

СРАВНЕНИЕ РЕЖИМОВ ДИНАМИКИ ЧИСЛЕННОСТИ СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОПУЛЯЦИИ ПРИ РАЗНЫХ ТИПАХ ИЗБИРАТЕЛЬНОГО ПРОМЫСЛА

Г.П. Неверова¹⁻³, Е.Я. Фрисман³

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,

²Дальневосточный федеральный университет,

г. Владивосток

³Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,

г. Биробиджан

В работе изучается и сравнивается влияние избирательного промысла на лимитированную популяцию, которая к началу очередного сезона размножения состоит из двух возрастных групп: неполовозрелой (молодь) и половозрелой (участвующих в размножении особей). На основе предложенной математической модели с дискретным временем показано, что для того, чтобы контролировать динамику популяции достаточно сместить и удерживать численность популяции в бассейне притяжения выбранного динамического режима.

Ключевые слова: популяционная динамика, плотностное лимитирование, избирательный промысел, динамические режимы, мультистабильность.

COMPARISON OF DYNAMICS MODES OF STRUCTURED POPULATION MODEL WITH AGE SPECIFIC HARVESTING

G.P. Neverova¹⁻³, E.Ya. Frisman³

¹Institute for Automation and Control Processes FEB RAS,

²Far Eastern Federal University,

Vladivostok

³Institute for Complex Analysis of Regional Problems FEB RAS,

Birobidzhan

The paper studies and compares the influence of age specific harvesting on a limited population dynamics based on a mathematical model with discrete time. We assume by the beginning of the next breeding season the population consists of two age groups: immature (juvenile) and mature individuals. Controlling exploited population dynamics is sufficient to shift and retain the population number to within the attraction basin of the dynamic mode selected.

Keywords: population dynamics, density-dependent regulation, age specific harvesting, dynamic modes, multistability.

В данной работе исследуется динамика численности популяции, которая к началу очередного сезона размножения может быть представлена совокупностью двух возрастных классов: младшего, включающего неполовозрелых особей, и старшего, состоящего из особей, участвующих в

размножении (Neverova et al., 2018). Предполагается, что времени, протекающего между двумя последовательными периодами размножения, достаточно для развития особей младшего возраста до половозрелого состояния, а новорожденных особей – до состояния младшего возраста. Выживаемость и репродуктивная способность половозрелых особей не зависят от возраста, то есть отсутствуют возрастные различия у взрослых особей. Регуляция численности осуществляется через лимитирование рождаемости, когда с ростом плотности (численности) популяции наблюдается снижение репродуктивных способностей особей. Для описания эффектов плотностно-зависимого лимитирования выбрана функция Рикера. Предполагается, что число добываемых особей пропорционально численности, т.е. в результате промысла изымается некоторая постоянная часть (доля) особей. Процесс промысла предполагается дискретным по времени с одинаковыми временными интервалами, составляющими один год и равными периоду размножения.

Уравнения динамики, соответствующие описанному жизненному циклу, с учетом промыслового изъятия имеют вид:

$$\begin{cases} x_{n+1} = ay_n \cdot \exp(-\alpha x_n - \beta y_n)(1 - u_1) \\ y_{n+1} = (sx_n + vy_n)(1 - u_2) \end{cases} \quad (1)$$

где x – численность младшего возрастного класса (неполовозрелые особи), y – численность старшего возрастного класса, составляющего репродуктивную часть популяции, n – номер периода размножения, a ($a > 0$) – репродуктивный потенциал популяции, α и β – коэффициенты, характеризующие интенсивности воздействия особей младшего и половозрелого возрастного класса на рождаемость особей, s ($0 < s \leq 1$) и v ($0 < v \leq 1$) – выживаемости особей младшей и старшей группы, соответственно, u_1 и u_2 – доли ежегодного промыслового изъятия молодежи и взрослых особей, соответственно.

В ходе исследования динамики двухвозрастной эксплуатируемой популяции было показано, что максимальный устойчивый урожай возможен в случае изъятия особей только из одного возрастного класса (Жданова, Фрисман, 2013, 2014; Ревуцкая, Фрисман, 2017). Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать и сравнивать случаи при $u_1=0$ и $u_2=0$.

Избирательный промысел молодежи ведет к расширению области устойчивости. Следовательно, если популяция стационарна, то изъятие части молодежи, не приведет к изменению динамического режима, более того в ряде случаев возникшие двухгодичные или квазипериодические колебания нивелируются: промысел ведет к стабилизации. Область устойчивости 3-цикла эксплуатируемой популяции существует при более высоких значениях репродуктивного потенциала. В силу этого сдвига, вызванного изъятием, в значимой зоне параметрического пространства исчезает мультистабильность, т.е. при любом начальном условии устанавливается равновесие. При этом

область существования 3-цикла существенно расширяется, то есть, если в неэксплуатируемой популяции наблюдалась нерегулярная динамика, то сейчас в области колебательных режимов возникает мультистабильность.

В случае изъятия половозрелых особей, картина динамического поведения меняется. В значимой части пространства параметров, где свободная популяция демонстрирует равновесие, в случае промысла зрелых особей возникают колебательные режимы динамики, усложняющиеся по сценарию Фейгенбаума. Если были квазипериодические колебания, то может наступить стабилизация, или, в случае наличия мультистабильности, периодические 3-летние колебания. Рост доли изъятия из любого возрастного класса расширяет бассейн притяжения устойчивого равновесия во всех направлениях. Следовательно, трехгодичные колебания, возникающие при начальном условии, лежащем вблизи бассейна стационарного решения, в эксплуатируемой популяции стабилизируются. Интересен момент, что в случае добычи зрелых особей при малых значениях численности младшего возрастного класса и высокой старшего, рост изъятия сохраняет тип динамического режима, наблюдаемого в свободной популяции. В целом, если при некоторых значениях популяционных параметров текущая численность популяции располагается в бассейне притяжения устойчивого равновесия, то колебания могут возникнуть только тогда, когда на текущую численность популяции будет оказано дополнительное воздействие, ведущее к ее смещению в бассейн притяжения 3-цикла. Для этого перескока требуется либо уменьшение текущей численности возрастных классов, либо ее увеличение за счет внешних воздействий, что маловероятно. Более вероятно, что нерегулярный сбор урожая или изменяющаяся доля изъятия раскачают колебания.

С другой стороны, для того, чтобы нивелировать возникшие трехгодичные колебания, необходимо изменить текущую численность таким образом, чтобы она попадала в бассейн притяжения равновесного состояния. Расположение бассейнов притяжения, позволяет заключить, что уменьшение численности одного из возрастных классов популяции позволяет переместиться из зоны 3-цикла в бассейн притяжений устойчивого равновесия. Следовательно, одномоментное уменьшение численности популяции (в дополнение к ежегодному изъятию) может привести к смене динамического режима. Этот переход зависит от величины дополнительного изъятия. При сравнительно небольшом изъятии трехгодичные колебания могут сохраниться, а при его увеличении популяция выходит на квазистационарный режим: колебания с очень малой амплитудой. При этом, чем больше одномоментное изъятие, тем быстрее численность популяции стабилизируется.

Исследование выполнено при частичной финансовой поддержке РФФИ (проекты № 18-04-00073 а, № 18-51-45004 ИНД_а) и программы «Дальний Восток» 2018–2020 (проект № 18-5-051).

Список литературы:

Жданова О.Л., Фрисман Е.Я. Влияние оптимального промысла на характер динамики численности и генетического состава двухвозрастной популяции // Известия РАН. Серия биологическая. 2013. № 6. С. 738–749.

Жданова О.Л., Фрисман Е.Я. Модельный анализ последствий оптимального промысла для эволюции двухвозрастной популяции // Информатика и системы управления. 2014. № 2 (40). С. 12–21.

Ревуцкая О.Л., Фрисман Е.Я. Влияние равновесного промысла на сценарии развития двухвозрастной популяции // Информатика и системы управления. 2017. № 3. С. 36–48.

Neverova G.P., Abakumov A.I, Yarovenko I.P., Frisman E.Ya. Mode change in the dynamics of exploited limited population with age structure // Nonlinear Dyn. 2018. P. 1-18. URL: <https://doi.org/10.1007/s11071-018-4396-6> (дата обращения: 25.07.2018).