

уравнение с исходной имитационной моделью. Наличие таких формул позволяет проводить параметрические исследования как упрощенной, так и имитационной моделей. Проведена оценка параметров разностного уравнения по имеющимся данным динамики численности леммингов.

Литература

1. Глушков В. Н., Саранча Д. А. Комплексный метод математического моделирования биологических объектов // Автоматика и телемеханика. 2013. № 2. С. 94–108.
2. Sarancha D. A., Lyulyakin O. P., Trashcheev R. V. Interaction of simulation and analytic methods in modelling of ecological and biological objects // Russian Journal of Numerical Analysis and Mathematical Modelling. 2012. Vol. 27, No. 5. Pp. 479–492.

ПРОГНОЗЫ ЧИСЛЕННОСТИ НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ, РИСКИ ПОВРЕЖДЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ЗАДАЧАХ ЛЕСОЗАЩИТЫ

В. Г. Суховольский¹, О. В. Тарасова²

¹Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

²Сибирский федеральный университет

Вспышка массового размножения насекомых – одно из первых критических явлений в экологических системах, описанных в мировой литературе (Исход 10:13). Однако до настоящего времени задача прогнозирования и контроля численности насекомых-вредителей лесных насаждений и сельскохозяйственных культур не решена.

В настоящей работе рассматривается комплекс методов прогнозирования, оценки рисков и принятия решений в задачах мониторинга и управления популяциями насекомых-вредителей.

Выделяются два класса прогнозов возникновения вспышек массового размножения насекомых: кратко- и среднесрочные прогнозы, ориентированные на предсказание ближайшей по времени вспышки, и долгосрочные прогнозы, направленные на оценки таких свойств популяций насекомых, как периодичность и тип вспышек массового размножения, статистические характеристики (функция распределения и др.) величин плотности популяции на максимуме вспышки, восприимчивость популяций к воздействию модифицирующих факторов.

Рассмотрены возможности использования для кратко- и среднесрочного прогноза возникновения вспышек AR- и ARMA-моделей популяционной динамики насекомых (Soukhovolsky et al., 2013), прогнозных оценок восприимчивости популяции к воздействию погодных факторов с помощью модели вспышки массового размножения как фазового перехода и аналога флуктуационно-диссипационной теоремы статистической физики (Суховольский и др., 2008).

Для долгосрочного прогнозирования развития вспышек массового размножения введено представление о популяционной потенциальной функции

$G(x) = \frac{1}{p(x)}$ как характеристике, обратной вероятности $p(X)$ наблюдения популяции в состоянии с плотностью X в области ненулевых значений плотности популяции.

Потенциальная функция характеризует возможность наблюдения популяции при различных значениях ее плотности x ($0 \leq x < \infty$). Чем больше значение $G(x)$ для конкретной плотности популяции, тем меньше вероятность, что такая популяция будет наблюдаться.

Минимумы значений потенциальной функции характеризуют наиболее часто наблюдаемые состояния популяции. Можно ввести принцип минимума потенциальной функции, согласно которому устойчивые состояния популяции характеризуются минимумом (локальным или глобальным) потенциальной функции $G(x)$.

Интервальная оценка $p(x)$ производится по данным достаточного длинного ряда наблюдений плотности данной популяции. Если потенциальная функция $G(x)$ некоторого вида насекомых имеет вогнутую форму (рис. 1), то существует глобальный минимум данной функции и популяция наблюдается в основном в состоянии z , для которого потенциальная функция $G(x)$ имеет минимальное значение.

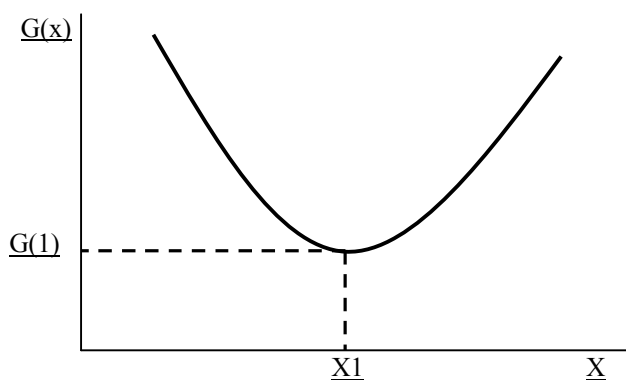


Рис. 1. Вид потенциальной функции $G(x)$ с одним глобальным минимумом.

Чем больше по абсолютной величине значение плотности популяции $X(t)$ отклоняется от значения $X1$, тем меньше вероятность наблюдения популяции с таким значением плотности и тем выше вероятность того, что если даже такое значение будет достигнуто, популяции в указанном состоянии не будет существовать в течение длительного времени и ее плотность начнет изменяться с тем, чтобы в конечном счете стать близким к значению $X1$.

Случай, когда потенциальная функция выпуклая, означает, что такая популяция глобально неустойчива и вряд ли будет встречаться в экосистемах в течение длительного времени.

Наконец, потенциальная функция может иметь не один глобальный минимум, а несколько локальных минимумов. В данном случае предполагается, что устойчивые состояния популяции соответствуют локальным минимумам значений потенциальной функции $G(x)$. В частности, потенциальная функция $G(x)$ для бистабильной системы с двумя стабильными (или стабильным и мета-

стабильным) значениями плотности популяции $X1$ и $X2$ характеризуется наличием двух локальных минимумов значений $G(x)$ (потенциальных ям) (рис. 2).

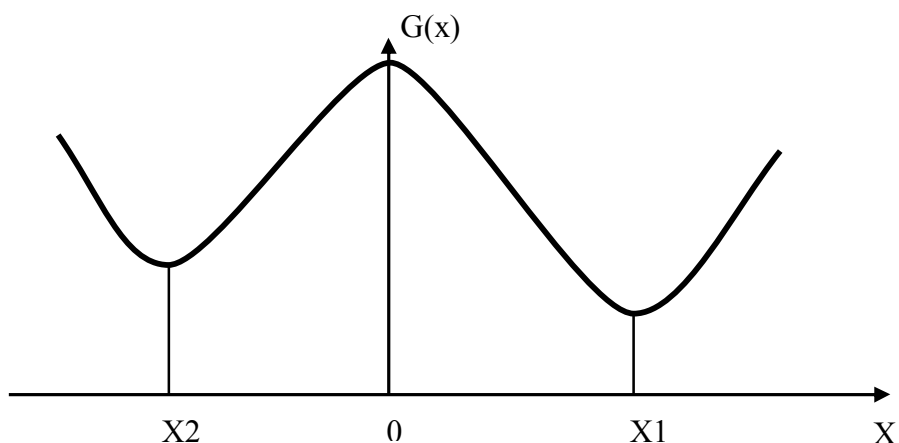


Рис. 2. Принципиальный вид потенциальной функции $G(x)$ для бистабильной системы.

Функция $G(x)$ для бистабильной системы описывается с помощью следующих показателей:

- локальных минимумов потенциальной функции $G(1)$ и $G(2)$ и соответствующих значений $X1$ и $X2$ плотностей популяции;
- локального максимума функции $G(r)$ – высоты потенциального барьера, соответствующего значению $X = Xr$ плотности популяции), когда потенциальная функция $G(x)$ достигает локального максимума;
- глубин потенциальных ям: $\Delta G(1) = G(r) - G(1)$ и $\Delta G(2) = G(r) - G(2)$.

Совокупность данных основных и дополнительных показателей достаточно детально характеризует форму потенциальной функции $G(x)$, динамику переходов в бистабильной системе, позволяет классифицировать различные виды насекомых по типу динамики численности и перейти к кратко-и долгосрочному прогнозу динамики популяции вида-вредителя.

Риски вспышек массового размножения насекомых характеризуются произведением вероятности развития вспышки на величину ущерба от воздействия. Для оценки ущерба предлагается использовать представления об экологических ценах потребления корма насекомыми (Суховольский и др., 2008).

При анализе принципов принятия решений о проведении истребительных мероприятий рассматривается агентская проблема, проводятся расчеты цены ошибок первого и второго рода при принятии решения, обсуждается риск развития «бумеранг-эффекта» при проведении превентивных мероприятий по контролю численности насекомых (особенно вредителей сельскохозяйственных культур).