

УДК 51-76  
AGRIS L20

https://doi.org/10.33619/2414-2948/55/11

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОПУЛЯЦИОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ЕСТЕСТВЕННОЙ СРЕДЕ ОБИТАНИЯ ЛОСЯ И ВОЛКА

©Елуферьева Ю. С., Поволжский государственный университет телекоммуникаций  
и информатики, г. Самара, Россия, eluferieva@yandex.ru

©Лиманова Н. И., д-р техн. наук, Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики, г. Самара, Россия, nataliya.i.limanova@gmail.com

## MODELING POPULATION INTERACTIONS IN THE NATURAL HABITAT OF THE ELK AND WOLF

©Elufereva Yu., Volga State University of Telecommunications and Informatics,  
Samara, Russia, eluferieva@yandex.ru

©Limanova N., Doctor of Technical Sciences, Volga State University of Telecommunications  
and Informatics, Samara, Russia, nataliya.i.limanova@gmail.com

*Аннотация.* Одной из глобальных экологических проблем современности является снижение биологического разнообразия — исчезновение видов или отдельных подвидов животных. Целью данной работы является разработка обобщенной детерминистической модели с дискретным временем, предназначенной для анализа характера и механизмов динамики численности биологических популяций, характеризующихся наличием сложной возрастной структуры.

*Abstract.* One of the global environmental problems of our time is the reduction of biological diversity — the extinction of species or individual subspecies of animals. The aim of this work is to develop a generalized deterministic model with discrete-time, designed to analyze the nature and mechanisms of the dynamics of the number of biological populations characterized by the presence of a complex age structure.

*Ключевые слова:* имитационное моделирование, модель «хищник-жертва», агентное моделирование, AnyLogic.

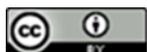
*Keywords:* simulation modeling, predator-prey model, agent modeling, AnyLogic.

### Введение

В последнее десятилетие из-за ухудшающейся экологической обстановки в мире все большее внимание уделяется экологическому мониторингу и прогнозированию, а также методам, которые помогли бы спрогнозировать результаты антропогенных и абиотических воздействий на экосистемы. Все абиотические и антропогенные факторы воздействуют в первую очередь на численность популяций [1].

На настоящий момент одной из глобальных экологических проблем современности является снижение биологического разнообразия — исчезновение видов или отдельных подвидов животных. Исчезновение вида приводит к дестабилизации экосистем, т. к. выпадают звенья пищевых цепей, разрушаются взаимосвязи организмов в биоценозах [2].

Популяционная динамика — это воспроизведение изменений численности популяции во времени. Данный метод является составной частью математической биологии, наиболее



продвинувшийся в формальном описании математического аппарата, с помощью которого описывают законы роста и эволюции популяций, биологических видов и сообществ. Возможность описать популяции, которые имеют разную биологическую природу, единообразными математическими соотношениями предопределяется тем фактором, что с динамической точки зрения смертность и рост особей в процессе эволюции протекает по принципу «Кинетического совершенства».

#### *Материал и методы исследования*

Исследовав статистику государственного мониторинга охотничьих ресурсов можно заметить, что лось и волк продемонстрировали колебания численности. Взаимодействия в цепях питания привлекают внимание экологов, поскольку они определяют структуру экосистем. В связи с этим взаимодействие консументов 1 и 2 порядков — это объект многих эмпирических исследований и служит предметом математического моделирования со времен Лотки и Вольтерры [3]. Данная модель описывает колебания размера двух рассматриваемых популяций и имеет вид:

$$\begin{cases} \frac{dN_1}{dt} = (\varepsilon_1 - \gamma_1 N_2) N_1 \\ \frac{dN_2}{dt} = (-\varepsilon_2 + \gamma_2 N_1) N_2 \end{cases},$$

где  $N_1(t)$  — численность жертвы в момент времени  $t$ ;  $N_2(t)$  — численность хищника в момент времени  $t$ ;  $\varepsilon_1$  — коэффициент прироста жертвы в отсутствии хищника;  $\varepsilon_2$  — коэффициент смертности хищника ( $-\varepsilon_2$  — коэффициент прироста хищника в отсутствии жертвы);  $\gamma_1$  — коэффициент истребления хищником жертв (выражением  $\gamma_1 N_1$  определяет количество жертв, истребляемых одним хищником в единицу времени);  $\gamma_2$  — коэффициент переработки съеденной биомассы жертвы в биомассу хищника.

Все коэффициенты являются положительными постоянными. Стоит отметить, что пик количества хищников немного отстает от пика жертв [4].

В данной работе будет проведено исследование, на основе модели Лотки–Вольтерры, взаимоотношение волка и лося в природе. Для анализа данных взаимоотношений используем имитационное моделирование. При создании модели применим методологию агентного моделирования, поскольку данный метод сосредоточен на отдельных членах системы.

Главная концепция модели — пронаблюдать поведение волков и лосей в их естественной среде обитания, для выявления факторов, влияющих на численность популяции.

Построение модели будем производить средствами имитационного моделирования AnyLogic. В качестве агентов будут выступать «Волк» и «Лось». В модели можно определить начальное количество агентов. Также можно задать несколько вариантов сценариев развития событий, например, охота волка в одиночку или целой стаей и так далее.

#### *Результаты и обсуждение*

Для сбора и визуализации статистики модели использовались две диаграммы: одна столбиковая диаграмма, показывающая смертность животных, вторая временной график, отображающий численность особей в определенный момент времени (Рисунок 1).

Непосредственно на экране моделирования можно также изменять условия развития событий. Например, можно задавать был ли это урожайный период или нет, что влияет на качество жизни лосей или задание погоды, которая также влияет на жизненный цикл зверей.

Можно смоделировать эпидемию, задав в процентах количество смертей особей обоих видов, после чего можно изучить, как происходит восстановление популяции. При необходимости можно манипулировать численностью рождения и количеством рождений в год.

## Модель взаимоотношения Лоси-волки («хищник-жертва»)

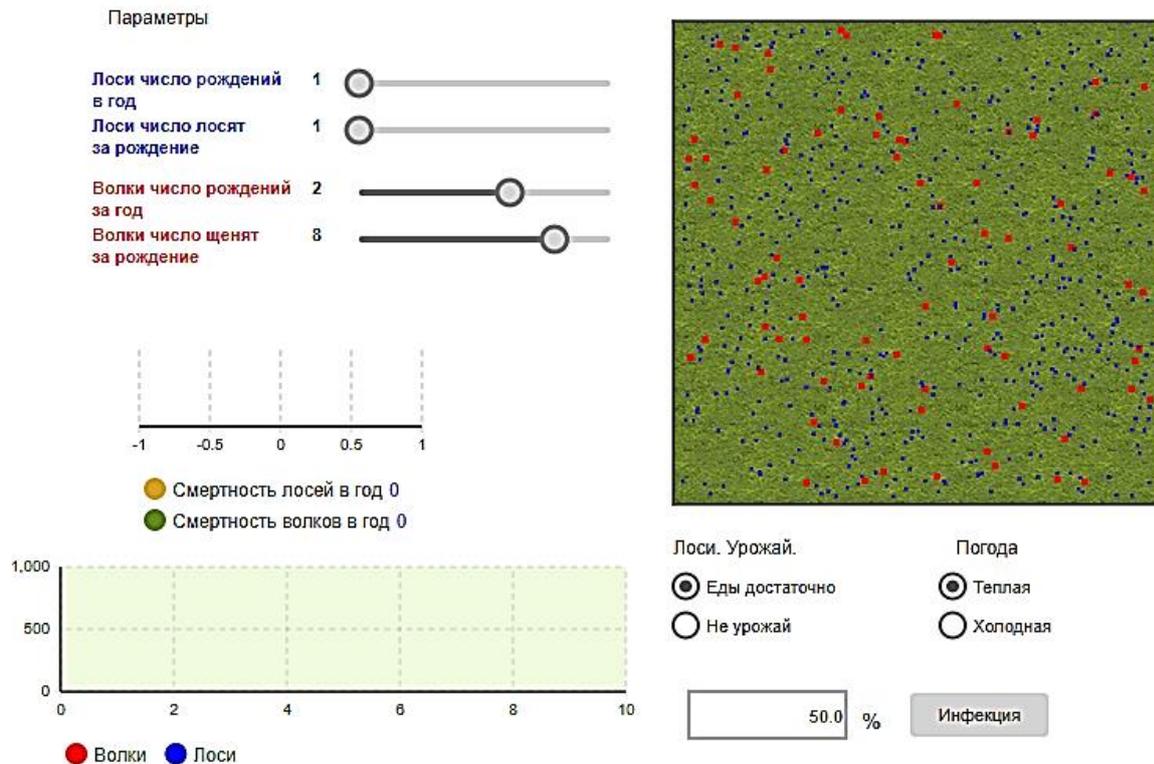


Рисунок 1. Основное окно модели.

Для исследования взаимоотношений животных задали начальные значения модели (Таблица 1):

Таблица 1.

### ПОСТОЯННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ МОДЕЛИ

Начальные популяции	Количество особей
Лось	501
Волк	44

В ходе исследования провели серию «уникальных прогнозов», сценарии которых описаны в Таблице 2.

Таблица 2.

### СЦЕНАРИИ ПРОГОН МОДЕЛИ

Варианты развития:	
Варианты охоты волка. Урожайность еды для лося. Уровень окружающей температуры	
1 прогон	Волк охотится в одиночку. Вариант охоты с человеком без человека. Еды достаточно. Тепло.
2 прогон	Волк охотится стаей. Вариант охоты с человеком без человека. Еды достаточно. Тепло .
3 прогон	Волк охотится в одиночку. Вариант охоты с человеком без человека. Не урожай. Тепло.

*Варианты развития:*

4 прогон	Волк охотится стаей. Вариант охоты с человеком без человека. Не урожай. Тепло.
5 прогон	Волк охотится в одиночку. Вариант охоты с человеком без человека. Не урожай. Холодно.
6 прогон	Волк охотится стаей. Вариант охоты с человеком без человека. Не урожай. Холодно.
<i>Вариант охоты с человеком. Урожайность еды для лося. Уровень окружающей температуры</i>	
3 прогон	Вариант охоты с человеком: Вероятность смерти волка: 0,2; Вероятность смерти лося: 0,3. Волк охотится в одиночку. Еды достаточно. Тепло.
4 прогон	Вариант охоты с человеком: Вероятность смерти волка: 0,2; Вероятность смерти лося: 0,3. Волк охотится стаей. Еды достаточно. Тепло.
5 прогон	Вариант охоты с человеком: Вероятность смерти волка: 0,2; Вероятность смерти лося: 0,3. Волк охотится в одиночку. Не урожай. Тепло.
6 прогон	Вариант охоты с человеком: Вероятность смерти волка: 0,2; Вероятность смерти лося: 0,3. Волк охотится стаей. Не урожай. Тепло.
7 прогон	Вариант охоты с человеком: Вероятность смерти волка: 0,2; Вероятность смерти лося: 0,3. Волк охотится в одиночку. Не урожай. Холодно.
8 прогон	Вариант охоты с человеком: Вероятность смерти волка: 0,2; Вероятность смерти лося: 0,3. Волк охотится стаей. Не урожай. Холодно.
9 прогон	Ввести в модель инфекцию.

Для сбора дополнительной статистики были использованы 4 временных графика. На примере четвертого прогона на Рисунке 2 представлен временной график со смертностью взрослых волков от голода или отстрела.

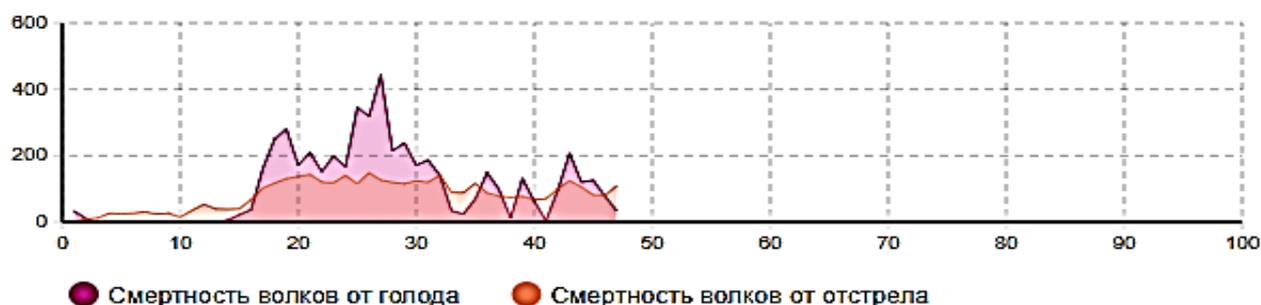


Рисунок 2. Временной график для сбора статистики по смертности волков.

Также на Рисунке 3 представлены графики четвертого прогона модели. Один из графиков показывает статистику смертности лосей и волчат в год. График рядом визуализирует статистику рождения животных, а нижняя диаграмма показывает смертность взрослых лосей.

Исследование, проведенное в работе, режима поведения животных «хищник–жертва», в которой учитывается жизненный цикл особи (агента), позволила выявить, что при доминировании лося в рационе волка, он попадает в зависимость от обилия лося, а численность волка колеблется вслед за численностью жертвы, и при низкой численности лося волк исчезает из неблагоприятных биотопов без преследования охотниками. При введении в модель охотников с высокой вероятностью истребления животных происходит геноцид видов. Вводя в модель инфекцию, убивающую 50% особей любого вида, популяции восстанавливаются через 2–3 года.

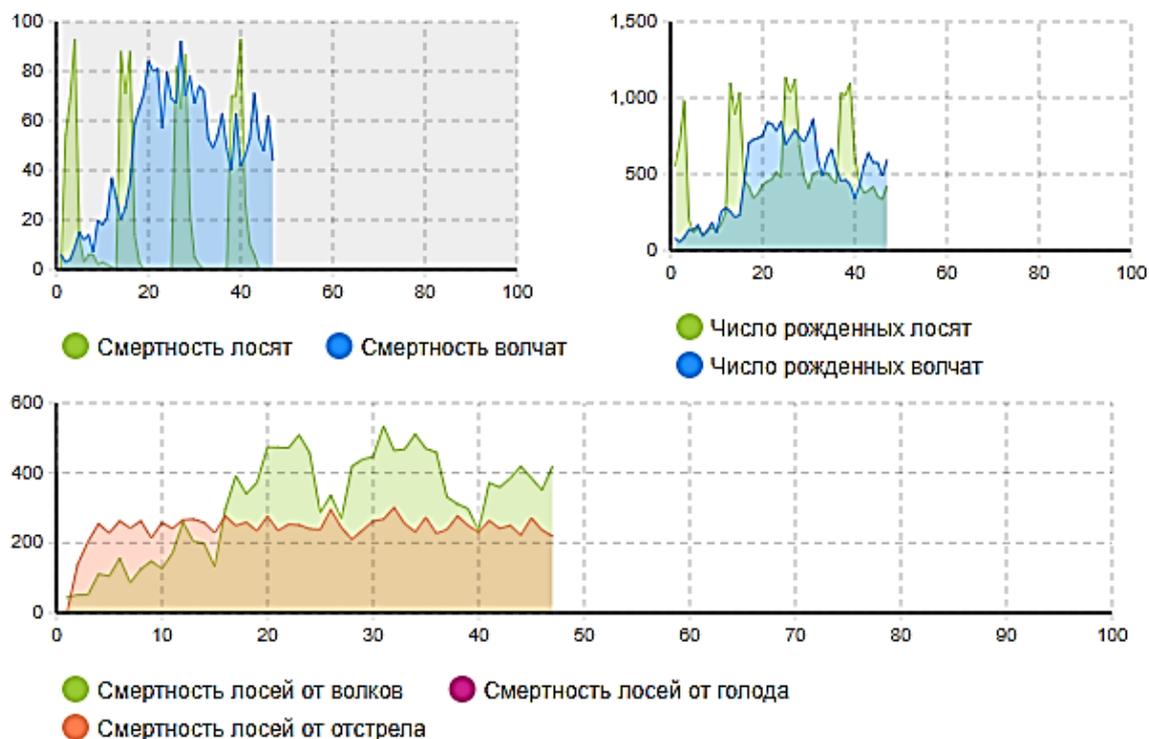


Рисунок 3. Временные диаграммы для сбора статистики.

### Заключение

Таким образом, имитационное моделирование и эксперименты с моделями экосистем – позволяют найти более эффективный, информативный способ получения достоверных результатов. Программное обеспечение AnyLogic позволяет реализовать все возможные сценарии и предоставляет большой функционал для анализа.

### Список литературы:

1. Заиков В. А., Беляев В. В. Состояние популяции лося (*Alces alces*) в Каргопольском районе Архангельской области // Arctic Environmental Research. 2015. №1. С. 79-84.
2. Елуферьева Ю. С., Лиманова Н. И. Прогнозирование экологической обстановки с помощью средств имитационного моделирования // 58 Студенческая научная конференция. Самара, 2019. С. 2-3.
3. Суворов А. П. Внутривидовой полиморфизм волка (*Canis lupus*) Приенисейской Сибири: дисс. ... д-ра биол. наук. Красноярск, 2009.
4. Борщев А. В. Практическое агентное моделирование и его место в арсенале аналитика // Exponenta Pro: математика в приложениях. 2004. №3-4. С. 38-47.

### References:

1. Zaykov, V. A., & Belyaev, V. V. (2015) Moose (*Alces alces*) population status in the Kargopol district of the Arkhangelsk Region. *Arctic Environmental Research*, (1), 79-84. (in Russian).
2. Elufereva, Yu. S., & Limanova, N. I. (2019). Prognozirovanie ekologicheskoi obstanovki s pomoshch'yu sredstv imitatsionnogo modelirovaniya. In *58 Studencheskaya nauchnaya konferentsiya*, Samara, 2-3. (in Russian).
3. Suvorov, A. P. (2009). Vnutrividovoi polimorfizm volka (*Canis lupus*) Prieniseiskoi Sibiri: Dr. diss. Krasnoyarsk. (in Russian).

4. Borshchev, A. V. (2004). Prakticheskoe agentnoe modelirovanie i ego mesto v arsenale analitika. *Exponenta Pro: Matematika v prilozheniyakh*, (3-4), 38-47. (in Russian).

*Работа поступила  
в редакцию 01.05.2020 г.*

*Принята к публикации  
06.05.2020 г.*

---

*Ссылка для цитирования:*

Елуферьева Ю. С., Лиманова Н. И. Моделирование популяционных взаимодействий в естественной среде обитания лося и волка // Бюллетень науки и практики. 2020. Т. 6. №6. С. 78-83. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/55/11>

*Cite as (APA):*

Elufereva, Yu., & Limanova, N. (2020). Modeling Population Interactions in the Natural Habitat of the Elk and Wolf. *Bulletin of Science and Practice*, 6(6), 78-83. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/55/11>