

# МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

**Н.К.В. Санникова, И.Е. Тимченко**

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
*E-mail:* oaoi@alpha.mhi.iuf.net

*Развита модель социальной эколого-экономической системы включением интеллектуальных агентов управления. Получены прогнозируемые модельные сценарии развития глобальных процессов с учетом аддативного баланса возможных причин и следствий.*

**Введение.** Развитие теории сложных систем и, в частности, теории искусственного интеллекта, представляет собой одну из приоритетных задач современного естествознания. Эколого-экономические системы (ЭЭС) относятся к категории подобных систем в виде большого количества взаимодействующих факторов, которые определяют динамику происходящих в системах процессов [1]. Поэтому некоторые результаты теории искусственного интеллекта могут быть успешно использованы при построении динамических моделей глобальных систем и при создании информационных технологий управления процессами в ЭЭС.

Одним из таких примеров может служить применение логических операций управления в алгоритмах решения уравнений эколого-экономических моделей. В виду большого разнообразия внешних воздействий на социальные ЭЭС и различной реакции на них самих ЭЭС весьма часто возникает необходимость переключения параметров моделей с одних значений на другие. По этой причине модели ЭЭС должны включать, наряду с традиционными системами динамических уравнений, так называемые, интеллектуальные агенты управления (ИАУ). Агенты следят за изменениями значений некоторых из происходящих в сложной системе процессов и выполняют предписанные им функции управления параметрами модели.

В ходе работы была построена интегрированная модель глобальных эколого-экономических процессов [3]. Модель была formalизована применением метода аддативного баланса влияний (метод ABC) [2]. Совместно с системой динамических уравнений, в состав модели включены ИАУ.

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что применение ИАУ в уравнениях эколого-экономической модели позволяет моделировать сложные сценарии развития природных и социально-экономических процессов.

**Динамическая модель глобальной социальной эколого-экономической системы.** Широко известная GAIA-теория выдвигает гипотезу о способности адаптации глобальной природной системы к изменениям внешних условий путем саморегуляции, обеспечивающей живыми организмами. В настоящей работе был расширен круг таких явлений, включением в их число и природных, и социально-экономических процессов. Глобальная социальная ЭЭС и ее природная окружающая среда находится в состоянии аддативного баланса, обеспечивающем устойчивое развитие. Основываясь на этой гипотезе, была построена модель глобальных природных и общественно-экономических процессов с использованием метода моделирования ABC.

В соответствии с системными принципами построения ABC – моделей были определены наиболее важные процессы мирового развития. Основными целевыми установками устойчивого развития являются материальный уровень жизни населения и обеспечение безопасности людей. Материальный уровень жизни населения, в первую очередь, зависит от развития производства, от количества населения и его занятости. Развитие производства определяется образованием, наукой, технологиями производства и использованием ресурсного потенциала Земли. Рост производства уменьшает безработицу, но одновременно ухудшает качество окружающей среды, за счет загрязнения отходами промышленности, энергетики, транспорта. Содержание парниковых газов в атмосфере повышает среднюю температуру поверхности, однако, вступают в силу механизмы саморегуляции, компенсирующие это повышение. Важным побочным эффектом саморегулирования температуры являются резкие колебания погоды, проявляющиеся в возникновении ураганов и наводнений. Предполагается, что человечеству угрожают два интегрированных процесса: «экологическая опасность» и «социальная опасность». Включением в модель процесса «самоорганизация общества», обеспечивается противодействие растущим экологической и социальной опасностям за счет компенсирующего влияния на них со стороны достижений образования, науки и системного мышления. Построенная модель приведена на рисунке 1.

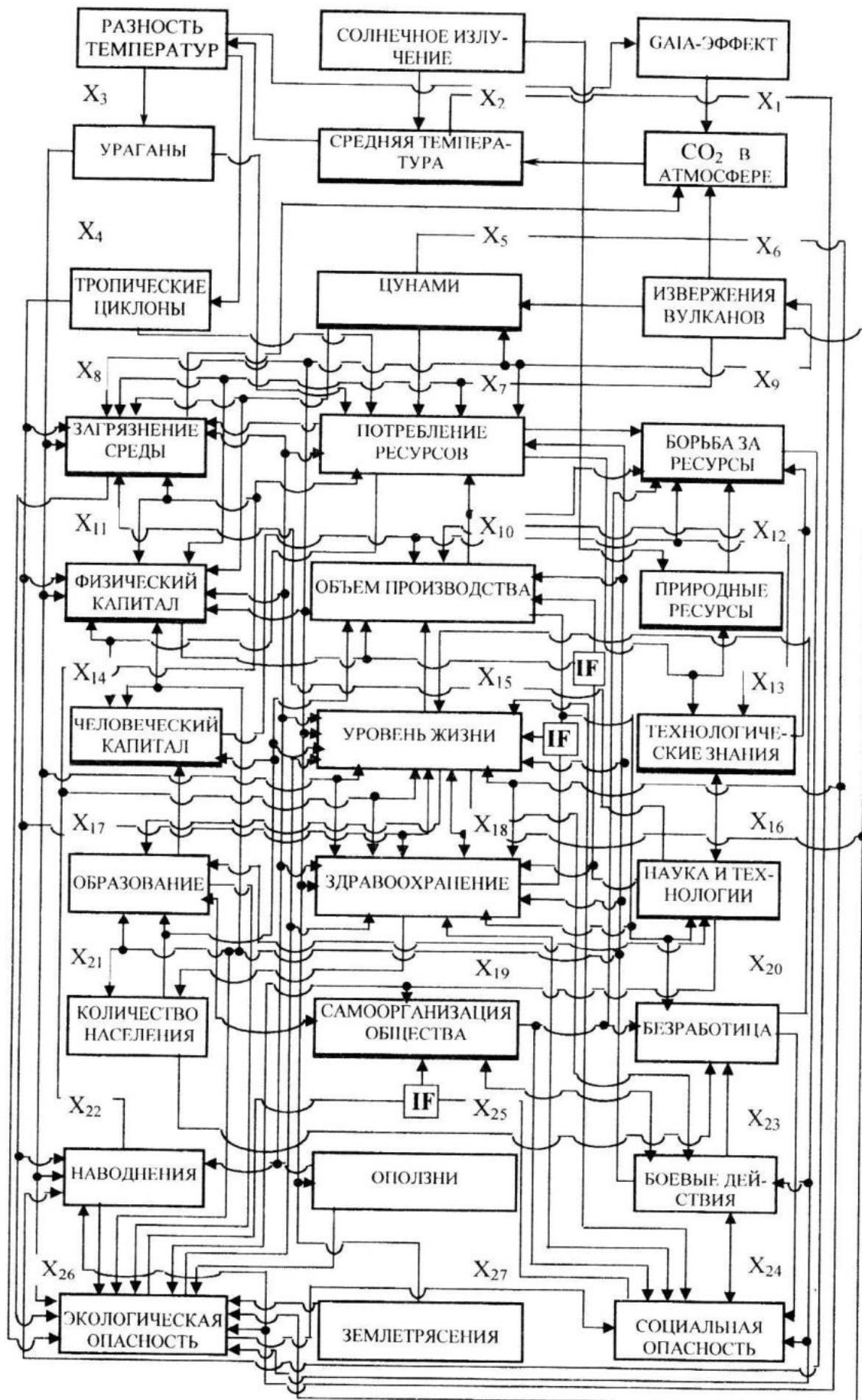


Рисунок 1 – Интегрированная модель глобальных природных и социально-экономических процессов

Для формализации модели использовался подход, основанный на методе АВС. Основное уравнение метода АВС выражает собой баланс тенденций в изменении значений процесса, обусловленных влияниями на него со стороны других процессов. Оно имеет следующий вид

$$dx_i/dt = x_i - 2(a_{i1}x_1x_i + a_{i2}x_2x_i + \dots + a_{in}x_nx_i + x_i^2),$$

где переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  характеризуют сценарии интересующих нас процессов в окружающей среде;  $a_{ij}x_j$  – влияние, оказываемое процессом  $x_j$  на процесс  $x_i$  ( $i, j = 1, 2, \dots, 26$ ).

**Применение ИАУ для имитации эколого-экономических процессов развития.** В правых частях полученных уравнений присутствуют слагаемые вида AD, представляющие собой первую группу ИАУ. Они контролируют поведение системы в границах допустимых значений параметров состояния процессов

$$AD(x_i) = IF\{x_i(t) < x_0; -a_{j/i}; -\beta_{j/i}[1 - \exp(-\alpha_{j/i}t)]\}.$$

Вторая группа ИАУ, имеющая в модели обозначения:  $\min\{a_{j/i}x_i; a_{j/k}x_k\}$ , отображена на концептуальной модели ограничительными блоками “IF”. С их помощью учитываются дополнительные факторы ограничений в ситуациях, когда функционирование какого-либо элемента модели осуществляется при одновременном действии нескольких влияющих на него элементов. В таком случае, в качестве основного влияния на данный процесс, используется лишь определяющая из характеристик, входящих в класс “одновременно необходимых”.

Слагаемые вида AT представляют собой третью группу ИАУ. Они не только отслеживают границы допустимых значений параметров состояния системы, но также учитывают запаздывания процессов роста по отношению к вызвавшим их причинам

$$AT(x_i) = IF\{x_j(t-\tau_j) < x_0; 0; -\beta''_{k/i}[1 - \exp(-\alpha''_{k/i}t)]\},$$

где  $\tau_j$  – задержка по времени.

Четвертая группа ИАУ AK изменяет величины коэффициентов влияния одних процессов на другие, в зависимости от принимаемых ими значений

$$AK(x_i) = IF\{x_j(t)/x_i(t) > x_0; -a_{k/i}; a_{k/i}\}.$$

Последняя, пятая группа ИАУ имеет в модели обозначения AE и представлена следующим выражением

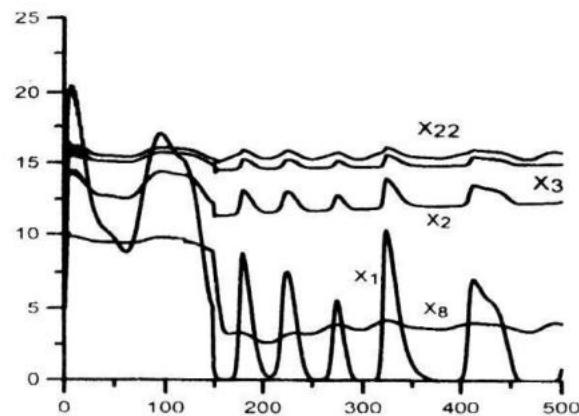
$$AE(x_i) = IF\{x_i(t) > x_0; 0; -\beta_{k/i} \exp[-(t^* - t)^2]\}.$$

**Демонстрация действия ИАУ.** Далее проводились вычислительные эксперименты с моделью, демонстрирующие возможные сценарии глобального развития с учетом процессов самоорганизации общества. Использовались безразмерные процессы  $x_1 - x_{28}$ , приведенные к общей шкале изменчивости (0,25). Выбор коэффициентов влияний  $a_{ij}$  в уравнениях обеспечил взаимное приспособление всех процессов и привел систему в стационарное состояние баланса влияний. Расчеты по этой модели выполнялись на 500 шагов безразмерного времени.

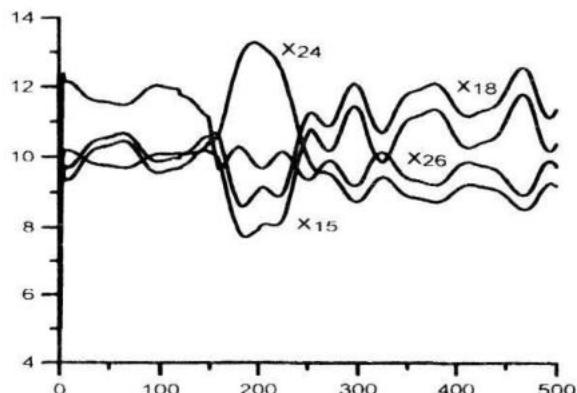
Представляло интерес провести эксперимент, в котором природные механизмы GAIA – регулировки оказываются неспособными полностью исключить рост средней температуры поверхности Земли. Могут ли в этих условиях эффекты самоорганизации общества ослабить экологическую и социальную опасность и поднять материальный уровень населения Земли?

В проведенном эксперименте были имитированы случайные колебания концентрации парниковых газов в атмосфере, вызываемые мощными выбросами  $CO_2$ . Сначала был имитирован рост конкурентной борьбы за ресурсы, а после 200 шага вычислений, – ее прекращение. Соответствующие сценарии развития показаны на рисунке 2. На первых 100 шагах вычислений в условиях отсутствия GAIA – регулировки средней температуры возросли уровни экологической и социальной опасности, наблюдалось резкое падение уровня жизни и здравоохранения. После включения эффекта регулировки средней температуры появилась тенденция к ее уменьшению, однако высокий уровень загрязнения окружающей среды сохранился. Продолжалось, хотя и замедленное, падение уровня жизни, производства, здравоохранения. Экологическая и социальная опасность оставались высокими.

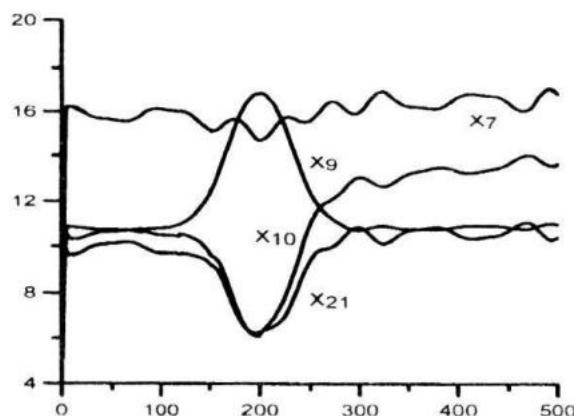
Агент AT( $x_{19}$ ) (отображающий инертный процесс роста возобновляемых природных ресурсов (леса), поглощающих углекислый газ, как реакцию на превышение им в атмосфере ( $x_1$ ) установленного допустимого значения) срабатывает на 80-м шаге.



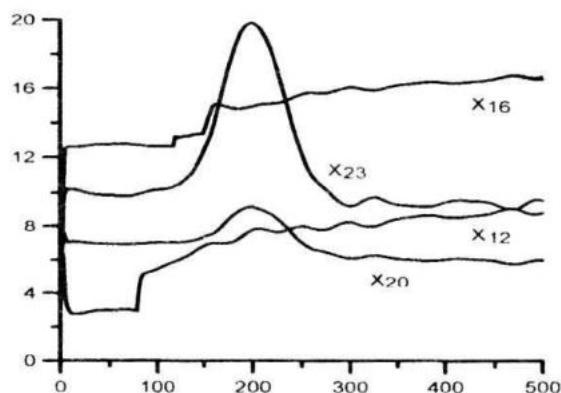
а



б



в



г

Рисунок 2 – Сценарии развития процессов

Агент AT( $x_{10}$ ) (имитирующий рост чистых технологий ( $x_{16}$ ), направленных на сокращение потребления ресурсов (вторичная переработка, использование альтернативных источников энергии), после превышения кривой загрязнения окружающей среды ( $x_8$ ) установленного допустимого значения) срабатывает на 150-м шаге вычислений. С 200 шага по времени было имитировано постепенное ослабление борьбы за ресурсы, как следствие процессов самоорганизации общества. Это отчетливо демонстрирует график кривой  $x_9$  на рисунке 2 в. С ним явно связано поведение после 200 шага вычислений всех сценариев развития. Продолжила уменьшаться экологическая опасность  $x_{26}$ , начала заметно снижаться социальная опасность  $x_{24}$ , появился рост производства  $x_{10}$  и жизненного уровня  $x_{15}$ . Таким образом, природные механизмы GAIA – регулировки, усиленные механизмами самоорганизации общества, способны контролировать глобальные сценарии развития даже в условиях значительного уровня загрязнения окружающей среды.

Для того чтобы снизить экологическую опасность, наука должна не только способствовать росту производства, но и создавать

для него передовые экологически чистые технологии, уменьшающие загрязнение окружающей среды.

**Заключение.** Применение интеллектуальных агентов управления в уравнениях эколого-экономической модели позволяет моделировать сложные сценарии развития процессов благодаря нелинейным взаимодействиям и эффектам запаздывания следствий по отношению к вызвавшим их причинам.

## Л и т е р а т у р а

1. В.Н. Еремеев, Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко. Моделирование эколого-экономических систем. Экоси-гидрофизика. Севастополь. 2004. – 320 с.
2. И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова, С.М. Солодова. Адаптивный баланс глобальных процессов развития. Экоси-гидрофизика. 2000. – 225 с.
3. Н.К.В. Санникова, И.Е. Тимченко. Моделирование глобальных процессов развития в системе “экономика+климат” // Научная конференция “Ломоносовские чтения” 2007 года. 2007. – С. 125 – 126.