

ИМИТАЦИЯ СЦЕНАРИЕВ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЕ

И.П. Лазарчук

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2

В статье рассматривается схема построения модели имитационных процессов. В модель включены внешние воздействия. Модель построена численно. Целью работы является проверка реакции модели на внешние воздействия и возможности прогнозирования непрерывных процессов на основе дискретных наблюдений.

Введение. Рассматривается годовая изменчивость концентраций фито-, зоопланктона, личинок рыб, рыб, биогенов и детрита, кислорода и углекислого газа в морской экосистеме [1, 2]. Годовые сценарии этих концентраций осреднены (интегрированы) по всей акватории. В качестве внешних воз-

действий на экосистему используется интегральный годовой ход модуля скорости ветра, освещенности, влияния речного стока и температуры моря. На основе экспертных данных о причинно-следственных связях между этими интегральными процессами строится концептуальная модель экосистемы (рис. 1).

Применяя стандартное уравнение метода АВС [3] и используя схему причинно-следственных связей рисунка 1, получим систему динамических уравнений модели

В эти уравнения АВС модели экосистемы вводятся агенты управления и операторы лимитирования, учитывающие условия развития моделируемых процессов A_i и дополнительные функции f_i , которые представляют внешние влияния, формирующие изменчивость интегрированных процессов в морской экосистеме.

Вводятся в рассмотрение отклонения годового хода процессов в экосистеме от среднего многолетнего. Применение к от-

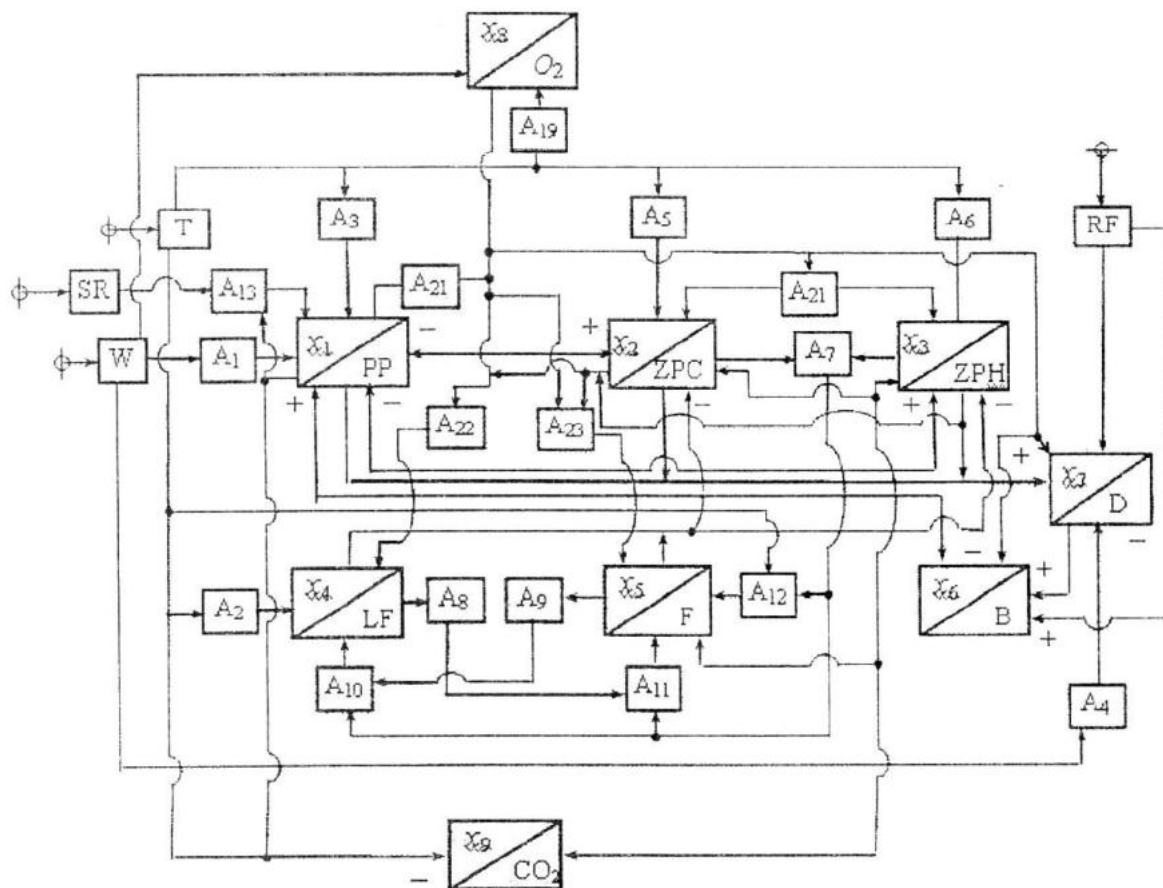


Рисунок 1 – Концептуальная модель морской экосистемы

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_1 \left[1 - c_1 (x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 - a_{16}x_6 - A_3(T) + [-A_{20}(A_{14}(x_9), A_{13}(SR))]) - f_1 \right] \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2 \left[1 - c_2 (x_2 - a_{21}x_1 + a_{24}x_4 + a_{25}x_5 - A_5(T) - a_{29}x_9 - A_{21}(x_1, A_{16}(x_8))) - f_2 \right] \\ \frac{dx_3}{dt} &= x_3 \left[1 - c_3 \left(x_3 - a_{31}x_1 + a_{34}x_4 + a_{35}x_5 - A_6(T) - A_{21}(x_1, A_{15}(x_8)) - a_{39}x_9 - f_3 \right) \right] \\ \frac{dx_4}{dt} &= x_4 \left[1 - c_4 (x_4 - A_{10} \{A_7(x_2, x_3); A_9(x_5)\} - A_2(T) - a_{49}x_9 - A_{22}(x_2, A_{17}(x_8)) - A_{23}(x_3, A_{17}(x_8)) - f_4 \right] \\ \frac{dx_5}{dt} &= x_5 \left[1 - c_5 (x_5 + A_{11} \{A_7(x_2, x_3); A_8(x_4)\} - A_{12}(T) - a_{59}x_9 - A_{22}(x_2, A_{18}(x_8)) - A_{23}(x_3, A_{18}(x_8)) - f_5 \right] \\ \frac{dx_6}{dt} &= x_6 \left[1 - c_6 \left(x_6 + a_{61}x_1 - a_{67}x_7 - a_{6rf}RF - a_{68}x_8 - f_6 \right) \right] \\ \frac{dx_7}{dt} &= x_7 \left[1 - c_7 (x_7 - a_{71}x_1 - a_{72}x_2 - a_{73}x_3 - a_{7rf}RF + A_4(W) - f_7 \right] \\ \frac{dx_8}{dt} &= x_8 \left[1 - c_8 \left(x_8 - A_{19}(T) - a_{8W}W - a_{89}x_9 - a_{81}x_1 - a_{82}x_2 - a_{83}x_3 - a_{84}x_4 - a_{85}x_5 - a_{86}x_6 - f_8 \right) \right] \\ \frac{dx_9}{dt} &= x_9 \left[1 - c_9 \left(x_9 - a_{91}x_1 - a_{92}x_2 - a_{93}x_3 - a_{94}x_4 - a_{95}x_5 - a_{97}T - a_{98}x_8 - f_9 \right) \right] \end{aligned}$$

клонениям построенных выше уравнений позволяет создать динамико-стохастическую модель (DSM) интегральных процессов в экосистеме [4]. Ее назначением является слежение за изменчивостью процессов конкретного года путем усвоения данных наблюдений в DSM экосистемы.

Для иллюстрации данного алгоритма наблюдений рассматривается модельный эксперимент, имитирующий изменчивость процессов в морской экосистеме.

Приведены результаты прогнозирования средних многолетних процессов в качестве реакции экосистемы на внешние воздействия. Восстанавливается годовая изменчивость процессов в конкретном году путем уточнения средних многолетних сценариев, за счет усвоения имитированных данных наблюдений в отдельные моменты времени.

Имитационные эксперименты. Для проведения вычислений DSM экосистемы была представлена в конечно-разностном виде.

Расчеты по модели проводились на 365 шагов безразмерного времени. Все переменные модели были приведены к еди-

ной безразмерной шкале изменчивости (0,10).

Были имитированы сценарии средних многолетних процессов, рассчитываемых по модели при средних многолетних внешних влияниях. На рис.2 показаны эти сценарии. В качестве средних многолетних внешних влияний использованы температура моря, модуль скорости приводного ветра, влияние речного стока и интенсивности светового излучения.

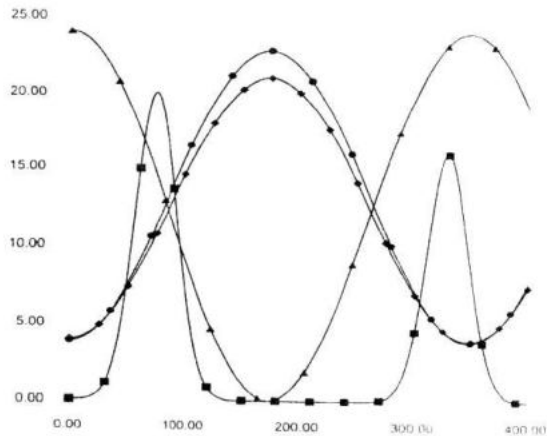


Рисунок 2 – Внешние влияния на модель: температура (●), ветер (▲), речной сток (■), солнечная радиация (◆)

Далее была имитирована динамика процесса концентрации фитопланктона в течение конкретного года, которая рассматривалась как отклонения от соответствующих средних многолетних сценариев.

На рис.3 приведены результаты прогноза сценария концентрации фитопланктона для конкретного года. Прогноз выполнялся по трем точкам с шагом 5 делений по шкале безразмерного времени.

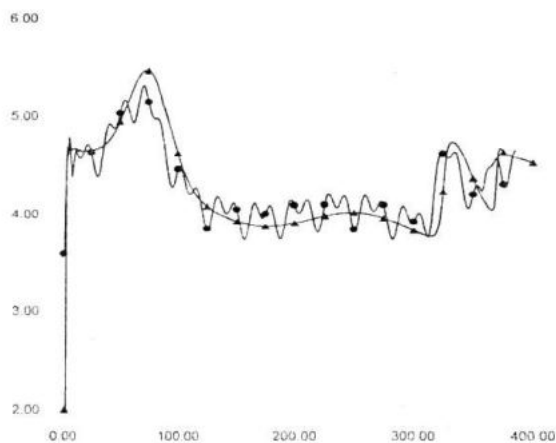


Рисунок 3 – Фитопланктон: прогноз, конкретный год (●), среднегодовой ход (▲)

На рисунке 4 и 5 показаны результаты прогноза теплолюбивого и хладолюбивого зоопланктона по данным наблюдений фитопланктона.

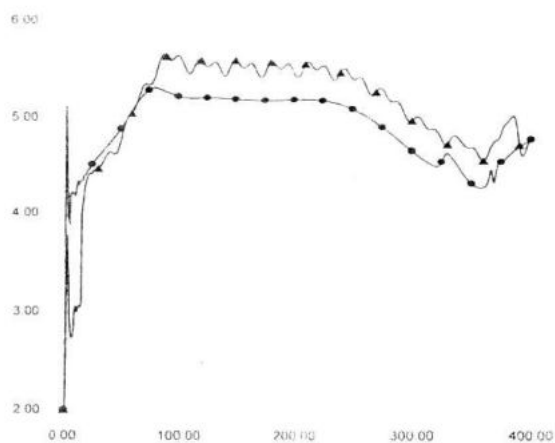


Рисунок 4 – Зоопланктон теплолюбивый: прогноз по данным наблюдений фитопланктона, конкретный год (▲), среднегодовой ход (●)

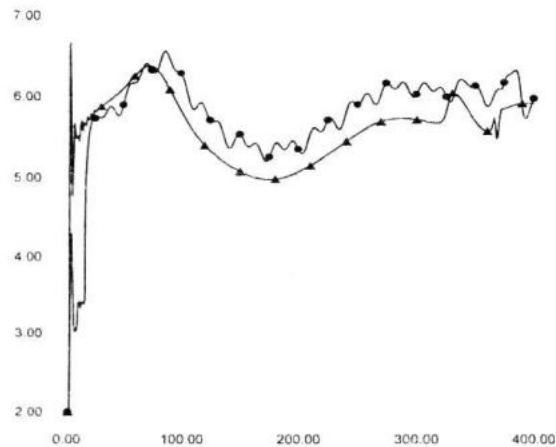


Рисунок 5 – Зоопланктон хладолюбивый: прогноз по данным наблюдений фитопланктона, конкретный год (●), среднегодовой ход (▲)

Заключение. В работе построена схема ассимиляции данных наблюдений в интегральной модели морской экосистемы. Проведены вычислительные эксперименты, подтверждающие возможность строить непрерывные сценарии интегральных процессов путем усвоения данных дискретных наблюдений. Модель позволяет прогнозировать ненаблюдаемые процессы развития по данным наблюдений других процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. И.Е. Тимченко, В.А. Жоров, Е.М. Игумнова, И.П. Лазарчук. Динамическая модель интегрированных процессов в экосистеме северо-западного шельфа Черного моря. Морской гидрофизический журнал № 4, 2007 – С.48 – 69.
2. В.Н. Еремеев, Е.М. Игумнова, И.И. Тимченко. Моделирование эколого-экономических систем, НПЦ “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2004. – 322 с.
3. И.Е. Тимченко, Е.М. Игумнова, И.И. Тимченко. Системный менеджмент и АВС– технологии устойчивого развития. Севастополь, Изд. “ЭКОСИ – Гидрофизика”, 2000. – 225 с.
4. I.E. Timchenko Stochastic Modeling of Ocean Dynamics // Harwood Acad. Publ. Chur- London-Paris-New-York, 1984. – 320p.