

## ОБ ИНФОРМАЦИОННО-КИНЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ БИОЦЕНОЗА

Т. В. Быстрова, Л. А. Шелепин

*Рассмотрены особенности информационного подхода к анализу экосистем: использование фазового пространства фенотипических признаков, рассмотрение системы "управления" и распространения информации. Прослежены параллели с физической кинетикой.*

В [1, 2] для построения и анализа моделей экосистем использовались методы кинетики заселенностей уровней молекул. В этих моделях последовательное преобразование биологических объектов в трофических цепях, или в цепочках переработки органического вещества микроорганизмами-редуцентами, рассматривалось как движение вдоль некоторой биологической оси  $E$ , являющейся аналогом энергии в кинетике заселенностей. Оказалось возможным каждой популяции сопоставить определенный уровень  $E_i$  на этой оси, а экосистему в целом рассматривать как набор таких уровней, где роль заселенностей играют плотности популяций  $N_i$ , задаваемые уравнениями типа

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = k_i v_{i,i+1} N_i N_{i-1} - v_{i,i-1} N_i N_{i-1} - m_i N_i + D_i \Delta N_i. \quad (1)$$

Здесь  $k_i$  — коэффициенты использования биомассы съдаемого организма;  $v_{i+1,i}$  — вероятности гибели организма  $i$  за счет поедания его организмами  $i+1$ ,  $m_i$  — смертность,  $D_i$  — коэффициент диффузии. В рамках указанного подхода, обобщающего простые базовые модели (хищник — жертва, ресурс — потребитель и др.), учитываются процессы преобразования биомассы в экосистеме.

Однако как в жизнедеятельности отдельного организма, так и биоценоза в целом не менее принципиальную роль играют процессы передачи информации. Для адекватного анализа экосистем необходимо построение информационно-кинетических моделей. Рассмотрим их специфические особенности.

Управляющий поток информации распространяется от верхнего уровня  $E_u$  навстречу потоку ресурса. Высший (верховный) хищник, соответствующий верхнему уровню  $E_u$  трофической цепи (т.е. не служащий пищевым ресурсом для других видов) производит сбор и обработку информации об окружающей среде, адаптирует себя к ней и подстраивает под себя экосистему, определяя управляющие параметры. При движении потока информации  $I$  вниз вдоль оси  $E$  уровни экосистемы выступают как генераторы дополнительной информации (в отличие от сжатия информации при ее

движении снизу вверх в обычной системе управления). Вводя степень размножения информации и простейшее предположение о пропорциональности приращения информации ее объему, имеем:

$$I_i = I_b [\beta(E_u - E_i)]. \quad (2)$$

Каждый организм в соответствии с информацией вырабатывает стратегию адаптации и подстраивает процессы внутреннего метаболизма таким образом, чтобы сохранить популяцию. Хищник  $i$ -го вида ищет жертву вида  $i-1$ , затрачивая на это энергию  $W^-$ ; организм вида  $i-1$  должен произвести дополнительную биомассу  $W^+$ . Объединяя изменение метаболизма и связанное с ним приращение биомассы за счет информационного потока вниз (2) с преобразованием биомассы  $W$  в трофических цепях при движении вверх вдоль биологической оси /1/:  $W_k = W_0 \exp(-\alpha E_k)$ , имеем:

$$W_i = W_0 \exp[-(\alpha + \beta)E_i]. \quad (3)$$

Таким образом, стационарное состояние биоценоза можно приближенно характеризовать "температурой"  $T = 1/(\alpha + \beta)$ , которая зависит как от энергетического, так и информационного потоков.

Величина  $\beta$ , а также коэффициенты в уравнениях типа (1) для плотности популяций определяются изменением биомассы за счет затрат энергии на реализацию той или иной стратегии живых организмов при действии информационного потока. Можно выделить четыре основные стратегии, соответствующих последовательности уровней  $E_i$  в трофической цепи: статические организмы растительного мира, запасающие энергию за счет фотосинтеза, осуществляют экспансию через приспособление к более высокому уровню (съедобные плоды, образование нектара и т.п.); растительноядные — осуществляют экспансию за счет большой численности и высокой скорости воспроизводства; активные формы, поглощающие пищевые пятна организмов предыдущего типа, осуществляют экспансию за счет высокой скорости перемещения и силы; высшие хищники, которые за счет гибкости поведения ("ум") могут иметь в качестве ресурса быстрых и активных особей.

Учет конкретных стратегий организмов в рамках системы типа (1) позволяет анализировать отклик экосистем на ряд природных и антропогенных воздействий. Вместе с тем рассмотрение популяций только в целом, как уровней в "энергетическом" пространстве, не вполне адекватно отражает сущность процессов управления, поскольку, именно популяция служит объектом управляющего воздействия. Она описывается определенными фенотипическими признаками (быстрота бега, сила мышц, величина рогов, окрас и т.д.), которые можно представить в виде переменных  $x_\alpha$ , принимающих некоторый набор значений. В рамках информационно-кинетической

модели конкретная популяция задается функцией распределения  $f(E_i, x_\alpha, t)$ , а процессы воздействия на нее описываются преобразованиями в фазовом пространстве  $\{x_\alpha\}$ . Хищник определяет существенные переменные  $x_\alpha$ , от которых зависит поедание жертв, и создает своего рода силовое поле  $F_\alpha$  в пространстве  $\{x_\alpha\}$ . Уравнение для функции распределения  $f(x_\alpha, t)$  аналогично уравнению Больцмана в кинетике

$$\frac{\partial f}{\partial t} = v_\alpha \frac{\partial f}{\partial x_\alpha} + F_\alpha \frac{\partial f}{\partial p_\alpha} + R(x_\alpha, p_\alpha) + S_{st} + \mu_\alpha \frac{\partial^2 f}{\partial x_\alpha^2}. \quad (4)$$

Здесь  $p_\alpha$  — обобщенный импульс, задающий степень градации особей по признаку  $\alpha$ ,  $R$  — функция, описывающая положительные и отрицательные источники,  $S_{st}$  — аналог интеграла столкновений, описывающий взаимодействие особей в популяции за счет конкуренции. Параметры и функции ( $v_\alpha, F_\alpha, \mu_\alpha, R, S_{st}$ ), входящие в (4), зависят от функций распределения хищников и ресурса.

Анализ процессов в фазовом пространстве признаков  $\{x_\alpha\}$  имеет значительные аналогии с проведенным в /3/ исследованием соответствующих уравнений для обычного пространства:

$$\frac{\partial N_i}{\partial t} = D_i \Delta N_i + \Phi(N_i \dots N_n), \quad i = 1, \dots, n, \quad (5)$$

где функции  $N_i(\bar{r}, t)$  описывают распределение популяции по ее ареалу. При определенных значениях плотности популяции в системе (5) нелинейных дифференциальных уравнений проявляется неустойчивость и возникают диссипативные структуры — пятнистое распределение популяции по ареалу.

Диссипативные структуры в пространстве признаков соответствуют разбиению популяции по различным экологическим нишам. Здесь накоплен большой объем экспериментального материала /4/, в частности, по морфологической дифференциации. Отдельные виды расходятся вдоль оси, соответствующей одному ресурсу. В /5/ собран целый ряд примеров для последовательностей потенциально конкурирующих соседних видов, в которых наблюдается различие по массе в 2 раза, а по длине в  $1,3 = 2^{1/3}$  раз. Т.е. в относительно простых случаях наблюдаются четкие количественные закономерности, которые могут служить основой для последовательной отработки модели.

Уравнения для функций распределения  $f(E_i, x_\alpha, t)$  в фазовом пространстве могут быть использованы и для описания биоценоза как целого. Имеется значительное сходство между биоценозом и организмом: саморегуляция, наличие потоков энергии (вещества) и информации,

согласованность действий составных частей, существование большого набора сигналов, обеспечивающих передачу информации (в экосистеме это — цвет, окраска, запах, рисунок, расположение элементов и др.), наличие систем передвижения и регенерации (в экосистеме это — сукцессии). Верховные хищники образуют своего рода мозг биоценоза. Системы уравнений, описывающих экосистему, зависят от управляющих параметров  $c_i$ , задаваемых этими хищниками. При переходе через некоторые критические значения  $c_i$  возникают качественные изменения (катастрофы /6/). Так, гибель динозавров может объясняться сменой верховных хищников с соответствующим переходом  $c_i$  через сепаратрису. Изменяя  $c_i$ , они изменяют условия в биоценозе, осуществляя тем самым определенный искусственный отбор. Такой подход может, по-видимому, снять одну из трудностей чисто стохастического объяснения эволюционного процесса — очень большую длительность.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Быстрова Т. В., Шелепин Л. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 11, 44 (1989)..
2. Быстрова Т. В., Шелепин Л. А. Краткие сообщения по физике ФИАН, № 9, 27 (1990).
3. Свирежев Ю. М. Нелинейные волны, диссипативные структуры и катастрофы в экологии. М., Наука, 1987.
4. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология, особи, популяции и сообщества, т. 1, 2. М., Мир, 1989.
5. Hutchinson J. E. American Naturalist, 93,145 (1959).
6. Гилмор Р. Прикладная теория катастроф, М., Мир, 1984.

Поступила в редакцию 2 июля 1991 г.