

5. Busoniu L., Babuska R., and De Schutter B. Multi-agent reinforcement learning: An overview. Chapter 7 in Innovations in Multi-Agent Systems and Applications-1 (D. Srinivasan and L.C. Jain, eds.), vol. 310 of Studies in Computational Intelligence, Berlin, Germany: Springer, 2010, pp. 183–221.

УДК 591.526:51

Изменение скорости роста популяции северного морского котика о. Тюлений и стационарной возрастной структуры самцов: результаты детерминистской и стохастической модели

**О.Л. Жданова^{1,2}, В.С. Жданов³, А.Е. Кузин⁴,
Е.Я. Фрисман²**

¹ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток; ²ИКАРП ДВО РАН, г. Биробиджан; ³ДВФУ, г. Владивосток; Тихоокеанский филиал ФГБНУ "ВНИРО" ("ТИНРО"), г. Владивосток

В статье на основе матричной модели динамики наблюдаемой части популяции (самцов), проанализирована скорость роста популяции северного морского котика на фоне совокупного изменения рождаемости и выживаемости с учетом стохастических эффектов.

Ключевые слова: *матричная модель, северный морской котик, Callorhinus Ursinus, оценка параметров, стохастическая скорость роста популяции.*

На фоне многолетнего управляемого промысла в популяции северного морского котика о. Тюленьего, как и в других популяциях Серевной Пацифики [1-3], появились признаки депрессии; в частности, численность новорожденных щенков уменьшилась вдвое и практически стабилизировалась на этом низком уровне. Несмотря на последовавшее значительное ограничение промысла, а позднее и его полный запрет, ожидаемого восстановления рождаемости в популяции не произошло [4].

В работе приведен анализ гаремных отношений и динамики рождаемости в популяции; обнаружена связь этого параметра с интенсивностью промысла, что позволило разделить весь ряд наблюдений на периоды различной популяционной динамики. С помощью матричной модели динамики наблюдаемой части популяции (самцов), проанализирована скорость ее роста на фоне совокупного изменения рождаемости и выживаемости с учетом стохастических эффектов. В

качестве коэффициента размножения в модели использован репродуктивный успех секача, поскольку этот показатель в последнее время весьма стабилен и имеется достаточно длинный ряд наблюдений. Используя полученные ранее [5] оценки выживаемости самцов на различных этапах жизненного цикла и репродуктивный успех секача (как косвенную оценку средней продукции гаремов), мы проанализировали динамику численности и возрастного состава самцовой части популяции и спрогнозировали их дальнейшее развитие. Полученные результаты представлены на рис. 1: в позднем периоде скорость роста популяции значительно замедлилась – от 24% в год в раннем периоде до 9% в позднем. Значительно изменился и ее стационарный возрастной состав: доля щенков уменьшилась с 53% в раннем периоде до 37% в позднем, а доля секачей выросла от 5% до 10% соответственно.

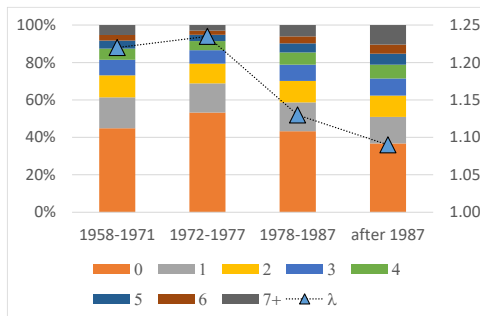


Рисунок 1 – Стационарная возрастная структура стада самцов северного морского котика (по левой оси) и скорость роста (по правой оси) для периодов: 1958-1971, 1972-1977, 1978-1987 и после 1987 г.

Поскольку в рассматриваемой популяции северного морского котика характерны ежегодные колебания как выживаемости возрастных групп, так и репродуктивного успеха секача, скорость популяционного роста может значительно отличаться от той, что получена с помощью матричной модели с постоянными коэффициентами, поэтому необходимо дополнить детерминистскую скорость роста ее стохастической оценкой (λ_c).

Для каждого выделенного периода был создан набор проекционных матриц (приспособленности и плодовитость секача) – соответствующих естественному порядку лет наблюдений. Далее с целью имитировать последовательность «удачных» и «неудачных» лет из исходного (наблюдаемого) ряда проекционных матриц была произведена выборка с возвратом (пермутация) 1000 матриц. По ним рассчитывалась случайная

реализация 1000-летней динамики и вычислялась стохастическая скорость роста популяции λ_e по формуле [6]: $\log \lambda_e = (\log N(T) - \log N(0)) / T$. Для оценки разброса полученных значений стохастической (λ_e) каждая серия пермутаций была повторена 1000 раз и построены гистограммы распределения (λ_e) для каждого периода.

Результаты стохастического моделирования подтверждают выводы матричной модели (рис. 2). Действительно, заметно выражена неоднородность периодов по скорости роста популяции, особенно после интенсивного промысла (два последних периода: 1978-1987 и после 1987 г.). Распределения λ_e поздних периодов значительно отстоят от ранних, т.е. ожидаемая скорость роста популяции значительно снизилась в последнее время.

Дальнейший рост популяции северного морского котика, если и произойдет, то будет весьма небыстрым. По-видимому, для такого роста (и особенно для его ускорения) необходима новая перестройка качественного состава популяции: увеличение доли самцов с высоким репродуктивным успехом. Эта перестройка наверняка уже идет в популяции под действием естественного отбора после прекращения промысла. Но поскольку сейчас доля самцов-производителей с высоким репродуктивным успехом невелика (если судить по текущим низким средним значениям) позитивные процессы естественного отбора займут много времени. Получение объективных количественных оценок как о современной степени дифференциации секачей по величине репродуктивного успеха, так и об интенсивности ее изменения требует обстоятельных дополнительных исследований.

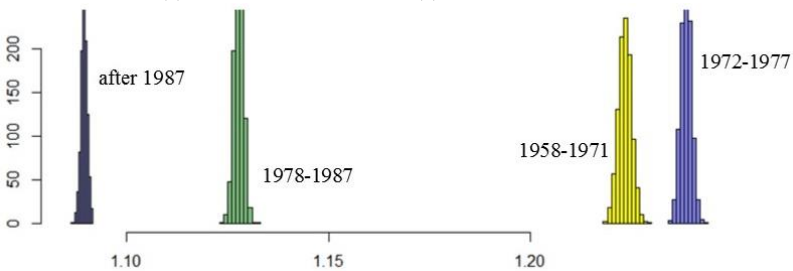


Рисунок 2 – Распределение ожидаемой скорости роста популяции λ_e в случайных выборках (1000 итераций) отдельно для каждого периода

Работа выполнена в рамках государственных задания Института автоматки и процессов управления ДВО РАН, Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН.

Библиографический список

1. Кузин А. Е. Анализ промысла северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) на о. Тюленьем // Известия ТИНРО (Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра). – 2015. – Т. 183. – С. 71 – 80.
2. Корнев С.И., Блохин И.А., Генералов А.А., Семерин А.П. Исторический тренд командорской популяции северного морского котика за 50 лет (1958–2007 гг.) // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. – 2008 – № 11. – С. 105 – 120.
3. Trites A.W., Larkin P.A. The decline and fall of the Pribilof fur seal (*Callorhinus-Ursinus*) – a simulation study. // *Canad. J. Fish. Aquat. Sci.* – 1989. – Vol. 46. – P. 1437 – 1445.
4. Жданова О.Л., Кузин А.Е., Фрисман Е.Я. Динамика выживаемости самцов северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) острова Тюлений (Охотское море) по данным многолетних наблюдений // Зоологический журнал. – 2017. – Т. 96. – №. 6. – С. 720 – 739.
5. Жданова О.Л., Кузин А.Е., Фрисман Е.Я. Оценка ювенильной выживаемости самцов северного морского котика (*Callorhinus ursinus*): математическое моделирование и анализ данных // Математическая биология и биоинформатика. – 2018. – Т. 13. – №.2. – С. 360 – 375. doi: 10.17537/2018.13.360.
6. Caswell H. *Matrix Population Models: Construction, Analysis, and Interpretation.* – Sunderland: Sinauer, 2001.

УДК 574.34:575.174.4

Модельный анализ влияния оптимального промысла на лимитированную популяцию

Е.А. Колбина

ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», г. Владивосток, Россия

В статье приведен анализ влияния оптимального промысла на лимитированную популяцию.

Ключевые слова: популяция, модельный анализ, генетическая структура, промысел.

В большой серии современных исследований отмечено почти катастрофическое снижение эффективной численности популяций и потеря генетического разнообразия в результате антропогенного