УДК 004.94

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИ МИГРИРУЮЩИХ ОРГАНИЗМОВ

Долаева А. Р., Загребнева А. Д.

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

dolaeva.ar@gmail.ru

anna.zagrebneva@gmail.com

Разработана и реализована интерактивная компьютерная программа, которая позволяет исследовать принципы движения живых организмов. Воспроизведена индивидуум-ориентированная модель распространения периодически мигрирующих организмов в среде со стационарным распределением стимула. Предполагается, что в благоприятной среде с повышенной концентрацией стимула особи находятся практически в неподвижном состоянии. С понижением концентрации стимула подвижность особей увеличивается. Используются алгоритмы численного моделирования случайных величин с заданными вероятностными свойствами. Представлены гистограммы распределения особей в различных стационарных средах.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, моделирование случайных величин, разыгрывание дискретных случайных величин, миграция живых организмов, нормальное распределение, пуассоновский поток.

UDC 004.94

COMPUTER SIMULATION OF PERIODICALLY MIGRATING ORGANISMS DISTRIBUTION

Dolaeva A. R., Zagrebneva A. D.

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

dolaeva.ar@gmail.ru

anna.zagrebneva@gmail.com

An interactive computer program has been developed and implemented to study the principles of living organism’s movements. The authors have reproduced the individual-based model of periodically migrating organisms spreading in the environment with stationary stimulus distribution. It is assumed that in a favorable environment with a high concentration of stimulus, individuals almost aren’t moving. When the stimulus concentration decreases, the mobility of individuals increases. Numerical algorithms for modelling random variables with given probabilistic properties are used. The distributions of individuals in different mediums are presented.

Keywords: computer simulation, modeling of random variables, modeling discrete random variable, migration of living organisms, normal distribution, Poisson stream.

Введение. В работе рассмотрены принципы движения периодически мигрирующих организмов. Даже простейшие животные со слабо развитыми органами чувств способны изменять направление движения, избегая неблагоприятных условий и сосредоточиваясь в местах, богатых пищей и другими ресурсами. Предполагается, что в благоприятной среде с высокой концентрацией стимула особь практически все время находится в неподвижном состоянии, редко перемещается. Попав в место с плохими условиями, с низким уровнем стимула, особь стремится покинуть его, активнее совершает случайные перемещения.

В работе реализована индивидуум-ориентированная модель [1], построенная на данных гипотезах. Для воспроизведения процессов миграций особей применяются алгоритмы численного моделирования случайных величин с заданными вероятностными свойствами.

Целью данной работы является применение указанных алгоритмов для реализации интерактивной компьютерной программы, которая позволяет проводить вычислительные эксперименты и исследовать принципы движения периодически мигрирующих организмов для широкого диапазона входных данных.

Модель распространения периодически мигрирующих особей. Чтобы спроектировать индивидуум-ориентированную модель, нужно реализовать алгоритм вычисления местонахождения особи на каждом временном шаге. Согласно указанной модели [1], координата особи на $i+1$-м шаге выражается формулой [1], [2]:

$$x^{i+1} = x^i + \xi\varsigma_{x^i}, \quad (1)$$

где x^i — местонахождение особи на i-м шаге; ξ — случайная величина, задающая направление и расстояние, на которое переместится особь за шаг τ, $\xi \in N(0,\sigma_\tau)$; ς_{x^i} — случайная величина, показывающая, совершит ли особь перемещение в течение $i+1$-го шага модели.

При определении направления и длины шага особи мы сталкиваемся с суммарным воздействием большого числа незначительных случайных факторов. В связи с этим, согласно центральной предельной теореме теории вероятностей, ξ подчиняется нормальному закону распределения. Случайные движения не направлены, поэтому $M_\xi = 0$. Случайная величина $\varsigma_{x^i} = 0$, если особь совершает перемещение, и $\varsigma_{x^i} = 1$, если особь находится в покое. Поток событий при перемещении является ординарным, стационарным и без последействий, а значит, может быть классифицирован как пуассоновский поток [3].

Случайная величина ς_{x^i} формируется так, чтобы выполнялось равенство:

$$P\left(\varsigma_x = 1\right) = f\left(S(x)\right)\tau,$$

где $f(S)$ — известная убывающая функция — частота миграций (рис. 1), $S(x)$ — известная функция — концентрация стимула (рис. 1).

В вычислительных экспериментах рассмотрены разные зависимости частоты миграции особей от концентрации стимула, например:

$$f(S) = e^{-\frac{S}{2}}, \quad (2)$$

$$f(S) = \frac{1}{1+S}. \quad (3)$$

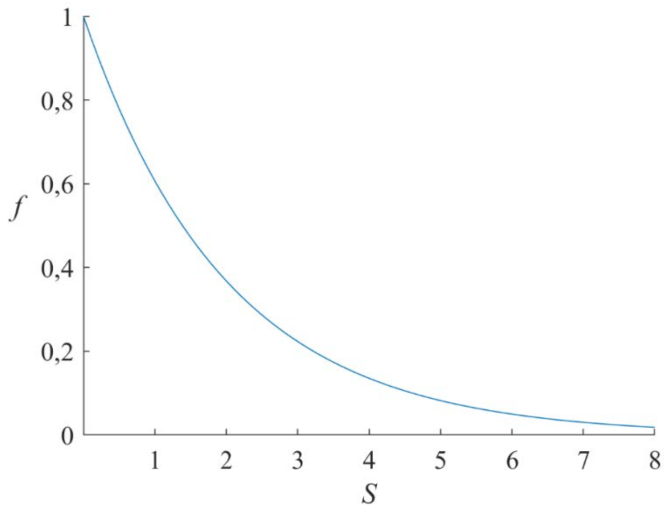

Рис. 1. График экспоненциальной зависимости частоты миграции (2) от концентрации стимула $S(x)$

Также была исследована динамика распространения особей в средах с различным стационарным распределением стимула. Примеры сред в случае одномерного и двумерного пространства приведены ниже:

$$S(x)=8e^{-\left(\frac{x-4}{8}\right)^2},\ S(x)=-8e^{-\left(\frac{x-4}{8}\right)^2},\ S(x)=4,$$

$$S(x,y)=5e^{-\frac{x^2}{600}-\frac{y^2}{150}},\ S(x,y)=1{,}5+39\frac{\sin\left(\sqrt{0{,}04x^2+0{,}04y^2-10}\right)}{\sqrt{0{,}04x^2+0{,}04y^2-10}},$$

$$S(x,y)=real\Big(\sqrt{25-0{,}09(x-20)^2-0{,}09(y-20)^2}+\sqrt{25-0{,}09(x+20)^2-0{,}09(y+20)^2}+$$
$$+\sqrt{25-0{,}09(x+20)^2-0{,}09(y-20)^2}+\sqrt{25-0{,}09(x-20)^2-0{,}09(y+20)^2}\Big).$$

На рис. 2, 3 представлены результаты вычислительных экспериментов с моделью (1) для перечисленных выше стационарных сред. В начальный момент времени все особи находились в точке начала координат. Видно, что через некоторое время особи собираются в местах с повышенной концентрацией стимула.

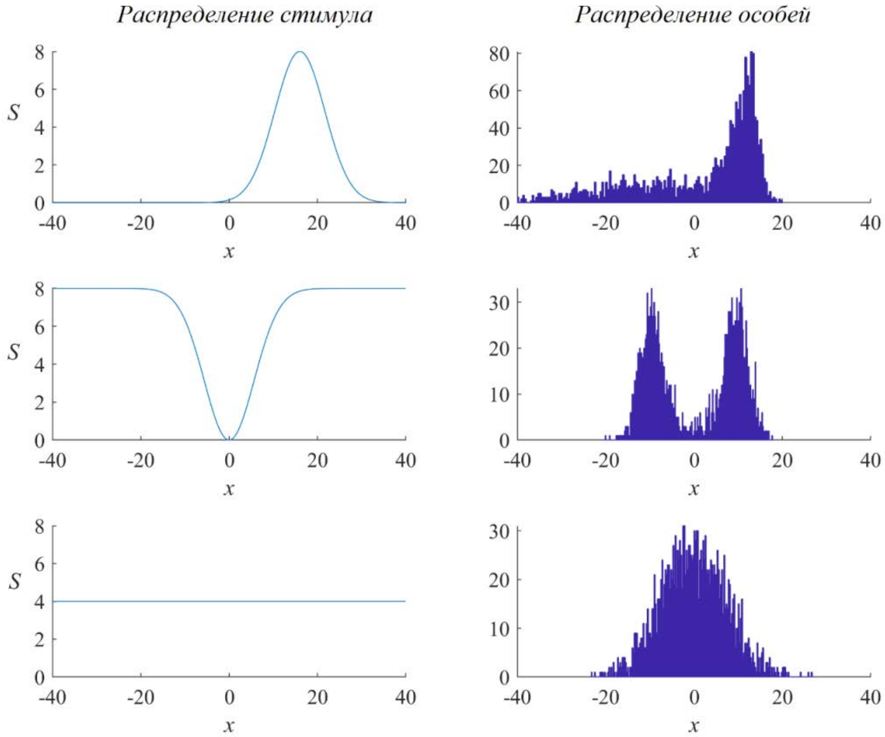

Рис. 2. Результаты вычислительных экспериментов для среды со стационарным распределением стимула (слева) и модели (1) (справа) в момент времени t = 400. Параметры модели (1): шагов T = 400, количество особей M = 2000, шаг τ = 1, дисперсия $\sigma^2=1$, частота миграции (2)

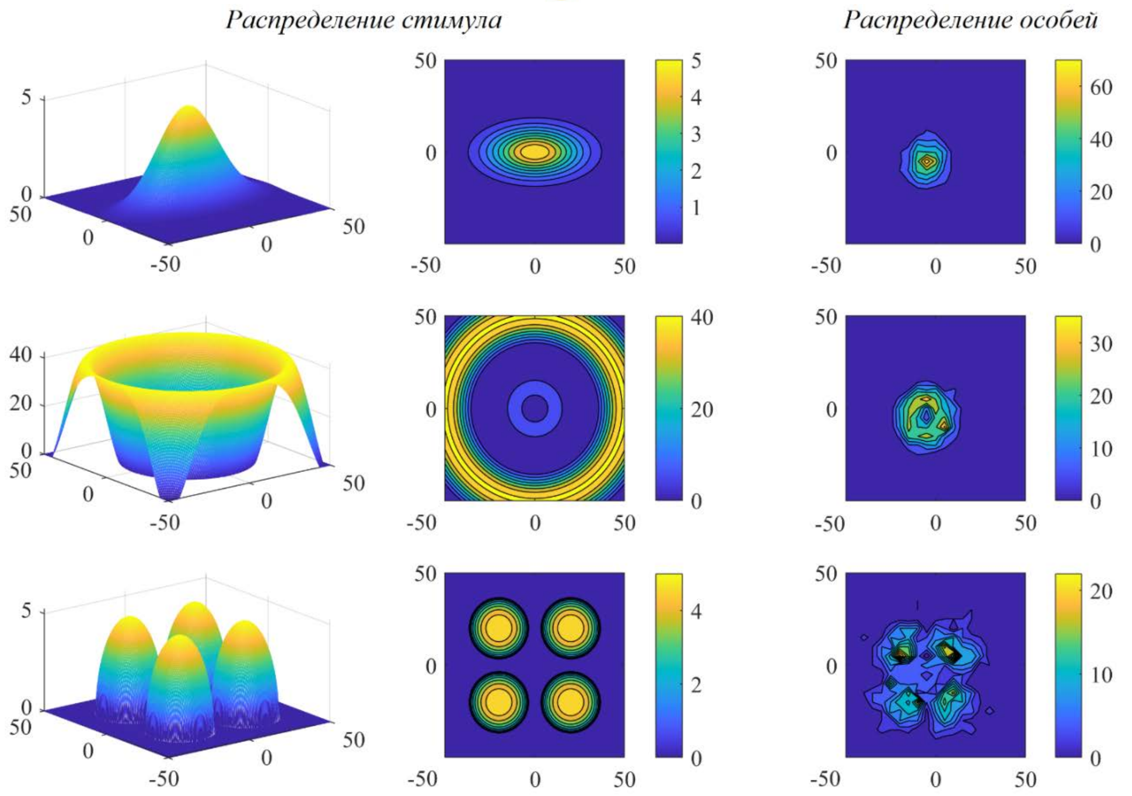

Рис. 3. Результаты вычислительных экспериментов для среды со стационарным распределением стимула $S\left(x_1, x_2\right)$ (слева) и распределением особей (справа) в момент времени t = 400. Параметры модели (1): шагов T = 400, количество особей M = 2000, шаг τ = 1, дисперсия $\sigma^2 = 1$, частота миграции (3)

Программная реализация. Разработана и реализована интерактивная программа в среде MATLAB [4] (рис. 4), которую можно использовать для моделирования распространения заданного количества особей за определенный промежуток времени. В программе отображается местоположение организмов на каждом шаге перемещения. Результатами работы являются визуализация распределения стимула и анимированная гистограмма распределения особей. Есть возможность выбора различных функций частоты миграции. Кроме того, доступно моделирование в различных неоднородных стационарных средах.

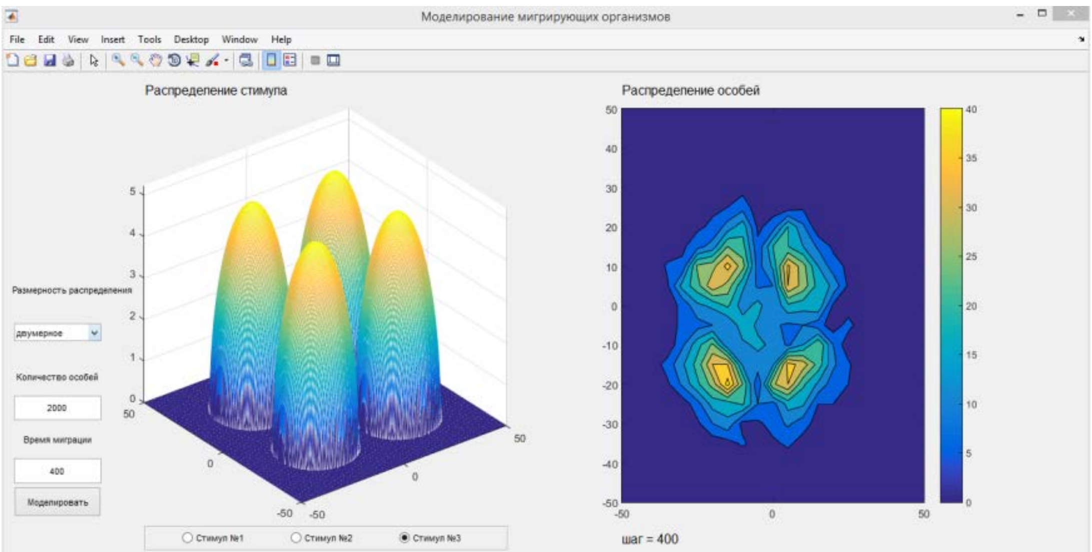

Рис. 4. Скриншот разработанной программы, демонстрирующий двумерное распределение периодически мигрирующих организмов и заданный трехмерный стимул

Заключение. В результате проделанной работы разработана компьютерная программа, которую можно использовать для проведения вычислительных экспериментов и исследования принципов движения периодически мигрирующих организмов. В программе реализованы алгоритмы численного моделирования случайных величин с заданными вероятностными свойствами.

Библиографический список

1. Моделирование потока популяционной плотности организмов с периодическими миграциями / Ю. В. Тютюнов [и др.] // Океанология. — 2010. — Т. 52, № 1. — С. 72–81.

2. Иваницкий, Г. Р. От беспорядка к упорядоченности — на примере движения микроорганизмов / Г. Р. Иваницкий, А. Б. Медвинский, М. А. Цыганов // Успехи физических наук. — 1991. — Т. 161, № 4. — С. 15–71.

3. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. — 9-е изд., стер. — Москва : Высшая школа, 2003.— 479 с.

4. Коткин, Г. Л. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием MATLAB / Г. Л. Коткин, В. С. Черкасский. — Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 2001. — 173 с.