

С. Е. Куршина, Л. И. Громова, В. В. Максимов (Самара, СГАУ). **Численный анализ влияния флуктуаций параметров на образование пространственно-временных структур в системе фитопланктон–зоопланктон–рыба.**

В работе, представленной данным сообщением, исследуется влияние внешней флуктуирующей среды на формирование структур Тьюринга и спиральных волн, возникающих в модели Шеффера [1], описывающей динамику системы хищник–жертва для популяций фитопланктона и зоопланктона:

$$\begin{aligned}\frac{\partial x_1}{\partial \tau} &= x_1(1 - x_1) - \frac{a_0}{r_0}(1 + f_2(\vec{x}, \tau))\frac{x_1 x_2}{(1 + b x_1)} + \nabla^2 x_1, \\ \frac{\partial x_2}{\partial \tau} &= \frac{a_0}{r_0}(1 + f_2(\vec{x}, \tau))\frac{x_1 x_2}{(1 + b x_1)} - \frac{m_0}{r_0}(1 + f_1(\vec{x}, \tau))x_2 - \frac{g^2 x_2^2}{r_0(1 + h^2 x_2^2)}f + \frac{d_2}{d_1}\nabla^2 x_2.\end{aligned}\quad (1)$$

Здесь случайные поля $f_i(\vec{x}, \tau)$ определяют пространственно-временные флуктуации соответствующих параметров. Параметры $r_0, a_0, b, m_0, g, h, f, d_1$ и d_2 подробно описаны в [1].

Моделирование системы (1) проводилось при помощи метода Кранка–Николсона. Моделирование случайного поля и вычисление средних по поверхности флуктуаций динамических переменных осуществлялось с использованием математического пакета MatLab. Реальная флуктуирующая среда моделируется как однородное изотропное гауссово поле с корреляционным тензором $\langle f_i(\vec{x}', \tau') f_j(\vec{x}'', \tau'') \rangle = \theta_i \exp\{-k_{f_i}|\vec{x}' - \vec{x}''|\} \exp\{-k_{t_i}|\tau' - \tau''|\} \delta_{ij}$. Времена корреляции случайного поля выбраны значительно меньшими, чем характерные времена системы (1).

Проведено моделирование эволюции пространственных диссипативных структур (ДС) Тьюринга. В результате численного моделирования показано, что при увеличении θ_1 при неизменном θ_2 процесс разрушения однородного состояния и формирования статистически стационарной ДС происходит быстрее, чем в отсутствии шума. Кроме того, наличие внешних флуктуаций разрушает симметрию пространственных структур. Увеличение θ_2 до 0,16 при неизменном θ_1 приводит к аналогичному эффекту, однако теперь этот процесс идет интенсивнее, чем в вышеописанном эксперименте. Анализ влияния на эволюцию рассматриваемой системы дальнейшего увеличения интенсивности θ_2 показал, что поведение системы приобретает хаотический характер, причем переход к хаосу осуществляется через перемежаемость. Аналогичные эффекты, связанные с влиянием шума параметров, были обнаружены в системе Гирера–Майнхардта [2]. Видео-файлы эволюции системы (1) представлены на сайте <http://sites.google.com/site/morfogenez/>.

Проведено моделирование эволюции спиральных волн в системе (1). Показано, что спиральные волны устойчивы к слабому внешнему флуктуационному фону и, в отличие от тьюринговых структур, их конфигурация и скорость формирования не изменяются. Однако даже при малых внешних флуктуациях наблюдается размывание и искажение контуров спирали. Тип поведения кончика спирали (точки обрыва волнового фронта) не изменяется, но в его дрейфе возникают элементы случайности: флуктуирует как сама траектория, так и ее ориентация в пространстве. Увеличение θ_1 при неизменном θ_2 приводит к аналогичному эффекту, только теперь этот процесс замедляется в сравнении с вышеописанным экспериментом. При больших интенсивностях флуктуаций внешнего случайного поля спиральная волна разрушается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Malchow H.* Motional instabilities in prey-predator systems. — *J. Theor. Biol.*, 2000, v. 204, p. 639–647.
2. *Курюшина С. Е., Иванов А. А.* Диссипативные структуры в системе реакция–диффузия в поле мультипликативных флуктуаций. — *Известия вузов. Прикладная нелинейная динамика*, 2010, № 3.