

БИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 574.34:636.93(571.621)

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ДИКИХ КОПЫТНЫХ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИИ С ПОЛОВОЙ СТРУКТУРОЙ

О.Л. Ревуцкая

¹Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,
e-mail: oksana-rev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4148-282X>

Анализировалась динамика численности охотничьих диких копытных Еврейской автономной области на основе дискретной во времени модели динамики численности популяции с половой структурой и плотностным лимитированием выживаемости молоди. Оценка параметров модели осуществлялась посредством подхода, учитывающего общую численность популяции и позволяющего представить исходную структурированную модель как одномерное рекуррентное уравнение с запаздыванием. Показано, что численности популяций лося, изюбря, косули и кабарги характеризуются устойчивым типом динамики.

Ключевые слова: охотничьи животные, половая структура, плотностно-зависимые факторы, дискретные во времени модели, оценка параметров, популяционная динамика.

Образец цитирования: Ревуцкая О.Л. Анализ изменения численности диких копытных на основе математической модели динамики популяции с половой структурой // Региональные проблемы. 2024. Т. 27, № 2. С. 31–34. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-2-31-34.

Изучение закономерностей динамики численности населения животных является важной задачей в решении вопросов оценки ресурсного потенциала региона, рационального использования и охраны биологических ресурсов. Цель настоящей работы – описание и анализ динамики численности населения охотничье-промысловых видов копытных, обитающих на территории Еврейской автономной области (ЕАО). Изучалось изменение численности следующих видов: лось (*Alces alces*), изюбрь (*Cervus elaphus xanthopygus*), косуля (*Capreolus pygargus*) и кабарга (*Moschus moschiferus*). Основным источником информации о численности охотничьих животных являются материалы годовых отчетов по зимним маршрутным учетам, выполненным государственными службами, отвечающими за охрану и использование объектов животного мира в ЕАО [1].

Хорошо известно, что изменения численности популяций животных являются результатом

изменений их половозрастной структуры, вызванных совокупным воздействием факторов внешней среды и механизмов внутривидовой регуляции. При этом вариация соотношения полов год от года может привести к существенным колебаниям мальтузианского параметра и соответственно численности популяции. В связи с этим для описания и анализа динамики численности копытных была использована дискретная во времени математическая модель с учетом полового состава популяции и плотностным лимитированием выживаемости молоди

$$\begin{cases} f_{n+1} = a\delta f_n \exp(-\alpha N_n) + s f_n \\ m_{n+1} = a(1-\delta)f_n \exp(-\beta N_n) + v m_n \end{cases}, \quad (1)$$

где n – номер сезона размножения, f и m – численности самок и самцов соответственно, $N=f+m$ – общая численность популяции, a – репродуктивный потенциал популяции в отсутствие лимитирующих факторов, δ – доля самок среди новорожденных, коэффициенты α и β определяют интенсив-

ность влияния плотностно зависимой регуляции на выживаемость ювенильных самок и самцов соответственно, s и v – коэффициенты выживаемости половозрелых самок и самцов соответственно.

В силу отсутствия данных о половой структуре охотничьих животных ЕАО целесообразно переписать модель (1), используя только общую численность [2]. Переход от численностей самок f и самцов m в модели (1) к общей численности N приводит к одномерному рекуррентному уравнению с запаздыванием

$$N_{n+2} = \left(a(\delta e^{-\alpha N_{n+1}} + (1-\delta)e^{-\beta N_{n+1}}) + s - v \right) \left[1 + \frac{v - a(1-\delta)e^{-\beta N_n}}{a(\delta e^{-\alpha N_n} + (1-\delta)e^{-\beta N_n}) + s - v} \right] (N_{n+1} - v N_n) + v N_{n+1}. \quad (2)$$

Следовательно, применение уравнения (2) к описанию динамики численности популяции позволяет оценить параметры, характеризующие демографические процессы в популяции с учетом ее

половой структуры и процессов саморегуляции. Для оценки качества описания учетных данных модельными вычислялись скорректированный по числу степеней свободы коэффициент детерминации (\bar{R}^2) и средняя ошибка аппроксимации (A).

На рис. представлены результаты описания динамики копытных. Как видно, модельные траектории хорошо отражают тенденции изменения численности рассматриваемых видов животных, а полученные точечные оценки параметров могут быть использованы для анализа демографических процессов, протекающих в популяциях. Отметим, что большинство видов копытных относятся к «равновесным» видам с К-стратегией, и нередко их динамика представляет собой длиннопериодические устойчивые колебания с флуктуациями вокруг состояния равновесия, что и видно на рис. Согласно значениям скорректированных

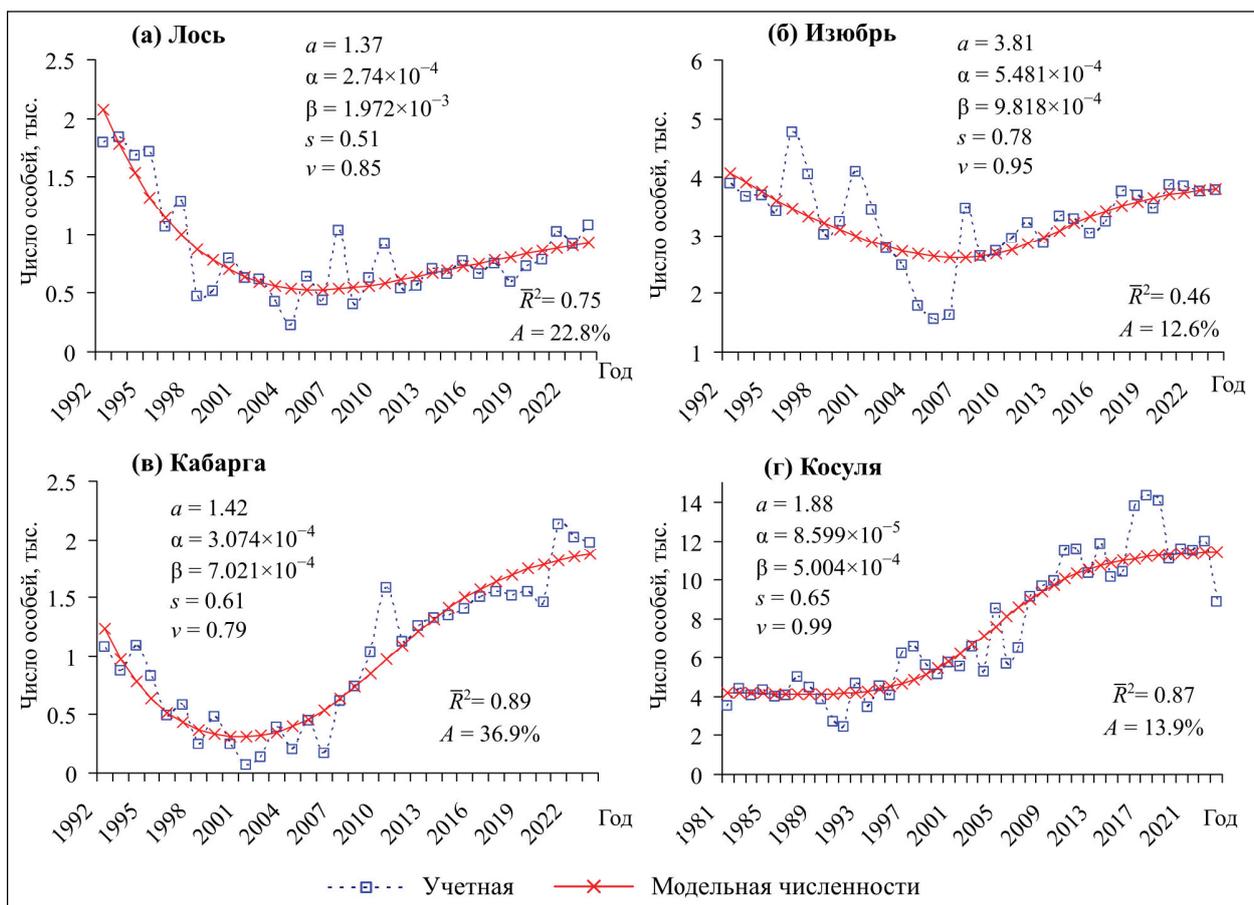


Рис. Учетная и модельная численности популяций лося (а), изюбря (б), кабарги (в) и косули (г) в Еврейской автономной области при $\delta=0.5$

Fig. Real and model data for the moose (a), the red deer (b), the musk deer (c) and the roe deer (d) in the Jewish Autonomous region at $\delta=0.5$

коэффициентов детерминации вариация численности копытных на 46% (изюбрь) и более 75% (лось, косуля и кабарга) объясняется изменчивостью включенных в модель переменных (половая структура и самолимитирование выживаемости молоди). Расчетные численности животных отклоняются от учетных на 12.6–36.9%. По-видимому, эти отклонения определяются неучтенными в модели факторами, оказывающими влияние на динамику животных.

Согласно модельным оценкам, численности популяций копытных характеризуются устойчивым типом динамики, при котором наблюдаются медленные, растянутые во времени плавные подъемы и сокращения численности (рис.). Заметим, что точки, соответствующие найденным оценкам коэффициентов модели (2), для рассматриваемых животных находятся в области устойчивости. Следовательно, возникающие колебания численности копытных по большей части обусловлены влиянием внешних факторов и представляют собой отклонения от состояния равновесия. Значения равновесной численности для популяций лоса составляют около 1.2 тыс. особей, изюбря – 3.9 тыс., кабарги – 1.9 тыс., косули – 11.6 тыс. особей. При этом удельный вес самок при равновесной численности составляет 68%, 50.9%, 54.2% и 70.7% для лоса, изюбря, кабарги и косули соответственно.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Охотхозяйственный реестр за 2011–2023 гг. Информация для охотников области. Иная информация. Департамент по охране и использованию объектов животного мира правительства Еврейской автономной области // Официальный портал органов государственной власти Еврейской автономной области. URL: <https://www.eao.ru/isp-vlast/upravlenie-po-okhrane-i-ispolzovaniyu-obektov-zhivotnogo-mira-pravitelstva-eao/inaya-informatsiya--2/informatsiya-dlya-okhotnikov-oblasti/> (дата обращения: 08.04.2024).
2. Ревуцкая О.Л., Неверова Г.П. Модельный анализ демографических процессов в популяциях пушных охотничьих животных (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы. 2024. Т. 27, № 1. С. 5–20. DOI: 10.31433/2618-9593-20224-27-1-5-20.

REFERENCES:

1. Hunting register for 2011–2023. Information for area hunters. Other information. Department for the Protection and Use of Fauna of the Government of the Jewish Autonomous Region, in *Ofitsial'nyi portal organov gosudarstvennoi vlasti Evreiskoi avtonomnoi oblasti* (The official portal of government authorities of the Jewish Autonomous Region). Available at: <https://www.eao.ru/isp-vlast/upravlenie-pookhrane-i-ispolzovaniyu-obektov-zhivotnogomira-pravitelstva-eao/inaya-informatsiya--2/informatsiya-dlya-okhotnikov-oblasti/> (accessed: 08.04.2024). (In Russ.).
2. Revutskaya O.L., Neverova G.P. Model analysis of demographic processes in the populations of fur-bearing hunting animals inhabiting the Jewish Autonomous Region. *Regional'nye problemy*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 5–20. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-20224-27-1-5-20.

ANALYSIS OF UNGULATE DYNAMICS BASED ON A MATHEMATICAL SEX-STRUCTURED POPULATION MODEL

O.L. Revutskaya

In the paper, the authors analyze dynamics of the ungulates inhabiting the Jewish Autonomous region. They use a discrete-time model of a sex-structured population with density-dependent limitation of juvenile survival. Model parameters are estimated based on an approach that accounts the total population size and allows presentation of the structured model as a one-dimensional recurrent delayed equation. The results obtained show that population sizes of elk, red deer, roe deer, and musk deer demonstrate stable dynamics.

Keywords: *game animals, sex structure, density-dependent factors, discrete-time models, parameter estimation, population dynamics.*

Reference: Revutskaya O.L. Analysis of ungulate dynamics based on a mathematical sex-structured population model. *Regional'nye problemy*, 2024, vol. 27, no. 2, pp. 31–34. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-2-31-34.

Поступила в редакцию 03.05.2024

Принята к публикации 13.06.2024