

Материалы молодежной прикладной IT школы.  
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
И МОДЕЛИ В ЭКОЛОГИИ**

**УДК 579.64**

**Количественный анализ рекуррентных диаграмм  
динамики популяций**

*А.В. Абрамова, А.К. Букасова*  
*АлтГУ, г. Барнаул*

Удобство исследования и богатое внутреннее содержание дискретных динамических моделей в математической экологии не вызывает никакого сомнения. Несколько сложнее обстоит дело с критерием адекватности [1].

Задача состоит в оценке степени адекватности и предположениях о границах применимости дискретных подходов в различном их сочетании при разработке динамических моделей популяционной динамики.

В популяционной динамике рекуррентные уравнения показывают пример формирования трудных выводов из очень простых посылок, что, без всякого сомнения, является мощным критерием привлекательности и истинности любой научной гипотезы. Но, несмотря на очевидное изящество и математическую ценность этих моделей, необходимо сделать акцент с точки зрения предметной области – описания экологических взаимодействий – и сформулировать, насколько адекватно они отражают реальную сущность исследуемого объекта.

Действительно, хотя биологические популяции характеризуются естественной структурной дискретностью (состоят из конечного перечислимого множества индивидуальных организмов), их жизненный цикл протекает в непрерывном физическом времени и пространстве. Получается, что возникновение разностных уравнений в модели изменения численности популяции неизбежно вытекает из явно или неявно проведенной исследователем внешней дискретизации. Но тогда возникает затруднение: не вытекает ли все получаемое богатство решений непосредственно из выбранного подходящего аппарата математического описания, т. е. не является ли получаемое разнообразие режимов поведения моделируемого объекта просто артефактом временной дискретизации, не имеющим никакого отношения к законам поведения реальных природных популяций?

Существует ряд традиционных аргументов для обоснования использования дискретных по времени (разностных) уравнений в моделях репликаторной динамики. Наименее ясным из них является сообщение о том, что рекуррентные уравнения представляют собой просто удобную дискретизацию непрерывных уравнений-прототипов. Но, например, прототип логистического отображения – широко известная в теоретической экологии модель Ферхюльста [2], которая представляет решение в виде сигмоидальной зависимости численности от времени, монотонно стремящейся к равновесному значению при любых начальных условиях, совершенно не обладает тем спектром траекторий, который демонстрирует её дискретный аналог. Более того, можно показать, что получение искомой разностной модели на практике возможно лишь при выборе строго определённых, причём специально очень грубых схем численного интегрирования. В таком случае получаемые результаты должны быть однозначно интерпретированы и отвергнуты как наведенный эффект неудачной алгоритмизации.

Для достижения цели работы нами было создано семейство агентно-ориентированных моделей и проведена серия компьютерных экспериментов в среде имитационного моделирования AnyLogic [3]. Идея состояла в том, чтобы попытаться использовать данные модели в качестве замены полевых наблюдений над численностью реальных природных популяций (рисунок 1).

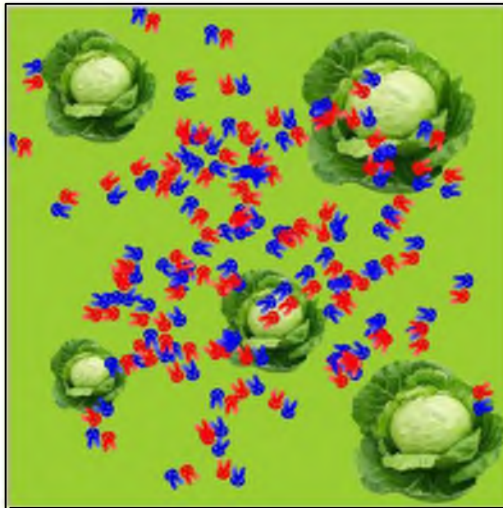


Рисунок 1 – Агентное моделирование популяции

В качестве объекта моделирования выбиралась условная популяция агентов (*Creatures*) с определёнными законами поведения:

- 1) агенты свободно перемещаются по ареалу обитания;
- 2) агенты потребляют пищевые ресурсы;
- 3) агенты разделяются по половому признаку – самки и самцы;
- 4) в определённые моменты времени агенты (самки) дают потомство (один раз за период своей жизни или несколько раз);
- 5) смертность агентов обуславливается ограниченностью ресурсов и их случайным распределением по ареалу обитания: если агент за длительное время не находит ресурс, он погибает;
- 6) ресурсы возобновляются с определённой скоростью;
- 7) интенсивность роста популяции определяется параметром приспособленности.

Материал для статистической обработки формируется за счёт происходящей с заданной регулярностью периодической фиксации мгновенных значений общей численности. Затем полученные сколь угодно длинные ряды виртуальных наблюдений используются в качестве исходных данных с целью выявления режимов динамики, характерных для разностных моделей классического типа.

Подходящим инструментом для проведения такого специфического анализа может служить метод рекуррентных диаграмм. По внешнему виду рекуррентной диаграммы можно судить о характере протекающих в системе процессов, наличии и влиянии шума, наличии состояний повторения и замирания, совершении в ходе эволюции системы резких изменений состояния [4].

В данный момент было построено семейство моделей численности популяции с разными параметрами поведения отдельных особей, собран статистический материал и на основе его построены рекуррентные диаграммы. Визуальный анализ рекуррентных диаграмм не выявил наличия ни периодических, ни хаотических режимов в модельных данных.

Для подтверждения или опровержения гипотезы о применимости дискретных моделей планируется проведение количественного анализа рекуррентных диаграмм модельных данных.

### **Библиографический список**

1. Топаж А.Г., Абрамова А.В., Толстопятов С.Е. Дискретные модели популяционной динамики: достоинства, проблемы и обоснование // Компьютерные исследования и моделирование – М., 2016. – Т. 8, №2. – С. 267–284.

2. Ризниченко Г.Ю. Математические модели в биофизике и экологии. – М.: Институт компьютерных исследований, 2003. – С. 15–18.

3. AnyLogic. [Электронный ресурс]. – Заглавие с экрана. Режим доступа: <https://www.anylogic.ru/>.

4. Киселев В.Б. Рекуррентный анализ – теория и практика // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – СПб., 2006. – №29. – С. 118–127.

**УДК 662.997; 004.94**

**Моделирование тепловых процессов с использованием  
солнечной энергии в климатических условиях  
Алтайского края**

*О.А. Ефремова  
АлтГУ, г. Барнаул*

В последние годы в мире значительно возрос интерес к технологиям возобновляемых источников энергии (ВИЭ), особенно к технологиям преобразования солнечной энергии в тепловую и электрическую энергию [1–4].

Первые законодательные шаги в России по развитию энергоснабжения на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) были предприняты в 2008 г. В 2009 г. утверждены основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования ВИЭ на период до 2020 г.

В связи с актуальностью теоретического исследования и практического внедрения систем солнечного теплоснабжения в энергетический рынок возникла необходимость оценить экономическую эффективность применения солнечных установок в реальных климатических условиях Алтайского края с использованием динамической имитационной модели, описывающей процессы, происходящие в системе солнечного теплоснабжения.

Схема простейшей солнечной водонагревательной установки представлена на рисунке 1. Установка состоит из солнечного коллектора и теплообменника-аккумулятора. Через солнечный коллектор циркулирует теплоноситель (специальный антифриз). Теплоноситель нагревается в солнечном коллекторе энергией солнца и отдает затем тепловую энергию воде через теплообменник. В баке-аккумуляторе хранится горячая вода до момента ее использования.