

DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17  
УДК 556.51:556.5.072 (268.46)

## СОСТОЯНИЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СОЦИО-ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ВОДОСБОРА БЕЛОГО МОРЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОГНИТИВНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**В. В. Меншуткин**

ФГБУН Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН  
(Санкт-Петербург, Российская Федерация)

**Н. Н. Филатов**

Институт водных проблем Севера ФИЦ «Карельский научный центр РАН»  
(Петрозаводск, Российская Федерация)

**П. В. Дружинин**

Институт экономики ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (Петрозаводск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 11 апреля 2018 г.

*Разработана когнитивная модель, отражающая динамику окружающей среды, экономические и социальные процессы, происходящие в субъектах Российской Федерации, входящих в Арктическую зону, в частности на территории водосбора Белого моря. Рассматриваются влияние изменений климата, особенности воздействия экономической деятельности на окружающую среду (море и водосбор) и проживание населения на водосборе Белого моря. Показаны особенности развития регионов, которые определяют динамикой инвестиций, при этом в северных регионах водосбора Белого моря в 1990-х годах они сократились в 5–10 раз, и лишь два региона (Вологодская и Архангельская области) к 2010 г. смогли достичь дореформенного уровня. Остальные регионы получали инвестиции примерно в два раза меньше, чем в 1990 г. Рассмотрены современное состояние и изменения социальной сферы, окружающей среды, зависящие от объемов загрязнений, поступления биогенов на водосбор и в море, а также от выбросов в атмосферу, сформированных как на водосборе, так и трансграничными переносами.*

*Модель предназначена для прогнозирования на качественном уровне происходящих изменений сложной социо-эколого-экономической системы при различных сценариях природопользования и изменений климата, что может служить основой для построения системы количественных моделей и разработки систем поддержки принятия управленческих решений для достижения устойчивого развития социально-экономической системы регионов.*

**Ключевые слова:** система, социальная, население, экономика, окружающая среда, модель, когнитивная, прогнозирование, управление, климат, море, водосбор.

### Введение

Решение проблемы устойчивого развития человеческого общества невозможно без учета его взаимодействия с окружающей средой. Применительно к проблемам Арктики, в частности Белого моря, необходимо исследовать динамику не только экологических систем моря, но и процессов, происходящих на его водосборном бассейне в экономике, окружающей среде и социальной сфере. В работе ставится задача разработки подходов к оптимальному

управлению сложной социо-эколого-экономической системой Белого моря и водосбора (для краткости — Беломорья). Опыт создания системы управления подобным водным комплексом «Ладожское озеро — река Нева — Невская губа — восточная часть Финского залива» [1; 2], а также в бассейне Великих американских озер [3] показал, что наиболее эффективным для описания экосистемных и социально-экономических процессов является сочетание сложных комплексных моделей с простыми моделями отдельных элементов.

© Меншуткин В. В., Филатов Н. Н., Дружинин П. В., 2018

Водосбор Белого моря составляет более 10% Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ) и занимает около 720 тыс. км<sup>2</sup>, охватывая значительные части территорий Мурманской, Архангельской, Вологодской областей, Республики Карелия и Республики Коми, а также небольшую часть Кировской области и Ненецкого автономного округа. При этом Вологодская, Кировская области и Республика Коми (за исключением города Воркуты) не входят в АЗРФ, но играют важную роль в формировании комплекса процессов на водосборе Белого моря.

Как отмечали А. Ф. Алимов и др. [4], в Белом море в последние 20 лет значительно сократились объемы морского промысла водорослей (примерно в 5 раз), рыбы (в 17—20 раз), морских млекопитающих (в 10 раз). Возникли серьезные проблемы для проживания населения. Эти кризисные явления связаны вовсе не с оскудением природных ресурсов, а во многом обусловлены особенностями функционирования экономики в новых условиях, несовершенством современной законодательной базы, регламентирующей экономическую и природоохранную деятельность [4—6].

### Анализ состояния развития Беломорья в последние два десятилетия

Развитие экономики северных территорий России сдерживается наличием большого количества проблем, связанных с суровым климатом, высокими затратами на производство и социальную сферу и ограниченным локальным рынком. Периферийное положение региона обуславливает низкую плотность населения, концентрированность его в небольшом количестве населенных пунктов и на побережье Белого моря, где традиционным занятием поморов была рыбная ловля, разведение марикультур. Развитие рассматриваемых северных регионов зависит всего от нескольких видов сырья, добыча которых составляет основу их экономики, при этом потребность в них на мировом рынке и их цена подвержены значительным колебаниям, что сильно сказывается на экономике добывающих предприятий и доходах бюджета регионов. Условия жизни на Севере, прежде всего климат, оказывают негативное воздействие на здоровье и продолжительность жизни людей, места обитания малых народов Севера и требуют соблюдения особого режима природопользования [7].

Наиболее успешно европейский Север развивался в XX в., чему способствовал быстрый рост потребностей экономики СССР в ресурсах. Интенсивное освоение Севера проводилось в условиях особой социально-экономической политики, учитывавшей специфику северных территорий. Реформы 1990-х годов привели к значительному спаду экономики, хотя в добывающих отраслях он был не столь значителен, как в перерабатывающих [8; 9]. Спад в экономике привел к уменьшению доходов региональных бюджетов, что повлекло за собой возникновение

больших долгов. Перспективы развития регионов определяются динамикой инвестиций, которые концентрировались в центральных регионах страны, в то время как в северных регионах водосбора Белого моря в 1990-х годах они сократились в 5—10 раз. Остальные регионы получают инвестиций примерно в два раза меньше, чем в 1990 г. Уровень и состояние экономики определяют развитие социальной сферы, состояние окружающей среды, которое зависит от объема загрязнений, поступление биогенов на водосбор и в море, а также выбросов в атмосферу, сформированных как на водосборе, так и трансграничными переносами. Именно добывающий сектор и переработка ресурсов (металлургия, бумажная промышленность, деревообработка), в которые вкладываются основные инвестиции в Беломорье, являются основными источниками, влияющими на состояние окружающей среды. На рис. 1 представлено распределение инвестиций, которые на водосборе приурочены в основном к населенным пунктам (городам с развитой переработкой добываемого сырья), а также к прибрежной зоне Белого моря. Исключение составляет малонаселенный Терский берег на Кольском полуострове.

К концу 2010 г. два региона на водосборе (Архангельская и Вологодская области) достигли дореформенного уровня развития экономики, постепенно приближается к этому уровню Мурманская область (рис. 2). Три остальных региона Беломорья по валовому региональному продукту (ВРП) достигли лишь двух третей уровня 1990 г. На фоне определенного роста российской экономики после 1998 г. заметно отставание экономики регионов Беломорья.

Спад в экономике привел к непрекращающемуся оттоку населения, при этом чем севернее регион на водосборе, тем быстрее уменьшается его население (рис. 3), в то время как численность населения России в эти годы стабилизировалась [4]. Наименьшие потери населения понесла Вологодская область (87% к уровню 1990 г.), наибольшие — Мурманская область (64%) и Республика Коми (68%).

Антропогенное воздействие на окружающую среду водосбора Белого моря снизилось после 1991 г. первоначально за счет спада экономики, а затем за счет ее модернизации и инвестиций в охрану окружающей среды. Уменьшение воздействия на окружающую среду происходит медленно: так, выбросы в атмосферу от стационарных источников уменьшились за 10 лет лишь на 20%. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу сократились во всех шести регионах. Сбросы загрязненных сточных вод сократились за десять лет всего на 16%. Использование свежей воды во всех регионах Беломорья постепенно сокращается. В целом за 25 лет потребление свежей воды уменьшилось примерно в 2,5 раза в Кировской и Вологодской областях и лишь на 40% сократилось в Республике Коми. Наиболее заметная динамика сбросов загрязненных сточных вод приходится на начало 1990-х годов.

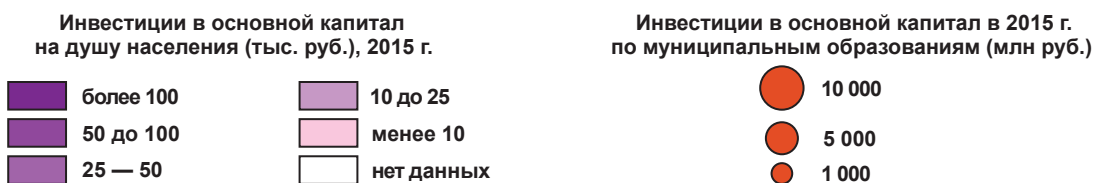
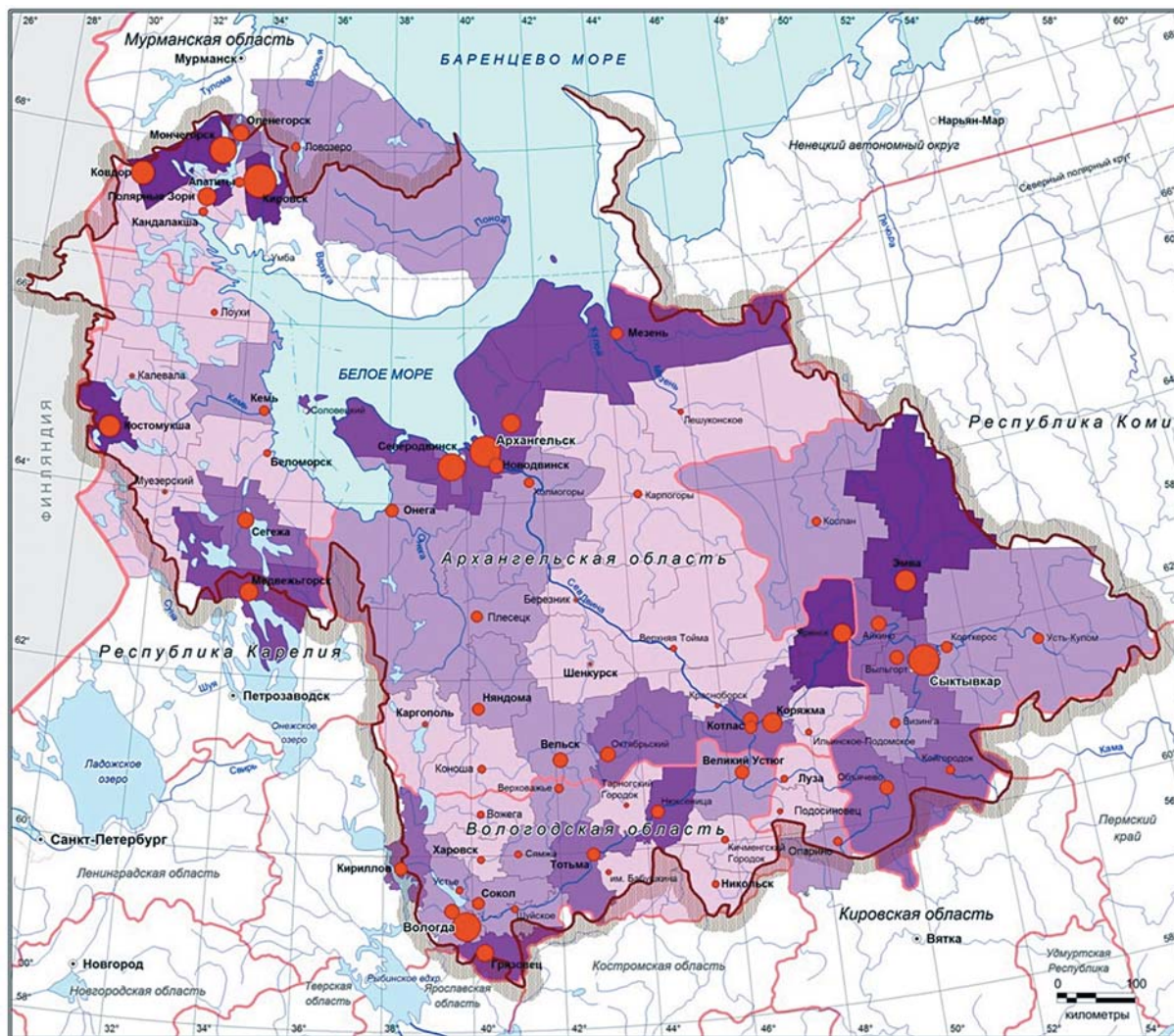


Рис. 1. Инвестиции в основной капитал на душу населения на водосборе Белого моря на 2015 г.

Для стратегического планирования экономики России чрезвычайно важны долгосрочные оценки возможных изменений климата и его влияния на водные и наземные экосистемы. Оценки изменения приземной температуры воздуха, полученные по данным длительных инструментальных измерений на водосборе Белого моря (рис. 4), отражают общие черты и тенденции изменения температуры нижнего слоя атмосферы в Северном полушарии в XX — начале XXI в. [10; 11]. Данные наблюдений свидетельствуют о почти синхронном характере изменчивости среднегодовой температуры воздуха от мыса Канин Нос до Калевалы и Каргополя с наличием квазипериодических колебаний с временными масштабами

порядка от двух до нескольких десятков лет, как было показано нами ранее.

В исследуемом регионе потепление с начала века к 1950-м годам сменилось похолоданием, на смену которому в 1980-е годы пришла новая волна потепления. В последние 20—25 лет преобладают положительные аномалии температуры воздуха. К началу XXI в. годовые суммы осадков увеличились практически по всему водосбору Белого моря. В целом выявлено заметное потепление климата на водосборе в последние несколько десятилетий по сравнению с климатической нормой 1960—1990 гг. Однако измерения последних 10 лет демонстрируют так называемый период замедления глобального

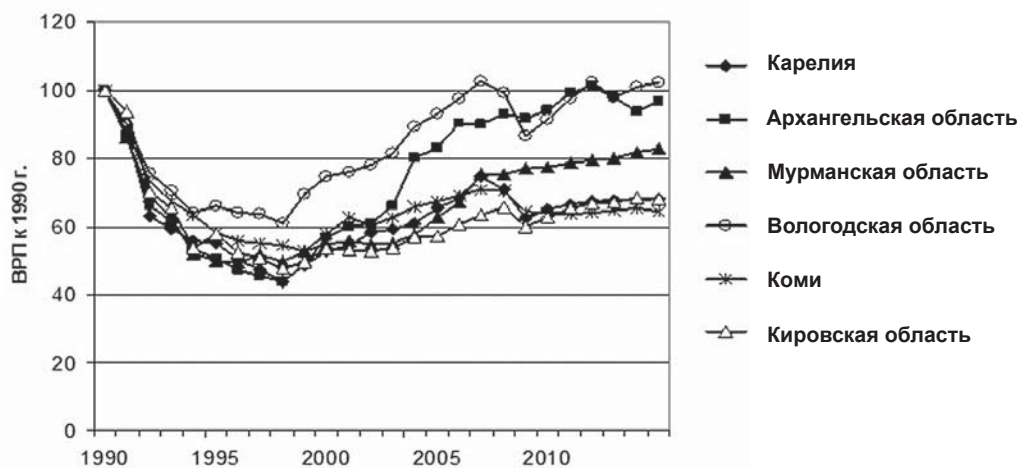


Рис. 2. Динамика ВРП шести регионов (1990–2015 гг.), полностью или частично входящих в водосбор Белого моря (% к 1990 г.)

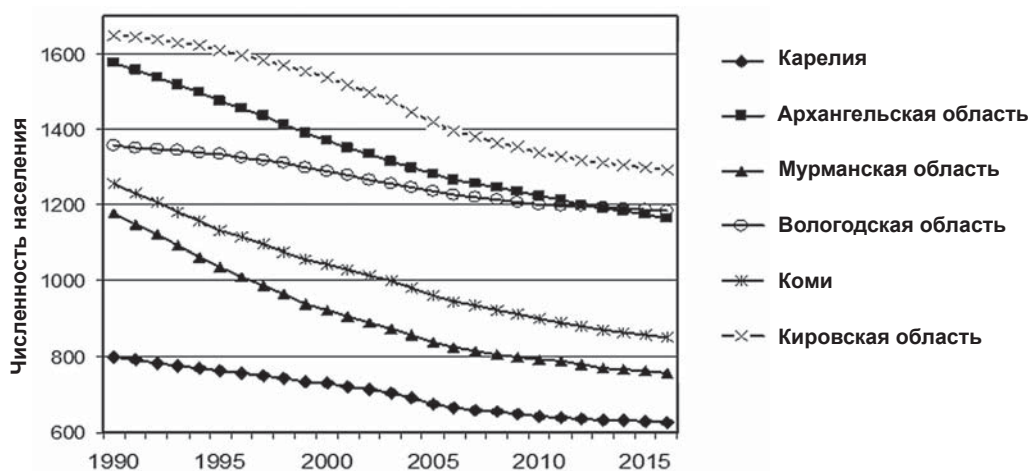


Рис. 3. Динамика численности населения регионов водосбора Белого моря (1990–2015 гг.), тыс. человек на конец года

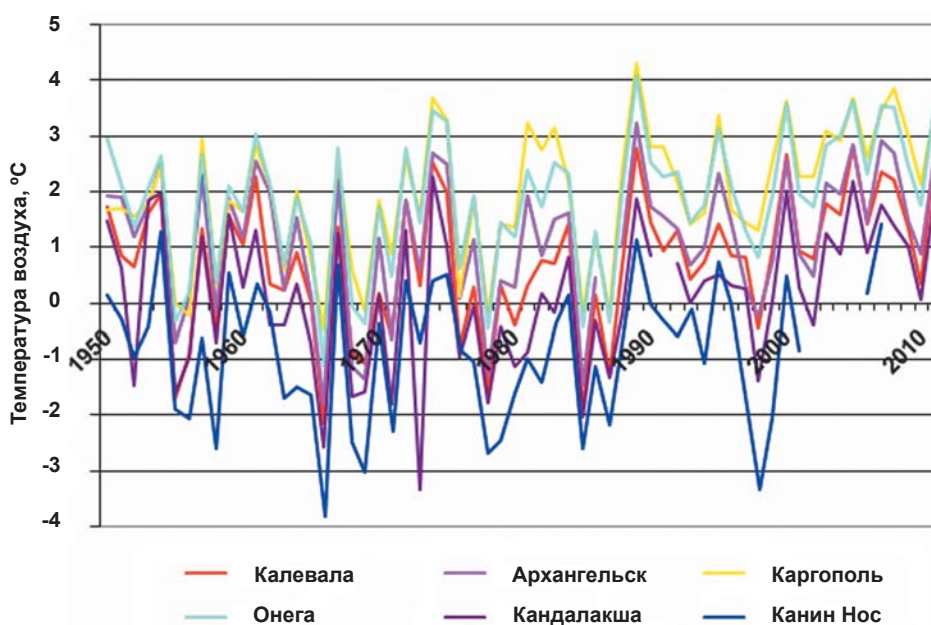


Рис. 4. Изменение средней годовой температуры воздуха на территории водосбора Белого моря за 1950–2015 гг.

потепления, который проявляется в Беломорье. Изменения климата влияют на водные и наземные экосистемы Беломорья. Реакция экосистем Белого моря на потепление климата была нами исследована ранее [6]. В соответствии с результатами моделирования в изучаемом регионе возможны заметные изменения климатического режима. Для Кольского полуострова, например, по разным сценариям климатическая норма годовой температуры воздуха может увеличиться к 2050 г. на величину от  $-0,7^{\circ}\text{C}$  до  $0,2^{\circ}\text{C}$ , годовые суммы осадков в средних многолетних значениях возрастут от 461 до 482—486 мм. В ближайшие 15—20 лет (примерно до 2035 г.) ожидается тенденция к снижению транспорта влаги на европейскую часть России, а примерно с 2035 г. до 2070 г. транспорт влаги увеличится, что приведет к росту осадков [6; 11].

Оценка влияния климата на наземные и водные экосистемы и комфортность проживания населения на Севере требует учета множества параметров, обуславливающих интегральный эффект воздействия на человека. При этом климат и эффективность его влияния на здоровье человека зависят от сочетания с другими компонентами ландшафта — водоемами, растительным покровом, рельефом, почвой [12; 13].

Резюмируя, отметим сложность учета всех социальных, экономических и природных процессов для стратегического планирования и управления экономикой Беломорья [14]. Поэтому для описания функционирования сложной социо-эколого-экономической системы Белого моря и водосбора необходимо использовать специальные подходы, в частности когнитивные модели [2; 15; 16].

### Построение моделей социо-эколого-экономических систем

Необходимым элементом для описания социо-эколого-экономических систем является построение модели управляемой системы [16]. Моделированию водных и наземных экосистем посвящена обширная литература [3; 17; 18]. Большой объем публикаций посвящен моделированию экономики и демографии. Краткий обзор моделей приведен в [15; 19], в которых предложены пути моделирования системы «природа — человеческое общество». Основная трудность при построении обобщающих моделей подобного типа заключается в качественной разнородности величин, характеризующих состояние подсистем, составляющих единое целое. Если для экологических моделей связующими являются балансы вещества и энергии, то в экономике к ним добавляются понятия стоимости, а в социологии господствуют исключительно процессы передачи информации. Путь формирования общей модели системы путем построения подмоделей средствами, которые традиционны для определенной отрасли знания (в гидродинамике и экологии — применение дифференциальных уравнений, в экономике — балансы

стоимостей, в демографии и социологии — агент-ориентированные модели), а затем их агрегирования в единую модель хотя и перспективен, но весьма трудоемок и требует больших материальных и временных затрат.

Выходом из положения может служить использование методов когнитивного моделирования [15; 20—24], существо которых заключается в следующем. Построение модели некоторого объекта заменяется созданием системы логических связей, которые на основании знаний экспертов или других источников информации устанавливают связь между переменными моделируемого объекта. Например: «при увеличении температуры воды, потребности рыб в пище увеличиваются» или «ухудшение качества питьевой воды ведет к возрастанию смертности населения» и т. п.

При подобном подходе к представлению знаний о моделируемом объекте естественно использовать шкалирование переменных [25]. Если применять дискретные шкалы, это повлечет использование математического аппарата конечных автоматов [26]. В этом случае знания о связях между переменными модели будут представлены в виде матриц переходов и выходов этих автоматов. Примером практического использования такого подхода может служить модель популяции промысловой рыбы [27].

В настоящей работе принят иной путь представления переменных в виде непрерывных величин в диапазоне от 0 до 1. Предлагаемое исследование является дальнейшим развитием идей, изложенных в [28]. Это соответствует представлению о том, что для любой переменной системы можно указать максимальные и минимальные значения. С математической точки зрения такое представление соответствует аппарату нечеткой или размытой логики (fuzzy logic) [2; 22; 24; 28]. Выбору такого аппарата способствует интуитивное понимание размытости исходных данных и связей, полученных при исследовании природных систем. В практике научных работ с этой нечеткостью обращаются при помощи методов математической статистики, вычисляя средние и интерпретируя дисперсии только как меру точности измерений. «Размытость» данных — неотъемлемое свойство природных систем [29].

Преобразования переменных в течение одного временного шага осуществляются при помощи функций нечеткой логики — отрицания NO, конъюнкции CON и дизъюнкции DIS:

$$\begin{aligned} \text{NO}(x, \lambda) &= \frac{1-x}{1+\lambda x}; \\ \text{CON}(x, y, \lambda) &= \frac{xy}{\lambda + (1-\lambda)(x+y-xy)}; \\ \text{DIS}(x, y, \lambda) &= \frac{x+y+(1-\lambda)xy}{1+\lambda xy}. \end{aligned} \quad (1)$$

В приведенных формулах  $\lambda$  — степень «жесткости». В случае отрицания  $\lambda > 0$  соответствует более резкой реакции на изменение аргумента, например появлению токсических веществ в воде озера. При  $\lambda < 0$  реакция более мягкая, например снижение уровня жизни населения при понижении уровня воды в озере и возникновении проблемы водоснабжения.

Для операции конъюнкции при  $\lambda = 1$  преобразование соответствует случаю умножения переменных. Оно может служить для имитации закона Либиха при определении первичной продукции фитопланктона или закона Кобба — Дугласа при оценке валового производства в зависимости от размера производственных фондов и рабочей силы. При  $\lambda > 1$  требование одновременного обилия обоих аргументов для увеличения выхода ужесточается, а при  $\lambda < 1$  — наоборот.

Операция дизъюнкции применяется для имитации таких зависимостей, которые предусматривают суммирование действий обоих аргументов на результат. При  $\lambda = 0$  выражение аналогично формуле сложения вероятностей независимых событий. При  $\lambda > 0$ , в противоположность конъюнкции, результат дизъюнкции становится более «мягким», и результат становится менее чувствительным к малым значениям одного из аргументов. Напротив, при  $\lambda < 0$  дизъюнкция приближается к функции максимума.

### Описание модели социо-эколого-экономической системы Беломорья

Все переменные модели описываются при помощи действительных чисел, способных изменяться в диапазоне от нуля до единицы. Содержательно это интерпретируется как изменение моделируемой величины между ее возможными максимальными и минимальными значениями. Например, температура поверхности воды в Белом море не выходит из диапазона от  $-1^{\circ}\text{C}$  до  $+25^{\circ}\text{C}$  [5], а население регионов на водосборе в обозримом будущем должно превысить пять миллионов.

Модель состоит из четырех частей: климатической, экосистемной, социально-экономической и управленческой. Климатическая часть предназначена для описания и прогнозирования изменения климатических условий в рассматриваемой части России, она основывается на сценариях изменения климата<sup>1</sup> и расчетных данных, которые имеются для региона [6; 11]. Экосистемная часть соответствует описанию изменения во времени гидрологических, гидрохимических и гидробиологических характеристик Белого моря. Социально-экономическая часть служит для описания демографических, экосистемных и социальных процессов, происходящих на территории бассейна Белого моря. Эта подмодель состоит из пяти

частей, выделенных по административному признаку. Они относятся к Мурманской, Вологодской и Архангельской областям и республикам Карелия и Коми. Управленческая часть модели посвящена описанию и разработке механизма централизованного и местного управления. Цель этого управления заключается в достижениях 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. Временной шаг модели принят равным одному году. Для климатической и социально-экономической частей модели такая величина временного шага представляется вполне естественной. Для экосистемной части это очень грубое приближение, с которым приходится считаться во избежание чрезмерного усложнения всей модели.

Климатическая часть модели (рис. 5) 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 [10; 11].

Экосистемная часть модели представляет собой свертку результатов исследования модели Белого моря, разработанной О. П. Савчуком и И. А. Нееловым [11], как в пространстве (до одной точки), так и во времени (до одного года). Например, температура воды в Белом море  $WS\_T$  оценивалась исходя из климатической температуры воздуха  $TEMP_A$ . Содержание фосфатов в воде Белого моря  $WS\_P$  определялось исходя из распределения стока  $FLOW$  по рекам с учетом интенсивности сельского хозяйства  $AGRY$  в районе протекания каждой реки. Такое приближение основывалось на представлении о том, что фосфаты поступают в Белое море в основном путем смыва удобрений с полей. В отношении нитратов  $WS\_N$  доминирующая роль отводилась бытовым стокам, которые зависят от численности населения региона  $POPUL$ .

Первичная продукция и связанная с ней биомасса фитопланктона  $WS\_PHYTO$  полагалась лимитированной содержанием фосфатов  $WS\_P$  и нитратов  $WS\_N$  в воде Белого моря. При этом использовалась функция «мягкой» конъюнкции  $CON$  как логический аналог закона Либиха. Оценка биомассы зоопланктона  $WS\_ZOO$  производилась исходя из представления биомассы фитопланктона в качестве корма с учетом температурной поправки  $WS\_T$  по соотношению Крюга. В этом случае использовалась логическая функция дизъюнкции.

<sup>1</sup> Изменение климата, 2013 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Пятый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата.

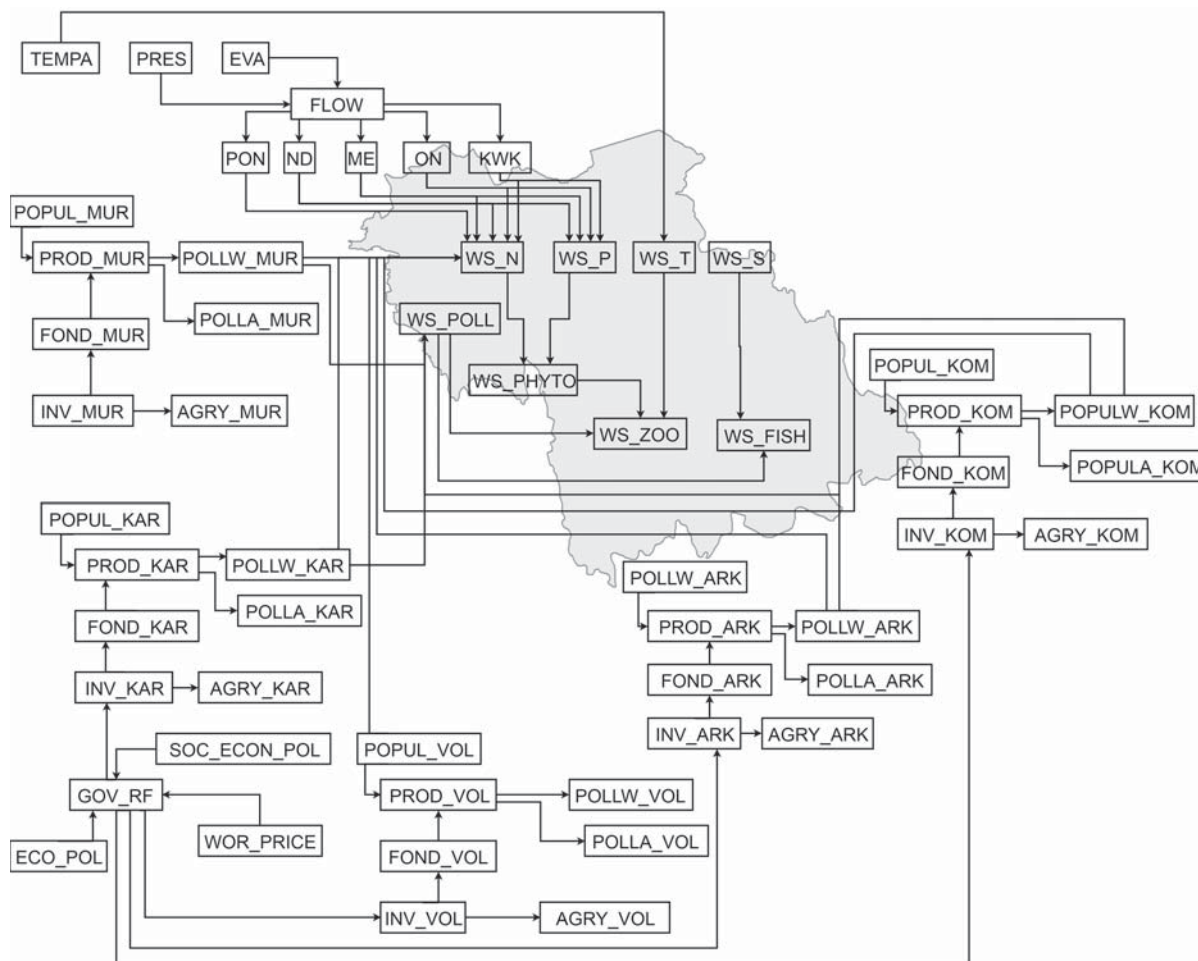


Рис. 5. Когнитивная карта социо-эколого-экономической системы бассейна Белого моря (объяснение обозначений переменных дано в тексте)

Концентрация загрязняющих веществ в Белом море  $WS\_POLL$  определялась исходя из величины стока  $FLOW$  аналогично нитратам и фосфатам, только в качестве источников загрязнения полагались не сельское хозяйство и бытовые стоки, а промышленное производство  $PROD$ , характерное для каждого района водосбора. Загрязняющие вещества, особенно при высоких концентрациях, вызывают повышение смертности зоопланктона  $WS\_ZOO$  и особенно рыб  $WS\_FISH$ . В модели это явление интерпретируется при помощи логической функции «жесткого» отрицания  $NO$ .

Переходя к описанию социально-экономической части модели, следует заметить, что для каждого региона подмодели строятся по одной схеме, причем к идентификаторам переменных добавляются группы символов, соответствующих названию региона:  $MUR$  — Мурманская область,  $KAR$  — Республика Карелия,  $VOL$  — Вологодская область,  $ARK$  — Архангельская область,  $KOM$  — Республика Коми. Описание дается только для Мурманской области, поскольку подмодели остальных регионов отличаются друг от друга только климатическими

условиями, начальными состояниями, динамикой инвестиций и темпами миграции населения.

Численность населения  $POPUL\_MUR$  определяется соотношением интенсивности рождаемости  $kb\_mur$ , смертности и миграции (в данном случае оттока) населения  $km\_mur$ . Все эти процессы можно интерпретировать как совокупность несовместимых событий. Поэтому их целесообразно описывать как конъюнкции с отрицанием в двух последних случаях. Валовой региональный продукт  $PROD\_MUR$  определяется согласно упрощенной форме закона Кобба — Дугласа как конъюнкция рабочей силы  $POPUL\_MUR$  и фондовооруженности  $FOND\_MUR$ . Фондовооруженность может увеличиваться только за счет инвестиций  $INV\_MUR$ . При отсутствии инвестиций фондовооруженность сокращается за счет амортизации оборудования. Предполагается, что интенсивное сельское хозяйство  $AGRY\_MUR$  может функционировать в условиях Севера только за счет инвестиций  $INV\_MUR$  [30].

Сброс загрязнений в воду  $POLLW\_MUR$  полагается пропорциональным валовому региональному продукту, причем величина этого сброса может

быть уменьшена за счет дополнительных инвестиций. Аналогично определяется выброс загрязнений в атмосферу POLLA\_MUR, только с другим переходным коэффициентом.

Для более точного отражения эколого-экономической политики предполагается усложнение модели через построение функций загрязнения для временных рядов по частным или комплексным экологическим показателям. Для расчетов использовались различные функции, иногда достаточно сложные, но чаще простая мультипликативная функция [30]

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t), \quad (1)$$

где  $Z(t)$  — исследуемый экологический показатель или его рост за год (выбросы в атмосферу, сбросы сточных вод, образование отходов);  $A(t)$  — фактор, отражающий влияние структурных сдвигов (оценивается через экспоненту или через изменение структуры секторов);  $U_1^\mu(t)$  — фактор, отражающий развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющий на окружающую среду (ВРП, инвестиции в экономику и др.);  $U_2^{-\eta}(t)$  — фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды, текущие затраты на природоохранную деятельность и др.);  $t$  — год;  $\mu$  и  $\eta$  — константы (факторные эластичности).

Расчеты могут проводиться и по трехфакторным функциям, которые строились по частным или комплексным экологическим показателям, обычно при рассмотрении влияния распределения инвестиций по направлениям (новое строительство, модернизация, природоохранная деятельность). Для расчетов также обычно используется мультипликативная функция

$$Z(t) = A(t) \times U_1^\mu(t) \times U_2^{-\eta}(t) \times U_3^\nu(t), \quad (2)$$

где  $U_1^\mu(t)$  — фактор, отражающий развитие экономики и, как правило, отрицательно влияющий на окружающую среду (инвестиции в новое строительство и др.);  $U_2^{-\eta}(t)$  — фактор, отражающий природоохранную деятельность и положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в охрану окружающей среды и др.);  $U_3^\nu(t)$  — фактор, отражающий изменение действующих производств и, как правило, положительно влияющий на окружающую среду (инвестиции в модернизацию производства и др.);  $t$  — год;  $\mu$ ,  $\eta$  и  $\nu$  — константы (факторные эластичности).

Наибольший интерес данная функция представляет, когда разные варианты распределения инвестиций по трем направлениям — на новое строительство, на модернизацию и на природоохранную деятельность — рассматриваются с учетом лагов.

Управляющая часть модели посвящена выработке такого распределения инвестиций по регионам

(INV\_MUR, INV\_KAR, INV\_VOL, INV\_ARK, INV\_KOM), которое при заданной их сумме обеспечит наилучшее развитие всех регионов. Трудность этой задачи заключается в первую очередь в выработке формы критерия для подобного управления. Естественное стремление максимизировать уровень жизни населения наталкивается на неопределенность вычисления такого критерия по данным, которые могут быть представлены в настоящей модели. Непременными составляющими критерия должны быть валовой региональный продукт PROD и минимальная загрязненность окружающей среды не только в регионах, но и в акватории Белого моря WS\_POLL. В качестве рабочей гипотезы предлагается критерий управления CR, который основан на представлении о том, что целью управления является повышение уровня жизни населения (3). При учете загрязнений применяется функция жесткого логического отрицания. Нормирующий множитель  $K$  вводится для согласования положительного влияния на уровень жизни населения, увеличения валового продукта и отрицательного влияния в виде загрязнения среды.

$$CR = \sum_{t=t_1}^{t_2} NO(WS\_POLL^t) + \sum_{i=1}^5 [K \cdot PROD_i^t + NO(POLLW_i^t)] \Rightarrow \max. \quad (3)$$

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.

### Исследование модели

Функционирование модели начинается с задания изменения климатических условий на весь период ее работы. Этот период в 40 лет начинается с 1990 г., чтобы иметь возможность воспользоваться фактическими данными, прежде чем переходить к прогнозированию. Для температуры воздуха TEMPА, осадков PRES, испарения EVA и стока рек в Белое море FLOW использованы уравнения трендов этих величин [6; 11] с наложением случайных флуктуаций, как это показано на рис. 6.

Функционирование подмодели, которая представлена экосистемой Белого моря, приведено на рис. 7. При инерционном сценарии [11], который предусматривает сохранение внешних воздействий на систему такими же, какими они были до 2018 г., происходит стабилизация уровня загрязнения моря WS\_POLL на относительно низком уровне. Рыбные запасы WS\_FISH также приходят в относительно равновесное состояние. Принятие сценария, по которому инвестиции в экономику регионов бассейна Белого моря будут существенно возрастать (см. рис. 7), вызывает увеличение валового регионального



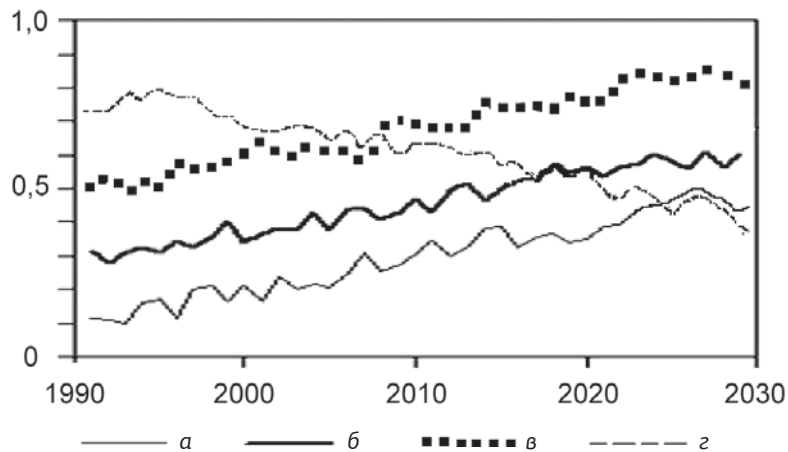


Рис. 6. Изменения характеристик климата на водосборе Белого моря, 1990–2030 гг.: а – температура воздуха, б – осадки, в – испарение, г – сток рек, впадающих в Белое море

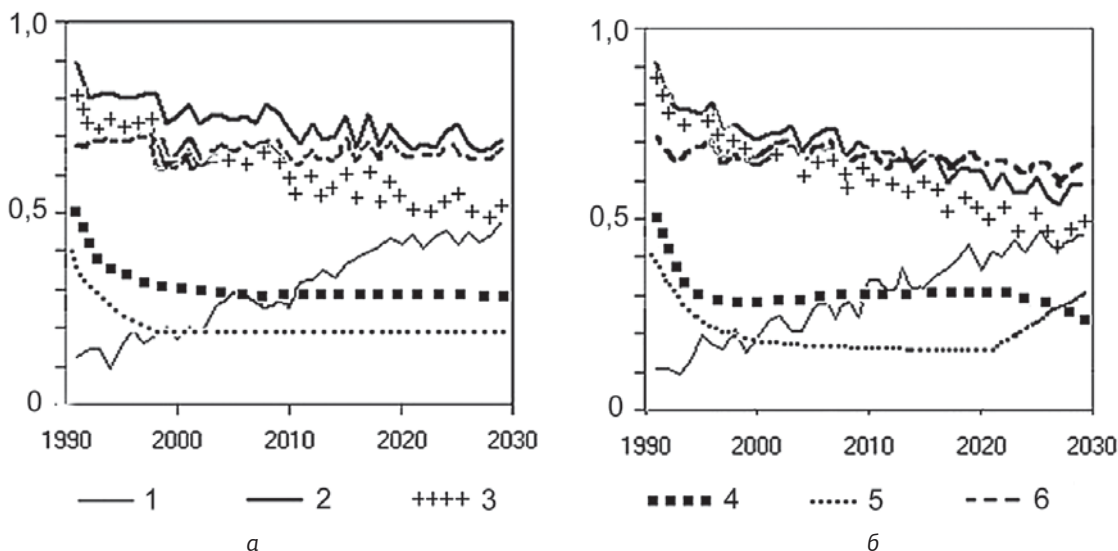


Рис. 7. Изменения характеристик экосистемы Белого моря за 1990–2030 гг. при инерционном сценарии инвестирования (а) и при увеличении инвестиций после 2018 г. (б): 1 – интегральная температура воды, 2 – содержание фосфатов, 3 – фитопланктон, 4 – рыбные запасы, 5 – уровень загрязнения моря, 6 – зоопланктон

продукта. Однако вместе с ростом ВРП возрастает и сброс загрязнений, которые в конечном счете попадают в Белое море. Результаты такого процесса проявляются в сокращении рыбных запасов. Более продуманный сценарий должен предусматривать опережающее увеличение инвестиций в совершенствование систем очистки.

Регионы, расположенные на площади водосборного бассейна Белого моря, существенно различаются по численности населения, развитию промышленности и сельского хозяйства [10]. Это учитывается при назначении начальных состояний и параметров процессов, происходящих в этих регионах. Для примера на рис. 8 приведена динамика характеристик Архангельской области в условиях инерционного сценария развития.

Разработанная модель позволяет на качественном уровне подойти к решению проблемы оптимального управления социо-эколого-экономическими процессами в регионах бассейна Белого моря (рис. 9). Попытка формулировки критерия CR для осуществления такого управления изложена в предыдущем разделе.

Практически этот критерий использовался для выяснения соотношения величины инвестиций в развитие регионов INV и демографической характеристики роста населения  $k_b$  для достижения наилучших условий жизни населения. В период кризиса, когда инвестиции были близки к нулю [4], намечалась тенденция к снижению уровня жизни с ростом численности населения. Это, собственно, и было причиной массового оттока людей из районов

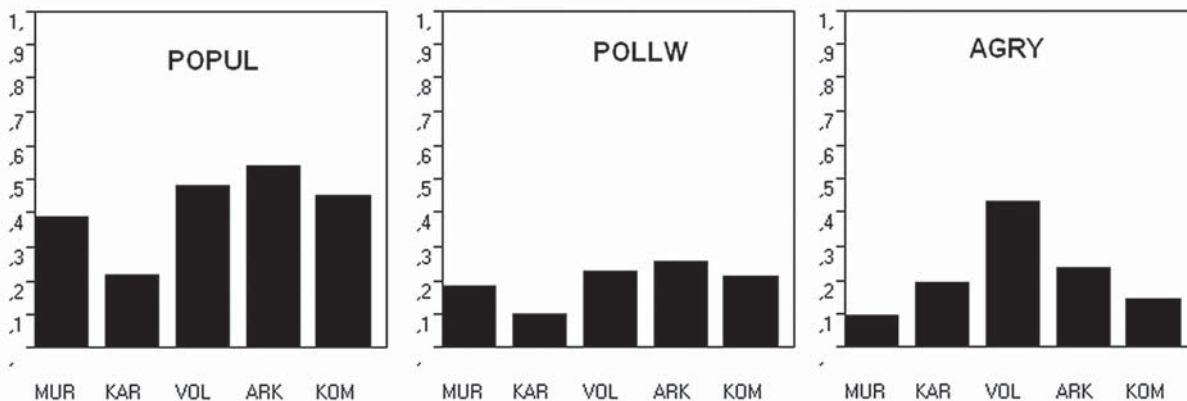


Рис. 8. Численность населения в регионах POPUL, загрязнение водной среды POLLW и интенсивность сельского хозяйства AGRY в регионах бассейна Белого моря. По оси ординат – названия регионов водосбора

Севера (рис. 10). Однако с ростом инвестиций обнаруживается необходимость роста численности населения для продуктивного использования этих капиталовложений.

Пример расчета, представленный на рис. 10, исходил из очень грубых предположений о равенстве инвестиций во все регионы исследуемой территории. Учет местных особенностей, например разнообразия специализации промышленного производства, разницы климатических условий и других факторов, может привести к более реалистичным результатам.

### Закключение

Для новых экономических условий выполнен анализ состояния и изменений социоэкономики и природных процессов для регионов, входящих в водосбор Белого моря по данным, собранным за период с 1990 по 2015 гг. Показаны особенности состояния экономики Беломорья, которое определяет развитие социальной сферы, а также объемы сбросов загрязнений в водоемы и выбросы в атмосферу, поступление биогенов на водосбор и в море. Продемонстрирована ориентированность инвестиций в регионах водосбора Белого моря на добывающий сектор и переработку ресурсов (металлургию, бумажную промышленность, деревообработку). Показаны оценки влияния возможных изменений климата в регионе на водные и наземные экосистемы, а также на комфортность проживания населения, что важно для стратегического планирования экономики.

Для описания и прогнозирования такой сложной социо-эколого-экономической системы была разработана когнитивная модель, которая является инструментом синтеза разнородных сведений об этой системе [15; 31]. Модель отражает в основном тенденции изменения переменных, но не их абсолютные величины. Ранее условия социоэкономического развития регионов водосбора Белого моря и влияние этих условий на изменения окружающей среды рассматривались в [10; 30] на основе

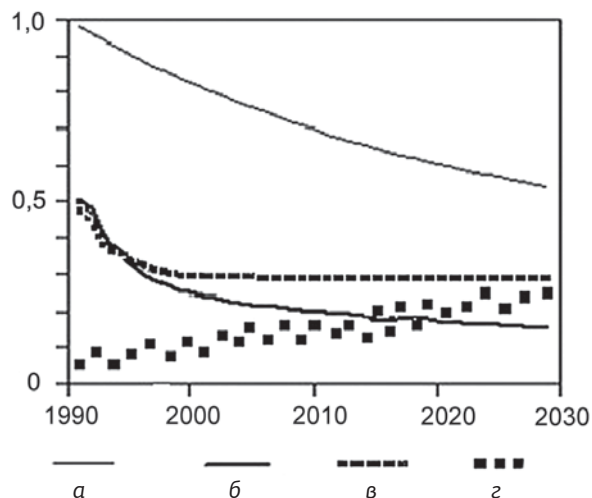


Рис. 9. Численность населения (а), валовый региональный продукт (б), фондвооруженность (в) и интенсивность сельского хозяйства (z) в Архангельской области при инерционном сценарии развития региона 1990–2030 гг.

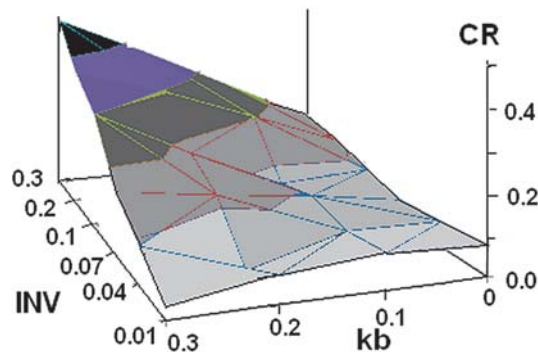


Рис. 10. Зависимость критерия уровня жизни населения регионов на водосборе Белого моря CR от суммарных инвестиций INV и темпа прироста численности населения kb

использования комплексных индексов, в которые входили параметры, характеризующие состояние экономики, в частности это были ВРП, инвестиции и др. Для социально-экономического прогнозирования строились производственные функции, а прогнозирование воздействия на окружающую среду оценивалось через индексы. Комплексные индексы интегрируют отдельные индексы для отраслей и демонстрируют макроуровень развития и состояния окружающей среды региона. Эти индексы и методы прогнозирования с их использованием имеют существенные недостатки, так как не учитывают динамику изменений, в то время как предложенный когнитивный подход позволяет ее описывать.

Разработанная модель дает возможность на качественном уровне подойти к решению проблемы оптимального управления развитием регионов бассейна Белого моря. Сформулированы критерии для осуществления такого управления. Практическое применение критериев использовано для выяснения соотношения величины инвестиций в развитие регионов и демографической характеристики роста населения для достижения наилучших (комфортных) условий жизни. В период кризиса, когда инвестиции были близки к нулю [14; 32], намечалась тенденция к снижению уровня жизни регионов с относительно высокой численностью населения, мало или вовсе не задействованного в экономике региона. Это, собственно, и было причиной массового оттока людей из районов Беломорья. Однако с ростом инвестиций обнаруживается необходимость роста численности населения для продуктивного использования определенных капиталовложений в экономику регионов.

Работа по созданию основ когнитивной модели была частично выполнена по гранту РФФИ № 16-06-00442, а комплексные исследования состояния и динамики социальных, эколого-экономических процессов и явлений на водосборе были выполнены в рамках госзадания ИВПС КарНЦ РАН № АААА-А18-118032290034-5 «Закономерности изменений экосистем Белого моря при интенсификации освоения Арктической зоны региона и под влиянием изменений климата». Картосхема (рис. 1) составлена О. В. Дерсусовой, рис. 5 — Л. Е. Назаровой.

### Литература

1. Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области: Опыт создания системы поддержки принятия решений / Под ред. А. Ф. Алимова, Л. А. Руховца, М. М. Степанова. — СПб., 2001. — 419 с.
2. Меншуткин В. В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция) // Санкт-Петербург; Петрозаводск, 2010. — 416 с.
3. Edsel D. B., Camp J. V., LeBoeuf E. J. et al. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review // The Open J. of Hydrology. — 2011. — № 5. — С. 26—50.

4. Алимов А. Ф., Алексеев А. П., Бергер В. Я. Марикультура как способ увеличения промысловых ресурсов Белого моря // Вестн. РАН. — 2008. — Т. 78, № 9. — С. 792—799.
5. Матишов Г. Г. Комплексные исследования процессов, характеристик и ресурсов российских морей Северо-Европейского бассейна. — Апатиты, 2004. — 555 с.
6. Филатов Н. Н., Георгиев А. П., Ефремова Т. В. и др. Реакция озер Восточной Фенноскандии и Восточной Антарктиды на изменения климата // Докл. Акад. наук. — 2012. — Т. 444, № 5. — С. 554—557.
7. Лажнецов В. Н. Север России: альтернативы на будущее // Соврем. производ. силы. — 2013. — № 2. — С. 115—124.
8. Гранберг А. Г. Макроэкономика европейского Севера России // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. — 2002. — № 4. — С. 3—10.
9. Жаров В. С., Иванова М. В. Проблемы управления социально-экономическим развитием регионов Арктики // Вестн. Мурман. гос. техн. ун-та. — 2015. — № 3. — С. 393—400.
10. Филатов Н. Н., Дружинин П. В., Тержевик А. Ю. Беломорье — регион для решения актуальных проблем Арктики // Арктика: экология и экономика. — 2011. — № 2. — С. 90—101.
11. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / Отв. ред. Н. Н. Филатов, А. Ю. Тержевик. — Петрозаводск: ИВПС КарНЦ РАН, 2007. — 335 с.
12. Исаченко А. Г. Введение в экологическую географию. — СПб.: Издат. дом СПбГУ, 2003. — 192 с.
13. Медико-географический атлас России «Природноочаговые болезни» / Под ред. С. М. Малхазовой; Геогр. фак. МГУ. — М., 2015. — 208 с.
14. Баранов Н. С. Стратегическое значение Севера для экономики России // Общество и право. — 2014. — № 3 (49). — С. 297—301.
15. Малинецкий Г. Г., Маненков С. К., Митин Н. А., Шишов В. В. Когнитивный вызов и информационные технологии // Экон. стратегии. — 2011. — Т. 13, № 7—8 (93—94). — С. 68—79.
16. Бусленко Н. П., Калашников Н. Н., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем: Учебное пособие. — М.: Совет. радио, 1973. — 441 с.
17. Кондратьев С. А. Формирование внешней нагрузки на водоемы: проблемы моделирования. — СПб.: Наука, 2007. — 255 с.
18. Трашкраба М., Гнауик А. Пресноводные экосистемы: Математическое моделирование. — М.: Мир, 1989. — 376 с.
19. Моисеев Н. Н. Человек, среда, общество // Проблемы формального описания. — М.: Наука, 1982. — 240 с.
20. Величковский Б. М. Когнитивная наука: Основы психологии познания. — М.: Академия, 2006. — 448 с.
21. Кулинич А. А. Разработка принципов и методов построения программных систем поддержки принятия решений в слабоструктурированных ситуациях

- на основе моделирования знаний эксперта: Дис. ... канд. техн. наук / Ин-т проблем управления РАН. — М., 2003. — 150 с.
22. Паклин Н. Б. Нечетко-когнитивный подход к управлению динамическими системами // Искусств. интеллект. — 2003. — № 4. — С. 342—348.
23. Поспелов Д. А. Моделирование рассуждений: Опыт анализа мыслительных актов. — М.: Радио и связь, 1989. — 184 с.
24. Робертс С. Ф. Дискретные математические модели с приложением к социальным, биологическим и экологическим задачам. — М.: Физматгиз, 1997. — 497 с.
25. Арманд А. Д. Информационные модели природных комплексов. — М.: Наука, 1975. — 126 с.
26. Мелихов А. Н. Ориентированные графы и конечные автоматы. — М.: Наука, 1971. — 416 с.
27. Меншуткин В. В. Популяция рыб как конечный автомат // Структура и динамика популяций и сообществ водных животных. — Киев: Наукова думка, 1967. — С. 167—175.
28. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. — М.: Телеком, 2010. — 496 с.
29. Меншуткин В. В. Помехоустойчивость экологической системы водохранилища (модельное исследование) // Тр. Ин-та биологии внутр. вод. — 2003. — № 1. — С. 3—8.
30. Дружинин П. В., Шкиперова Г. Т. Эколого-экономические модели и прогнозы в системе регионального управления // Проблемы прогнозирования. — 2012. — № 1. — С. 88—97.
31. Меншуткин В. В., Минина Т. Р. Когнитивная модель взаимодействия человеческого общества с экологической системой водоема // Региональная экономика и развитие территорий: Сборник научных статей ИПРЭ РАН. — Т. 1 (11). — СПб., 2017. — С. 160—166.
32. Татаркин А. И., Логинов В. Г. Оценка природно-ресурсного и производственного потенциала северных и арктических районов: состояние и перспективы использования // Проблемы прогнозирования. — 2015. — № 1. — С. 33—44.

### Информация об авторах

**Меншуткин Владимир Васильевич**, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Санкт-Петербургский экономико-математический институт РАН, (191187, Россия, Санкт-Петербург, ул. Серпуховская, 36—38), e-mail: menshutkina.n@gmail.com.

**Филатов Николай Николаевич**, доктор географических наук, член-корреспондент РАН, профессор, директор, Институт водных проблем Севера ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (185030, Россия, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50), e-mail: nfilatov@rambler.ru.

**Дружинин Павел Васильевич**, доктор экономических наук, руководитель лаборатории, доцент, Институт экономики ФИЦ «Карельский научный центр РАН» (185030, Россия, Петрозаводск, просп. Александра Невского, 50), e-mail: pdruzhinin@mail.ru.

### Библиографическое описание данной статьи

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 и экономика. — 2018. — № 2 (30). — С.4—17. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17.

## A CURRENT STATE AND FORECASTING OF THE SOCIO-ECOLOGICAL-ECONOMIC SYSTEM OF THE WHITE SEA WATERSHED WITH USE OF COGNITIVE SIMULATION

Menshutkin V. V.

St. Petersburg Economics and Mathematics Institute of the RAS (St. Petersburg, Russian Federation)

Filatov N. N.

Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

Druzhinin P. V.

Institute of Economics of the Karelian Research Centre of the RAS (Petrozavodsk, Russian Federation)

The work on development of the constructing of the cognitive model was partially carried out under the RFBR grant No. 16-06-00442, and complex studies of the state and dynamics of social, ecological and economic processes and phenomena in the catchment area were carried out within the framework of the State task of the NWPI KarRC RAS No. AAAA-A18-118032290034-5 "Patterns of changes in the ecosystems of the White Sea in

the intensification of development of the Arctic zone of the region and under the influence of climate change". The map on figure 1 was compiled by Ms. O. V. Dersusova, figure 5 was compiled by Ms. L. E. Nazarova.

### Abstract

A cognitive model has been developed that reflects the dynamics of the environment, the economic and social processes taking place in the regions of the catchment area of the White Sea. The influence of climate change, the peculiarities of economic activity on the environment (to the sea ecosystems and the catchment area) and the living of the population of the RF subjects of the catchment area of the White Sea (Beloe more) are considered. The features of the economical development of the regions are shown, which are determined by the dynamics of investments, while in the northern regions of the catchment area of the White Sea in the 90s of the XX century they decreased by 5—10 times, and only two regions of the catchment (Vologda and Arkhangelsk regions) by 2010 reach the pre-reform level. The remaining regions received investments about half as much as in 1990. The current state and changes in the social sphere and the environment are considered, which depends on the amount of pollution, the supply of nutrients to the catchment and to the sea, as well as emissions to the atmosphere formed both in the catchment area, and cross-border transfers.

The model is designed to predict at a qualitative level of the ongoing changes of the complex socio-ecological and economical system, under different scenarios of natural climatic changes and economical activities. This can serve as a basis for constructing a system of quantitative models, for developing of decision support systems to achieve sustainable development of the socio-economic system of the regions.

**Keywords:** *system, social, population, economy, environment, model, cognitive, forecasting, management, climate, sea, catchment.*

### References

1. Integrirovannoe upravlenie vodnymi resursami Sankt-Peterburga i Leningradskoi oblasti: Opyt sozdaniya sistemy podderzhki prinyatiya reshenii. [Integrated water resources management in St. Petersburg and the Leningrad region. Experience in creating a decision support system]. Pod red. A. F. Alimova, L. A. Rukhovtsa, M. M. Stepanova. St. Petersburg, 2001, 419 p. (In Russian).
2. Menshutkin V. V. Iskusstvo modelirovaniya (ekologiya, fiziologiya, evolyutsiya). [The art of modeling (ecology, physiology, evolution)]. St. Petersburg, Petrozavodsk, 2010, 416 p. (In Russian).
3. Edsel D. B., Camp J. V., LeBoeuf E. J., Penrod J. R., Dobbins J. P., Abkowitz M. D. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. The Open J. of Hydrology, 2011, no. 5, pp. 26—50.
4. Alimov A. F., Alekseev A. P., Berger V. Ya. Marikul'tura kak sposob uvelicheniya promyslovykh Resursov Belogo morya. [Mariculture as a way to increase the commercial resources of the White Sea. Bulletin of the Russian Academy of Sciences]. Vestn. RAN, 2008, vol. 78, no. 9, pp. 792—799. (In Russian).
5. Matishov G. G. Kompleksnye issledovaniya protsessov, kharakteristik i resursov rossiiskikh morei Severo-Evropeiskogo basseina. [Complex research of processes, characteristics and resources of the Russian seas of the North European basin]. Apatity, 2004, 555 p. (In Russian).
6. Filatov N. N., Georgiev A. P., Efremova T. V., Nazarova L. E., Pal'shin N. I. Ruhovec L. A., Tolstikov A. V., Sharov A. N. Response of lakes in Eastern Fennoscandia and Eastern Antarctica to climate changes. Doklady Earth Sciences, 2012, vol. 444, no. 2, pp. 752—755.
7. Lazhentsev V. N. Sever Rossii: al'ternativy na budushchee. [North of Russia: alternatives for the future]. Sovrem. proizvod. sily, 2013, no. 2, pp. 115—124. (In Russian).
8. Granberg A. G. Makroekonomika evropeiskogo Severa Rossii. [Macroeconomics of the European North of Russia]. Ekonomika Severo-Zapada: problemy i perspektivy razvitiya, 2002, no. 4, pp. 3—10. (In Russian).
9. Zharov V. S., Ivanova M. V. Problemy upravleniya sotsial'no-ekonomicheskimi razvitiem regionov Arktiki. [The Problems of managing the socio-economic development of the Arctic regions]. Vestn. Murm. gos. tekhn. un-ta, 2015, no. 3, pp. 393—400. (In Russian).
10. Filatov N. N., Druzhinin P. V., Terzhevnik A. Yu. Belomor'e — region dlya resheniya aktual'nykh problem Arktiki. [Belomorje is the region of the Arctic challenges solving]. Arktika: ekologiya i ekonomika, 2011, no. 2, pp. 90—101. (In Russian).
11. Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov. [The White Sea and its watershed under the influence of climatic and anthropogenic factors]. Otv. red. N. N. Filatov, A. Yu. Terzhevnik. Petrozavodsk, IVPS KarNTs RAN, 2007, 335 p. (In Russian).
12. Isachenko A. G. Vvedenie v ekologicheskuyu geografuyu. [Introduction to ecological geography]. St. Petersburg, Izdat. dom SPbGU, 2003, 192 p. (In Russian).
13. Mediko-geograficheskii atlas Rossii "Prirodnoochagovye bolezni". [Medico-geographical atlas of Russia "Natural Focal Illnesses"]. Pod red. S. M. Malkhazovoi; Geogr. fak. MGU. Moscow, 2015, 208 p. (In Russian).
14. Baranov N. S. Strategicheskoe znachenie Severa dlya ekonomiki Rossii. [The strategic importance of the North for the Russian economy]. Obshchestvo i parvo, 2014, no. 3 (49), pp. 297—301. (In Russian).
15. Malinetskii G. G., Manenkov S. K., Mitin N. A., Shishov V. V. Kognitivnyi vyzov i informatsionnye tekhnologii. [Cognitive Challenge and Information Technology]. Ekon. strategii, 2011, vol. 13, no. 7—8 (93—94), pp. 68—79. (In Russian).

16. Buslenko N. P., Kalashnikov N. N., Kovalenko I. N. *Lektsii po teorii slozhnykh sistem: Uchebnoe posobie*. [Lectures on the theory of complex systems. Textbook]. Moscow, Sovet. radio, 1973, 441 p. (In Russian).
17. Kondrat'ev S. A. *Formirovanie vneshnei nagruzki na vodoemy: problemy modelirovaniya*. [Formation of an external load on reservoirs: modeling problems]. St. Petersburg, Nauka, 2007, 255 p. (In Russian).
18. Strashkraba M., Gnauk A. *Presnovodnye ekosistemy: Matematicheskoe modelirovanie*. [Freshwater ecosystems. Mathematical modeling]. Moscow, Mir, 1989, 376 p. (In Russian).
19. Moiseev N. N. *Chelovek, sreda, obshchestvo. Problemy formal'nogo opisaniya*. [Man, environment, society. Problems of formal description Science]. Moscow, Nauka, 1982, 240 p. (In Russian).
20. Velichkovskii B. M. *Kognitivnaya nauka. Osnovy psikhologii poznaniya*. [Cognitive science. Fundamentals of the psychology of cognition]. Moscow, Akademiya, 2006, 448 p. (In Russian).
21. Kulinich A. A. *Razrabotka printsipov i metodov postroeniya programmnykh sistem podderzhki priyatiya reshenii v slabostrukturovannykh situatsiyakh na osnove modelirovaniya znaniy eksperta*. [Development of principles and methods for constructing software decision support systems in weakly structured situations on the basis of modeling expert knowledge]. Dis. ... kand. tekhn. nauk. In-t problem upravleniya RAN. Moscow, 2003, 150 p. (In Russian).
22. Paklin N. B. *Nechetko-kognitivnyi podkhod k upravleniyu dinamicheskimi sistemami*. [A fuzzy-cognitive approach to the management of dynamic systems]. *Iskusstv. intellekt*, 2003, no. 4, pp. 342—348. (In Russian).
23. Pospelov D. A. *Modelirovanie rassuzhdenii: Opyt analiza myslitel'nykh aktov*. [Modeling reasoning. Experience in the analysis of mental acts]. Moscow, Radio i svyaz', 1989, 184 p. (In Russian).
24. Roberts S. F. *Diskretnye matematicheskie modeli s prilozheniem k sotsial'nym, biologicheskim i ekologicheskim zadacham*. [Discrete mathematical models with application to social, biological and ecological problems]. Moscow, Fizmatgiz, 1997, 497 p. (In Russian).
25. Armand A. D. *Informatsionnye modeli prirodnykh kompleksov*. [Information models of natural complexes]. Moscow, Nauka, 1975, 126 p. (In Russian).
26. Melikhov A. N. *Orientirovannye grafy i konechnye avtomaty*. [Oriented graphs and finite automata]. Moscow, Nauka, 1971, 416 p. (In Russian).
27. Menshutkin V. V. *Populyatsiya ryb kak konechnyi Avtomat*. [Population of fish as a finite automaton]. *Struktura i dinamika populyatsii i soobshchestv vodnykh zhivotnykh*. Kiev, Naukova dumka, 1967, pp. 167—175. (In Russian).
28. Rutkovskii L. *Metody i tekhnologii iskusstvennogo intellekta*. [Methods and technologies of artificial intelligence]. Moscow, Telekom, 2010, 496 p. (In Russian).
29. Menshutkin V. V. *Pomekhoustoichivost' ekologicheskoi sistemy vodokhranilishcha (model'noe issledovanie)*. [Noise immunity of the ecological system of the reservoir (model study)]. *Tr. In-ta biologii vnutr. vod*, 2003, no. 1, pp. 3—8. (In Russian).
30. Druzhinin P. V., Shkiperova G. T. *Ecological and economic models and predictions in the regional management system*. *Studies on Russian economic development*, 2012, vol. 23, no. 2, pp. 66—72.
31. Menshutkin V. V., Minina T. R. *Kognitivnaya model' vzaimodeistviya chelovecheskogo obshchestva s ekologicheskoi sistemoi vodoema*. [Kognitivnaya model of interaction of human society with the ecological system of the reservoir]. *Regional'naya ekonomika i razvitie territorii*. *Sbornik nauchnykh statei IPRE RAN*. Vol. 1 (11). St. Petersburg, 2017, pp. 160—166. (In Russian).
32. Tatarkin A. I., Loginov V. G. *Estimation of potential for natural resources and production in northern and arctic areas: conditions and prospects for use*. *Studies on Russian economic development*, 2015, vol. 26, no. 1, pp. 22—31.

### Information about the authors

**Menshutkin Vladimir Vasiljevich**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, St. Petersburg Economics and Mathematics Institute of the RAS (36—38, Serpukhovskaya st., St. Petersburg, Russia, 191187), e-mail: menshutkina.n@gmail.com.

**Filatov Nikolai Nikolaevich**, Doctor of Geographic Sciences, Professor, Corresponding member of RAS, Director, Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the RAS (50, A. Nevskogo prosp., Petrozavodsk, Russia, 185030), e-mail: nfilatov@rambler.ru.

**Druzhinin Pavel Vasiljevich**, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Head of laboratoty, Institute of Economics of the Karelian Research Centre of the RAS (50, A. Nevskogo prosp., Petrozavodsk, Russia, 185030), e-mail: pdruzhinin@mail.ru.

### Bibliographic description

**Menshutkin V. V., Filatov N. N., Druzhinin P. V.** A current state and forecasting of the socio-ecological-economic system of the White sea watershed with use of cognitive simulation. *Arctic: ecology and economy*, 2018, no. 2 (30), pp. 4—17. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-4-17. (In Russian).