

ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ЭКОЛОГИИ ИНДИВИДУАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МОДЕЛЕЙ

О. П. Люлякин, Д. А. Саранча, Ю. С. Юрезанская

Отдел механики сплошных сред, отдел механики сплошных сред, отдел вычислительных методов, Федеральное государственное учреждение «Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» Российской академии наук»

Москва, Российская Федерация

E-mail: {saran, july}@ccas.ru, oleg217@yandex.ru

*На основе численного моделирования при помощи метода Монте-Карло, использованного ранее в модели газовой динамики, сконструирована индивидуально-ориентированная модель взаимодействия копытных леммингов (*Dicrostonyx torquatus chionoryes*) с кормовым ресурсом. Найдены параметры, при которых появляются стабильные трехлетние циклы динамики численности леммингов. Получено хорошее совпадение с натурными данными.*

ВВЕДЕНИЕ

В ВЦ РАН на протяжении многих лет осуществлялись работы по разработке и использованию методов точных наук в описательных науках, в экологии в том числе. На примере моделирования тундровых популяций и сообществ была разработана методика построения и исследования комплекса математических моделей для изучения биоценотических сообществ. Оригинальность методики состоит в использовании комплексного подхода в диапазоне от выбора объекта моделирования, анализа исходной биологической информации, обоснования детальной базовой модели до обоснования и построения набора взаимосвязанных и взаимодополняющих моделей, включающих в себя наряду с имитационными также упрощенные (аналитические) модели. Особенностью методики является совмещение биологических, биофизических и математических подходов при анализе экологической проблемы [1–4].

Применения данной методики позволили создать модель тундрового сообщества «растительность – лемминги – песцы». Она основана на учете сезонных изменений трофических взаимодействий внутри сообщества и построена с помощью экспертно оцененных зависимостей [1, 5, 6]. Анализ результатов вычислительных экспериментов с этой моделью показал ведущую роль популяции леммингов в формировании колебаний численности животных тундрового сообщества. Для детального исследования свойств этой популяции была построена индивидуально-ориентированная модель.

Применение комплексного подхода при моделировании тундровых популяций и сообществ позволило сформулировать количественные гипотезы о ведущих механизмах формирования колебаний численности тундровых животных. Как указано выше, ведущим фактором, определяющим эти колебания, является динамика численности популяции леммингов. Эта динамика, в свою очередь определяется тремя показателями:

1) скоростью прироста биомассы в благоприятный год, 2) максимальной численностью, 3) выживаемостью в наиболее неблагоприятных условиях.

ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

В настоящей работе построена индивидуально-ориентированная модель поведения тундровых животных – копытных леммингов (*Dicrostonyx torquatus chionoryes*), а для численного моделирования использован метод прямого статистического моделирования Монте Карло. Этот метод был предложен австралийским профессором Бердом в начале 60-х для решения задач динамики разреженного газа [7]. Основная идея метода состоит в предположении, что на малом временном шаге можно разделить два взаимосвязанных процесса – движение молекул и их столкновение друг с другом. Такой подход был использован для моделирования динамики численности популяции леммингов в работе [8], в данной работе представлен более углубленный вариант.

В модели у каждой особи есть набор характеристик: пол, возраст, координаты на территории и потенциал жизнестойкости (ПЖ). ПЖ характеризует состояние здоровья индивидуума и определяется числом, изменяющимся от 0 до 1 (0 – особь считается погибшей и удаляется из рассмотрения, 1 – наилучшее состояние). ПЖ снижается в результате стычек леммингов. Это приводит к тому, что средний ПЖ существенно зависит от плотности популяции. Основная задача состоит в подборе таких параметров модели (размеров территории, начального количество особей, величины снижения ПЖ за одну стычку, параметров размножения и ряда других показателей), при которых удастся воспроизвести динамику численности леммингов близкую к зарегистрированной.

В модели год разделен на несколько фрагментов: период размножения (февраль - август), вегетативный период (июнь - август) и период

перезимовки без размножения (сентябрь - январь).

После рождения слепые особи находятся в материнском гнезде две недели, затем начинают выходить из норы, оставаясь неполовозрелыми. Особь становится половозрелой когда выполняются два условия: 1) проходит определенное время после рождения (не менее месяца, этот показатель зависит от плотности популяции и сезона) и 2) особь находит собственную нору. Гибель особи происходит в одном из следующих случаев: 1) потенциал жизнестойкости меньше нуля, 2) особь достигла предельного возраста, 3) самка принесла третье потомство.

Поведение особей осуществляется согласно общему алгоритму, определяющему все основные процессы: передвижения, стычки, процессы размножения и гибели.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате подбора параметров модели удалось получить трёхлетние циклы динамики численности, близкие к реальным. Имеет место нарастание в сезон размножения и спад численности в период перезимовки. В фазе депрессии идет постепенное увеличение численности (в каждом из периодов). Фаза депрессии сменяется фазой нарастания, которая в свою очередь сменяется фазой пика. Эта фаза имеет резкие отличия от остальных. Происходит нарастание в период размножения, при этом возможно достижение максимальной численности в середине лета с последующим уменьшением. Во время перезимовки после пика численности наблюдается резкое снижение численности популяции и затем осуществляется переход в фазу депрессии.

Ключевой особенностью индивидуально-ориентированного моделирования является возможность проанализировать модель по различным срезам данных: рождение, смертность, влияние стычек и голода на популяцию, средний возраст, средний ПЖ, влияние болезней и т. д. Это позволяет выявить главные характеристики популяции, которые больше всего влияют на динамику численности.

Как показали проведенные исследования, средний ПЖ достигается максимального значения в момент окончания фазы нарастания, затем происходит спад показателя. Локальный максимум отмечен в фазу пика и он примерно совпадает с наступлением пика численности популяции. Затем наблюдается резкий спад до минимума в момент окончания перезимовки и очередной

подъем показателя в фазе депрессии. Поведение этого показателя примерно одинаковое для самцов и самок.

Проведено сравнение динамики численности особей различных стадий развития. Это позволило в частности выявить следующий факт: в период времени когда у половозрелых наблюдается локальный максимум, численность неполовозрелых имеет локальный минимум и наоборот, когда численность неполовозрелых имеет локальный максимум, численность половозрелых имеет локальный минимум.

Проведено сравнительное исследование поведения особей с различными генотипами. Оно согласовано с динамикой численности популяции. Было выявлено следующая особенность – численность особей с повышенной плодовитостью имеет максимум, когда общая численность популяции достигает максимума.

Проведенный сравнительный анализ зависимости причин смертности от плотности популяции выявил резкое увеличение смертности от голода после пика численности.

Проведенные вычислительные эксперименты с данной моделью позволили выявить особенности пространственного распределения и доступности корма в разные сезоны и в разные фазы цикла изменения численности леммингов.

Работа поддержана грантом РФФИ № 14-01-90011.

1. Саранча, Д.А. Количественные методы в экологии. Биофизические аспекты и математическое моделирование / Д. А. Саранча // – М.: МФТИ, 1996. – 251 с.
2. Неавтономные математические модели экологических систем / Д. А. Саранча [и др.]. – М.: ВЦ РАН, 2004. –120 с.
3. Математическое моделирование динамики численности популяций животных / Д. А. Саранча [и др.]. – М.: ВЦ РАН, 2005. – 27 с.
4. Компьютерные методы анализа математических моделей экологических систем / В. Н. Глушков [и др.]. – М.: ВЦ РАН, 2006. –74 с.
5. Sarancha, D. A. Mathematical modeling of tundra communications and populations /D. A. Sarancha // Systems analysis and simulation. Math. Res. –1985. – Vol. 27, –P. 377–379.
6. Глушков, В.Н. Комплексный метод математического моделирования биологических объектов / В. Н. Глушков, Д. А. Саранча // Автоматика и телемеханика. –2013. –№2. –С. 94–108.
7. Molecular gas dynamics / G. A. Bird // –Oxford: Clarendon Press, 1976. –78 p.
8. Перминов, В. Д. / В. Д. Перминов, Д. А. Саранча // Об одном подходе к решению задач популяционной экологии // Математическое моделирование. –2003. – №11. –С.45-53.