

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. БИОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 591.526:51

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО КОТИКА (*CALLORHINUS URSINUS*) ОСТРОВА ТЮЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОСТЕЙШЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОЙ ПОПУЛЯЦИИ

О.Л. Жданова^{1,2,4}, О.В. Бондрова², А.Е. Кузин³, Е.Я. Фрисман⁴

¹Институт автоматизации и процессов управления ДВО РАН,

улица Радио 5, г. Владивосток, 690041,

e-mail: axanka@iacp.dvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3090-986X>;

²Дальневосточный федеральный университет,

поселок Аякс 10, г. Владивосток, Русский остров, 690922;

e-mail: bondrovaova@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9155-7884>;

³Тихоокеанский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ТИНРО»),

пер. Шевченко 4, г. Владивосток, 690091,

e-mail: mormlek@tinro-center.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3693-5751>;

⁴Институт комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,

ул. Шолом-Алейхема 4, г. Биробиджан, 679016,

e-mail: frisman@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1629-2610>

*Северный морской котик (*Callorhinus ursinus*), обитающий в северной части Тихого океана, долгое время был ценным промысловым объектом. Данная работа продолжает серию исследований, направленных на анализ динамики и репродуктивных характеристик популяции северного морского котика о. Тюлений. Анализируется влияние внутривидовых параметров на соотношение полов в популяции и продукцию щенков.*

Ключевые слова: динамика популяции, соотношение полов, утойчивость, *Callorhinus ursinus*, северный морской котик, промысел.

Образец цитирования: Жданова О.Л., Бондрова О.В., Кузин А.Е., Фрисман Е.Я. Анализ динамики северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) острова Тюлений на основе простейшей математической модели локальной популяции // Региональные проблемы. 2024. Т. 27, № 3. С. 32–34. DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-3-32-34.

Северный морской котик (*Callorhinus ursinus*), обитающий в северной Пацифике, долгое время был ценным промысловым объектом. Данная работа продолжает серию исследований, направленных на анализ динамики и репродуктивных характеристик популяции северного морского котика о. Тюлений. Исследования в демографии и популяционном моделировании показывают, что у долгоживущих видов популяционный рост обычно в большей степени связан с увеличением выживаемости половозрелых групп [4, 5], а уровень воспроизводства имеет меньшее

значение. Однако, по результатам исследования матричной модели [1] самцової части популяции северного морского котика о. Тюлений оказалось, что рост выживаемости не компенсировал падение рождаемости. Произошло резкое замедление роста популяции на фоне небольшого увеличения естественной выживаемости практически всех возрастных групп самцов. Причиной снижения рождаемости в популяции, помимо предположения об изменении репродуктивных характеристик самцов, может быть недостаток репродуктивных самок. Ответ на вопрос о том, какие естественные

причины могли бы повлиять на популяционные процессы так, что рост популяции оказался неравномерным у разных полов, можно получить, рассматривая модель популяции, включающую всё котиковое стадо.

Простейшая модель популяции с половозрастной структурой, способная описать жизненный цикл северного морского котика, предложена в [3] и включает разбиение котикового стада на 4 группы: x_1 – щенки; x_2 – самки одного года и старше; x_3 – неполовозрелые самцы одного года и старше; x_4 – секачи.

Аналитическое и численное исследование устойчивости неподвижных точек модели в области биологически содержательных значений параметров показало, что нетривиальное равновесие системы при достаточном репродуктивном потенциале всегда устойчиво. Бифуркация Неймарка-Сакера, сопровождающаяся возникновением квазипериодических колебаний численности поло-возрастных групп популяции, возможна лишь при значении параметра (k), характеризующего вероятность самки забеременеть, значительно превосходящих единицу. Поэтому численность популяции должна выходить на стационарный уровень, что и подтверждают данные наблюдений.

Оказалось, что стационарное соотношение полов в значительной степени определяется соотношением выживаемостей самцов и самок. С ростом выживаемости холостяков (v_3) и секачей (v_4) количество самок на одного секача снижается. При этом параметр, характеризующий репродуктивные способности самцов ρ (ρ), действительно влияет на количество новорожденных щенков, приходящихся на одного секача, но не влияет на стационарное соотношение полов. Крайне высокие выживаемости самцов на разных стадиях жизненного цикла приводят к равновесному соотношению полов порядка 5:1 (5 самок на 1 самца). Меньшие значения этих коэффициентов, соответствующие оценкам из наших расчётов [2], дают стационарное соотношение полов: более 50:1, при этом снижение репродуктивной способности секачей (что соответствует увеличению параметра) действительно может привести к резкому снижению продукции щенков даже при достаточном количестве самок в популяции.

Работа выполнена в рамках государственных заданий Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН (тема № FFWF 2021-0004) и Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН (тема FWUG 2024-0005).

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жданова О.Л., Кузин А.Е., Фрисман Е.Я. Анализ структуры промысла и динамики роста стада Северного морского котика (*Callorhinus ursinus*) острова Тюлений в период эксплуатации и после её завершения // Региональные проблемы. 2024. Т. 27, № 1. С. 21–35. DOI: 10.31433/2618-9593-20224-27-1-21-35.
2. 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.
3. Фрисман Е.Я., Скалецкая Е.И., Кузин А.Е. Математическое моделирование динамики численности северного морского котика. Простейшая модель локальной популяции // Журнал общей биологии. 1980. Т. 41, № 2. С. 270–277.
4. Heppell S., Caswell H., Crowder L.R. Life histories and elasticity patterns: Perturbation analysis of species with minimal demographic data // Ecology. 2000. Vol. 81. P. 654–665.
5. Maestri M.L., Ferrati R., Berkunsky I. Evaluating management strategies in the conservation of the critically endangered Blue-throated Macaw (*Ara glaucogularis*) // Ecol. Model. 2017. Vol. 361. P. 74–79.

REFERENCES:

1. Zhdanova O.L., Kuzin A.E., Frisman E.Ya. Analysis of harvest structure and growth dynamics of the northern fur seal herd (*Callorhinus ursinus*) on Tyuleniy Island during the exploitation and after its ban. *Regional'nye problemy*, 2024, vol. 27, no. 1, pp. 21–35. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-20224-27-1-21-35.
2. Zhdanova O.L., Kuzin A.E., Frisman E.Y. The Survival Dynamics of Male Northern Fur Seals (*Callorhinus Ursinus*) on Tyulenii Island, Sea of Okhotsk, Based on Long-Term Observations. *Zoologicheskii zhurnal*, 2017, vol. 96, no. 6, pp. 720–739. (In Russ.). DOI: 10.1134/S1062359017090175.
3. Frisman E.Ya., Skaletskaya E.I., Kuzin A.E. Mathematical modeling of the abundance dynamics of the northern fur seal, *Callorhinus ursinus*. The simplest model of the local population. *Zhurnal obshchei biologii*, 1980, vol. 41, no. 2, pp. 270–277. (In Russ.).
4. Heppell S., Caswell H., Crowder L.R. Life histories and elasticity patterns: Perturbation analysis of species with minimal demographic data. *Ecology*, 2000, vol. 81, pp. 654–665.

5. Maestri M.L., Ferrati R., Berkunsky I. Evaluating management strategies in the conservation of the critically endangered Blue-throated Macaw (*Ara glaucogularis*). *Ecol. Model.*, 2017, vol. 361, pp. 74–79.

ANALYSIS OF THE NORTHERN FUR SEAL (*CALLORHINUS URSINUS*)
DYNAMICS ON THE TYULENIY ISLAND BASED ON A SIMPLE
MATHEMATICAL MODEL OF LOCAL POPULATION

O.L. Zhdanova, O.V. Bondrova, A.E. Kuzin, E.Ya. Frisman

*The northern fur seal (*Callorhinus ursinus*), inhabiting North Pacific, has long been a valuable commercial target. This work continues a series of studies aimed at analyzing the dynamics and reproductive characteristics of the northern fur seal population on the Tyuleniy Island. The paper provides analyzes of intrapopulation parameters influence on the population sex ratio and pups production.*

Keywords: *Callorhinus ursinus, northern fur seal, harvest, reproductive characteristics of females, age at first birth, proportion of pregnant females.*

Reference: Zhdanova O.L., Bondrova O.V., Kuzin A.E., Frisman E.Ya. Analysis of the northern fur seal (*Callorhinus ursinus*) dynamics on the Tyuleniy Island based on a simple mathematical model of local population. *Regional'nye problemy*, 2024, vol. 27, no. 3, pp. 32–34. (In Russ.). DOI: 10.31433/2618-9593-2024-27-3-32-34.

Поступила в редакцию 17.04.2024

Принята к публикации 17.09.2024