

## ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИМОРСКОГО РЕГИОНА

*Е.В. Романовский*

Морской гидрофизический институт  
НАН Украины  
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2  
E-mail: [eromanovskiy@gmail.com](mailto:eromanovskiy@gmail.com)

*В статье представлена концептуальная эколого-экономическая модель, построенная с позиций межотраслевого баланса В.В. Леонтьева методом Адаптивного баланса влияний, который разработан в Морском Гидрофизическом институте НАН Украины и для поставленной задачи обладает рядом преимуществ. Так для реализованной модели предложены методы идентификации коэффициентов функций влияния и ассимиляции данных наблюдений.*

**Введение.** Принцип управления прибрежными природно-хозяйственными комплексами заключается в нахождении и поддержании необходимого равновесия между экономической пользой от потребления природных ресурсов морской среды и сохранением ее естественных биологических и физико-химических свойств. Исходя из этого, их целесообразно рассматривать как сложные эколого-экономические системы, объединяющие в своем составе морскую среду и территорию суши. Морская среда является источником разнообразных природных ресурсов, которые потребляет население территории в процессе хозяйственной деятельности. Для количественного анализа возможных сценариев развития систем «море-суша» необходимо разрабатывать модели интегрированного управления, используя для этого системную концепцию динамического баланса тех экологических и экономических процессов, которые существенны для поставленных целевых установок устойчивого развития конкретной системы.

Для решения этой задачи крайне важным является построение иерархической связки двух систем: экосистемы прибрежной морской среды и экосистемы суши, потребляющей морские ресурсы, а разработанная исходя из описанных принципов, модель позволит рассмотреть возможности управления системой «море-суша» на основе эколого-экономического баланса, обес-

печивающего рентабельное потребление ресурсов при сохранении качества среды.

**Описание модели.** Предложенная модель построена методом Адаптивного Баланса Влияний (Adaptive Balance of Causes, ABC), который разработан в Севастопольском Гидрофизическом институте НАН Украины. Такой выбор обусловлен тем фактом, что большинство природных экосистем относится к сложным открытым системам, которые находятся в состоянии динамического равновесия с окружающей их внешней средой: внутренние причинно-следственные связи сохраняются постоянными или, по крайней мере, изменяются значительно медленнее, чем те процессы, которые описывает эта система.

В модели можно выделить две основные части: модель леонтьевского типа, описывающая производственный сектор региона, и модель морской экосистемы. В экономической составляющей модели отдельно выделяются предприятия, потребляющие морские ресурсы для производства продукции, с целью ее дальнейшей реализации ее на рынке. При этом сделаны следующие допущения: во-первых, предприятие, потребляющее биоресурс, уменьшает его концентрацию пропорционально объему выпуска продукции. А во-вторых, существует предельно допустимая концентрация биоресурса, за которой наступают необратимые изменения естественного биологического разнообразия природной среды. В качестве инструментов, препятствующих такому развитию событий, в модели выделены меры экономического воздействия на предприятие: ресурсная рента – налог на продукцию предприятия, потребляющего морские ресурсы, и экологический штраф, накладываемый на предприятие за превышение квот по потреблению биоресурса.

Кроме отраслей, занятых непосредственно в производстве товаров, в экономической части модели учитываются и предприятия работающие на рынке услуг, и, прежде всего, рекреационный комплекс. Для успешного развития этой отрасли важна не только успешность экономики приморского региона, но и состояние прибрежной экосистемы. В предложенной модели этот фактор непосредственно влияет на спрос, который для модели является базовой функцией влияния. Рассматриваемый метод моделирования допускает использо-

вание функций влияния любого вида. В случае если имеется достаточное количество данных наблюдений, функции влияния могут задаваться в аналитическом виде или в виде таблиц. В ином случае, когда наблюдения вовсе отсутствуют, можно использовать заключения экспертов или подбирать вид соответствующей функции экспери-

$$\frac{dx_j}{dt} = x_j \left[ 1 - 2 \left( x_j - \sum_{k \neq j}^n a_{jk} x_k - a_{jF1} x_{F1} - \dots - Z_j \right) \right], \quad (1)$$

где  $x_j$  – объем выпуска отрасли  $j$ ,  $a_{jk}$  – коэффициенты прямых затрат в модели Леонтьева, описывающих потребление продукции других отраслей;  $a_{jF1}$  – потребление одного или нескольких морских ресур-

$$\frac{dy_j}{dt} = y_j \left[ 1 - 2 \left( y_j - \sum_{k \neq j}^n b_{jk} y_k - R_j - P_j - C_{\%} \cdot C_{ocm} \right) \right], \quad (2)$$

где  $b_{jk}$  – матрица, описывающая цену единицы ресурса, потребляемого в процессе производства;  $R$  и  $P$  – ресурсная рента и экологический штраф соответственно;  $C_{\%}$  – процент по текущему кредиту предприятия и  $C_{ocm}$  – остаточная задолженность по кредиту.

В экологической составляющей модели выделены следующие процессы: фитопланктон (FP), зоопланктон (ZP), три вида промысловой рыбы (F1 – F3) и биоресурс (BR), к которому отнесем остальных живых существ, кроме выделенных отдельно F1 – F3. В качестве этих процессов рассматриваются изменения биомассы каждой выделенной группы в единице объема. Далее вводятся процессы, обеспечивающие существование перечисленных классов живых объектов. Для фитопланктона – это солнечная радиация (SR) и химические соединения, необходимые для протекания процесса фотосинтеза и являющихся продуктом разложения органического вещества ( $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$ ,  $\text{PO}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ). Условия существования зоопланктона в основном определяются концентрациями фитопланктона и растворенного в воде кислорода (OX). Для рыб и биоресурса необходимы зоопланктон и кислород (рассматривается только классическую трофическую цепь). По традиционной схеме трансформации органического вещества, отмирающие живые организмы являются источниками органических соединений азота, углерода и фосфора. Затем, на за-

ментальным путем. При этом о корректности данных можно косвенно судить по реакции модели.

Таким образом, объем выпуска  $j$ -й отрасли будет описываться уравнением вида (1), а цена единицы произведенного этой отраслью товара

сов;  $Z$  – функция описывающая конечный спрос, который в свою очередь зависит от цены единицы продукции  $y_j$  произведенного этой отраслью товара:

вершающей стадии трансформации органического вещества, образуются формы азота  $\text{NO}_2$ ,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4$  и фосфора  $\text{PO}_4$ .

Все перечисленные факторы подвержены активному внешнему влиянию. Кроме солнечной радиации на систему влияют природные ветер (WF), увеличивающий содержание кислорода в верхнем слое; температура морской воды (TW); пресноводный сток рек (RF), служащий дополнительным источником органических веществ и биогенных элементов. С ним связан вынос в море загрязняющих веществ (PL), он отражается на солёности морской воды (SA) и на содержании биогенных элементов.

Концептуальная модель экосистемы представляет собой схему взаимных влияний перечисленных процессов. Модель реализуется системой из двадцати одного уравнения, общий вид которых аналогичен уравнению (1): коэффициенты описывают взаимное влияние процессов в экосистеме, а, кроме того, F1 – F3 зависят от объемов их промышленной заготовки. Кроме этого, в модель включен набор интеллектуальных агентов управления – условных операторов, контролирующих поведение системы в границах допустимых значений её параметров.

**Имитационные эксперименты с моделью.** Для проведения имитационных экспериментов модель эколого-экономической системы была представлена в форме конечно-разностных уравнений. Все моделируемые процессы путем линейных преобразо-

ваний были приведены к безразмерной форме и к общему интервалу изменчивости от 0 до 1, а коэффициенты влияния в уравнениях выбирались в диапазоне значений от 0,01 до 0,5. После этого вычисления производились на 365 шагов по времени с интервалом в одни сутки.

Во всех экспериментах, в соответствии с выбранными масштабами изменчивости, в качестве внешних влияний на экосистему были заданы годовой ход солнечной радиации SR, температуры воды TW и ветра WF, а также сток рек RF.

Пример полученных в результате рабо-

ты модельных прогнозов приведен на рисунках 1 и 2, где ось абсцисс есть время, а ордината объем выпуска отраслью X1 и концентрация F2 соответственно. Процесс X1 моделирует отрасль, потребляющую в процессе производства морские ресурсы, а F2 – процесс, отражающий изменение биомассы рыбы, потребляемой в промышленных масштабах отраслью X1. Построенные два сценария развития позволяют оценить эффективность экологозащитных мероприятий, направленных на сохранение биоресурса, и экономический эффект от их реализации.



Рисунок 1 – Эффект применения ресурсной ренты и экологических штрафов в качестве экономических санкций



Рисунок 2 – Применение ресурсной ренты и экологических штрафов с целью сохранения концентрации биоресурса в допустимых пределах

**Заключение.** В статье приведено описание эколого-экономической модели. Рассмотренные примеры показывают широкие возможности исследования процессов развития в эколого-экономических системах методами имитационного моделирования, а модульный принцип построения системы динамических уравнений позволяет легко добавлять в модель новые процессы.

### Литература

1. В.Н. Еремеев, Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко. Моделирование эколого-экономических систем. Севастополь, Изд. «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2004. – 322 с.
2. И.И. Тимченко, Е.М. Игумнова, И.Е. Тимченко. Образование и устойчивое развитие. Системная методология. Севастополь, Изд. «ЭКОСИ – Гидрофизика», 2004. – 527 с.