3. Global futures and options trading reaches record level in 2019. Официальный сайт Futures Industry Association. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fia.org/resources/global-futures-and-options-trading-reaches-record-level-2019>
4. 2020 annual trends in futures and options trading. Официальный сайт Futures Industry Association. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fia.org/resources/2020-annual-trends-futures-and-options-trading>
5. FIA releases data on futures and options volume trends in first half of 2021. Официальный сайт Futures Industry Association. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fia.org/resources/fia-releases-data-futures-and-options-volume-trends-first-half-2021>

Меншуткин В.В., Минина Т.Р.

О моделировании эколого-социо-экономических систем

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

doi: 10.18411/scienceconf-09-2021-15

Аннотация

Ускорение технического процесса за прошедшие 100 лет внесло значительные изменения в круговорот биогенных элементов, воды и загрязнений биосферы Земли, создав экологические проблемы, для решения которых необходимы изменения в экономике и социальной сфере. Одним из подходов к управлению эволюционными процессами биосферы, в том числе экосистемами, является компьютерное моделирование сложных систем, в частности, когнитивное моделирование, которое стало возможным благодаря стремительному развитию компьютерных технологий. Приводится пример такого подхода к решению экологической проблемы сохранения водных ресурсов – когнитивное моделирование социо-эколого-экономической системы водосбора крупного водоема для исследования возможности повышения уровня жизни населения и развития социальной сферы водосбора при выполнении условий охраны окружающей среды.

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

Abstract

The development of the technical process over the past 100 years has introduced significant changes in the biogenic, water, and pollution cycles of the Earth's biosphere, creating ecological problems that require economic and social changes for their solution. One approach to managing the evolutionary processes of the biosphere, including ecosystems, is computer modelling of complex systems, in particular cognitive modelling, enabled by the rapid development of computer technology. The article gives an example of this approach to solving the ecological problem of water resources preservation - cognitive modeling of the socio-ecological-economic system of a large water basin studying the possibility of increasing the living standards of the population and developing the social sphere of the basin while meeting the environmental protection conditions.

Keywords: ecological-socio-economic system (ESE-system), optimal management, complex systems, cognitive modelling.

Начало XXI века характерно стремительными изменениями почти во всех аспектах жизни нашей планеты: от глобального изменения климата до быта каждого человека. Достижения в науке в третьем тысячелетии – это продолжение научных исследований XX века и их использование. Интернет, электронные библиотеки, on-line конференции оказали огромное влияние, как на самих исследователей, так и на проведение научных исследований. Мы наблюдаем существенные изменения и в биосфере Земли, связанные как с глобальными изменениями климата, так с ускорением технического прогресса. Появление человеческой популяции внесло существенные

изменения в процесс эволюции биосферы Земли. Если в эволюции дарвинского типа взаимодействие между популяциями различных видов определялось закономерностями биологического характера («конкурирующие», «хищник – жертва», «паразит – хозяин»), то с появлением человека к ним добавились такие как «вырубка леса», «истощение почв», «охота и рыболовство с применением технических средств». Параметры этих процессов определяются уже не экологическими процессами, а экономическими возможностями удовлетворения потребностей человеческого общества. Для понимания процессов, происходящих на нашей планете, в науке XX века произошел переход от приема упрощения (например, математик Чебышев начал свою лекцию так: «Предположим, что человеческое тело имеет форму шара») к изучению «сложных систем» (понятие «сложная система» появилось ещё в 1988 [1]). Произошли кардинальные изменения в самой сущности науки, ключевым моментом которых было появление и стремительное развитие вычислительной техники.

Если проследить возможности исследователей с предвоенного времени, то, можно сказать, что, в основном, вычислительная техника была представлена логарифмической линейкой (о которой поколение 80-х говорило: «Ой, на «палочке считает»»). Из арифмометров (механических вычислительных машин, предназначенных для выполнения арифметических действий) наиболее распространенным был «Феликс» (в производстве с 1929 г.), арифмометр Однера (конец XIX века, Санкт-Петербург) и «Рейнметалл» (30-е годы, Германия). Так, например, на арифмометре Однера были просчитаны варианты математических моделей [2].

Появление компьютеров дало толчок к применению математического моделирования в различных областях науки. Началом выпуска в СССР вычислительных машин был 1951 год, когда была создана — малая электронная счетная машина (МЭСМ), а в 1952 году — быстродействующая электронная счетная машина (БЭСМ). БЭСМ-1 внесла огромный вклад в исследование космоса и развитие атомной энергетики. Наименования вычислительных машин, созданных в 1950-х годах, исчисляются десятками, и почти все они имели модификации. У первых вычислительных машин не было трансляторов и программы (для «БЭСМ-2», например) записывались в истинных адресах и машинных кодах. Вариант транслятора с АЛГОЛ-60, разработанный А.П. Ершовым (1962 г.) ощутимо упростил и ускорил процесс программирования.

В конце 60-х годов начался серийный выпуск БЭСМ-6 — первой советской супер ЭВМ на элементной базе второго поколения — полупроводниковых транзисторах — с производительностью 1 млн оп/сек. Стали создаваться вычислительные центры.

Ученые стали активно использовать ЭВМ в научных исследованиях, однако на ранней стадии ЭВМ использовались, в основном, для статистической обработки данных. Постепенно математическое моделирование стали применять в различных областях науки, и чем сложнее был объект, тем более трудоёмким было программное обеспечение. Так, при математическом моделировании, например, дарвиновской эволюции (элементом модели была особь со своим фенотипом и генотипом) [3], для моделирования, например, такого события как выход позвоночных животных из водной среды на сушу, требовалось одновременное существование десятков, а то и тысяч таких особей. При не слишком высоком, на современный взгляд, быстродействии ЭВМ ДНЕПР-2 на проход только одной реализации случайного процесса эволюции уходило несколько часов. При использовании современных суперкомпьютеров сейчас можно достичь большего приближения к природе, но тогда в 70-е годы прошлого века это не представлялось возможным.

Если в разработке комплексной программы участвовало несколько различных исследовательских групп, и связь между подмоделями осуществлялась при помощи передачи числовых массивов и фрагментов программ, то существенные трудности

были связаны с тем, что при создании подмоделей использовались различные языки программирования и вычислительные машины [4].

Особенно острыми на рубеже веков стали экологические проблемы, для решения которых необходимы изменения в экономике и социальной сфере. Одной из экологических проблем является сохранение водных ресурсов.

Крупные водоемы (озера и водохранилища) представляют собой сложные целостные системы, как это следует из самого определения науки лимнологии [5]. Поэтому управляться они должны именно как *целостные системы* без разделения на гидрологическую, гидрохимическую, гидробиологическую, рыбохозяйственную и иные составляющие, как это часто делается на практике. Подобное разделение может приводить и приводит к серьезным, а иногда и катастрофическим последствиям. Выделение одних сторон хозяйственного использования водоемов в ущерб другим, например увеличение выработки электроэнергии за счет подрыва рыбного хозяйства (Севан) или сброса сточных вод в ущерб уникальным качествам воды (Байкал), достаточно хорошо известны. Однако при построении моделей водных экосистем, без которых не может быть решена проблема их оптимального управления, преобладает такой же ведомственный подход. Если гидродинамические модели, основанные на численном решении уравнений Навье-Стокса еще стыкуются с гидробиологическими проблемами, то рыбное хозяйство они полностью игнорируют. И, наоборот, при определении общего допустимого улова гидродинамические характеристики водоема обитания рыбы никак не учитываются.

Активизация экономической и социальной деятельности человека на территории водосбора увеличила антропогенное воздействие на водоем, на его экологическое состояние. Для изучения этого воздействия была разработана когнитивная модель эколого-социо-экономической системы (ЭСЭ-система) крупного водоема и его водосбора [6], состоящая из подмоделей: экономика, демография, лесные экосистемы, водная экосистема и сельское хозяйство. Критерием оптимальности ЭСЭ-системы выбран уровень жизни населения, который полагается зависящим не только от средних доходов на человека, но и от качества окружающей среды и других параметров. С другой стороны, качество жизни населения, как критерий устойчивого оптимального развития всей системы [7], в существенной степени зависит от динамики самого населения. Под комфортностью социальной жизни населения понимается совершенство функционирования правоохранительных органов, органов здравоохранения и средств самоуправления.

Ниже приведены результаты исследования динамики зависимости параметров подмоделей ЭСЭ-системы от изменения внешних воздействий.

Для подмодели сельское хозяйство при средних значениях всех внешних воздействий, наибольшее влияние на урожай оказывает количество выпавших осадков и температура воздуха, и почти не влияет количество внесенных удобрений и число солнечных дней.

Для подмодели экономика максимальное положительное влияние на валовой региональный продукт (ВРП) оказывает увеличение доли капитала в производственной функции, несколько меньшее – рост общей численности населения и трудоспособного населения.

Для всей ЭСЭ-системы проведен следующий эксперимент. Предположим, что устойчивое состояние ЭСЭ-системы достигнуто при инвестициях (0.7), среднем уровне жизни (0.7), уровне очистки (0.8) и отсутствии миграции (0.0) (отметим, что значения переменных в когнитивных моделях находятся в интервале от 0 до 1). Посмотрим, какие изменения произойдут в ЭСЭ-системе, изначально находящейся в устойчивом состоянии, если постоянно в течение экспериментального пятидесятилетнего периода инвестиции будут максимальны (1.0), уровень жизни средний (0.5), очистка отсутствует (0.0) и миграция незначительная (0.1).

Результаты эксперимента показали, что с увеличением инвестиций в промышленность региона возрастают ВРП и объемы потребления. Увеличивается как численность населения, так и средняя продолжительность жизни. Однако увеличение объемов неочищенных сточных вод, вызванных ростом ВРП, ухудшает качество воды и состояние водной экосистемы, снижается урожайность, а состояние лесов почти не меняется.

Снижение требований к уровню жизни населения приводит к существенному спаду как производства, так объемов потребления. Заметно сокращается численность населения, однако увеличивается площадь лесных массивов. Состояние водоёма сохраняется или несколько улучшается, а урожайность сельхоз продукции (на душу населения) увеличивается незначительно.

Сокращение расходов на очистку сточных вод приводит значительному сокращению объемов ВРП, происходит рост смертности (общая численность населения сокращается), водная экосистема практически разрушается, объемы урожая снижаются. Тем не менее, расходы на очистку сточных вод почти не влияют на объемы потребления, средний возраст населения и состояние лесов.

Отток населения из региона ведет к существенному сокращению ВРП и объемов 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

Работа направлена на решение экологических проблем крупного водоема, возникших в связи с увеличением антропогенной нагрузки из-за активизации экономической и социальной деятельности населения на территории его водосбора. Исследована когнитивная модель ЭСЭ-системы водосбора крупного водоема. Предполагается дальнейшее развитие модели, которое может быть направлено на поиск таких воздействий на систему, которые приведут к максимальному повышению уровня жизни населения, соблюдая условия охраны окружающей среды и особенно качества воды.

Работа выполнена по теме НИР ИПРЭ РАН № Г.Р. АААА-А19-119021390164-1

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. Меншуткин В.В., Жаков Л.А. Применение математического моделирования в исследованиях по динамике численности популяции окуня // В кн.: Тезисы докладов 10-ой конференции по Биологии водоемов Прибалтики. Минск. 1963. С. 104-105.
3. Меншуткин В.В. Опыт имитации эволюционного процесса на вычислительной машине // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. 15(5). 1977. С. 545-555.
4. Невская губа – опыт моделирования (отв. ред. В.В. Меншуткин) // Санкт-Петербургский Научный центр Российской Академии наук. СПб. 1997. 375 с.
5. Верещагин Г.Ю. Лимнология и ее главные задачи // Вестник АН СССР, 1934, № 10. С. 1-8.
6. 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.
7. 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.