

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ ПОПУЛЯЦИЙ

Г. П. Неверова, Е. Я. Фрисман

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН

В данной работе предлагается достаточно простая популяционная модель (система рекуррентных уравнений), позволяющая исследовать совокупное влияние плотностно-зависимых факторов и возрастной структуры (особенностей жизненного цикла, а конкретнее скорости полового созревания особей) на динамику численности популяции. В отличие от предыдущих работ, здесь изучаются разнообразные эффекты, возникающие в сложноструктурированных популяциях вследствие внутривидовой конкуренции между возрастными группами за один и тот же ресурс, т.е. исследуются возможные динамические режимы популяций со сложной возрастной структурой, развивающихся в условиях экологического лимитирования.

Предполагается, что к началу очередного сезона размножения популяция может рассматриваться как совокупность двух возрастных классов: младшего, включающего неполовозрелых особей, и старшего, состоящего из особей, участвующих в размножении. В силу того, что популяция имеет сложную возрастную структуру, за один шаг во времени не все особи из младшего возрастного класса, повзрослев, переходят в старшую группу, часть остается в нем. Соответственно динамика численности такой популяции, развивающейся в условиях экологического лимитирования, может быть описана следующими уравнениями:

$$\begin{cases} x_{n+1} = a(x_n, y_n)y_n + d(x_n, y_n)x_n \\ y_{n+1} = s(x_n, y_n)x_n + v(x_n, y_n)y_n \end{cases} \quad (1)$$

где x – численность младшего возрастного класса (неполовозрелые особи); y – численность старшего возрастного класса, составляющего репродуктивную часть популяции; n – номер периода размножения; $a(x, y)$ – функция, характеризующая зависимость рождаемости от плотности; $d(x, y)$ и $s(x, y)$ – функции, описывающие долю численности молодежи, оставшуюся в неполовозрелом классе и перешедшую в половозрелую группу в зависимости от плотности популяции соответственно; $v(x, y)$ – функция, определяющая зависимость выживаемости половозрелых особей от плотности популяции. Функции $a(x, y)$, $d(x, y)$, $s(x, y)$, $v(x, y)$ монотонно убывают и стремятся к нулю при бесконечном возрастании аргументов. Функции, характеризующие зависимость значений параметров от численности возрастных классов популяции, выбраны по аналогии с моделью Рикера.

Биологи-популяционисты выделяют следующие типы плотностной регуляции, обусловленные внутривидовой конкуренцией: лимитирование выживаемости молодежи, лимитирование выживаемости старших возрастных классов, лимитирование рождаемости. В силу этого в работе исследуются и сравниваются

следующие частные случаи модели (1), соответствующие определенному типу плотностной регуляции:

1. Лимитирование рождаемости:

$$a(x, y) = a_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x - \beta \cdot y}, d(x, y) = d, s(x, y) = s, v(x, y) = v, s + d \leq 1.$$

2. Лимитирование выживаемости молодежи:

$$a(x, y) = a, d(x, y) = d_0 e^{-\alpha \cdot x - \beta \cdot y}, s(x, y) = (1 - d_0) e^{-\alpha \cdot x - \beta \cdot y}, v(x, y) = v.$$

3. Лимитирование выживаемости старшего возрастного класса:

$$a(x, y) = a, d(x, y) = d, s(x, y) = s, v(x, y) = v_0 e^{-\alpha \cdot x - \beta \cdot y}, s + d \leq 1.$$

Здесь параметры модели имеют следующий смысл: a_0 – репродуктивный потенциал популяции; коэффициент d_0 описывает ту часть класса, которая, повзрослев, остается в нем же; s_0 характеризует ту часть младшего класса, которая перешла в старшую группу; v_0 – параметр выживаемости репродуктивных особей; индекс 0 соответствует случаю неограниченности ресурсов. Параметры a, d, s, v имеют тот же смысл, что и a_0, d_0, s_0, v_0 , только с учетом воздействия лимитирующих факторов. α и β – коэффициенты, характеризующие интенсивности воздействия особей неполовозрелого и половозрелого возрастных классов на соответствующий демографический параметр. На фиксированные значения параметров действуют следующие ограничения: $a > 0, 0 < v \leq 1, 0 < s \leq 1, 0 < d \leq 1, s + d \leq 1$.

Для каждого частного случая модели (1) было продемонстрировано существование единственного ненулевого стационарного решения, проведено его исследование на локальную устойчивость и подробно изучены возникающие динамические режимы. В ходе исследования было установлено, что структурированные популяции способны демонстрировать весьма разнообразные сложные динамические режимы. Наиболее эффективными механизмами саморегуляции в таких популяциях являются уменьшение рождаемости с ростом числа взрослых особей и падение выживаемости молодежи с увеличением ее численности. Сложноорганизованные колебания в таких популяциях возникают, как правило, при очень высоких значениях репродуктивного потенциала. Увеличение периода времени, в течение которого организм достигает половой зрелости, существенно расширяет зону параметрической устойчивости популяции.

В случаях лимитирования рождаемости и выживаемости молодежи рост доли особей, которые достигают половозрелого возраста с задержкой, приводит к расширению области значений параметров рождаемости, при которых популяция развивается стабильно. Зона параметрической устойчивости популяции может существенно увеличиться, если коэффициент рождаемости будет уменьшаться с ростом численности не только половозрелых особей, но и приплода. Однако такой регуляторный механизм оказывает положительное влияние только при слабом воздействии, не превосходящем регуляторную роль взрослых особей. Аналогично увеличивает область параметрической устойчивости популяции добавление в самолимитирование выживаемости младшей возрастной группы еще и небольшого лимитирования взрослыми особями. Установлено, что при плотностной регуляции выживаемости молодежи могут возникать двухгодичные колебания численности вследствие роста конкурентных

взаимодействий между возрастными классами при достаточно малом репродуктивном потенциале. Вместе с тем рост коэффициента рождаемости способен стабилизировать динамику численности популяции (случай, когда с увеличением числа половозрелых особей происходит снижение выживаемости неполовозрелых особей).

В случае плотностного лимитирования выживаемости старшего возрастного класса весомая роль самолимитирования в регуляции численности популяции приводит к возникновению двухгодичных колебаний. Однако увеличение регуляторной роли младшего класса стабилизирует численность. Следует отметить, что для популяций, особи которых достигают половозрелости за год, стабилизация происходит тем скорее, чем ниже параметр, характеризующий репродуктивный потенциал. Особенностью воздействия такого типа плотностной регуляции с учетом конкурентного взаимодействия между особями разных классов является то, что рост репродуктивного потенциала способен стабилизировать возникающие колебания.

Дополнительно продемонстрировано, что учет плотностно-зависимых факторов существенно усложняет поведение популяционной системы в силу того, что возникает несколько бассейнов притяжения различных предельных режимов. Одновременное существование нескольких разных динамических режимов наблюдается при плотностной регуляции рождаемости и выживаемости молодежи. Естественно предполагать, что в природе смена динамического режима происходит в силу воздействия внешних факторов, причем влияние внешних факторов, ведущих к изменению характера динамики популяции, тем сильнее, чем быстрее происходит созревание молодежи. В рамках настоящей работы установлено, что увеличение длительности периода, в течение которого неполовозрелые особи достигают половозрелости, и, следовательно, увеличение продолжительности жизни особей, значительно снижает возможность одновременного сосуществования нескольких динамических режимов в области значений демографических параметров, имеющих биологический смысл.

О СИНХРОНИЗАЦИИ КОЛЕБАНИЙ МИГРАЦИОННО-СВЯЗАННЫХ СООБЩЕСТВ

Е. В. Курилова

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН

В современной науке большой интерес вызывают проблемы возникновения колебаний численности взаимодействующих популяций. Как правило, для описания динамики таких популяций используются нелинейные модели, учитывающие основные факторы их развития. Следует отметить, что закономерности развития популяций, состоящих из нескольких видов, связанных между собой трофическими взаимодействиями, весьма подробно изучены (особенно системы небольшой размерности). В последнее время в качестве продолжения данных идей рассматриваются задачи, посвященные исследованию закономерностей развития взаимосвязанных сообществ, каждое из которых, в частности,