

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ИНТЕГРАЛЬНОЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ МОДЕЛЬЮ МОРСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

И.П. Лазарчук

Морской гидрофизический институт
НАН Украины
г. Севастополь, ул. Капитанская, 2
E-mail: ingatm@mail333.com

В статье приводятся результаты вычислительных экспериментов с интегральной пространственной моделью экосистемы северо-западного шельфа Черного моря, formalизованной с помощью ABC-метода.

Методика. Метод аддитивного баланса влияний (ABC-метод) был разработан в отделе системного анализа МГИ НАН Украины [1 – 3], опираясь на метод системной динамики Дж. Форрестера [4]. Основные концепции ABC-метода основаны на положениях метода системной динамики Дж. Форрестера:

1. определение проблемы, цели моделирования (вербальная модель);
2. формулируются словесно основные связи или причинно-следственные зависимости, характеризующие структуру изучаемой системы (концептуальная модель);
3. построение математической модели,ключающей правила принятия решений, источники информации и взаимодействие компонентов системы (формальная модель);
4. имитация динамики системы на ЭВМ;
5. сравнение результатов с имеющимися сведениями о реальной системе;
6. корректировка модели.

Удобным методом построения формальных моделей является ABC-метод. Основное уравнение динамического баланса для каждого модуля системы имеет вид:

$$F^{(+)}(x) + F^{(-)}(x) = 1, \quad (1)$$

$$\frac{dx}{dt} = xF^{(-)} - xF^{(+)},$$

где $F^{(+)}$ и $F^{(-)}$ непрерывные монотонные (неубывающие и невозрастающие) базовые функции влияний.

Модель экосистемы северо-западного шельфа Черного моря. Рассматривается годовая изменчивость концентраций фитопланктона, зоопланктона, личинок рыб, рыб, биогенов и детрита в морской экосистеме северо-западного шельфа Черного моря (СЗШ ЧМ). Годовые сценарии этих концентраций осреднены (интегрированы) по всей акватории СЗШ ЧМ. В качестве внешних воздействий на экосистему используется интегральный годовой ход модуля скорости ветра, освещенности и температуры моря [5, 6]. На основе экспертных данных о причинно-следственных связях между этими интегральными процессами строится концептуальная модель экосистемы. Она приведена на рисунке 1.

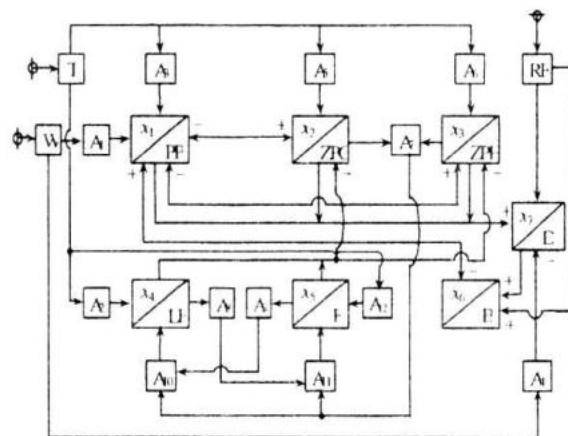


Рисунок 1 · Схема причинно-следственных связей морской экосистемы

Применив стандартное уравнение метода ABC (1), выбрав базовую функцию F , получим систему уравнений вида

$$\frac{dx_i}{dt} = x_i [1 - 2(x_i - \sum_{j \neq i} a_{ij} x_j)]. \quad (2)$$

Используя выражение (2) и схему причинно-следственных связей рисунка 1, получим систему динамических уравнений модели:

$$\begin{aligned} \frac{dx_1}{dt} &= x_1 [1 - c_1(x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 - a_{16}x_6 - A_1(W) - A_1(T) - f_1)] \\ \frac{dx_2}{dt} &= x_2 [1 - c_2(x_2 - a_{21}x_1 + a_{24}x_4 + a_{25}x_5 - A_2(T) - f_2)] \\ \frac{dx_3}{dt} &= x_3 [1 - c_3(x_3 - a_{31}x_1 + a_{34}x_4 - a_{16}x_6 - A_3(T) - f_3)] \\ \frac{dx_4}{dt} &= x_4 [1 - c_4(x_4 - A_{10}\{A_7(x_2, x_3); A_9(x_5)\} - A_2(T) - f_4)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\frac{dx_5}{dt} &= x_5 [1 - c_5 (x_5 + A_{11} \{A_7(x_2, x_3); A_8(x_5)\} - f_5)] \\ \frac{dx_6}{dt} &= x_6 [1 - c_6 (x_6 + a_{61}x_1 - a_{62}x_7 - a_{6rf}RF - f_6)] \\ \frac{dx_7}{dt} &= x_7 [1 - c_7 (x_7 - a_{71}x_1 - a_{72}x_2 - a_{73}x_3 - a_{7rf}RF - A_4(W) - f_7)]\end{aligned}$$

Вычислительные эксперименты. В следующем эксперименте была выбрана пространственная сетка 10×10 модельных ячеек, ориентированная на СЗШ ЧМ. Для проведения вычислений модель экосистемы была представлена в конечно-разностном виде.

Расчеты по модели проводились на 365 шагов безразмерного времени. Все переменные модели были приведены к единой безразмерной шкале изменчивости (0, 10).

Были имитированы сценарии средних многолетних процессов, рассчитываемых по модели при средних многолетних внешних влияниях. В качестве средних многолетних внешних влияний использованы температура моря, модуль скорости приводного ветра, влияние речного стока.

Далее был имитирован сгон, представленный на рисунках 2 и 3.

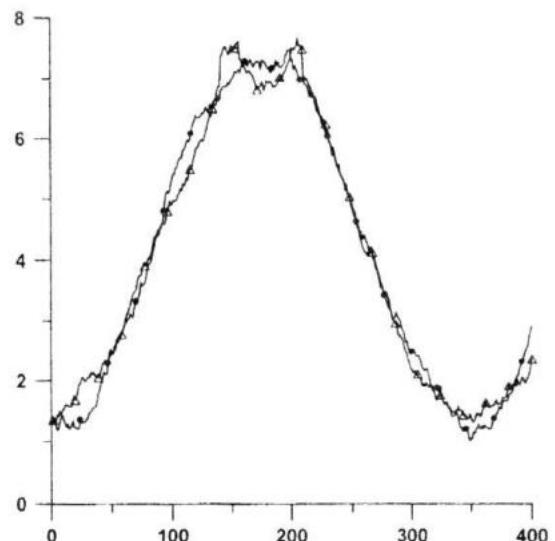


Рисунок 2 – Распределение температуры.
Зависимость от времени

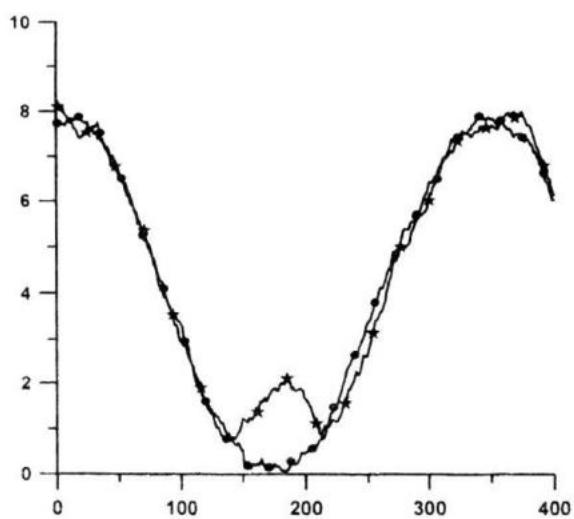


Рисунок 3 – Распределение ветра.
Зависимость от времени

На рисунках 4, 6 и 8 приведены результаты вычислительных экспериментов до влияния сгона, а на рисунках 5, 7 и 9 – под влиянием сгона.

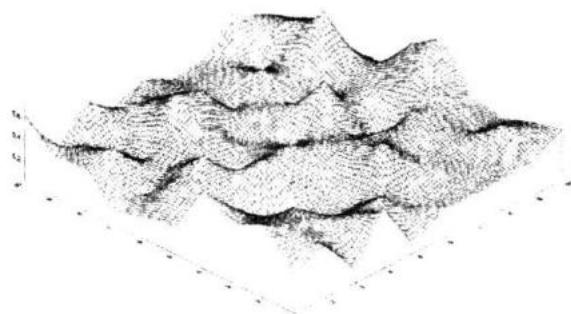


Рисунок 4 – Распределение концентрации
фитопланктона по пространству
в отсутствие сгона ($t = 138$)

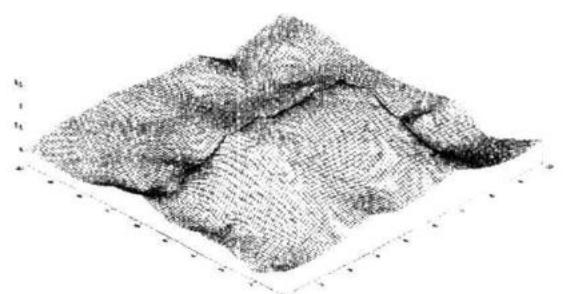


Рисунок 5 – Распределение концентрации
фитопланктона по пространству
во время сгона ($t = 170$)

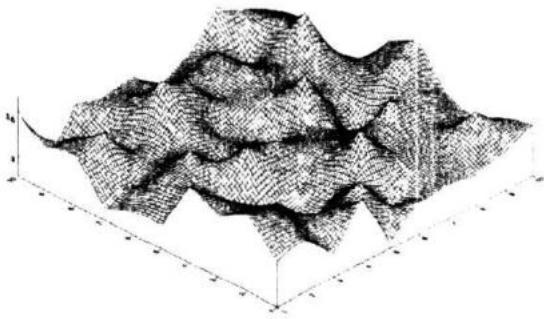


Рисунок 6 – Распределение концентрации зоопланктона хладолюбивого по пространству в отсутствие снона ($t = 138$)

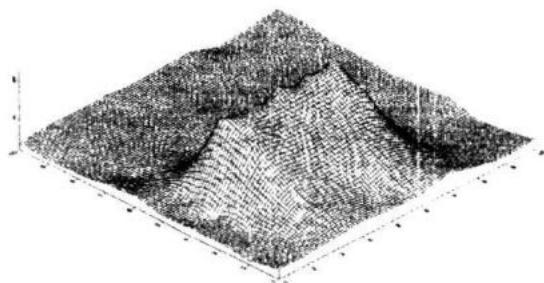


Рисунок 7 – Распределение концентрации зоопланктона хладолюбивого по пространству во время снона ($t = 170$)

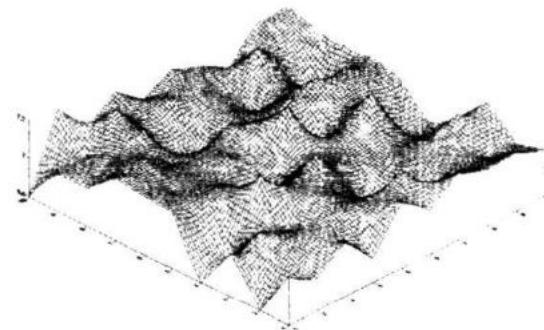


Рисунок 8 – Распределение концентрации зоопланктона теплолюбивого по пространству в отсутствие снона ($t = 138$)

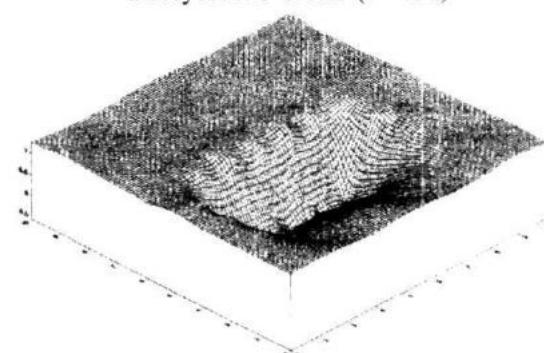


Рисунок 9 – Распределение концентрации зоопланктона теплолюбивого по пространству во время снона ($t = 170$)

Как следует из рисунка 5, по мере усиления ветра и уменьшения температуры характер поверхности, представленной концентрацией фитопланктона существенно изменяется и приобретает характерную форму с максимумом, ориентированном поперек направления ветра. Аналогичная картина наблюдается в пространственном распределении зоопланктона хладолюбивого (рис. 7). Следует отметить, что для теплолюбивого зоопланктона имеет место заметное уменьшение концентрации (рис. 9).

Заключение. Таким образом, проведенный анализ показал, что модель позволяет строить пространственные сценарии процессов в морской экосистеме в двух измерениях. Выполненные вычислительные эксперименты подтвердили работоспособность разработанного алгоритма.

Л и т е р а т у р а

1. Тимченко И.Е., Игумнова Е.М., Тимченко И.И. Системный менеджмент и АВС-технологии устойчивого развития. Севастополь, Изд. "ЭКОСИ – Гидрофизика", 2000. – 225 с.
2. Timchenko I.E. Stochastic Modeling of Ocean Dynamics // Harwood Acad. Publ. Chur-London-Paris-New-York, 1984. – 320 p.
3. Еремеев В.Н., Игумнова Е.М., Тимченко И.И. Моделирование эколого-экономических систем, НПЦ "ЭКОСИ – Гидрофизика", 2004. – 322 с.
4. Форрестер Дж. Основы кибернетики предприятия (Индустральная динамика). М. изд. «Прогресс», 1971. – 340 с.
5. Тимченко И.Е., Жоров В.А., Игумнова Е.М., Лазарчук И.П. Динамическая модель интегрированных процессов в экосистеме северо-западного шельфа Черного моря. Морской гидрофизический журнал № 4, 2007. – С. 48–69.
6. Лазарчук И.П. Модель интегральных процессов в морской экосистеме. – Системы контроля окружающей среды: Сб. науч. тр. / НАН Украины. МГИ: – Севастополь. 2006. – С. 221–223.