

---

## Моделирование экосистемы Охотского моря

Гиричева Е. Е.

*Институт автоматизации и процессов управления, Радио, 5, Владивосток,  
690000, Россия*

e-mail: zhenya77@yandex.ru

---

Большинство природных экосистем находится в состоянии динамического равновесия. Это означает их устойчивость относительно внешних воздействий [1]. В качестве цели моделирования поставлена задача получить условия, при которых данная экосистема будет находиться в состоянии устойчивого равновесия. При построении модели необходимо учесть не только сложную структуру взаимодействия между ее живыми компонентами, но и влияние на них неживых.

Работа поддержана грантом ДВО РАН, проект № 06-III-A-01-458.

### Описание модели

Модель экосистемы Охотского моря представим в виде замкнутой системы, состоящей из семи групп: биогены, бактериопланктон, фитопланктон, зоопланктон, нектон, бентос и детрит. Блок зоопланктон включает нехищный и хищный зоопланктон, а бентос состоит из хищного и нехищного зообентоса, а также нектобентоса. Взаимодействие между блоками представлено на рис. 1. Динамику биомасс трофических блоков опишем системой дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = (1 - u_{72})r_{72}x_7x_2 - r_{13}x_1x_3; \\ \dot{x}_2 = k_{72}u_{72}r_{72}x_7x_2 - r_{24}x_2x_4 - m_2x_2; \\ \dot{x}_3 = r_{13}x_1x_3 - r_{34}x_3x_4 - m_3x_3; \\ \dot{x}_4 = k_{24}u_{24}r_{24}x_2x_4 + k_{34}u_{34}r_{34}x_3x_4 - r_{45}x_4x_5 - r_{46}x_4x_6 - r_4x_4^2 - m_4x_4; \\ \dot{x}_5 = k_{45}u_{45}r_{45}x_4x_5 - r_{56}x_5x_6 - r_5x_5^2 - m_5x_5; \\ \dot{x}_6 = k_{46}u_{46}r_{46}x_4x_6 + k_{56}u_{56}r_{56}x_5x_6 + k_{76}u_{76}r_{76}x_7x_6 - r_6x_6^2 - m_6x_6; \\ \dot{x}_7 = (1 - k_{72})u_{72}r_{72}x_7x_2 + (1 - k_{24}u_{24})r_{24}x_2x_4 + (1 - k_{34}u_{34})r_{34}x_3x_4 + \\ + (1 - k_{45}u_{45})r_{45}x_4x_5 + (1 - k_{46}u_{46})r_{46}x_4x_6 + (1 - k_{56}u_{56})r_{56}x_5x_6 + \\ + (1 - k_{76}u_{76})r_{76}x_7x_6 + r_4x_4^2 + r_5x_5^2 + r_6x_6^2 + \\ + m_2x_2 + m_3x_3 + m_4x_4 + m_5x_5 + m_6x_6 - r_{72}x_7x_2 - r_{76}x_7x_6. \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь  $x_i(t)$  — биомасса  $i$ -го трофического блока,  $r_{ij}$  — скорость выедания  $i$ -го блока  $j$ -ым в единицу времени,  $u_{ij}$  — коэффициенты усвояемости пищи,  $k_{ij}$  — коэффициент роста,  $m_j$  — коэффициент смертности.

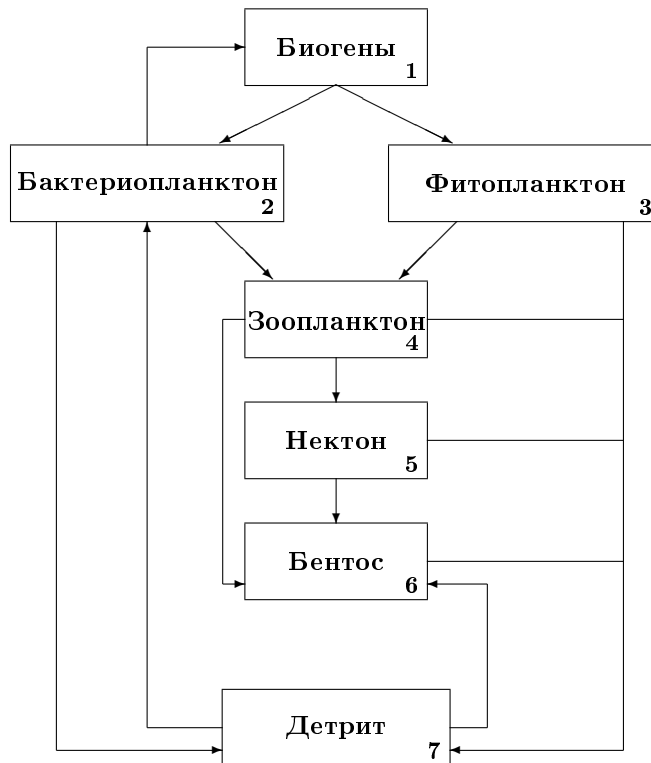


Рис.1 Схема взаимодействий трофических блоков

Часть параметров системы (1) определялась по данным для моделей Берингова [2] и Охотского [3] морей, остальные вычислялись из условия равновесия системы, где за равновесные принимались средние биомассы блоков.

Состояния равновесия системы (1) представляют кривую в пространстве:

$$\begin{cases} x_1 = 1602.3 + 1.3x_4; \\ x_2 = 444 + 0.8x_4 - \frac{267129.8}{739.1 + x_4}; \\ x_3 = -144.7 + 0.6x_4 + \frac{124024.6}{739.1 + x_4}; \\ x_5 = -10.3 + 0.1x_4; \\ x_6 = -85.5 + 0.7x_4; \\ x_7 = 4552.8 + 10.2x_4. \end{cases} \quad (2)$$

Точки на кривой будут являться устойчивыми положениями равновесия, если действительные значения всех собственных чисел (кроме одного, равного нулю в силу замкнутости системы) линеаризованной системы отрица-

тельны [4]. По критерию Гурвица для этого должно выполняться условие  $x_4 > 114.13$ .

### Литература

1. Свиричев Ю. М., Логофет Д. О. *Устойчивость биологических сообществ*, М.: Наука, 1978.
2. *A Comparison of the Eastern Bering and Western Bering Sea Shelf and Slope Ecosystems Through the Use of Mass-Balance Food Web Models*, [Электронный ресурс]: NOAA Technical Memorandum NMFS-AFSC-130/ by K.Y. Audin, V.V. Lapko, V.I. Radchenko, and P.A. Livingston, 2002. – Режим доступа: [http://www.ecopath.org/modules/Models/papers/eastern\\_western\\_bering.pdf](http://www.ecopath.org/modules/Models/papers/eastern_western_bering.pdf), свободный.
3. *Использование математических моделей в задачах сырьевых исследований* [Электронный ресурс]: Отчет о НИР лаб. прикл. матем. ТИНРО-Центра, 2005. – Режим доступа: <http://www.tinro.ru/models/pdfs/w.pdf>, свободный.
4. Эльсгольц Л. Э. *Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление*, М.: Эдиториал УРСС, 2000.