туристской инфраструктуры для отдельных видов туризма, реализация комплекса мер по популяризации предпринимательства в сфере туризма, внедрение сервисов информационно -маркетинговой поддержки, предоставляющих возможность более квалифицированно открывать, расширять и продолжать ведение собственного бизнеса в сфере туризма.

Таким образом, необходимо обеспечить развитие системных инструментов для привлечения российских и зарубежных инвестиций в масштабные проекты в сфере туризма. Среди таких инструментов может быть формирование специального фонда для развития туризма и оказания финансовой поддержки проектов через выпуск торгуемых ценных бумаг, долгосрочные кредиты и другие финансовые инструменты, а также формирование новых привлекательных инструментов инвестирования, базирующихся на принципах синергии и диверсификации.

1. Краснодарский край в цифрах 2020. Статистический сборник. Управление Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю за 2020 год. [Электронный ресурс]. - URL: <https://krsdstat.gks.ru/storage/mediabank/Qxnk1bAT/%D0%9A%D1%80%D0%B0%D1%81%D0%BD%D0%BE%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B9%20%D0%BA%D1%80%D0%B0%D0%B9%20%D0%B2%20%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%B0%D1%85%2020%20%D0%B3%D0%BE%D0%B4.pdf> (дата обращения: 28.07.2021).
2. Инфографика. Министерство курортов, туризма и олимпийского наследия Краснодарского края. [Электронный ресурс]. - URL: <https://kurort.krasnodar.ru/upload/iblock/cbe/VOLSHEBNYY-SUNDUCHOK-10.png> (дата обращения: 27.07.2021).
3. Социально-экономическое положение Краснодарского края 2021. [Электронный ресурс]. – URL: <https://statrelt.ru/downloads/obzory/180.pdf> (дата обращения: 27.07.2021).
4. Инвестиции. Департамент инвестиций и развития малого и среднего предпринимательства. [Электронный ресурс]. – URL: <https://investkuban.ru/region/branch/kurorty-i-turizm/> (дата обращения: 27.07.2021).
5. Баранова А.Ю. Системный подход к формированию санаторно-курортных услуг // Вестник Академии знаний. 2018. № 3 (26). С. 43-50.

Меншуткин В.В., Минина Т.Р.

**Экология, экономика и демография Беломорья как управляемая сложная
эволюционирующая система**

*ФГБУН Институт проблем региональной экономики Российской академии наук
(Россия, Санкт-Петербург)*

doi: 10.18411/sr-10-08-2021-34

Аннотация

Современное развитие биосферы, темпы которого существенно выше темпов дарвиновской эволюции, в первую очередь обусловленное техническим прогрессом конца XX – начала XXI века, глобально и, вообще говоря, управляемо. Одним из подходов к управлению эволюционными процессами биосферы, в том числе экосистемами, является компьютерное моделирование сложных систем, в частности, когнитивное моделирование. Рассмотрен пример когнитивного моделирования сложной системы – эколого-социо-экономической системы (ЭСЭ-системы) для водосбора крупного водоема и его реализация для конкретного региона – водосбора Белого моря (Беломорья).

Ключевые слова: эволюция биосферы, эколого-социо-экономическая система (ЭСЭ-система), оптимальное управление, сложные системы, когнитивное моделирование, Беломорье.

Abstract

The modern development of the biosphere, the rate of which is substantially higher than the rate of Darwinian evolution, primarily due to the technological progress of the late 20th and early 21st centuries, is global and, generally speaking, manageable. One approach to managing the evolutionary processes of the biosphere, including ecosystems, is computer modelling of complex systems, in particular, cognitive modelling. An example of cognitive modelling of a complex system - an ecological-socio-economic system (ESE-system) for a catchment of a large water body and its implementation for a specific region - the White Sea (Belomorye) catchment - is considered.

Keywords: biosphere evolution, ecological-socio-economic system (ESE-system), optimal management, complex systems, cognitive modelling, White Sea region (Belomorye).

Научные достижения XX века в области генетики, нано-технологий, искусственного интеллекта, а также глобальные изменения климата привели к ускорению изменений биосферы Земли. За прошедшие сто лет мир стал гораздо более сложным и многообразным. Несмотря на то, что к 2003 году окончательно расшифрован геном человека, а генов у него десятки тысяч (и каждый из них что-то значит), пробелы в познаниях генетического кода человека остаются и сегодня. Для понимания процессов, происходящих в биосфере, и управления ими, в науке появилось понятие сложной системы [1], и в 1992 году на Конференция ООН по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро) была поставлена цель управления – «устойчивое развитие». При всей условности этого термина (По Моисееву: Устойчивое развитие – это развитие общества, приемлемое для сохранения экологической ниши человека и создания благоприятных условий для выживания цивилизации. Поскольку экологической нишей человечества является вся биосфера, понятие "устойчивое развитие" он трактует как совместную, скоординированную эволюцию (коэволюцию) человека и биосферы) [2], проблема развития биосферы всей планеты [3, 4], ее отдельного региона является одной из ключевых проблем всего комплекса современных наук о человеке и среде его обитания. Именно этому посвящения настоящая работа.

Под термином «сложная система» понимается такая система, которая не допускает упрощения без потери своих существенных свойств. Если говорить об эволюции сложных систем, то «Одно из основных и трудно определяемых понятий в теории эволюции – это понятие сложности... Сложность – это не просто многочисленность элементов, из которых состоит система, но и разнообразие этих элементов и связей между ними. Сложность порождает не только устойчивость, но и способность к изменениям, к эволюции» [5]. Например, если мы желаем изучить свойства популяции людей с учетом краткой биографии каждого ее члена, то система будет сложной, ибо потребует применения, по крайней мере, индивидуум-ориентированного моделирования. Если ограничиться только численностью возрастных групп или общей численностью, то система не считается сложной. Специфика сложных систем в том, что для их изучения не применим традиционный аппарат систем дифференциальных уравнений.

Рассмотрим одну из сложных систем, на которую влияет хозяйственная и социальная деятельность человека – антропосферу (часть биосферы, которая охватывает среду обитания человека). Предположим, что антропосфера состоит из регионов. Под регионом будем подразумевать административное образование,

государство, или природную зону, остров или водосбор крупного водного объекта. Определим регион как соподчиненность сложных систем (рис. 1).

В антропогенной части всей системы (левая ветвь графа на рис. 1), можно выделить такие самостоятельные системы как человеческая популяция (с демографической точки зрения), система социального и государственного (административного) устройства, а также система экономики, для которой можно ограничиться макроэкономическим приближением или считать отдельными системами различные образования (предприятия, средства связи и транспорта, бытового обслуживания и т.п.).

Управление системами, имеющими отношение к экономике, происходит специальным органом (государственная экономика) или на основе принципов рыночной экономики [6]. На практике обычно имеют силу оба принципа управления с широким диапазоном разделения сфер влияния. В экологической части системы (правая ветвь графа на рис. 1) экономика играет роль внешнего возмущающего воздействия, за исключением сельскохозяйственных и городских систем, где управление носит экономический характер.

В экологической части всей системы, выделены водные (экосистемы морей, озер и рек) и сухопутные (экологические системы городов и населенных пунктов, экосистемы, связанные с сельским хозяйством, лесные, степные и др. системы, сформированные по географическому или фаунистическому признаку).

Рис. 1. Соподчиненность сложных систем, входящих в состав антропосферы

Наиболее широко известна и разработана теория биологических систем [7, 8], ведущая свое начало от теории Чарльза Дарвина. Математическая и программная интерпретации теории Дарвина разработаны достаточно подробно [9], а теория послужила основой для одного из методов оптимального управления – эволюционного программирования [6]. Однако применение аппарата биологической эволюции к экономике является скорее экзотикой, чем правилом. Это связано с тем, что функция наследования, т.е. передачи информации от одного поколения следующему, в человеческом обществе осуществляется не только генетическим путем, но и передачей

информации посредством обучения, письменности и, в последнее время, электронных средств связи, хранения и переработки информации.

Проблема управления сложными системами возникла только после появления на Земле человеческой популяции. До появления человеческого общества эволюция жизни на нашей планете определялась в рамках дарвиновской теории [10, 11] возможно с некоторыми особенностями, особенно в мире вирусов и бактерий. Для эволюции высокоразвитых животных и растений справедливо преобладание дарвиновского типа эволюции, темпы развития которого во времени измеряемы в тысячах, а то и миллионах лет. Поскольку временные периоды развития человеческого общества на несколько порядков меньше – сотни и менее лет, при рассмотрении эволюции человеческого общества допустимо пренебречь дарвиновской составляющей его развития. Если дарвиновская эволюция принципиально неуправляема, естественно при принятом в современной науке понятии об управлении (с выделением цели и органа управления системой), то управление может стать решающим фактором при развитии человеческого общества.

Теория оптимального управления сложной системой предусматривает формулировку критерия оптимальности, средств управляющих воздействий и динамической модели объекта управления [12, 14]. Для экономической системы критерием оптимальности обычно выбирается уровень жизни населения, который полагается зависящим не только от средних доходов на человека, но и от качества окружающей среды и других параметров. Такой подход приводит к необходимости включения в модель экономики подмоделей, описывающих изменения в климатических и экологических характеристиках окружающей среды. С другой стороны, качество жизни населения, как критерий устойчивого оптимального развития всей системы [15] в существенной степени зависит от динамики структуры самого населения. Под комфортностью социальной жизни населения понимается совершенство функционирования правоохранительных органов, органов здравоохранения и средств самоуправления.

В общем виде процесс нахождения оптимального режима управления ЭСЭ-системой представлен на рис. 3.

Рис. 3. Блок-схема процесса моделирования и оптимизации управления сложной системой

Такой подход к оптимальному управлению экономико-экологической системой предполагает сохранение и улучшение условий существования человеческой популяции, учитывая демографию, экономику и культуру, но существует и другой подход, основанный на рассмотрении эволюции всей биосферы Земли с включением в нее человеческой популяции [4]. Критерий оптимальности при таком подходе формулируется как благополучное состояние всей антропосферы Земли, а не только популяции человека. Это отличается от доктрины «устойчивого развития» [16]. При всей привлекательности и обоснованности такого подхода [17, 18] возникают большие трудности с количественным представлением критерия оптимальности.

Активизация экономической и социальной деятельности человека на территории водосбора увеличила антропогенное воздействие водоем, на его экологическое состояние. Изучение влияния деятельности человека на территории водосбора на экологическое состояние водоёма проведено с помощью когнитивного моделирования разработанной эколого-социо-экономической системы (ЭСЭ-системы) крупного водоема и его водосбора. ЭСЭ-система – это экологическая система водоёма, в которую включены элементы, отражающие процессы, происходящие в экономике, окружающей среде и социальной сфере на его водосборе. При этом элементы могут различаться на несколько порядков размерности, иметь вероятностную природу и быть информационными. К такой системе не применимы методы, основанные на законах сохранения вещества и энергии, используемые при изучении экологических систем водоёмов [19, 21], тогда как когнитивное моделирование [22, 26] допускает существенное различие элементов моделируемого объекта, поскольку в нем закон сохранения не выполняется.

Рассмотрим когнитивную модель ЭСЭ-системы водосбора крупного водоема [27]. Основное отличие от разработанных ранее моделей [28, 29] – иерархическая структура, состоящая из подмоделей: экономика, демография, лесные экосистемы, водная экосистема и сельское хозяйство, объединенных системой управления. Основной критерий управления – повышение уровня жизни населения региона за счет инвестиций в промышленность, сельское и лесное хозяйство, рыболовство и рыборазведение, а также инвестиций в мероприятия по охране окружающей среды. Модель реализована для конкретного региона – водосбора Белого моря (Беломорья) [30], а в работах [31, 33] исследуются ЭСЭ-системы Беломорья, основанные на модели [28].

На блок-схеме когнитивной модели (рис. 2) изображены только входные переменные и переменные, которые отражают связи между подмоделями [27].

Рис. 2. Блок-схема ЭСЭ-системы водосбора крупного водоема

В работе [30] представлена реализация когнитивной модели ЭСЭ-системы Беломорья, приведены когнитивные карты каждой подмодели (заметим, что подмодели относятся к различным областям знания: экономика, демография, океанология, почвоведение и агрофизика). Показаны взаимосвязи, как между элементами подмодели, так и информация, которая поступает в подмодель из других подмоделей и блока управления.

На примере когнитивной модели ЭСЭ-системы Беломорья рассмотрено одно из направлений исследования динамики сложной системы – вычисление чувствительности (эластичности) системы к изменению воздействий. Коэффициенты чувствительности системы к внешним воздействиям, определяются по формуле

$$S(Y, X) = \left(\frac{Y_2 - Y_1}{Y_1} \right) / \left(\frac{X_2 - X_1}{X_1} \right),$$

где $S(Y, X)$ – коэффициент чувствительности свойства X при воздействии Y , X_1 – воздействие в норме, X_2 – измененное воздействие, Y_1 – свойство в норме, Y_2 – свойство после воздействия.

Сравнение коэффициентов чувствительности для шести переменных подмодели сельское хозяйство (*объем урожая, объемы органики, количество неорганического азота в почве, рост корневой системы деревьев, интенсивность фотосинтеза, минерализация почвенными микроорганизмами*) к изменению внешних воздействий (внесению удобрений и трех климатических – солнечной радиации, осадкам и температуры) показало, что при средних значениях всех внешних воздействий, наибольшее влияние на урожай оказывает количество выпавших осадков и температура воздуха.

Сравнение коэффициентов чувствительности валовой продукции к изменению параметров подмодели экономика (*коэффициентов* (прямых затрат, технического прогресса, амортизации фондов и роста численности населения), *доли* (капитала в функции Кобба-Дугласа, трудоспособного населения) и *норме накопления* показало, что максимальное положительное влияние оказывает увеличение доли капитала в выражении производственной функции, несколько меньшее – рост общей численности населения и трудоспособного населения, а остальные – на порядок меньшее (почти не влияют).

Изучено изменения состояния 7-ми переменных модели: *валовой региональный продукт* (ВРП) и *потребление* (подмодель экономика), *общая численность* и *средний возраст населения* (подмодель демография), *биомасса зоопланктона* (подмодель водная экосистема), *состояние лесов* (подмодель лесная экосистема) и *объем урожая* (подмодель сельское хозяйство) при максимальных инвестициях (1.0), среднем уровне жизни (0.5), отсутствии очистки (0.0) и незначительной миграции (0.1), неизменных в течение всего 50-летнего периода от начального устойчивого состояния системы, достигнутого при инвестициях (0.7), среднем уровне жизни (0.7), уровнем очистки (0.8) и отсутствии миграции (0.0) (отметим, что значения переменных в когнитивных моделях находятся в интервале от 0 до 1).

С увеличением инвестиций в промышленность региона возрастают ВРП и потребление. Растут и численность населения, и средняя продолжительность жизни. Однако с ростом ВРП увеличиваются объемы неочищенных сточных вод, что ухудшает состояние водной экосистемы (и качество воды), снижается урожайность, а состояние лесов почти не меняется. При снижении требований к уровню жизни населения происходит значительный спад производства и потребления, существенно сокращается численность населения, но увеличивается площадь занятая лесами. Состояние водоёма

сохраняется или несколько улучшается, а урожайность сельхоз продукции (на душу населения) увеличивается незначительно.

Сокращение расходов на очистку сточных вод негативно сказывается на объемах ВРП (сокращается значительно), на общей численности населения (из-за роста смертности), на состоянии экосистемы водоёма (водная экосистема практически разрушается) и объемах урожая, но почти не влияет на объёмы потребления, средний возраст населения и состояние лесов.

Отток населения из региона ведет к значительному сокращению ВРП и объёмов потребления, сокращению не только общей численности населения, но и снижению среднего возраста населения. При этом снижение численности населения оказывает существенное положительное влияние на состояние лесов и водной экосистемы (продуктивность которой увеличивается), а состояние сельского хозяйства улучшается незначительно.

Заключение

Принципиальная управляемость со стороны человеческого общества изменениями, происходящими в антропосфере Земли, накладывает на правительства и научное сообщество особую ответственность. Необходимо получение конкретных научно-обоснованных данных и всесторонний анализ средств достижения принимаемых мер и их возможных последствий. Имитационное компьютерное моделирование сложных систем применимо для решения этих проблем, но научное направление находится еще на начальной стадии своего развития. Особое внимание должно быть уделено обеспечению экологической безопасности, улучшению состояния окружающей среды, изучению климата, механизмов адаптации к климатическим изменениям, а также их последствиям.

Несмотря на то, что в моделировании экономических и экологических процессов достигнуты значительные успехи, в области социологии и психологии отдельного человека, необходимая для построения обобщающей модели деятельность, находится в начальной стадии. Предварительные модельные эксперименты [34] показали, что человеческий фактор в рассматриваемой проблеме может оказаться решающим.

*Работа выполнена по теме НИР ИПрЭ РАН № Г.Р. АААА-А19-119021390164-1
и частично по гранту РФФИ Грант РФФИ «Арктика» 18-05-60296*

1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы (пер. с англ. Э.Л. Наппельбаума; под ред. С.В. Емельянова). Москва: Мир. 1978. 312 с.
2. Моисеев Н.Н. Коэволюция природы и общества // Экология и жизнь. Весна-лето 1997.
3. Моисеев Н.Н. Расставание с простотой. М.: Аграф. 1998. 472 с.
4. Левченко В.Ф. Эволюционная биосферология. СПбГЭУ. 2020. 148 с.
5. Меншуткин В.В. Эссе об эволюции сложных систем (с лирическими отступлениями). 2012. Петрозаводск. 134 с.
6. Нельсон Р.Р., Уинстон С.Дж. Эволюционная теория экономических изменений. 2002. М.: «Дело». 535 с.
7. Медников Б.М. «Дарвинизм в XX веке» М.: «Советская Россия». 1975. 224 с.
8. Жуков Б.Б. Дарвинизм в XXI веке. 2020. М.: АСТ. 714 с.
9. Меншуткин В.В. Искусство моделирования. Физиология, эволюция, экология. 2010. СПб-Петрозаводск. 419 с.
10. Горбань А.Н., Хлебопрос Р.Г. Демон Дарвина. Идея оптимальности и естественного отбора. 1988. М.: Наука. 208 с.
11. Меншуткин В.В., Левченко В.Ф. Основанная на вероятностных клеточных автоматах модель эволюции антропосферы // Биосфера. 2017. Т. 9 № 4. С. 275-285.
12. Меншуткин В.В., Левченко В.Ф. Когнитивная модель коэволюции биосферы и человеческого общества // Биосфера. 2019. Т. 11. № 1. С. 27-39.
13. Лакофф Дж. Когнитивное моделирование // Сб. «Язык и интеллект». М. 1996. С. 143-182.

14. Горелова Г.В. Когнитивные исследования сложных систем // Сб. научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. СПб.: Политех-Пресс. 2019. С. 422-433.
15. Медников Б.М. «Дарвинизм в XX веке» М.: «Советская Россия». 1975. 224 с.
16. Жуков Б.Б. Дарвинизм в XXI веке. 2020. М.: АСТ. 714 с.
17. Математическая теория оптимальных процессов / Понтрягин Л.С., Болтянский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. М.: Физматгиз. 1961. 391 с.
18. Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во Иностранная литература. 1960. 400 с.
19. Федоренко Р.П. Приближенное решение задач оптимального управления. М.: Наука. 1978.
20. Когнитивное моделирование процесса обеспечения устойчивости регионального развития / Горелова Г.В., Захарова Е.Н., Мартышина Т.В., Панкратова Н.Д. // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 5: Экономика. № 2(14). 2014. 166-174.
21. Яблоков А.В., Левченко В.Ф., Керженцев А.С. О концепции управляемой эволюции как альтернативы концепции «устойчивого развития» // Теоретическая и прикладная экология. 2017. № 2. С. 4-9.
22. Марчук Г.И., Кондратьев К.Я. Приоритеты глобальной экологии. 1992. М.: Наука. 264 с.
23. Каттон У.Р. Конец техноутопии. Исследование экологических причин коллапса западных цивилизаций. 2006. Киев: ЭкоПраво. 256 с.
24. Моделирование экосистем больших стратифицированных озер (под ред. Л.А. Руховца) / Астраханцев Г.П., Меншуткин В.В., Петрова Н.А., Руховец Л.А. СПб.: Наука. 2003. 362 с.
25. Rukhovets L.A., Filatov N.N. (Eds). Ladoga and Onego – Great European Lakes: Observation and Modeling. Springer-Praxis Publishing. 2010. 320 p.
26. Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Филатов Н.Н. Состояние и перспективы развития моделирования экосистем пресноводных озер. Использование моделей для решения задач сохранения их водных ресурсов. СПб.: Нестор-История. 2013. 120 с.
27. Альбертин С.В. Когнитивное моделирование как способ научного познания и творчества // Гуманистические научные исследования. 2016. №8. С: 220-228.
28. Носов К.Г. Когнитивный подход к решению задач моделирования и построению САПР // Прикладная математика и вопросы управления. 2015. №1. С. 73-85.
29. Баксанский О.Е., Гнатик Е.Н., Кучер Е.Н. Естествознание. Современные когнитивные концепции. 2010. М.: URSS. 220 с.
30. Лакофф Дж. Когнитивное моделирование // Сб. «Язык и интеллект». М. 1996. С. 143-182.
31. Величковский Б.М. Когнитивная наука. Основы психологии познания. М.: Академия. 2006. 448 с.
32. Меншуткин В.В., Минина Т.Р. Моделирование эколого-социо-экономической системы водосбора крупного водоема // Сб. научных статей под ред. Л.П. Совершаевой. СПб.: ГУАП. 2020, 1(14). 328 с. С. 206-211.
33. Меншуткин В.В., Минина Т.Р. Когнитивная модель взаимодействия человеческого общества с экологической системой водоема // Региональная экономика и развитие территорий. Сб. научных статей ИПРЭ РАН. СПб. 1(11). 2017. С. 160-167.
34. Меншуткин В.В., Минина Т.Р. Когнитивное моделирование как аппарат исследования эколого-экономических систем // Региональная экономика и развитие территорий. Сб. научных статей ИПРЭ РАН. СПб. 2018. 1(12). С.157-163.
35. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н. Моделирование эколого-социо-экономической системы Белого моря и его водосбора // Морской гидрофизический журнал. 2021, т. 37, № 1. С 113-131.
36. 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.
37. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н. Когнитивное моделирование влияния рыболовства на уровень жизни населения Беломорья. Труды Карельского научного центра РАН. 2019. № 9. С. 145-154.
38. Меншуткин В.В., Филатов Н.Н. Моделирование оптимального управления эколого-социо-экономической системой водоем–водосбор на примере Беломорья // Водные ресурсы. 2020, том 47, № 3. С. 348–357.