

ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ДИНАМИК ДВУХ СОСЕДНИХ МИГРАЦИОННО СВЯЗАННЫХ СООБЩЕСТВ

Е.В. Курилова

Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
г. Биробиджан

В данной работе разработана и исследована модифицированная модель двух связанных миграцией сообществ, каждое из которых представляет собой систему «хищник-жертва». В ходе исследования модели обнаружены и описаны условия возникновения частичной и полной синхронизации динамики рассматриваемых систем. Выявлена серия сложных бифуркационных переходов при переходе от синхронного поведения миграционно связанных сообществ к абсолютно не синхронному.

Ключевые слова: модель, миграция, сообщество, синхронизация, сложные режимы.

INVESTIGATION OF CONDITIONS OF SYNCHRONIZATION OF THE DYNAMICS OF TWO NEIGHBORING COMMUNITIES COUPLED BY MIGRATION

E.V. Kurilova

Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS,
Birobidzhan

This paper devoted to study a modified model of two neighboring biological communities coupled by migration, each of which is a «predator-prey» system. The conditions for the appearance of a partial and complete synchronization of the dynamics were found and described. A series of complex bifurcation transition from synchronous behavior of two communities to absolutely non-synchronous dynamic was identified.

Keywords: model, migration, communities, synchronization, complex regimes.

Для изучения условий синхронизации динамики численностей двух соседних взаимосвязанных сообществ была предложена и исследована модифицированная модель, предложенная А.Д. Базыкиным (Базыкин, 1985):

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{x}_1 = a_1 x_1 \frac{K - x_1}{K} - \frac{b x_1 y_1}{1 + A x_1} \\ \dot{y}_1 = -c y_1 + \frac{d x_1 y_1}{1 + A x_1} + m y_2 - m y_1 \\ \dot{x}_2 = a_2 x_2 \frac{K - x_2}{K} - \frac{b x_2 y_2}{1 + A x_2} \\ \dot{y}_2 = -c y_2 + \frac{d x_2 y_2}{1 + A x_2} + m y_1 - m y_2 \end{array} \right. \quad (1)$$

где a_1 и a_2 – скорости размножения популяции жертвы в отсутствии хищника в первом и втором местообитании, K – устойчивая равновесная численность популяции жертв в каждом местообитании в отсутствии хищника, b – удельная скорость потребления популяцией хищника популяции жертвы при единичной плотности обеих популяций, c – естественная смертность хищника, d/b – коэффициент переработки потребленной хищником биомассы жертвы в собственную биомассу, A – коэффициент насыщения хищника, m – коэффициент миграции хищника.

Каждое рассматриваемое сообщество представляет собой систему «хищник-жертва». Предполагается, что оба сообщества обитают в максимально схожих условиях и отличаются только скоростями размножения популяции жертвы, коэффициенты межвидовых взаимодействий на локальном уровне в обеих подсистемах будут равными. Этот случай отражает ситуацию, когда на сопредельных территориях существуют два разных вида жертв, имеющих одинаковую пищевую ценность для хищника.

Предполагается также, что рассматриваемые сообщества связаны между собой миграцией хищника, причем количество мигрантов из сообщества пропорционально численности хищника в этом сообществе. Коэффициенты пропорциональности (коэффициенты миграций) одинаковы для обоих сообществ. Гибель особей в процессе миграции неявно включается в общую смертность. Внешние факторы, влияющие на развитие сообществ, не учитываются.

В ходе проведенного исследования предложенной модели (1) были получены неожиданные результаты. При равных скоростях роста численности жертв в обоих сообществах с увеличением значений коэффициента миграции возникает полная взаимная синхронизация их динамики. В случае небольшой разницы в значениях восполнения численностей жертв, незначительное увеличение коэффициента миграции хищника может привести к десинхронизации колебаний численностей обоих сообществ. Дальнейшее увеличение коэффициента связи приводит к частичной синхронизации динамики хищников. В случае если у рассматриваемых популяций жертв отмечается значительная разница в скоростях роста численностей, то увеличение миграции хищников приведет к полному уничтожению популяции жертв с низкой скоростью воспроизводства. То есть наличие на сопредельной территории сильного сообщества будет ставить под угрозу существование более слабого. Причем этот процесс будет непрерывным: после поедания жертв слабого сообщества хищники продолжают мигрировать между соседними территориями, истребляя остатки жертвы, что не дает более слабой популяции времени на восстановление.

Для исследования развития двух взаимосвязанных сообществ нами были выбраны значения параметров из области существования предельного цикла одиночной системы «хищник-жертва». Были обнаружены и описаны условия

возникновения частичной и полной синхронизации динамики двух рассматриваемых сообществ.

Дальнейшее исследование показало, что при изменении коэффициентов модели наблюдается серия бифуркационных переходов от синхронного поведения двух связанных сообществ (предельный цикл) к абсолютно несинхронным режимам динамики (тор-хаос (рис. г)).

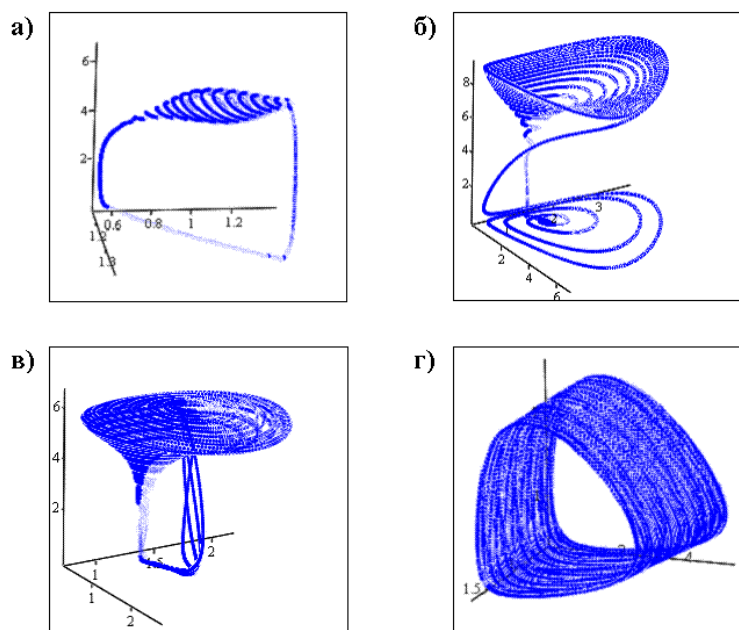


Рис. Сложные режимы при переходе от предельного цикла к тор-хаосу: а) траектория «голубого неба»; б) траектория «голубого неба» с бифуркацией удвоения; в) траектории на «бутылке Клейна»; г) тор-хаос

Между этими состояниями обнаружено множество сложных режимов, таких как траектория «голубого неба» (сочетающая в себе быстрые и медленные изменения фазовых переменных (рис. а)), которая также может испытывать бифуркацию удвоения (рис. б), при этом число оборотов фазовой траектории экспоненциально растет и становится бесконечным. Также выявлены условия формирования траекторий на «бутылке Клейна» (рис. в) (Shilnikov A., Turaev D.).

Список литературы:

Базыкин А.Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. М.: Изд-во Наука, 1985. 181 с.

Shilnikov A., Turaev D. Blue-sky catastrophe // SCHOLARPEDIA. URL: http://www.scholarpedia.org/article/Blue-sky_catastrophe (дата обращения: 25.08.2018).