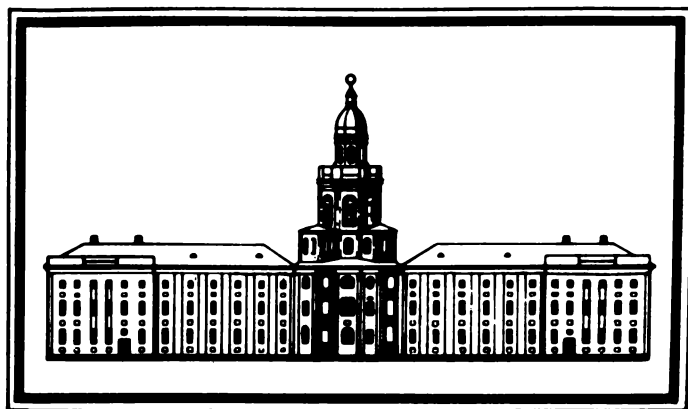


ДОКЛАДЫ АКАДЕМИИ НАУК СССР

1988

ТОМ 301 № 5



И.Е. БЕНЕНСОН, академик В.Н. БОЛЬШАКОВ,
Н.С. КОРЫТИН, Ф.В. КРЯЖИМСКИЙ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОПУЛЯЦИЙ ХИЩНЫХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ПРОМЫСЛА (НА ПРИМЕРЕ ОБЫКНОВЕННОЙ ЛИСИЦЫ)

Динамика населения животных определяется взаимодействием эндогенных (внутрипопуляционных) и экзогенных факторов. Комплексный характер ее формирования требует применения методов системного анализа, в том числе математического моделирования, для разработки основ управления численностью животных.

В последние годы для целого ряда хищных млекопитающих (песец, лисица, волк, рысь) были получены оценки демографических параметров и интенсивности расселения и перемещений животных на разных фазах популяционного цикла. Эти материалы позволяют построить математическую модель популяционных процессов у названных и сходных по экологии видов и исследовать влияние различных факторов на их динамику.

В настоящей работе на примере обыкновенной лисицы изложены результаты разработки рациональной стратегии эксплуатации популяций хищных млекопитающих. Ниже мы будем считать оптимальной такую стратегию промысла, которая обеспечивает максимальный и устойчивый во времени выход продукции.

Описание модели. В основу модели положены эмпирические данные, полученные при анализе населения обыкновенной лисицы в Зауралье и Предуралье [1–3], а также данные об интенсивности расселения животных [4]. Основным механизмом эндогенной регуляции численности лисиц является снижение общего числа новорожденных при увеличении плотности благодаря уменьшению доли размножающихся самок [1]. Эмпирическая зависимость, приведенная на рис. 1, достаточно хорошо может быть аппроксимирована уравнением вида

$$(1) \quad m(a) = u \arctg(v(a+w)).$$

При изменении плотности популяции меняется и коэффициент общей смертности, основной вклад в которую вносит промысел (рис. 2). Доля добытых за сезон животных данного возрастного класса описывается зависимостью вида

$$(2) \quad p(a) = gIa/(a^2 + h).$$

В (1) и (2) a – плотность населения лисицы перед началом промысла; u , v , w , g и h – параметры, оцениваемые по эмпирическим данным; I – интенсивность промысловой нагрузки.

Аналитическая форма зависимости (1) выбрана из соображений хорошей аппроксимации, для выбора аналитической формы (2) в случае нелицензионного капканного промысла имеются серьезные теоретические основания. Параметр I в (2) можно интерпретировать как число охотников, ведущих промысел в данном районе. Для простоты изложения ниже рассматриваются только самки.

Занимаемая группировкой лисиц территория подразделена на районы (размеры 20×20 – 40×40 км), достаточно большие для того, чтобы рассматривать динамику численности группы, занимающей отдельный район. Животные каждого

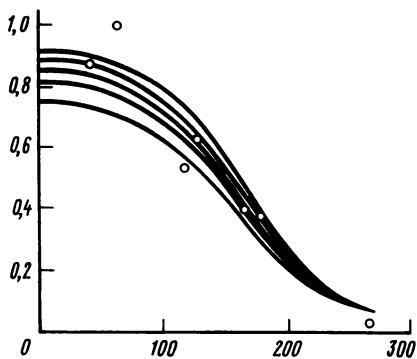


Рис. 1. Зависимость вступающих в размножение животных от численности популяции. Абсцисса – численность обыкновенной лисицы (% к средней), ордината – доля вступающих в размножение самок, показаны экспериментальные точки

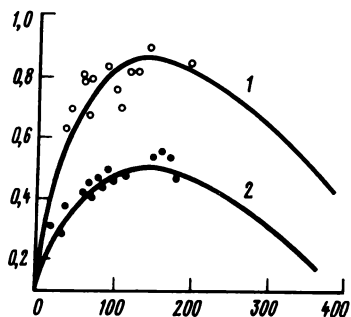


Рис. 2. Зависимость доли добытых животных от общей численности. Абсцисса – численность популяции (% к средней), ордината – доля добытых животных: 1 – для обыкновенной лисицы, 2 – для рыси на Среднем Урале

района разделены на 8 возрастных классов, в последний из которых включены животные, возраст которых превышает 6 лет.

Обозначим символами $x_i^j(t)$, $i = 1, 2, \dots, 8$, численность самок в i -м возрастном классе и j -м районе в момент времени t . Динамика населения j -го района может быть описана системой уравнений вида

$$(3) \quad x^j(t+1) = A^j(t) \cdot x^j(t) + r^j(t),$$

где $x^j(t)$ – вектор численностей возрастных классов. В соответствии с описанием хода демографических процессов в течение года выделено четыре периода, отличающихся по значениям коэффициентов рождаемости и смертности. Каждому периоду соответствует своя матрица Лесли $A_k^j \cdot A_1^j$ соответствует периоду, в течение которого единственным процессом, определяющим популяционную динамику, является естественная смертность, A_2^j – естественная и промысловая смертность, A_3^j – рождаемость и естественная смертность, A_4^j – естественная смертность и старение (последний временной шаг года); $r^j(t)$ – вектор баланса иммигрантов и эмигрантов для j -го района.

Предположим, что основной причиной миграций является выселение животных в окрестные районы при заполнении емкости среды обитания. Обозначим

$$P^j(t) = \sum_{i=1}^8 x_i^j(t) / S_j$$

плотность животных в районе в момент времени t (S_j – площадь j -го района).

Пусть емкость среды в j -м районе соответствует критической плотности $P_{кр}^j$. Если $P^j(t) > P_{кр}^j$ и момент времени t приходится на период расселения, то все животные, не имеющие индивидуальных участков (их число $(P^j(t) - P_{кр}^j) S_j$), переселяются в соседние районы. Согласно [4] при нашей интерпретации района за выбранный в модели примерно 10-дневный временной шаг лисицы могут переместиться только в те районы, которые имеют общую границу с данным. В качестве первого приближения было принято, что интенсивность плотностнозависимого расселения не зависит от возраста, а по соседним районам эмигранты распределяются пропорционально площади этих районов.

Результаты исследований. Рассмотрим сначала динамику численности животных изолированного района ($r = 0$; индекс j опускаем). В этом

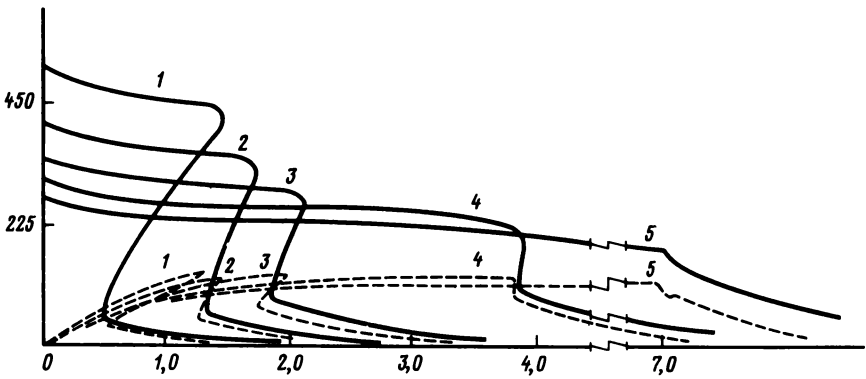


Рис. 3. Равновесные уровни плотности и добычи обыкновенной лисицы в зависимости от интенсивности промысловой нагрузки при изменении доли закрытой для охоты территории: 1 – для охоты, открытой на всей территории; 2 – охота запрещена на 10% территории; 3 – охота запрещена на 30% территории; 4 – охота запрещена на 50% территории; 5 – охота запрещена на 70% территории. Сплошная линия – устойчивое, штриховая – неустойчивое равновесие. Ордината – предпромысловая плотность лисицы (число животных на 900 км²) и число добытых животных на этой территории за год, абсцисса – равновесные уровни плотности и добычи

Рис. 4. Изменение по годам предпромысловой плотности популяции лисицы и плотности добытых за год животных при $x(0) = x^* I = 1,05 \cdot 1^*$. Абсцисса – время (годы), ордината – предпромысловая плотность (1) и число добытых животных за год в расчете на единицу опромышляемой территории (2)



случае вектор численностей возрастных классов перед началом промысла в году T удовлетворяет уравнению

$$(4) \quad x(T + 1_{\text{год}}) = B(x(T))x(T),$$

где $B = A_1^0 \cdot A_4 \cdot A_1^{13} \cdot A_3 \cdot A_1 \cdot A_2^{12}$; A_k соответствует k -му периоду года. Зависимость доли размножающихся самок и коэффициента общей смертности от плотности (1) и (2) приводят к тому, что равновесных значений численности группы перед началом промысла, т.е. нетривиальных решений уравнения $x^* = B(x^*)x^*$ может быть одно, два или три в зависимости от значения промысловой нагрузки I (рис. 3, 1). Анализ их устойчивости при близких к выбранным значениям параметров показывает, что в интервале значений I , в котором равновесие единственно ($I < I_*$ или $I > I^*$), оно асимптотически глобально устойчиво, а в интервале $I_* < I < I^*$ значение общей численности популяции, соответствующее промежуточному равновесию, в первом приближении разделяет область притяжений двух крайних состояний равновесия.

Предположим, что промысел начинается в районе, ранее не опромышлявшемся. Исходная интенсивность промысловой нагрузки сначала невелика, поэтому численность стабилизируется на высоком уровне, а добыча – на низком. Дальнейшее увеличение промысловой нагрузки ведет к почти линейному росту добычи и поэтому безусловно выгодно. В результате нагрузка неизбежно будет доведена

до критического уровня I^* (рис. 3, 1). Еще большее увеличение интенсивности нагрузки в течение нескольких лет не приведет к ощутимому снижению заготовок (рис. 4), и поэтому превышение I^* останется незамеченным и не вызовет отклика в виде регулирующих промысел мероприятий. Затем последует резкое снижение добычи, обусловленное переходом системы к нижнему равновесному состоянию, которое уже не сможет быть остановлено за счет незначительных ограничений промысла. Для восстановления высокого уровня плотности и добычи теперь необходимо снизить интенсивность промысла в несколько раз и сохранять такую низкую интенсивность в течение нескольких лет, что, конечно, экономически невыгодно.

Ситуация, сходная с описанной выше, наблюдалась, например, в Предуралье, где численность лисицы оставалась на очень низком уровне примерно с 1972 по 1981–1983 гг.

Ясно, что контролировать текущую интенсивность промысла с целью поддержания ее на том уровне, когда добыча максимальна (I^*), невозможно. Таким образом, при постоянных внешних условиях и ведении промысла на всей территории с одинаковой интенсивностью требования максимизации добычи и ее устойчивости несовместимы.

Построить стратегию промысла, которая представляется практически осуществимой, позволяет, однако, учет расселения ($r \neq 0$) и неравномерности промысловой нагрузки в разных районах.

Наиболее распространенный способ регуляции промысловой нагрузки — изменение длительности промыслового сезона. Этот способ основывается на текущих оценках добычи и численности животных и не позволяет предвидеть превышение критического значения интенсивности нагрузки. То же самое можно сказать и о других практикуемых ныне способах регуляции интенсивности промысла.

Единственным согласующимся с рассмотренными результатами моделирования способом регуляции промысловой нагрузки является обсуждаемый в последнее время способ регуляции, заключающийся в закрытии для охоты части территории [5, 6]. При этом предполагается, что на открытой для промысла территории можно не заботиться о регуляции промысловой нагрузки, поскольку возможное чрезмерное изъятие будет восполняться расселяющимися животными. Однако простой декларации эффективности регуляции этим способом недостаточно, хотя это весьма привлекательно для простоты управления. Кроме того, самостоятельной задачей является решение оптимального соотношения площадей закрытой и открытой территории, при котором возможен максимальный сбор урожая при данной интенсивности расселения и промысловой нагрузке.

Этот способ регуляции мы интерпретируем в модели путем разделения территории на две части. В одной (З) промысел запрещен, в другой (П) — разрешен. Будем считать, что общая площадь территории постоянна, а управляющим параметром будет соотношение S_3/S ($S_3 + S_{II} = S$). При высокой плотности в одной из частей "лишние" особи переселяются в другую часть территории, как описано выше.

Независимо от соотношения площадей S_3 и S_{II} численность животных перед началом промысла в каждом районе и число лисиц, добытых в районе П за сезон охоты, стабилизируются; равновесные значения зависят от S_3/S (рис. 3, 1–5). Важно то, что с увеличением доли закрытой территории (S_3/S) интервал интенсивностей промысловой нагрузки в районе П, в котором существуют два устойчивых равновесных значения численности, сужается и смещается вправо, а верхний и нижний равновесные уровни численности и добычи сближаются. При исследованных значениях параметров и плотностных зависимостей I_* и I^* совпадают при $S_3/S \cong 0,5$, т.е. при площади заказника, превышающей 50% территории, катастрофический спад численности и, соответственно, добычи невозможен.

Особенно важно то обстоятельство, что с увеличением S_3/S максимально

возможная величина добычи не меняется (рис. 3). Более того, с увеличением площади заказника диапазон значений интенсивности промысла, в котором добыча отличается от максимальной на фиксированную (небольшую) величину, быстро расширяется (рис. 3) и при большой площади заказника перепромысел практически невозможен. Содержательно такая ситуация понятна — мы просто добываем всех лишних животных. То, что добыча при этом остается на уровне максимально возможной, обусловлено конкретными зависимостями параметров от плотности.

Полученные результаты экспериментов с моделью представляются нам существенным аргументом в пользу выбора способа регуляции промысла через сеть заказников в качестве основного для организации промысла лисицы и других видов хищных млекопитающих со сходными популяционными параметрами. Этот подход позволяет, не снижая уровня добычи, избежать перепромысла и популяционных крахов.

Институт экологии растений и животных
Уральского отделения
Академии наук СССР
Свердловск

Поступило
17 V 1987

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корытин Н.С.* — Экология, 1983, № 2, с. 79–81.
2. *Корытин Н.С., Соломин Н.Н.* В кн.: Информационные материалы ИЭРиЖ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1980, с. 13–14.
3. *Корытин Н.С., Соломин Н.Н.* В кн.: Количественные методы в экологии позвоночных. Свердловск, 1983, с. 19–28.
4. *Storm G.L., Andrews R.D., Phillips R.L.* Wildlife Monogr., 1976, № 49. 82 p.
5. *Руковский Н.* — Охота и охотничье хозяйство, 1973, № 4, с. 20–21.
6. *Бакеев Н.Н., Валенцов А.С., Даренский А.А. и др.* В кн.: Четвертый съезд Всесоюзного териологического общества. М., 1986, т. 3, с. 84–85.