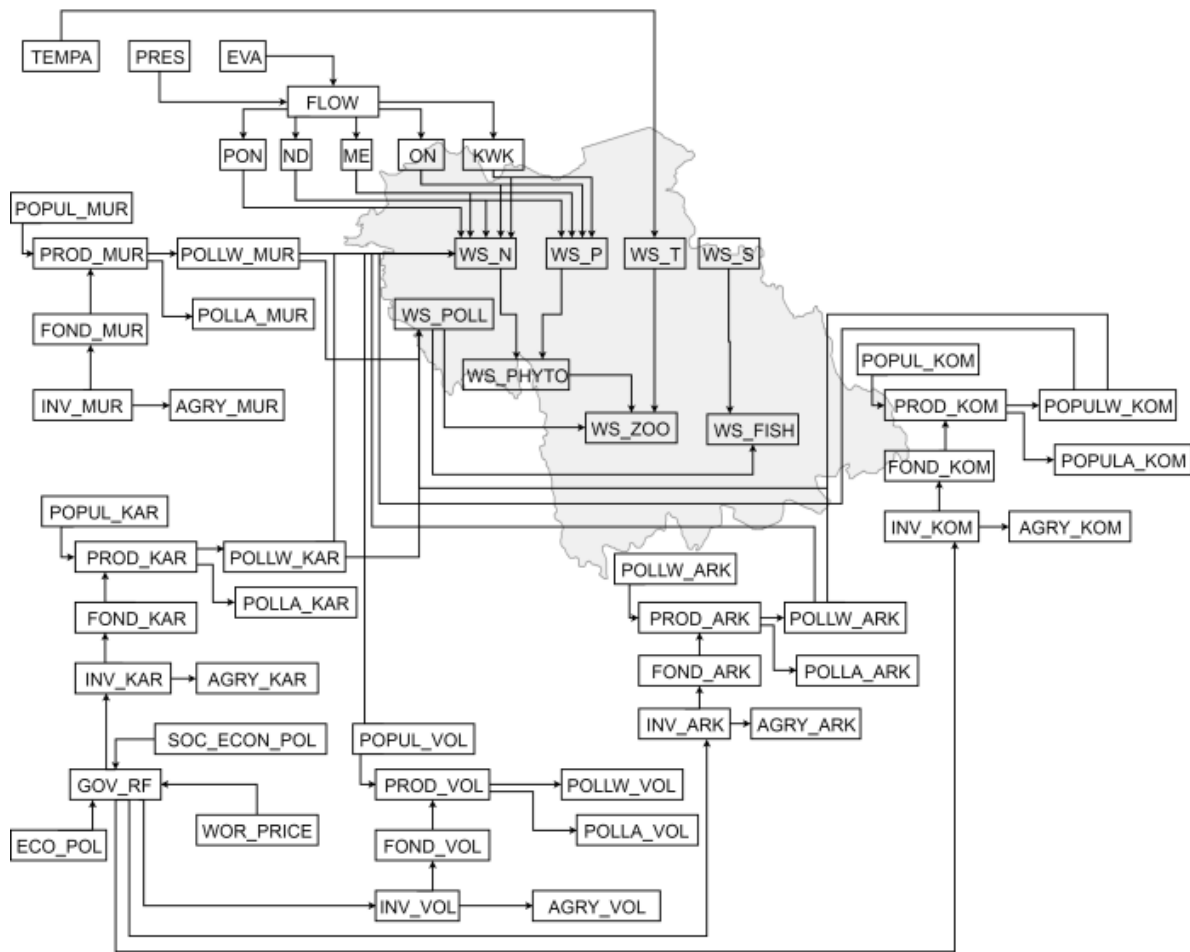


Рис. 1. Когнитивная карта социо-эколого-экономической системы бассейна Белого моря (объяснение обозначений переменных дано в тексте [Меншуткин и др., 2018])

Fig. 1. Cognitive map of the socio-ecological and economic system of the White Sea basin (explanation of the notation of variables is given in the text [Menshutkin et al., 2018])

Валовый региональный продукт PROD и распределение инвестиций рассматривались по трём направлениям — на новое строительство, на модернизацию и на природоохранную деятельность. Управляющая часть модели посвящена выработке такого распределения инвестиций по регионам, которое при заданной их сумме обеспечит наилучшее развитие всех субъектов РФ, входящих в водосбор Белого моря. Трудность этой задачи заключается в первую очередь в выработке формы критерия для подобного управления. Естественное стремление максимизировать (улучшить) уровень жизни населения наталкивается на сложность вычисления такого критерия CR по данным, которые могут быть представлены в настоящей модели [Золотокрылин и др., 2012]. Обязательными составляющими этого критерия должны быть валовой региональный продукт (PROD) и минимальная загрязнённость окружающей среды не только в регионах, но и в акватории Белого моря (WS_POLL). При определении CR производится суммирование данных за последние 20 лет функционирования модели (2010–2030 гг.). Величины инвестиций полагаются постоянными во времени и одинаковыми для всех территориальных подразделений.

Практическое применение этого критерия использовалось для выяснения соотношения величины инвестиций в развитие регионов INV и демографической характеристики роста населения kb для достижения наилучших условий жизни населения. В период кризиса, когда инвестиции были близки к нулю, намечалась тенденция к снижению уровня жизни с ростом численности населения Беломорья. Это, собственно, и было причиной массового

оттока людей из районов Севера [Регионы России, 2018]. Однако с ростом инвестиций обнаруживается необходимость роста численности населения для продуктивного использования этих инвестиций.

Учёт местных особенностей, например, разнообразия специализации промышленного производства, разницы климатических условий и других факторов может привести к более реалистичным результатам.

Вторая когнитивная модель социо-эколого-экономической системы Беломорья была предоставлена в работе авторов [Меншуткин, Филатов, 2019], основная целевая функция которой была рассчитана на то, чтобы оценить возможности повышения уровня жизни населения с использованием рыболовства — традиционного занятия местного населения поморов. Рассматривались условия климатических изменений, рыночной экономики, антропогенных воздействий, загрязнения, эвтрофирования моря и др. факторов, влияющих на воспроизводство, численность рыб, а также условия проживания населения. Смена социально-экономической модели общественного устройства страны привела после 1991 г. к негативным последствиям в рыбном хозяйстве. Вылов рыбы и выпуск товарной рыбной продукции к 2015 г. сократился более чем в 2,2 р. При создании модели оптимальное управление рыболовством трактовалось как нахождение таких режимов промысла, которые обеспечивали бы максимальный вылов при сохранении рыбных запасов, что соответствовало теории жизни рыб Ф. Баранова [Стасенков и др., 2011; Шибяев, 2015]. В настоящей работе целевая функция управления переключается с максимизации выловов на достижение максимально высокого уровня жизни населения. При этом сам критерий оптимальности управления — уровень жизни населения — выражается более чем десятком различных параметров [Курзнев, Матвеев, 2018]. Кроме валового регионального продукта на душу населения, это ещё и продолжительность жизни людей, состояние окружающей среды, коэффициент Джинни о неравенстве доходов, уровень преступности в регионе и др. Блок-схема или когнитивная карта модели социо-эколого-экономической системы представлена на рис. 2.

В качестве основного параметра, отражающего экономическую деятельность на водосборе, является валовой региональный продукт (ВРП), формирование которого зависит от ресурсов рабочей силы и производственных фондов, включает орудия лова, состояние рыбопромыслового флота и предприятий по переработке рыбы. Показано, что промысловые биологические ресурсы Белого моря при определённых условиях способны обеспечить не только потребности местного населения (условно поморов), но и улучшить социально-экономические условия жизни населения регионов Беломорья [Дружинин и др., 2018; Иконникова и др., 2015]. Значимой величиной для всей системы является уровень жизни населения (POP_L), который служит целевой функцией в процессе оптимального управления всей моделируемой системой [Власов, Шимко, 2005; Гузинаров и др., 2013]. В разрабатываемой модели предполагается, что уровень жизни населения определяется продукцией, приходящейся на душу населения и низким уровнем загрязнения окружающей среды (POLL). Отток населения из региона Беломорья (MIG) полагается пропорциональным ухудшению уровня жизни населения (POP_L).

На рис. 3. представлены результаты расчётов динамики системы с учётом влияния изменений социально-экономической ситуации STATE, валового регионального продукта на темпы роста рыб и численности рыб и уровень жизни населения.

Выполненные расчёты на когнитивной модели эколого-социо-экономической системы Беломорья показали, что уровень жизни виртуального населения определялся в модели продукцией, приходящейся на душу населения, и минимальным (в понимании когнитивного подхода, т. е. близким к нулю) уровнем загрязнения окружающей среды.

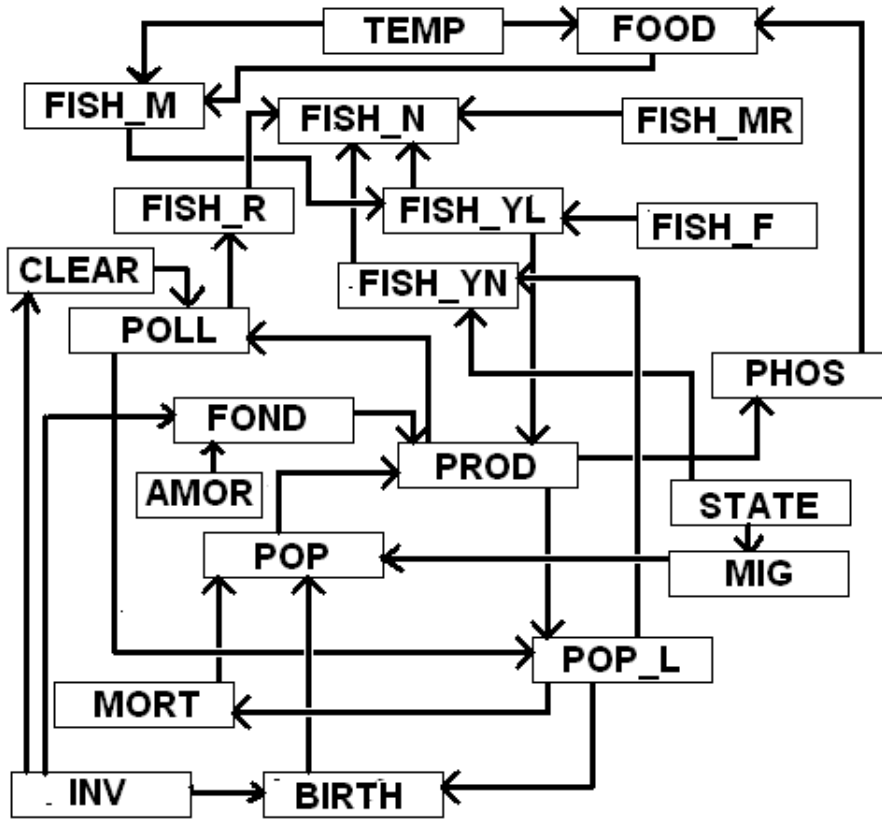


Рис. 2. Когнитивная карта модели повышения уровня жизни населения региона с использованием рыболовства.

TEMP — температура вод Белого моря, *FOOD* — кормовая база рыб, *FISH_M* — темпы роста рыб, *PHOS* — фосфорная нагрузка, *FISH_N* — численность рыб, *FISH_R* — пополнение рыбной популяции, *FISH_MR* — общая убыль (смертность), которая складывается из естественной смертности и промысловой убыли, *FISH_YL* — легальный вылов, определяется *FISH_F* — усилиями рыболовства, *FISH_YN* — нелегальный вылов, *STATE* — социо-экономическая ситуация, *PROD* — валовой региональный продукт, *POP* — численность населения, *FOND* — фондовооружённость отрасли: орудия лова, состояние рыбопромыслового флота и предприятий по переработке рыбы, *AMOR* — величина сокращения фондов за счёт амортизации, *INV* — величина увеличения фондов за счёт инвестиций, *CLEAR* — интенсивность и качество работы очистных сооружений, *BIRTH* — прирост численности населения, *MORT* — смертность населения, *MIG* — величина миграции, *POLL* — загрязнение окружающей среды, *POP_L* — уровень жизни населения

Fig. 2. Cognitive map of the model for improving the living standards of the population of the region using fisheries.

TEMP — White Sea water temperature, *FOOD* — fish feed base, *FISH_M* — fish growth rate, *PHOS* — phosphorus load, *FISH_N* — number of fish, *FISH_R* — replenishment of fish population, *FISH_MR* — total loss (mortality), which is composed of natural mortality and fishing loss, *FISH_YL* — legal catch determined *FISH_F* — fishing efforts, *FISH_YN* — illegal catch, *STATE* — socio-economic situation, *PROD* — gross regional product, *POP* — population, *FOND* — capital-labor ratio of the industry: fishing gear, state of the fishing fleet and fish processing enterprises, *AMOR* — depreciation of funds due to depreciation, *INV* — amount of increase in funds due to investments, *CLEAR* — the intensity and quality of the treatment plant; *BIRTH* — population growth, *MORT* — mortality, *MIG* — migration rate, *POLL* — environmental pollution, *POP_L* — standards of living

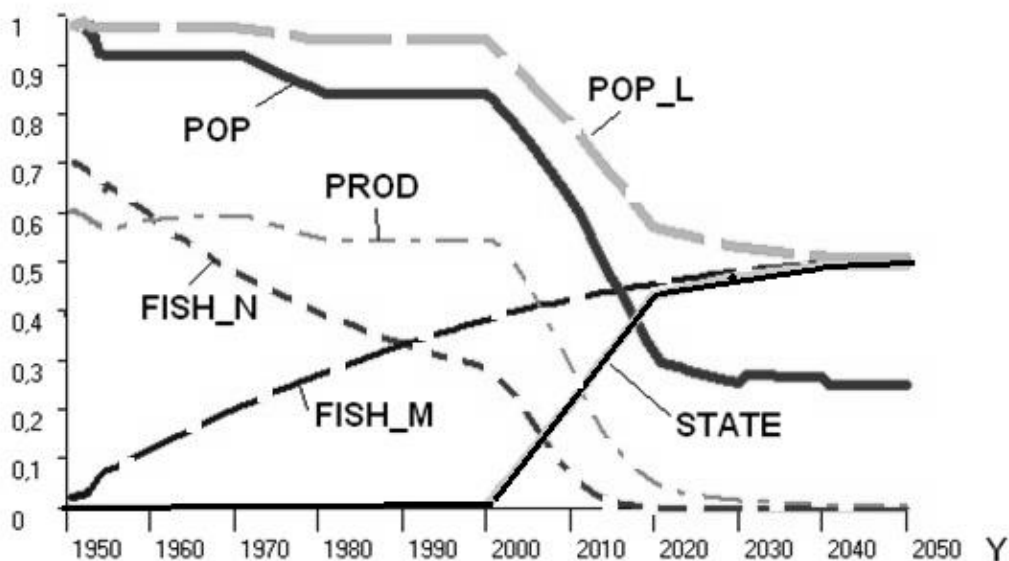


Рис. 3. Динамика системы с учётом изменений социально-экономической ситуации (STATE) [Менишуткин и др., 2019]

Fig. 3. The dynamics of the system, taking into account changes in the socio-economic situation (STATE) [Menshutkin et al., 2019]

Отметим, что основной смысл настоящего исследования заключается вовсе не в предостерегающих или многообещающих прогнозах развития рыбного хозяйства в Белом море и демографических изменений в Беломорье, а в том, чтобы с помощью когнитивного подхода показать возможность рассмотреть сложную систему с учётом разных сценариев экономики, состояния окружающей среды моря и водосбора, изменений климата и др. параметров.

В третьей модели для этого региона [Менишуткин, Филатов, 2020] решалась многокритериальная задача определения такого режима управляющих воздействий, который обеспечил бы достижение максимальной величины уровня жизни населения региона при разных сценариях состояния экономики (промышленности, сельского хозяйства) и изменений климата. Модель предназначена для разных целей управления, например, повышения уровня жизни населения, охраны окружающей среды, развития разных отраслей экономики. В модели рассматриваются изменения для системы водосбора, а не отдельных субрегионов. Схема модели представлена на рис. 4. Входные переменные модели — климатические условия, а также суммарный годовой сток рек в Белое море FLOW. Последняя величина разделяется по рекам Северная Двина, Мезень, Онега, Поной, а также Кемь, Нижний Выг и Ковда. Значения всех перечисленных величин по годам оцениваются по данным измерений [Филатов и др., 2019].

Созданная модель оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоём – водосбор обладает свойством перехода из произвольного начального состояния в новое устойчивое состояние за время, равное примерно 20 годам. Это состояние определяется внешними условиями: климатом (CLIMAT), наличием минеральных ресурсов (MINER) и инвестициями (INVEST) в увеличение рождаемости населения (C_BIRTH), развитие производственных фондов (C_FOND), совершенствование водоочистки (C_CLEAN), а также в развитие сельского хозяйства и рыболовства (C_AGRY, C_FISH). В модели менялись только внешние условия, а управляющие воздействия подбирались таким образом, чтобы максимально обеспечить условия жизни населения. С помощью этой когнитивной модели оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоём – водосбор выполнены 10 экспериментов с разными сценариями изменения климата, уровня

инвестиций в производственные фонды, охрану окружающей среды (в данном случае в очистку промышленных и бытовых стоков), развитие сельского хозяйства, рыбную промышленность — одно из важнейших занятий местного населения. Отметим, что предложенная модель на настоящем этапе представляет методический интерес, а результаты применимы при обосновании разрабатываемых систем поддержки принятия решения, но не для инженерных расчётов, а также для поиска оптимальной стратегии природопользования.

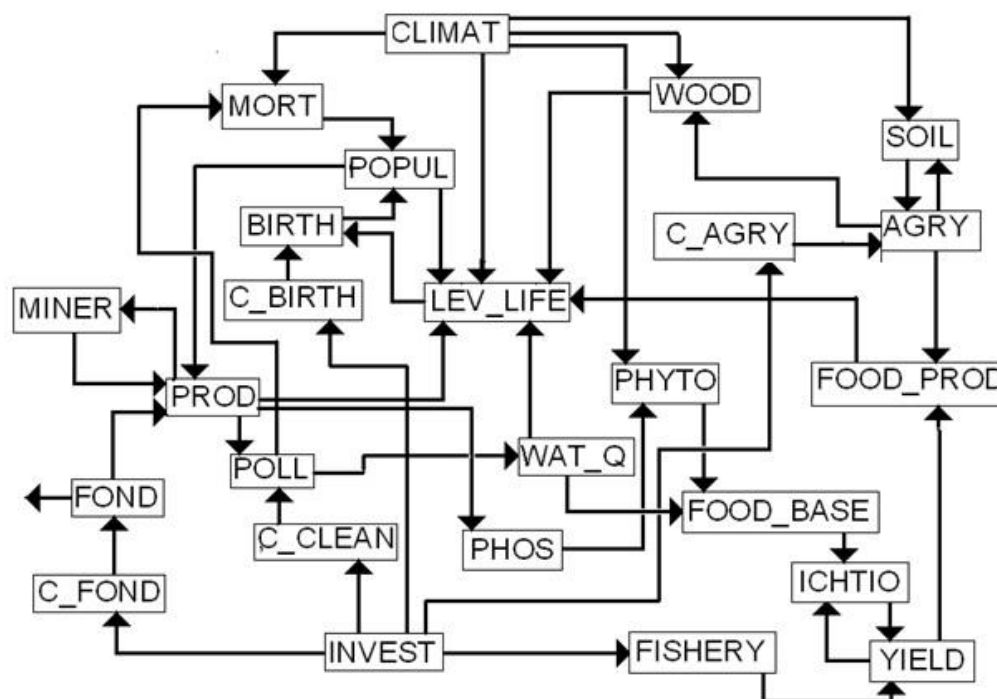


Рис. 4. Когнитивная карта эколого-социо-экономической системы для Беломорья.

CLIMAT — климатические условия, POPUL — численность населения, MORT — смертность населения, BIRTH — рождаемость населения, LEV_LIFE — уровень жизни населения, PROD — валовой продукт, FOND — производственные фонды, MINER — запасы минерального невозобновляемого сырья, POLL — загрязнение окружающей среды, WAT_Q — качество воды, FOOD_BASE — кормовая база промысловых рыб, ICHTIO — ихтиомасса промысловых рыб, YIELD — вылов рыбы, FISHERY — инвестиции в развитие рыболовства, WOOD — площадь, занимаемая лесами, SOIL — качество почвы, AGRY — интенсивность сельского хозяйства, FOOD_PROD — производство пищевых продуктов для населения, C_BIRTH — инвестиции для увеличения рождаемости, C_CLEAN — инвестиции в средства очистки промышленных и бытовых стоков, C_FOND — инвестиции в развитие промышленных фондов, C_AGRY — инвестиции в развитие сельского хозяйства, INVEST — суммарные инвестиции [Меншуткин и др., 2019]

Fig. 4. Cognitive map of the ecological-socio-economic system for the White Sea.

CLIMAT — climatic conditions, POPUL — population, MORT — mortality, BIRTH — birth rate, LEV_LIFE — living standards, PROD — gross product, FOND — production assets, MINER — stocks of mineral non-renewable raw materials, POLL — environmental pollution, WAT_Q — water quality, FOOD_BASE — forage base of commercial fish, ICHTIO — ichthyomass of commercial fish, YIELD — fishing, FISHERY — investments in fisheries development, WOOD — the area occupied by forests, SOIL — soil quality, AGRY — agricultural intensity, FOOD_PROD — food production for the population, C_BIRTH — investments to increase fertility, C_CLEAN — investments in industrial and domestic wastewater treatment facilities, C_FOND — investments in the development of industrial funds, C_AGRY — investments in agricultural development, INVEST — total investment [Menshutkin et al., 2019]

Четвёртая когнитивная модель для социо-эколого-экономической системы Беломорья, в отличие от предыдущих, имеет иерархическую структуру, включающую 5 подмоделей, объединённых общей системой управления (рис. 5). Модель даёт возможность определения разных целевых показателей, направленных на оценку возможностей повышения уровня жизни населения, рационального использования и охраны окружающей среды, развития социальной сферы Беломорья, важных для достижения устойчивого развития региона. В отличие от традиционных когнитивных моделей, в настоящей предусматривается изменение переменных во времени за 100 лет, что позволяет описать связь агентов взаимодействия и охарактеризовать механизмы их взаимной адаптации. Временной шаг модели принят равным одному году. Использование математического аппарата вероятностной логики делает процесс создания и программной интерпретации модели более простым. На рис. 6 представлен когнитивный граф подмодели водной системы.

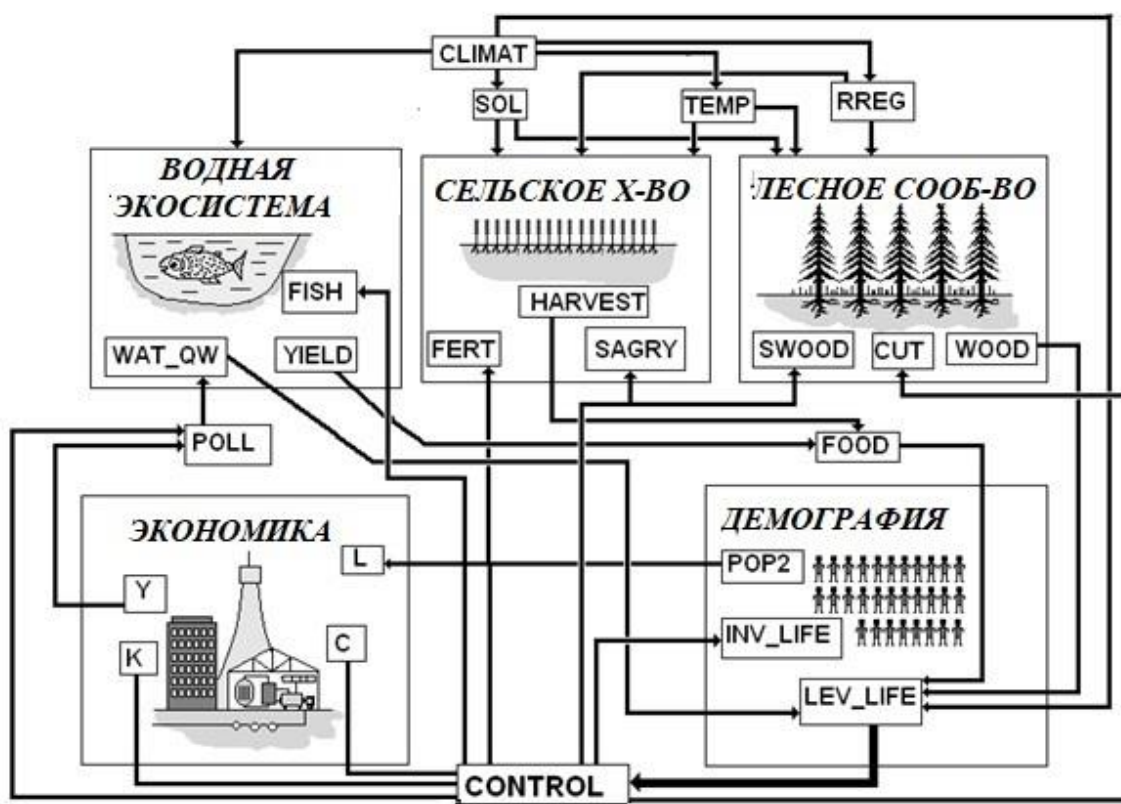


Рис. 5. Общая блок-схема эколого-социо-экономической модели региона.

Y — валовой региональный продукт, K — капитал или производственные фонды, L — численность работоспособного населения, INV — инвестиции, C — потребление.

Другие условные обозначения приведены в тексте

Fig. 5. The general block diagram of the ecological-socio-economic model of the region.

Y — gross regional product, K — capital or production assets,

L — the working-age population, INV — investment, C — consumption.

Other conventions are given in the text

Подмодель «водная экосистема Белого моря» в данном случае представлена одной популяцией промысловой рыбы — навагой, состоящей из 6 возрастных групп, и параметров, характеризующих биомассу фито-, зоопланктона и бентоса. Важность включения рыб в модель обусловлена тем, что рыболовство значительно влияет на условия проживания

населения — поморов Беломорья. В основу подмодели положены модели, разработанные ранее для более сложных объектов, в которых учитывались принципы сохранения вещества и энергии, например для Ладожского озера и Финского залива. На рис. 6 представлена динамика элементов модели за 100 лет при синусоидальных 30-летних (временной масштаб климатической нормы) колебаниях климатических условий **CLIMAT**, которые определяются параметрами **TEMP**, **SOL** и **PREC**.

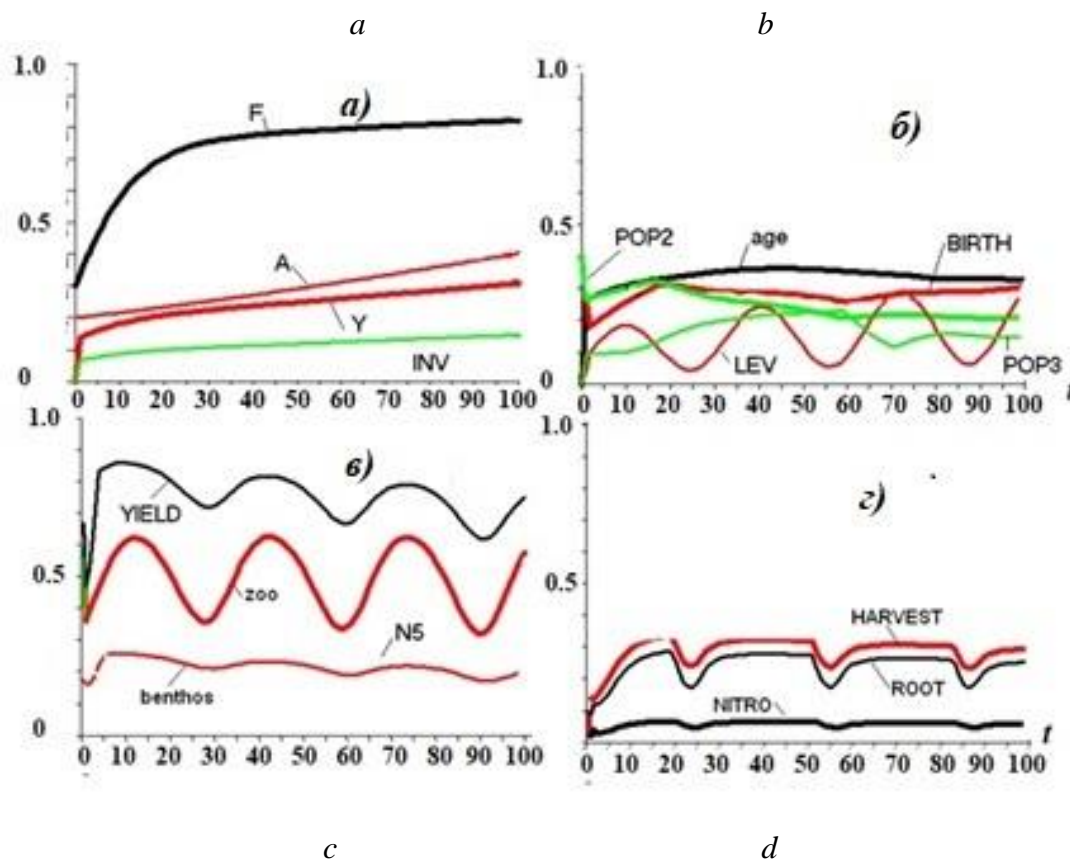


Рис. 6. Динамика характеристик системы региона на синусоидальные изменения климатических условий ($CLIMAT(t) = 0.2 + 0.8 * (1 + \sin(0.2 * t)) / 2$).

Подсистемы: а) экономика, б) демография, в) водная экосистема, г) агроценоз
 Fig. 6. Dynamics of the characteristics of the region's system for sinusoidal changes in climatic conditions ($CLIMAT(t) = 0.2 + 0.8 * (1 + \sin(0.2 * t)) / 2$).

Subsystems: a) economics, b) demography, c) water ecosystem, d) agroecosystem

При реализации модели все остальные внешние воздействия полагаются постоянными во времени. На экономическую часть системы в рассматриваемой модели колебания климата практически не влияют; нет заметных квазипериодических 30-летних колебаний, в то время как в демографической подмодели колебания климата оказывают заметное влияние на уровень жизни населения, который испытывает квазициклические 30-летние флуктуации. Такие же заметные колебания отмечаются в водной экосистеме, которые проявляются в колебаниях вылова рыб, состояния фито- и зоопланктона (рис. 6). Однако для бентоса это не характерно. В параметрах, характеризующих сельское хозяйство, нет заметных проявлений этих климатических флуктуаций. Неблагоприятными для урожая оказываются только годы с минимальными значениями среднегодовой температуры.

ВЫВОДЫ

Представлен краткий обзор особенностей четырёх когнитивных моделей для социально-эколого-экономической системы Беломорья. Полученные результаты могут представлять интерес для разработки подходов к устойчивому региональному развитию в условиях многофакторного воздействия.

Модель даёт возможность определения разных целевых показателей, направленных на оценку возможностей повышения уровня жизни населения, рационального использования и охраны окружающей среды, развития социальной сферы Беломорья, важных для достижения устойчивого развития региона.

БЛАГОДАРНОСТИ

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института водных проблем Севера КарНЦ РАН (АААА-А18-118032290034-5) и Института региональной экономики РАН (АААА-А19-119-021390164-1).

ACKNOWLEDGEMENTS

Research funding was provided from the federal budget to fulfill the state task of the Northern Water Problems Institute of the KarRC RAS (АААА-А18-118032290034-5) and the of Regional Economics Institute of the RAS (АААА-А19-119-021390164-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альбертин С.В. Когнитивное моделирование как способ научного познания и творчества. Гуманитарные научные исследования, 2016. № 8 (60). Электронный ресурс: URLhttp://human.snauka.ru//2016/08/1629289 (дата доступа 15.03.2020).
2. Белое море и водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 349 с.
3. Власов М.П., Шимко П.Д. Моделирование экономических процессов. Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. 409 с.
4. Горелова Г.В., Рябцев В.Н. Когнитивный подход к исследованию геополитических процессов в мировых регионах и когнитивное моделирование их развития (на примере Черноморско-Каспийского региона). Инженерный вестник Дона, 2012. № 4–2. Т. 23. 21 с. Электронный ресурс: <http://www.ivdon.ru/ru> (дата доступа 20.12.2019).
5. Гузинаров М.Б., Ильясов Б.Г., Вакиева Е.Ш., Герасимова И.Б. Когнитивная модель формирования показателя уровня жизни. Вестник УГАТУ, 2013 Т. 17. № 2 (53). С. 216–226.
6. 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. ИнтерКарто. ИнтерГИС. Геоинформационное обеспечение устойчивого развития территорий: Материалы Междунар. конф. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2018. Т. 24. Ч. 1. С. 297–309. DOI: <http://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-297-309>.
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. Иконникова О.В., Зыкова Н.В., Гарина Я.Н. Проблемы развития рыбопереработки в промысловых районах Арктики. Сельское, лесное и водное хозяйство, 2015. № 4 (43). С. 15–18.
10. Курзенев В.Т., Матвеев В.Д. Экономический рост. СПб.: Питер, 2018. 608 с.
11. Макаров В.Л., Бахтизин А.Р. Социальное моделирование — новый компьютерный прорыв (агент-ориентированный подход). М.: Экономика, 2013. 295 с.
12. Менишуткин В.В., Филатов Н.Н. Когнитивное моделирование влияния рыболовства на уровень жизни населения Беломорья. Труды Карельского научного центра РАН.

Лимнология и Океанология, 2019. № 9. С. 145–154. DOI: 10.17076/lim1120.

13. Менишуткин В.В., Филатов Н.Н. Моделирование оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоём – водосбор на примере Беломорья. Водные ресурсы, 2020. Т. 47. № 3. С. 348–357. DOI: 10.1134/S0097807820030100.

14. Менишуткин 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. М.: Наука, 2003. 175 с.
16. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2018. Статистический сборник. М.: Росстат, 2018. 1162 с.

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

18. Толстиков А.В., Чернов И.А. Изменчивость биогеохимических процессов в Белом море для разных климатических условий по данным моделирования. Труды Карельского Научного Центра РАН. Серия: Экспериментальная биология, 2019. № 6. С. 1–11. DOI: 10.17076/eb95.

19. Филатов Н.Н., Назарова Л.Е., Дружинин П.В. Влияние климатических и антропогенных факторов на состояние системы Белое море – водосбор. Лимнология и Океанология, 2019. № 9. С. 30–50. DOI: 10.17076/lim1117.

20. Шерстков А.С., Фролов С.Б., Шерстков В.С. Проблемы рыболовства в Белом море и пути их решения. Биологические ресурсы Белого моря и внутренних водоёмов Европейского Севера: Материалы XXVIII Междунар. конф. 5–8 окт. 2009 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 637–642.

21. Шубаев С.В. Формальная теория жизни рыб Ф.И. Баранова и её значение в развитии рыбохозяйственной науки. Труды ВНИРО, 2015. Т. 157. С. 127–142.

22. Crépin A-S., Karcher M., Gascard J-C. Arctic climate change, economy and society. Integrated perspectives. *Ambio. A Journal of the Human Environment*, 2017. No 46. Suppl. 3. P. 341–354. DOI 10.1007/s13280-017-0953-3.

23. IPCC, 2014. 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. Geneva: IPCC, 2014. 151 p.

24. Kosko B. Fuzzy thinking. New York: Hyperion, 1993. 318 p.

25. 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. DOI: 10.4324/9781315109954.

26. Ross D. Economic theory and cognitive science: microexplanation. A Bradford Book. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2005. 444 p.

REFERENCES

1. Albertin S.V. Cognitive modeling as a way of scientific knowledge and creativity. *Humanities scientific researches*, 2016. No 8 (60). Web resource: URL <http://human.snauka.ru/2016/08/1629289> (accessed 15.03.2020) (in Russian).

2. Crépin A-S., Karcher M., Gascard J-C. Arctic climate change, economy and society. Integrated perspectives. *Ambio. A Journal of the Human Environment*, 2017. No 46. Suppl. 3. P. 341–354. DOI 10.1007/s13280-017-0953-3.

3. Druzhinin P.V., Filatov N.N., Moroshkina M.V., Derusova O.V., Potasheva O.V. Modeling and spatial analysis of the ecological and economic status of the watershed of the White Sea. *InterCarto. InterGIS. GI support of sustainable development of territories: Proceedings of the International conference*. Petrozavodsk: KRC RAS, 2018. V. 24. Part 1. P. 297–309. DOI: <http://doi.org/10.24057/2414-9179-2018-1-24-297-309> (in Russian, abs English).

4. *Filatov N.N., Nazarova L.E., Druzhinin P.V.* The influence of climatic and anthropogenic factors on the state of the White Sea – catchment system. *Limnology and Oceanology*, 2019. No 9. P. 30–50. DOI: 10.17076 / lim1117 (in Russian).
5. *Gorelova G.V., Ryabtsev V.N.* Cognitive approach to the study of geopolitical processes in world regions and cognitive modeling of their development (on the example of the Black Sea-Caspian region). *Engineering Journal of Don*, 2012. No 4–2. V. 23. 21 p. Web resource: <http://www.ivdon.ru/ru> (accessed 20.12.2019) (in Russian).
6. *Guzinarov M.B., Ilyasov B.G., Vakieva E.Sh., Gerasimova I.B.* The cognitive model of the formation of an indicator of the standard of living. *Herald of USATU*, 2013. V. 17. No 2 (53). P. 216–226 (in Russian).
7. *Ikonnikova O.V., Zykova N.V., Garina Y.N.* Problems of development of fish processing in the fishing regions of the Arctic. *Agriculture, Forestry and Water Management*, 2015. No 4 (43). P. 15–18 (in Russian).
8. IPCC, 2014. *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.* Geneva: IPCC, 2014. 151 p.
9. *Kosko B.* *Fuzzy thinking.* New York: Hyperion, 1993. 318 p.
10. *Kurzenev V.T., Matveenko V.D.* *The economic growth.* St. Petersburg: Peter, 2018. 608 p. (in Russian).
11. *Makarov V.L., Bakhtizin A.R.* *Social modeling is a new computer breakthrough (agent-based approach).* Moscow: Economy, 2013. 295 p. (in Russian).
12. *Menshutkin V.V., Filatov N.N.* Cognitive modeling of the impact of fishing on the living standards of the White Sea population. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Limnology and Oceanology*, 2019. No 9. P. 145–154 DOI: 10.17076 / lim1120 (in Russian).
13. *Menshutkin V.V., Filatov N.N.* Modeling the optimal management of the ecological, socio-economic reservoir-catchment system using the example of the White Sea. *Water Resources*, 2020. V. 47. No 3. P. 348–357. DOI: 10.1134 / S0097807820030100 (in Russian).
14. *Menshutkin V.V., Filatov N.N., Druzhinin P.V.* The state and forecasting of the socio-ecological and economic system of the White Sea catchment using cognitive modeling. *Arctic. Ecology. Economy*, 2018. No 2 (30). P. 79–85. DOI: 10.25283 / 2223-4594-2018-2-4-17 (in Russian).
15. *Modeling the socio-ecological and economic system of the region.* Moscow: Nauka, 2003. 175 p. (in Russian).
16. *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. DOI: 10.4324/9781315109954.
17. *Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2018. Statistical Digest.* Moscow: Rosstat, 2018. 1162 p. (in Russian).
18. *Ross D.* *Economic theory and cognitive science: microexplanation.* A Bradford Book. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 2005. 444 p.
19. *Sherstkov A.S., Frolov S.B., Sherstkov V.S.* Problems of fishing in the White Sea and ways to solve them. *Biological resources of the White Sea and inland waters of the European North: Materials of the XXVIII International conference.* Oct. 5–8, 2009. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2009. P. 637–642 (in Russian).
20. *Shibaev S.V.* The formal theory of fish life by F.I. Baranov and its significance in the development of fisheries science. *Proceedings of VNIRO*, 2015. V. 157. P. 127–142 (in Russian).
21. *Stasenkov V.A., Studenov I.I., Novoselov A.P.* *Pomor's fisheries.* Murmansk: PINRO, 2011. 264 p. (in Russian).
22. *The White Sea and the catchment under the influence of climatic and anthropogenic factors.* Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. 349 p. (in Russian).
23. *Tolstikov A.V., Chernov I.A.* Variability of biogeochemical processes in the White Sea for

different climatic conditions according to modeling. Proceedings of Karelian Research Center of RAS. Series: Experimental Biology, 2019. No 6. P. 1–11. DOI: 10.17076 / eb95 (in Russian).

24. *Vlasov M.P., Shimko P.D.* Modeling of economic processes. Rostov-on-Don: Phoenix, 2005. 409 p. (in Russian).

25. *Zade L.* The concept of a linguistic variable and its application in making of approximate decisions. Moscow: Mir, 1976. 165 p. (in Russian).

26. *Zolotokrylin A.N., Krenke A.N., Vinogradova V.V.* Zoning of Russia according to the natural conditions of life of the population. Moscow: GEOS, 2012. 156 p. (in Russian).
