

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Агрофизический научно-исследовательский институт»
Российский фонд фундаментальных исследований

МАТЕРИАЛЫ

Всероссийской научной конференции

с международным участием

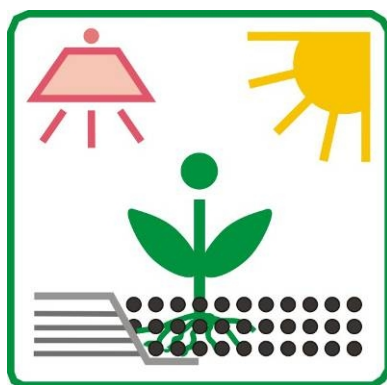
«АГРОЭКОСИСТЕМЫ В ЕСТЕСТВЕННЫХ И

РЕГУЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ:

ОТ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ К ПРАКТИКЕ

ПРЕЦИЗИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ»

Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2016 г.



Санкт-Петербург
2016

УДК 631.95:51-76:631.588

ББК 41.4:28.08

А 26

Материалы Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от теоретической модели к практике прецизионного управления». Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2016 г. – СПб.: ФГБНУ АФИ, 2016. – 508 с.

Материалы даны в авторской редакции

*Издание осуществлено при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований*

Ответственные за выпуск:

Блохина С. Ю.

Агеенкова О. А.

Цивилев А. Ю.

Список литературы

1. Kaitaniemi P., Hanan J. S., Room P. M. 2000. Virtual sorghum: visualisation of partitioning and morphogenesis // *Computers and Electronics in Agriculture*, 28, pp. 195–205.
2. Топаж А. Г., Полуэктов Р. А. 2005. Принцип оптимальности в математических моделях органогенеза // *Математическое моделирование*. № 17(7). С. 59–73.
3. Stefanova N. A., Bortkevich M. A. 2001. Wheat: visualisation of morphogenesis in the different environments // *Plant under environmental stress*. Publ. Hous of RPFU, pp. 278–279.
4. Allen M. T., Prusinkiewicz P., DeJong T. M. 2005. Using L-systems for modeling source-sink interactions, architecture and physiology of growing trees: the L-PEACH model // *New Phytologist*, 166(3), pp. 869–880.
4. Stefanova M. V., Mashakova O. A., Khomjakov Ju. V., Gusakova L. P., Velikanov L. P., Lykova N. A., Arhipov M. V. 2006. Plant growth and development from seeds differently nitrogen fertilized // *Book of abstracts of XV FESPB Congress*. Lyon – France, pp. 123.
6. Шелоухова Н. А., Стефанова М. В. 2015. Анализ динамики роста злаков в экологическом тестировании // *Экология. Экономика. Информатика*. Сборник статей в 3-х томах. Том 2. Системный анализ и моделирование экономических и экологических систем. Ростов-на-Дону, Изд-во ЮФУ. С. 538–543.

АГЕНТНЫЙ ПОДХОД И ДИСКРЕТИЗАЦИЯ В АГРОЭКОЛОГИИ

А. В. Абрамова, С. Е. Толстопятов

ФГБОУ ВО Алтайский государственный университет

Модели развития экосистем можно разделить на два больших класса – непрерывные и дискретные. Перед применением как непрерывных, так и дискретных моделей необходимо установить их адекватность (то есть их соответствие реальному объекту), допустимые области их задания и др. В рамках данного исследования рассматриваются аргументы в пользу применения дискретных моделей и агентного подхода в моделировании.

Любая математическая модель описывает изменение одной или нескольких характеристик изучаемого объекта (в рассматриваемом случае – экологической системы) во времени и пространстве. В общем виде её выход представляется в виде формальной зависимости:

$$Y = Y(X, t), \quad (1)$$

где Y – вектор отслеживаемых характеристик (одной из которых может выступать численность популяции); X – вектор пространственных координат; t – время.

Для модельного представления изучаемого объекта можно использовать любой удобный математический аппарат, отвечающий двум обязательным

критериям – возможности аналитического или численного исследования получаемой формализации и адекватности модельных построений реальности. Одним из таких стандартных приемов является дискретизация (Топаж и др., 2016), которая может применяться ко всем трем символам, входящим в формализацию обобщенной математической модели (1).

Удобство исследования и богатое внутреннее содержание дискретных динамических моделей в математической экологии не вызывают сомнений. Несколько сложнее обстоит дело с критерием адекватности. Задача данного исследования заключалась в том, чтобы попытаться оценить границы применимости дискретных подходов с помощью агентных моделей популяционной динамики.

Одно из самых известных уравнений математической экологии, модель Ферхюльста, базируется на предположении о линейной зависимости рождаемости и квадратичной зависимости смертности от текущей численности популяции. Оно записывается в виде:

$$\dot{y} = ry \left(1 - \frac{y}{K} \right), \quad (2)$$

а его решение представляет собой сигмоидальную (при $y(0) < K$) или вогнутую (при $y(0) > K$) кривую зависимости численности от времени, которая монотонно стремится к равновесному значению $\dot{y} = K$ при любых начальных условиях. В то же время дискретный аналог уравнения Ферхюльста, логистическое отображение:

$$N_{t+1} = \tilde{r} N_t \left(1 - \frac{N_t}{K} \right), \quad (3)$$

обладает потенциальной способностью порождать любые необычные решения при выборе соответствующего значения параметра рождаемости \tilde{r} . В связи с этим возникает сомнение: не вытекает ли все множество решений исключительно из выбранного «удобного» аппарата математического описания или, иными словами, не является ли получаемое разнообразие режимов поведения моделируемого объекта просто артефактом временной дискретизации, не имеющим никакого отношения к поведению реальных

природных популяций? Таким образом, требуется предоставить обоснование возможности использования рекуррентных уравнений конкретной формы для отражения динамики развития реальных популяций в реальном физическом времени.

Авторами было создано семейство агентно-ориентированных моделей и проведена серия компьютерных экспериментов с ними в среде имитационного моделирования *AnyLogic*. Идея заключалась в том, чтобы попытаться заменить данными моделями гипотетические полевые наблюдения над численностью реальных природных популяций (Railsback, Grimm, 2012.). При этом материал для статистической обработки формировался за счёт фиксируемых с заданной регулярностью мгновенных значений общей численности. Затем полученные сколь угодно длинные ряды виртуальных наблюдений использовались в качестве исходных данных с целью выявления режимов динамики, характерных для разностных моделей классического типа (3). Подходящим инструментом для проведения такого специфического анализа может служить метод рекуррентных диаграмм (Marwan et al., 2007). Рекуррентные диаграммы являются эффективным способом визуализации геометрии поведения динамической системы. В частности, рекуррентная диаграмма показывает, является ли система периодической или хаотической. Внешний вид полученной и визуализированной матрицы даёт представление о динамике системы, изначально представленной в виде временного ряда. Временной ряд отображается на двумерную плоскость (этого вполне достаточно для качественной оценки), а пиксели рекуррентной диаграммы получают определенную цветовую маркировку в зависимости от расстояния между точками.

Метод построения рекуррентных диаграмм был реализован в интерактивной среде для программирования, численных расчётов и визуализации результатов Matlab с использованием библиотек Qwt и fftw. Результаты представлены на рис. 1 и 2.

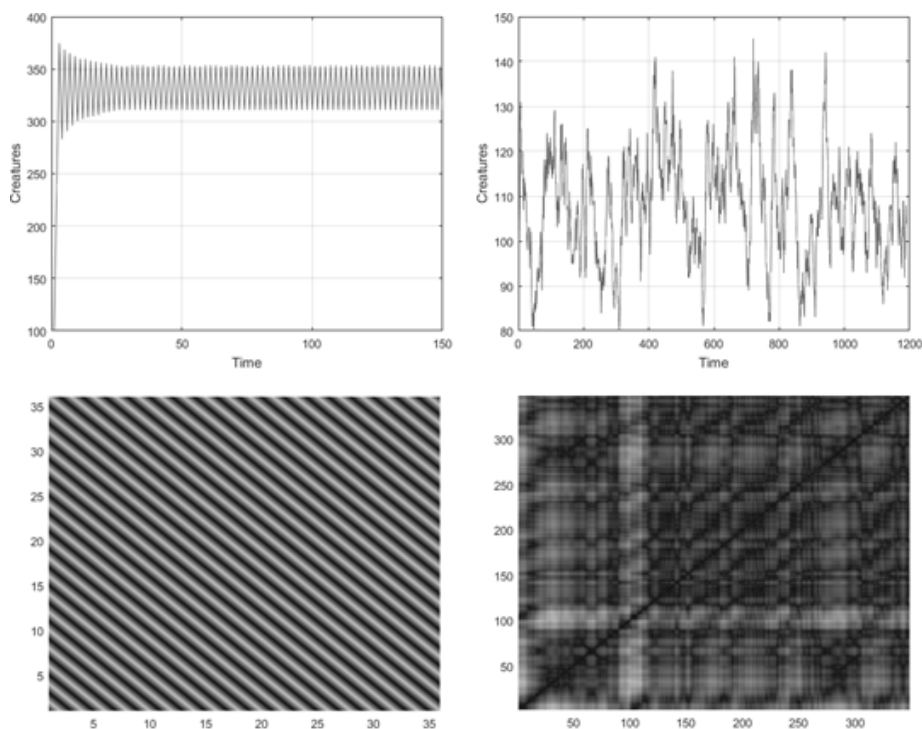


Рис. 1. Сравнение динамики рядов и рекуррентных диаграмм дискретного логистического отображения (слева) с модельными данными (справа) для $r = 3$.

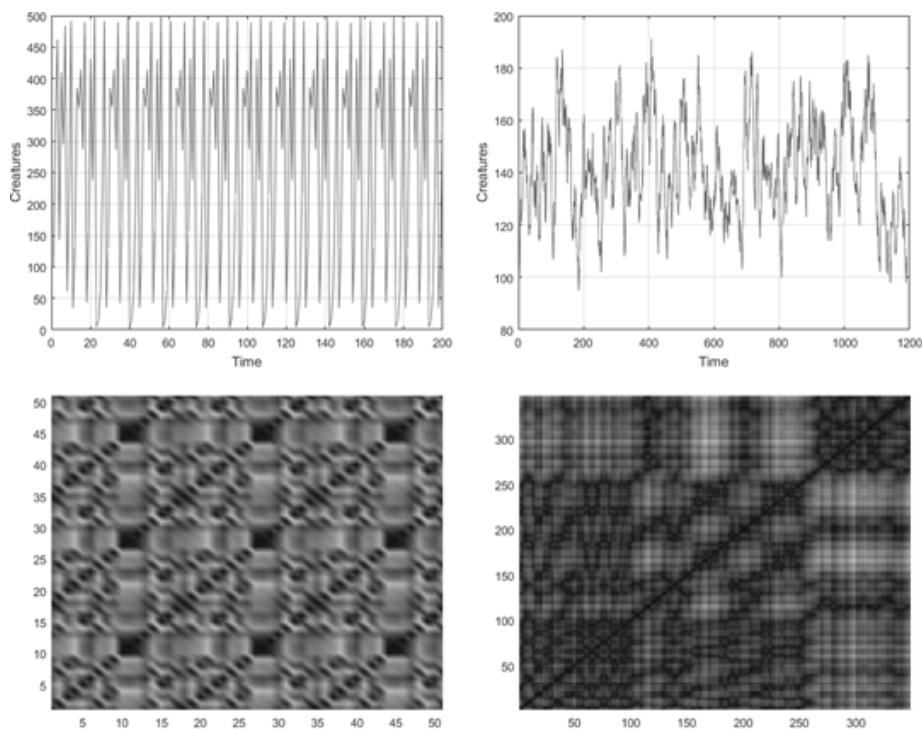


Рис. 2. Сравнение динамики рядов и рекуррентных диаграмм дискретного логистического отображения (слева) с модельными данными (справа) для $r = 4$

В качестве объекта моделирования выбиралась условная популяция агентов с определёнными законами поведения:

- агенты свободно перемещаются по ареалу обитания;
- агенты потребляют ресурсы;

- в определённый момент времени агенты дают потомство (один раз за весь период жизни или несколько раз);
- смертность агентов обуславливается ограниченностью ресурсов и их случайной распределённостью по ареалу обитания: если агент за определённое время не находит ресурс, он погибает;
- ресурсы возобновляются с определённой скоростью;
- интенсивность размножения зависит от соответствующего параметра модели (рассматривались значения от 1 до 4).

В модельных данных не было обнаружено периодических зависимостей при различных сочетаниях параметров модели. В общем случае наблюдалась монотонная стабилизация численности популяции.

Таким образом, был сделан вывод, что временная дискретизация, как искусственный технический приём, требует обязательного обоснования. Напротив, дискретность структуры является естественным и неотъемлемым свойством реального изучаемого объекта, а структурная дискретизация математической модели динамики численности популяции должна предшествовать её временной дискретизации и, более того, служить обоснованием её принципиальной допустимости. Представленные результаты позволяют убедиться в том, что исследования агентных имитационных моделей, полученных в ходе структурной дискретизации модельной системы, представляют безусловный интерес. Они, с одной стороны, позволяют выявить характерные для классических разностных моделей нетривиальные режимы поведения, а с другой – способны зачастую демонстрировать неожиданные эффекты, которые не удастся обнаружить при аналитическом рассмотрении проблемы.

Список литературы

1. Топаж А.Г., Абрамова А.В., Толстопятов С.Е. 2016. Дискретные модели популяционной динамики – достоинства, проблемы и обоснование // Компьютерные исследования и моделирование. Пущино. Т. 8. № 2. С. 132–149.
2. Railsback S.F., Grimm V. 2012. Agent-based and individual-based modeling: A practical introduction. Princeton University Press, Princeton, NJ.
3. Marwan N., Romano M. C., Thiel M., Kurths J. 2007. Recurrence plots for the analysis of complex systems // Physics Reports. № 438, pp. 237–329.

ISBN 978-5-905200-32-8



Материалы Всероссийской научной конференции
(с международным участием)
**«Агроэкосистемы в естественных и регулируемых условиях: от
теоретической модели к практике прецизионного управления»**
Санкт-Петербург, 21–23 сентября 2016 г.

Редактор: О. А. Агеенкова

Технический редактор: А. Ю. Цивилев

Подписано в печать 23.11.2016.

Подготовлено к печати в ФГБНУ АФИ
195220, Санкт-Петербург, Гражданский пр., д. 14.