

А. М. Шапкин, Р. Г. Иванова

О критической численности таймырской популяции дикого северного оленя

Аннотация.

Цель: математическими средствами оценить текущее состояние таймырской популяции дикого северного оленя, определить критические параметры численности и критическое значение промыслового изъятия для биологической продуктивности популяции.

Материалы и методы. Исходным материалом для исследования служили данные авиаучетов численности таймырской популяции дикого северного оленя в постсоветский период использования ее охотничьих ресурсов. В этом подходе руководствовались трактовкой В. Вольтерра (1976), у которого все особи неразличимы по полу и возрасту и единственным значением, характеризующим биологическую популяцию, является ее исходная численность. Рассчитаны уравнения регрессии для общего поголовья популяции, репродуктивного ядра (половозрелые самки) и ювенальных особей (телята-сеголетки) на разных временных отрезках (советском и постсоветском) хозяйственного использования ресурсов популяции.

Результаты. Для советского периода использования ресурсов популяции 1969–1990 гг. параметры уравнения выглядят: $y = 21,867x + 316,77$ тыс. ($R^2 = 0,886$, $\bar{A} = 6$, $r_{xy} = -0,41$, $p < 0,05$). Для взрослых самок уравнение тренда на этом отрезке репродуктивных циклов: $y = 5,157x + 73,879$ тыс. ($R^2 = 0,836$). Общее поголовье популяции не сокращалось: среднее же реализованное размножение на этом отрезке биологических циклов – 61 теленок на 100 половозрелых самок. В постсоветский период 1990–2021 гг. уравнение линейного тренда таймырской популяции $y = -36,96x + 624,51$ тыс. ($R^2 = 0,75$, $\bar{A} = 5,18$, $r_{xy} = 0,46$, $p < 0,05$). Оценка уравнением прямолинейного тренда ювенальной группы (телята-сеголетки) дает отрицательное расчетное значение линейного уравнения регрессии в пределах: $y = -21,4x + 175,51$ тыс. ($R^2 = 0,944$, $\bar{A} = 2,9$, $r_{xy} = 0,98$, $p < 0,01$). Подобные факты однозначно сигнализируют о превышении оптимальной интенсивности промысла, ибо идет постепенное уменьшение пополнения. Расчетной критической численностью таймырской популяции является величина в 88,77 тыс. диких оленей, критическая граница промысла при подобной численности это изъятие 71,9 тыс. особей. Отсюда от таймырской популяции гипотетически остается лишь 16,87 тыс. голов, что приведет к краху этой биологической популяции.

Ключевые слова: таймырская популяция; временный ряд; логарифм численности; мальтузианский параметр; тренд; режим промысла; мониторинг; аппроксимация.

Авторы:

Шапкин А. М. – кандидат биологических наук, e-mail: anatoliy-shapkin@rambler.ru;

Иванова Р. Г. – e-mail: pl17.norilsk@mail.ru.

Научно-исследовательский институт сельского хозяйства и экологии Арктики – филиал Красноярского научного центра СО РАН; 663302, Россия, г. Норильск, Комсомольская, д. 1,

Введение. Охотничьи ресурсы таймырских диких северных оленей (*Rangifer tarandus* L., 1758) используются в промышленных масштабах длительное время. Вместе с тем рыночная модель промысла диких оленей на севере Средней Сибири приняла со временем неконтролируемые формы использования вида, по сути, она близка к истреблению [1, 2]. По экспертной оценке К. В. Маклакова и Н. В. Малыгиной браконьерский режим промысла северного оленя на Таймыре может превышать легальную нагрузку, т.е. годовую промысловую квоту [3]. Другие исследователи еще в начале второго десятилетия нового века прогнозировали, что при таком бесконтрольном и неуправляемом изъятии следует ожидать к 2020 г. снижение численности популя-

ции до 150–200 тыс. [4]. Причем возрастное распределение в таймырской популяции по многолетним материалам сглаженных промысловых выборок 2001–2008 гг. показало текущее возрастное распределение в момент t для самцов в 77,03 %, что говорит: из популяции уже изъято промыслом, как и элиминировалось по всем другим факторам среды, 22,97 % самцов различных возрастных классов; для взрослых самок показатели убыли по возрастному распределению через 2–2,5 мес. после отела составили 19,44 %, и для объединённых групп (самцы, самки) текущее возрастное распределение при реализованном размножении и в условиях той промысловой нагрузки оказалось – 82,4 % [5]. Впрочем, во второй половине первого десятилетия XXI столетия

в пясинских миграционных потоках таймырской популяции в благоприятные по условиям репродуктивные циклы величина реализованного размножения (август-сентябрь) сохранялась на уровне 23,9 % или 61 теленок на 100 взрослых самок, что очевидно позволяло миграционным потокам оленей еще покрывать убыль [6].

В то же время постоянная реорганизация органов Госохотнадзора и передача полномочий Федерального центра регионам по № 258-ФЗ от 29 декабря 2006 г. [7] не способствовали увеличению бюджетных средств на охрану ресурсов таймырской популяции: они сокращались из года в год. В конце концов, вся система управления охотничьими ресурсами этой природной популяции свелась к распределению ежегодных промысловых квот с редкими мероприятиями количественной оценки демографических параметров животных. Для ресурсов таймырских диких северных оленей это одно авиационное обследование примерно в 4-6 лет в границах летнего популяционного ареала (арктические и типичные тундры Таймыра) [7]. В контексте всего изложенного наибольшее опасение при подобном кризисном состоянии охотничьих ресурсов таймырской популяции должны вызывать нижние границы численности, при достижении которых популяция начнет монотонно убывать и вряд ли возвратится к исходной величине, на которой находилась ранее.

Объясняется это известным эффектом Allee (1931): если популяция достигла минимальной пороговой численности, то она деградирует, т.е. каждому виду свойственна специфическая для него минимальная величина популяции, нарушение которой ставит под угрозу устойчивость самой популяции [8]. В биологической интерпретации А. Д. Базыкина (1985) — это плотность столь низкая, что особи чаще погибают, чем встречаются друг с другом: среднее время между последовательными контактами потенциальных брачных партнеров равно среднему времени жизни животного, деленному на среднее число потомков в одном акте размножения [9].

Цель исследований — математическими средствами оценить текущего состояния таймырской популяции дикого северного оленя, определить критические параметры численности и критическое значение промыслового изъятия для биологической продуктивности популяции.

Материал и методы. Исходным материалом для исследования служили данные авиаучетов численности таймырской популяции дикого северного оленя в постсоветский период использования ее охотничьих ресурсов (табл. 1) [10, 13, 14]. В этом подходе мы руководствовались трак-

товкой В. Вольтерра (1976), у которого все особи неразличимы по полу и возрасту и единственным значением, характеризующим биологическую популяцию, является ее исходная численность [11].

Средством исследования выбран традиционный аппарат математической биологии. Для определения порога критической численности популяции необходимо знать экологическую емкость среды K , коэффициент прироста численности r , среднюю численность популяции и коэффициенты ее вариации во времени в условиях истребительного характера промысла на севере Средней Сибири и северо-западе Республики Саха (Якутия) при рыночной модели использования охотничьих ресурсов таймырских тундровых оленей. Здесь мы воспользовались предложенным уравнением динамики популяции А. Д. Базыкина (1985) [9]:

$$dx/dt = r \times (1 - x/K) - N_p \quad (1)$$

где r — мальтузианский параметр, K — ресурсный параметр, т.е. экологическая емкость среды, N_p — величина браконьерского промысла.

Вместе с тем вычисление минимальной и максимальной численности (x_1 и x_2) по теории А. Д. Базыкина (1985) строится на графике по точкам, где точки лежат на кривой (перевернутая парабола) [9]. Вариант такого построения в отношении средних численностей таймырской популяции не работает из-за хаотичного движения чисел: численность популяции то увеличивалась, то уменьшалась под воздействием всех факторов среды и промысловой нагрузки. К тому же авиаучеты популяции проводились в постсоветский период не ежегодно, а с большими перерывами от 3-х до 7 лет (см. табл. 1). Поэтому, придерживаясь подхода А. Д. Базыкина (1985), мы остановились на аналитическом методе, находя значения x_1 и x_2 из численности таймырской популяции, из ее минимальных и максимальных показателей. Это требовалось для вычисления дополнительных переменных по формуле:

$$\ln \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2)$$

Для нахождения гипотетической критической предпромысловый общей численности таймырской популяции и предполагаемого опасного критического изъятия использовались предложенные формулы А. Д. Базыкина (1985).

$$r = K \times \lg \alpha / (x_2 - x_1) \quad (3)$$

$$x_2 - x_1 - K \times \sqrt{1 - \frac{4 \times N_p}{rK}} \quad (4)$$

откуда критическое изъятие для популяции:

$$N_p = rK / 4 \times [1 - ((x_2 - x_1) / K)^2], \quad (5)$$

где X_2 — максимальная величина численности таймырской популяции на отрезке 1990-2021 гг.

X_1 — минимальное значение численности таймырской популяции на отрезке 1990-2021 гг.

Для отображения изменений динамики численности диких оленей на графике выбран логарифмический масштаб, поскольку логарифм численности и скорость изменения логарифма численности животных — наиболее существенные переменные в популяционной экологии [12].

Кроме того, временный ряд динамики населения таймырской популяции, характеризующий состояние численности поголовья в течение анализируемых периодов использования ресурсов популяции (советского и постсоветского), исследовали на наличие тренда. Характер тренда или изменение численности популяции описываются уравнением прямой линии [12]:

$$y = bt + a \quad (6)$$

$$\begin{cases} an + b \sum t = \sum y \\ a \sum t + b \sum t^2 = \sum yt \end{cases} \quad (7)$$

где y — среднее значение исследуемого временного ряда предпромысловой численности при определенном значении фактора времени;

a — свободный член уравнения регрессии;

b — коэффициент регрессии, который показывает, на сколько единиц в среднем изменится исследуемый временный ряд при изменении времени (t) на одну единицу его измерения. Знак при коэффициенте b соответствует направлению изменения зависимой переменной с течением времени.

При обработке данных и расчетах использовался пакет программ Microsoft Office Excel.

Результаты и обсуждение. Итак, в жизненные циклы 1966-1990 гг., несмотря на испытываемый с 1971 г. масштаб возрастающей промысловой нагрузки (\lim : 17,1-130,0 тыс.), таймырская популяция сохраняла стабильный характер динамики численности. Фактическое количество июльских телят на 100 взрослых самок в 1966-1979 гг. варьировало, в зависимости от давления многомерного абиотического и биотического окружения, в пределах от 48 (1972 г.) до 67 (1966 г.). Среднее же реализованное размножение на этом отрезке биологических циклов 61 теленок на 100 половозрелых самок. Эффективность воспроизводства таймырской популяции подтверждается и выявленным многолетним линейным трендом $y = 21,867x + 316,77$ тыс. Небольшая ошибка аппроксимации (\bar{A}) в 6 % действительно свидетельствует об оптимальном подборе уравнения тренда и основной тенденции: общее поголовье таймырской популяции на дан-

ном этапе хозяйственного использования ее ресурсов не сокращалось. Таким образом, полученное уравнение достаточно хорошо аппроксимирует исходные данные: прямая тренда объясняет 88,6 % возрастания численности таймырских диких оленей на интервале времени 1966-1990 гг. ($R^2=0,886$, $r_{xy} = -0,41$, $p<0,05$).

Для репродуктивных групп самок таймырской популяции уравнение тренда на этом отрезке репродуктивных циклов: $y = 5,157x + 73,879$ тыс.; $R^2=0,836$. Следовательно, модели линейного тренда адекватно описывают исходные временно-го ряда предпромысловой численности популяции, размножения и репродуктивного поголовья взрослых самок. Согласно расчетам предпромысловая численность таймырской популяции в течение биологических циклов 1966-1990 гг. действительно повышалась ежегодно на 21,9 тыс. оленей. Прирост же вступающих в размножение самок репродуктивных возрастов в популяции колебался на уровне 5,16 тыс.

Уравнение линейного тренда с аппроксимацией на отрезке 2018-2020 гг. и итоговой численностью таймырской популяции в конце временного ряда в 241,6 тыс. (2021 г.) дали уравнение тренда для постсоветского периода 1990-2021 гг. $y = -36,96t + 624,51$ тыс. ($R^2=0,75$, $\bar{A}=5,18$, $r_{xy}=0,46$, $p<0,05$; ($t_p=1,39$, $p<0,1$)). Прогнозная предпромысловая численность по перспективному прогнозу летом 2022 г. — 180,99 тыс. диких северных оленей, т.е. подтверждается снижение поголовья популяции на величину в 60,61 тыс. голов. Выполненные математические расчеты демонстрируют устойчивый отрицательный тренд на продолжающееся снижение общего поголовья таймырской популяции на текущем временном отрезке 2022-2023 гг. с аппроксимацией этого значения во временный ряд 1990-2023 гг.

Общий негативный тренд таймырской популяции дикого северного оленя прослеживается и на размере пополнения на протяжении последних 19 лет. Летом 2003 г. учтено 19,9 % телят, в конце июля 2009 г. доля учтенного приплода составила 18,4 % [13]. К июлю 2014 г. присутствие сеголеток в демографической структуре популяции сократилось до 13,2 % [2]. Июльский просчет М. Г. Бондарем, Л. А. Колпашиковым (2018) ювенального потомства в сезонных миграционных потоках диких оленей таймырской популяции при авиационном обследовании 2017 г. северной части популяционного ареала (типичные и арктические тундры) выявил 15,4 % приплода в точных стадах [10]. Последний мониторинг численности популяции летом 2021 г. показал фактическое присутствие ювенальных особей на

уровне 8,6 % или всего 20,7 тыс. телят [14].

Иными словами, подобные факты однозначно сигнализируют о превышении оптимальной интенсивности промысла, поскольку налицо постепенное уменьшение самого «урожая» [9]. Оценка уравнением прямолинейного тренда данной половозрастной группы (телята-сеголетки) на временном отрезке 1990-2021 гг. дало отрицательное расчетное значение линейного уравнения регрессии в пределах $y = -21,4x + 175,51$ тыс. ($R^2=0,944$, $\bar{A}=2,9$, $r=0,98$, $p<0,01$), тогда как в советский период планово-административного использования ресурсов таймырской популяции линейный тренд численности телят-сеголетков на отрезке 1975-1990 гг. выражался положительным значением уравнения прогноза: $y = 5,16x + 73,88$ тыс. ($R^2=0,84$, $\bar{A}=5,76$ %, $r=0,24$, $p < 0,05$). Максимальный же «урожай» достигал по наблюдениям 142,5 тыс. телят (июль 1988 г.) [13].

Вместе с тем по материалам последних авиаобследований 2017 г. [10] и 2021 г. [14] наблюдается снижение поголовья взрослых самок в таймырской популяции. Тем не менее, чтобы хоть как-то сгладить это негативное впечатление, данную половозрастную группу (половозрелые самки) в 2017 г. объединили с неполовозрелым молодняком 1-2 года, а в 2021 г. предположительно животных в возрасте 1+ отделили от двухгодовалых (табл. 1). По нашему мнению этим приемом исполнители внесли только соответствующую путаницу и неопределенность с исходной численностью данных половозрастных групп.

Математическое уравнение регрессии, рассчитанное по временному ряду 1990-2020 гг., с аппроксимацией минимальных значений поголовья половозрелых самок из материалов наших интер-

вальных прогнозов (2018 г. — 63,4 тыс., 2019 г. — 57,2 тыс., 2020 г. — 51,0 тыс. самок) дают теоретический линейный тренд снижения: $y = -21,59x + 252,2$ тыс. ($R^2=0,73$, $\bar{A}=5,1$, $r_{xy}=0,53$, $p<0,01$). Отсюда приплод в 20700 телят в июле 2021 г., выявленный в ходе последнего учетного мониторинга, с учетом всей совокупной детской смертности (потенциальная, фактическая) и обязательным присутствием в репродуктивных стадах яловых самок, примерно согласуются с ранее расчетной теоретической исходной численностью самок в 51,0 тыс. голов (тогда яловость 59,4 %). Кстати, схожие рекордные показатели яловости среди взрослых самок отмечались в маточных стадах пясинских миграционных потоков в августе-сентябре 2004 г.; яловость зафиксирована на уровне 53,5 % [15].

При сопоставлении максимальной предпромысловой численности таймырской популяции летом 1990 г. (625 тыс.) с результатами летнего учета 2021 г. (241,6 тыс.) прослеживается убыль населения таймырских оленей в 2,6 раза в течение 33-х лет активного использования ресурсов этой промысловой популяции в условиях рыночной модели охотничьей отрасли. Скорость увеличения (r) численности населения таймырской популяции в постсоветский период 1990-2021 гг. балансировала между крайним отрицательным значением последних лет ($-0,11$) и крайней положительной величиной в 2003 г. 0,26 (табл. 2.).

Максимальная численность в 625,0 тыс. диких оленей регистрировалась в таймырской популяции летом 1990 г. при планово-административной модели эксплуатации ресурсов популяции с жестким контролем через многочисленные территориальные структуры Госохотнадзора за ре-

Таблица 1. Динамика демографических показателей таймырской популяции дикого северного оленя на временном отрезке 1990-2021 гг.

Год	Демографические показатели таймырской популяции (тыс. %)				
	Исходная численность	Взрослые самцы	Взрослые самки	Молодняк 1-2 года	Телята
1990 ¹	625,0 (100,0)	105,0 (16,8)	187,5 (30,0)	191,3 (30,6)	141,2 (22,6)
1993 ¹	536,0 (100,0)	69,7 (13,0)	208,0 (38,8)	112,5 (21,0)	145,8 (27,2)
2001 ²	354,01 (100,0)	-	-	-	-
2003 ¹	598,0 (100,0)	74,2 (12,4)	201,5 (33,7)	203,3 (34,0)	119,0 (19,9)
2009 ¹	485,9 (100,0)	78,2 (16,1)	165,2 (34,0)	153,1 (31,5)	89,4 (18,4)
2014 ³	417,52 (100,0)	85,6 (20,5)	219,6 (52,6)	57,2 (13,7)	55,1 (13,2)
2017 ⁴	384,43 (100,0)	71,8 (18,7)	252,9 (65,8)		59,6 (15,5)
2021 ³	241,6 (100,0)	60,4 (25,0)	132,9 (55,0)	27,6 (11,4) ⁵	20,7 (8,6)

¹ — данные ГНУ НИИСХ Крайнего Севера СО РАСХН

² — данные ФГУ «Центрохотконтроль» Минсельхоз РФ;

³ — данные ФГБУ «Государственный заповедник Центральносибирский»;

⁴ — данные ФГБУ «Объединённая дирекция заповедников Таймыра»;

⁵ — самцы, самки, отнесенные исполнителями при оценке возраста к годовикам.

жимом промысла и промысловой нагрузкой на природную популяцию государственных предприятий (госпромхоз «Таймырский», совхозы Таймыра и Эвенкии) и населения (охотники-любители). Причем доля оленей, добываемых без лицензий браконьерами, ввиду эффективной работы государственной инспекции, не превышала 10-12 % от общего объема промысла [4].

Тем не менее по модели А. Д. Базыкина (1985) «популяция, подверженная промыслу» кормовая емкость среды K такой природной популяции рассчитывается из объединения минимальных (x_1) и максимальных значений численности (x_2). Отсюда K (емкость среды) для таймырских тундровых диких северных оленей в период постсоветского использования будет: $(x_1 + x_2) = 241 + 625 = 866$ тыс. оленей. По теоретической модели А. Д. Базыкина (1985) при малой интенсивности промысла ($a < a_{кр.} = aK/4$) у популяции существует два состояния равновесия: K' (a) и L' (a), где равновесие, отвечающее большему значению численности популяции, K' устойчиво, а меньшее L' — неустойчиво.

Знание расчетных параметров K и значений минимальной численности x_1 и максимальной численности x_2 позволяют определить посредством математического аппарата предложенную гипотезу о предполагаемой критической численности и опасной величине промысловой (легальная и теневая браконьерская) нагрузки при сложившемся в настоящий период рыночном режиме промысла через интегральную форму уравнения (1) (Материалы и методы исследований):

$$\ln \frac{x - x_1}{x_2 - x} = \ln \frac{x_0 - x_1}{x_2 - x_0} \oplus \frac{r}{K} (x_2 - x_1) \otimes t \quad (2)$$

По дополнительным переменным (формула 2) из табл. 2 (7 столбец) строим график для этих

переменных против переменной t (время, годы). Тангенс ($\operatorname{tg} a$), необходимый для расчета мальтузианского параметра таймырских тундровых диких оленей и определения уровня критического изъятия для таймырской популяции при ее критической численности, равен: $(x_2 - x_1) \times r/K$. По выполненным расчетам $\operatorname{tg} a$ оказался равен 0,18 (рис. 1). Из этого по теории А. Д. Базыкина (1985) мальтузианский параметр для таймырской популяции на отрезке временного ряда 1990-2021 гг. будет равен:

$$r = K \times \operatorname{tg} a / (x_2 - x_1) \quad (3):$$

$$r = \frac{866 \cdot 0,18}{625 - 241} = \frac{155,9}{384} = 0,41200^{-1};$$

Далее переходим к математическому определению интенсивности промысла при рыночной модели использования (N_p) в границах популяционного ареала таймырской популяции дикого северного оленя из уравнения 4 и 5:

$$X_2 - X_1 = K \times \sqrt{1 - \frac{4 \times N_p}{rK}},$$

откуда критически опасная величина промысла для популяции:

$$N_p = \frac{r \cdot K}{4} \cdot \left[1 - \left(\frac{x_2 - x_1}{K} \right)^2 \right];$$

$$N_p = \frac{0,41 \cdot 866}{4} \cdot \left[1 - \left(\frac{625 - 241}{866} \right)^2 \right] \approx$$

$$\approx 88,77 \cdot 0,81 \approx 71,90 \text{ тыс.}$$

Критическая численность таймырской популяции дикого северного оленя, согласно предложенной концепции А.Д. Базыкина (1985), рассчитывается из значения $N_{кр.} = rK/4$, отсюда $0,41 \times 866 \text{ тыс.} / 4 = 88,77 \text{ тыс. голов}$. Таким образом, при существующей легальной и браконьерской нагрузке на севере Средней Сибири и на северо-

Таблица 2. Показатели численности таймырской популяции дикого северного оленя и изменения её параметров на временном интервале 1990-2021 гг.

t (год)	Численность, тыс., (N)	Логарифм численности ln(n)	Изменения численности популяции за время Δt , тыс.	Средняя численность популяции (n), тыс.	Скорость увеличения популяции (r)	Дополнительные переменные из натурального ln(n)
1990	625	13,35				
1993	536	13,19	-29,67	580,5	-0,05	1,19
2001	354	12,78	-22,75	445	-0,05	-0,87
2003	598	13,3	122	476	0,26	2,55
2009	485,9	13,09	-18,68	541,95	-0,03	0,56
2014	417,5	12,94	-13,68	451,7	-0,03	-0,16
2017	384,4	12,86	-11,03	400,95	-0,03	-0,51
2021	241,6	12,4	-35,7	313	-0,11	-5,48
min	241,6	241	-	-	-	-
max	625	625	-	-	-	-

западе соседней Республики Саха (Якутия) теоретически предполагаемая критическая численность таймырской популяции дикого северного оленя может быть равна 88,77 тыс. особей. Критическая же величина промысла при такой расчетной численности равна изъятию за один промысловый сезон 71,9 тыс. диких оленей. Далее можно прогнозировать утрату промыслового значения данной популяции для населения арктических территорий Средней Сибири.

Выводы. Существование таймырской популяции в последние десятилетия ее хозяйственного использования характеризуется как неустойчивое. Общая промысловая нагрузка на ее ресурсы складывается из выделяемой краевой квоты охотпользователям, из разрешений на добычу восьми оленей каждому представителю коренных малочисленных народов Севера, официально зарегистрированному как ведущему традиционный (кочевой) образ жизни, и из теневой браконьерской добычи, объем которой неизвестен.

Наша оценка общей предпромысловой численности к лету 2022 г. по перспективному прогнозу

- 180,99 тыс. диких северных оленей, т.е. сохраняется устойчивый тренд снижения поголовья популяции на 60,61 тыс. голов.

Таким образом, выполненные математические расчеты демонстрируют устойчивый тренд на продолжающееся снижение таймырской популяции на текущем временном отрезке 2022-2023 гг. с аппроксимацией этого значения во временный ряд 1990-2023 гг.

Критическая численность для таймырской популяции, рассчитанная с привлечением математического аппарата, 88,77 тыс. диких оленей, т.е. при выявлении этой близкой величины следует вводить запрет на использование охотничьих ресурсов популяции. Критическая же величина изъятия при подобной численности поголовья для популяции – 71,9 тыс. оленей. Тогда от этой биологической популяции, возможно, останется 16,87 тыс. особей. При такой минимальной численности поголовья таймырская популяция теряет прежнее хозяйственное значение как продовольственный ресурс местного населения данных субарктических территорий.

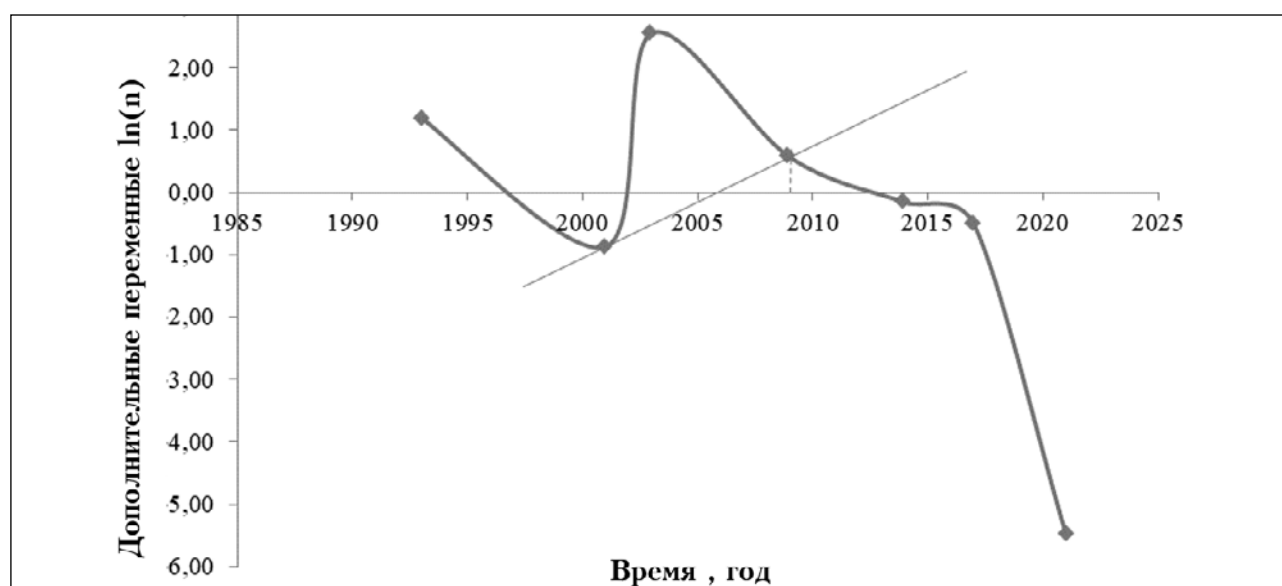


Рис. 1. Определение $\lg a$ на временном отрезке существования диких северных оленей таймырской популяции в 1990-2021 гг. ($\lg a = 0,56/3 \approx 0,18$).

Работа выполнена в рамках Программы фундаментальных научных исследований ФИЦ КНЦ СО РАН, номер проекта FWES-2022-0008, рег. № НИОКТР 122022600041-8.

Литература

1. Шапкин А. М. Промысловое оленеводство Таймыра: состояние и перспективы развития / А. М. Шапкин, М. М. Забелин // Достижения науки и техники АПК. — 2017. — № 9. — С. 39-47.
2. Колпащиков Л. А. Современная история таймырской популяции дикого северного оленя: динамика, управление, угрозы и пути сохранения / Л. А. Колпащиков, М. Г. Бондарь, В. В. Михайлов // Труды Карельского научного центра РАН. — 2019. — № 11. — С. 5-20. DOI: 10.17076/есo1045.
3. Маклаков К. В. Сравнительный анализ внешних факторов для таймырской популяции дикого северного оленя / К. В. Маклаков, Н. В. Малыгина // Сибирский экологический журнал. — 2016. — Т. 23. — № 1. — С. 8-83. DOI: 10.15372/SEJ20160109.

4. Михайлов В. В. Три стадии в документальной истории таймырской популяции диких северных оленей / В. В. Михайлов, Л. А. Колпашиков // Зоологический журнал. — 2012. — Т. 91. — № 4. — С. 486-502.
5. Шапкин А. М. Возрастное распределение в таймырской популяции дикого северного оленя (*Rangifer Tarandus*) в первом десятилетии 21 века / А. М. Шапкин, Р. Г. Иванова, Н. Ф. Арсентьева, Н. С. Суханова // Генетика и разведение животных. — 2021. — № 3. — С. 15-21.
6. Shapkin A. M. Implemented Reproduction of the Taimyr Wild Reindeer (*Rangifer tarandus*) in Pyasina Migratory Flows in the 2006–2007 Reproductive Cycle / A. M. Shapkin, N. S. Sukhanova // Biology Bulletin. — 2021. — V. 48. — № 9. — P. 1658-1673. DOI: 10.1134/s1062359021090223.
7. Шапкин А. М. Современное положение с использованием и охраной охотничьих ресурсов на примере таймырской популяции диких северных оленей / А. М. Шапкин // Достижения науки и техники АПК. — 2013. — № 11. — С. 11-13.
8. Allee W. C. Animal aggregations. A Study in General Soliology. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois, 1931. — P. 445.
9. Базыкин А. Д. Математическая биофизика взаимодействующих популяций. — М.: Наука, 1985. — С. 181.
10. Бондарь М. Г., Колпашиков Л. А. Оценка численности и летнее размещение таймырской популяции диких северных оленей в 2017 году // Научные труды ФГБУ «Объединенная дирекция заповедников Таймыра». — Выпуск 2. Норильск: Издательство «Алекс», 2018. С. 29-45.
11. Вольтерра В. Математическая модель борьбы за существование. М.: Наука, 1976. — С. 288.
12. Zar J. H. Biostatistical analysis. Northern Illinois University, New Jersey. 2010. — P. 944 .
13. Шапкин А. М. Оценка емкости среды применительно таймырской популяции дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) / А. М. Шапкин, Р. Г. Иванова // Генетика и разведение животных. — 2018. — № 2. — С. 82-90. DOI: 10.31043/2410-2733-2018-2-108-116.
14. Кочкарев П. В., Колпашиков Л. А., Савченко П. А., Муравьев А. Н. и др. Отчет о проведении работ по мониторингу и территориальному размещению таймырской популяции дикого северного оленя // ФГБУ Гос. природный биосферный заповедник «Центральносибирский». — Бор, 2021. — 81 с.
15. Шапкин А. М. Анализ плодовитости самок таймырской популяции дикого северного оленя (*Rangifer tarandus*) / А. М. Шапкин // Зоологический журнал. — 2016. — Т. 95. — № 12. — С. 1475-1486.

Shapkin A., Ivanova R.

On the critical abundance of the taimyr population of wild reindeer

Abstract.

The critical population for the existence of the Taimyr population of wild reindeer has been established. The processing of the initial information about the population size was performed using the apparatus of mathematical biology. The main practical task is to identify the lower limits of abundance and the critical load for the population, after which the collapse of this commercial population will occur. Also, regression equations were calculated for the total livestock of the population, the reproductive core (mature females) and juveniles (calves of the year) at different time intervals of the economic use of the resources of this population - Soviet and post-Soviet. For the Soviet period of using the resources of the population in 1969-1990 the parameters of the equation look like: $y = 21.867x + 316.77$ thousand ($R^2 = 0.886$, $\bar{A} = 6$, $r_{xy} = -0.41$, $p < 0.05$). For adult females, the trend equation for this segment of the reproductive cycles: $y = 5.157x + 73.879$ thousand, ($R^2 = 0.836$). The total number of the population did not decrease: the average realized reproduction in this segment of the biological cycles is 61 calves

per 100 mature females. In the post-Soviet period 1990–2021 equation of the linear trend of the Taimyr population: $y = -36.96x + 624.51$ thousand ($R^2 = 0.75$, $\bar{A} = 5.18$, $r_{xy} = 0.46$, $p < 0.05$). Evaluation by the straight-line trend equation of the juvenile group (calves of the year) gives a negative calculated value of the linear regression equation within $y = -21.4x + 175.51$ thousand. ($R^2 = 0.944$, $\bar{A} = 2.9$, $r_{xy} = 0.98$, $p < 0.01$). Such facts unequivocally signal the excess of the optimal intensity of fishing, because there is a gradual decrease in recruitment. The estimated critical number of the Taimyr population is 88.77 thousand wild deer, the critical limit of the fishery with a similar number is the removal of 71.9 thousand individuals. From here, hypothetically, only 16.87 thousand heads remain from the Taimyr population, which will lead to the collapse of this biological population.

Key words: Taimyr population; time series; abundance logarithm; Malthusian parameter; trend; fishing regime; monitoring; approximation.

Authors:

Shapkin A. – PhD (Biol. Sci.); e-mail: anatoliy-shapkin@rambler.ru

Ivanova R. – e-mail: pl17.norilsk@mail.ru.

Research Institute of Agriculture and Ecology of the Arctic – Branch of the Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center” Siberian Branch of the RAS, 663302, Russia, Norilsk city, Komsomolskaya street, house 1.

References

1. Shapkin A. M. Commercial reindeer husbandry of Taimyr: state and development prospects / A. M. Shapkin, M. M. Zabelin // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. – 2017. – № 9. – P. 39-47.
2. Kolpashchikov L. A. Modern history of the Taimyr population of wild reindeer: dynamics, management, threats and ways of conservation / L. A. Kolpashchikov, M. G. Bondar, V. V. Mikhailov // Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2019. – № 11. – P. 5-20.
3. Maklakov K. V. Comparative analysis of external factors for the Taimyr population of wild reindeer / K. V. Maklakov, N.V. Malygina // Siberian Ecological Journal. – 2016. – Vol. 23. – № 1. – P. 8-83.
4. Mikhailov V.V. Three stages in the documentary history of the Taimyr population of wild reindeer / V.V. Mikhailov, L.A. Kolpashchikov // Zoological Journal. – 2012. – Vol. 91. – № 4. – P. 486-502.
5. Shapkin A. M. Age distribution in the Taimyr population of wild reindeer (*Rangifer Tarandus*) in the first decade of the 21st century / A. M. Shapkin, R. G. Ivanova, N. F. Arsentyeva, N. S. Sukhanova // Genetics and animal breeding. – 2021. – № 3. – P. 15-21.
6. Shapkin A. M. Implemented Reproduction of the Taimyr Wild Reindeer (*Rangifer tarandus*) in Pyasina Migratory Flows in the 2006–2007 Reproductive Cycle / A. M. Shapkin, N. S. Sukhanova // Biology Bulletin. – 2021. – V. 48. – № 9. – P. 1658-1673. DOI: 10.1134/s1062359021090223.
7. Shapkin A. M. Current situation with the use and protection of hunting resources using the example of the Taimyr population of wild reindeer / A. M. Shapkin // Achievements of science and technology of the agroindustrial complex. – 2013. – № 11. – P. 11-13.
8. Allee W. C. Animal aggregations. A Study in General Soliology. The University of Chicago Press. Chicago, Illinois, 1931. – P. 445.
9. Bazykin A.D. Mathematical biophysics of interacting populations. – M.: Nauka, 1985. – P. 181.
10. Bondar M. G., Kolpashchikov L. A. Estimation of the size and summer distribution of the Taimyr population of wild reindeer in 2017 // Scientific works of the Federal State Budgetary Institution “United Directorate of Taimyr Nature Reserves”. – Issue 2. Norilsk: Apex Publishing House, 2018. – P. 29-45.
11. Volterra V. Mathematical model of the struggle for existence. – M.: Nauka, 1976. – P. 288.
12. Zar J. H. Biostatistical analysis. Northern Illinois University, New Jersey, 2010. – P. 944.
13. Shapkin A. M. Assessment of environmental capacity in relation to the Taimyr population of wild reindeer (*Rangifer tarandus*) / A. M. Shapkin, R. G. Ivanova // Genetics and animal breeding. – 2018. – № 2. – P. 82-90.
14. Kochkarev P. V., Kolpashchikov L. A. et al. Report on the monitoring and territorial distribution of the Taimyr population of wild reindeer // FGBU Gos. natural biosphere reserve “Central Siberian”. Bor, 2021. – 81 p.
15. Shapkin A. M. Analysis of the fertility of females of the Taimyr population of wild reindeer (*Rangifer tarandus*) / A. M. Shapkin // Zoological Journal. – 2016. – Vol. 95. – № 12. – P. 1475-1486.