

УДК 591.5+519.8

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ БИОГЕОЦЕНОЗОВ ПОЛУОСТРОВА ЯМАЛ: ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КРУПНОСТАДНОГО ОЛЕНЕВОДСТВА НА РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ

© 2011 г. Ф. В. Кряжимский, К. В. Маклаков, Л. М. Морозова, С. Н. Эктова

Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144 Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

E-mail: fvk@ipae.uran.ru

Поступила в редакцию 26.11.2010 г.

Динамика экосистем полуострова Ямал, испытывающих в последние десятилетия воздействие многочисленных стад экстенсивно развивавшегося оленеводства, рассмотрена с применением системного анализа, основным методом которого является имитационное (компьютерное) моделирование. Показано, что такое развитие — причина деградации растительного покрова, который претерпел глубокие изменения, не позволяющие в будущем продолжать развитие оленеводства по прежнему пути. В сложившейся ситуации требуются серьезные коррективы этнокультурной и экономической политики в регионе.

Ключевые слова: имитационное моделирование, растительный покров, оленеводство, пастбищная нагрузка, зеленые и лишайниковые корма, деградация растительности.

Полуостров Ямал является уникальным регионом Российского Заполярья. Здесь, в отличие от большинства других регионов с развитым оленеводством, за последние десятилетия не произошло сокращения численности домашних оленей, наоборот, наблюдался значительный рост их поголовья. Одновременно по сравнению с другими коренными народами Севера быстро увеличивалась численность населения ненцев — основных оленеводов региона (Клоков, Хрущёв, 2004).

В современных условиях главным консументом первого порядка на Ямале является домашний северный олень; его численность на полуострове составляет сейчас около 300 тыс. голов. На первый взгляд, пищевые потребности оленей невелики по сравнению с общим запасом кормов. В то же время на полуострове очевидны признаки быстрой деградации растительности (Магомедова, Морозова, 1997; Морозова, Магомедова, 2004, 2006; и др.). Для оценки сложившейся ситуации и прогноза дальнейшего развития комплекса “растительный покров—домашний олень” мы применили метод имитационного моделирования — основной инструмент системного анализа.

Цель настоящей работы — комплексное исследование динамики тундровой экосистемы полуострова Ямал, подвергающейся высоким пастбищным нагрузкам домашних оленей. Решались следующие задачи:

1. Построить картосхемы распределения запасов зеленых и лишайниковых кормов на полуост-

рове на начало и конец XX в., которые можно было бы анализировать с применением информационно-технологических методик.

2. Разработать имитационную модель динамики зеленых и лишайниковых кормов, учитывающую роль стравливания и вытаптывания на растительный покров при выпасе оленей, а также роль других ключевых компонентов тундровых экосистем.

3. Верифицировать модель, т.е. сопоставить смоделированную динамику запаса зеленых и лишайниковых кормов с реальными оценками их изменения, начиная с 30-х годов до конца XX в., а также оценить значение основных составляющих выпаса оленей (стравливания и вытаптывания) в деградации растительного покрова.

4. Посредством экспериментирования с моделью рассмотреть различные сценарии динамики запасов лишайниковых и зеленых кормов в зависимости от численности домашних оленей.

МАТЕРИАЛ, МЕТОДЫ И ТЕРМИНОЛОГИЯ

При составлении картосхем пространственного распределения запасов лишайниковых и зеленых кормов на полуострове в разные периоды времени площадь полуострова была разделена на квадраты 10 × 10 км (10000 га).

Распределение запаса кормов на пастбищах в начале XX в. описано в работе В.Н. Андреева (1933), в которой дана геоботаническая характеристика основных формаций и групп формаций, сла-

гающих растительный покров Ямала, показано их распространение в разных районах полуострова на геоботанической карте, оценены присущие им запасы зеленых и лишайниковых кормов. Начальная точка рассматриваемого периода времени в динамике кормового запаса Ямала – 30-е годы.

Запасы кормов на этих же пастбищах в конце XX в. оценены на основе геоботанической карты оленьих пастбищ Ямальского района ЯНАО (Хозяйственно-геоботаническая карта..., 1995) в масштабе 1 : 100000, предоставленной Департаментом по развитию агропромышленного комплекса ЯНАО. По этой карте рассматривали среднюю суточную оленеемкость пастбищ и численность оленей, рекомендуемую к выпасу. На основании полученных данных запасы кормов, определяющие потенциальную возможность выпаса, были рассчитаны согласно рекомендациям В.Н. Андреева (1933).

Построение модели и работа с ней проводились в лицензированной среде моделирования AnyLogic University 6.0 (Карпов, 2006).

В начале XX в. запас зеленых кормов на Ямале позволял увеличить поголовье оленей в 4 раза, но рост их численности ограничивался количеством доступных лишайниковых кормов. В.Н. Андреев (1933) считал, что на Ямале их резервы были в то время достаточны для увеличения поголовья со 100–120 тыс. до 160 тыс.

В работе использованы некоторые специальные термины, требующие пояснения:

Суточная оленеемкость – условная единица, показывающая количество оленей, способное прокормиться на 1 га пастбища в течение суток (оленедней/га) с учетом изъятия кормов в виде скармливания и вытаптывания.

Общая емкость пастбищ – количество оленей, адекватное ресурсному потенциалу. Рассчитывается по удельной оленеемкости (имеющихся запасов кормов), общей площади пастбищ, суточной потребности одного животного в кормах с учетом непродуктивных потерь кормов (вытаптывания) и доступности пастбищ. Предполагает длительное использование пастбищ без снижения их кормовой ценности, т.е. позволяющее растительности восстанавливать свой кормовой потенциал.

Зимние корма – лишайниковые корма, основной корм оленей в снежный (поздне-осенний, зимний и ранне-весенний) период выпаса, продолжающийся на Ямале в среднем 250 дней в году. Запас лишайниковых кормов приравнен к годовому приросту лишайников и составляет в среднем 5% от запаса их биомассы (Андреев, 1933).

Биомасса лишайников – живая часть массы лишайников в воздушно-сухом состоянии.

Зимние пастбища – территории, в растительном покрове которых лишайники формируют

высокое покрытие (лишайниковые тундры, болота, ерники).

Зеленые корма – поедаемые травы, кустарнички и кустарники, которые являются основными “летними” кормами на 115 дней бесснежного периода выпаса (Андреев, 1954). Запас зеленых кормов в расчетах В.Н. Андреева составляет 50% от запаса надземной фитомассы поедаемых растений.

Летние пастбища – территории, в растительном покрове которых лишайников либо нет, либо их покрытие незначительно (разделение пастбищ на летние и зимние на Ямале в определенной степени условно).

ЧИСЛЕННОСТЬ ОЛЕНЕЙ И СОСТОЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ПАСТБИЩ

Во второй половине XX в. на Ямале происходил постоянный рост численности оленей (рис. 1), прежде всего увеличивалось количество частных стад и соответственно общее поголовье оленей. В результате пастбищные нагрузки на растительный покров возросли, что, естественно, отразилось на состоянии кормовой базы.

Кормовой запас – интегральная величина, характеризующая главным образом первый трофический уровень тундровых экосистем Ямала. Изменения величины запаса кормов обусловлены изменением ряда взаимосвязанных ключевых показателей: снижение средних величин покрытия, высоты и биомассы разных групп продуцентов, имеющих разную кормовую ценность, а также изменение степени их участия в составе растительного покрова (встречаемость, покрытие, площадь распространения), что в тундровой зоне проявляется в первую очередь на лишайниковом покрове. Медленнее, но неизбежно изменяются эти показатели и у зеленых кормовых растений.

Очевидны следующие причины утраты кормовых ресурсов лишайниковых и уменьшения ресурсов зеленых кормов:

1. Снижение высоты лишайникового покрова с 3–4 см в 1930-е годы до 0.5–2.0 см к концу XX в. на огромных пастбищных территориях.

2. Смена доминантов-эдификаторов лишайниковых синузид: вместо ягельных видов рода *Cladina* повсеместно преобладают малопродуктивные, но устойчивые к выпасу виды родов *Cladonia*, *Sphaerophorus*, *Thamnolia*, *Bryocaulon* и др. Широкое распространение получили листоватые и корковые формы лишайников – виды родов *Ochrolechia*, *Pertusaria*, *Mycobilimbia* и др. (Магомедова, Морозова, 2000).

3. Исчезновение лишайниковых тундр из растительного покрова полуострова. По сравнению с 1930-ми годами площадь лишайниковых тундр уменьшилась в 3.5–4 раза (Морозова, Магомедова, 2004). Описанные В.Н. Андреевым (1933) ли-



Рис. 1. Динамика численности домашних оленей на Ямале в XX в. (по данным Департамента по развитию агропромышленного комплекса ЯНАО).

шайниковые тундры с общим запасом лишайников до 6 т/га в настоящее время трансформированы в моховые, травяные и кустарничковые с участием лишайников.

4. Высокую степень угнетения испытывают травы и кустарники, в меньшей степени — кустарнички. Снижаются их обилие, высота и первичная продукция, и они не могут компенсировать утрату лишайниковых кормов. Запасы трав в тундрах и на болотах к концу столетия снизились в 1.5–2 раза по сравнению с 1930-ми годами. В составе надземной фитомассы весовое участие ценной в кормовом отношении группы разнотравья уменьшилось на порядок. В низких ивниках снижение общих запасов надземной фитомассы произошло главным образом за счет отмирания большого числа ветвей и снижения облиственности живых (Морозова, Магомедова, 2004, 2006).

5. Важной причиной снижения запаса кормов на полуострове (лишайниковых и зеленых) является усиление дефляционных процессов. Малопродуктивный растительный покров на выпуклых песчаных водоразделах, покрытых лишайниковыми тундрами, неустойчив к механическим нагрузкам. При ежегодном проходе крупных стад оленей он быстро разрушается, при этом обнажается песчаный субстрат. В настоящее время общая площадь песчаных раздувов на полуострове составляет почти 600 тыс. га, или около 6% площади оленьих пастбищ (Golovatin et al., 2010).

6. Промышленное освоение территории полуострова, связанное с изъятием и нарушением пастбищных земель, приводит к увеличению

пастбищных нагрузок на оставшиеся пастбища. Временно изъятые из сельскохозяйственного оборота земли формально возвращаются, но они практически непригодны к использованию в качестве пастбищ. Площадь необратимо нарушенных (бескормных) земель в последние десятилетия постоянно увеличивалась (Южаков, Мухачев, 2001). Однако техногенные нарушения, связанные с освоением месторождений углеводородного сырья, пока еще могут рассматриваться как локальные. Площадь земель, подвергшихся техногенному нарушению, по данным анализа карты оленьих пастбищ, в 1995 г. составляла менее 1% от площади суши (Хозяйственно-геоботаническая карта..., 1995). Выпас же оленей ежегодно происходит на территории примерно в 10.6 млн га (Южаков, Мухачев, 2001); на полуострове не осталось резервных пастбищ.

Сравнение оценок распространения запасов как зеленых, так и лишайниковых кормов на пастбищах Ямала на 30-е годы и в конце XX в. свидетельствует о быстром снижении кормовых ресурсов (рис. 2). Далее анализируются сложные взаимоотношения между стадами выпасающихся оленей и доступными запасами кормов с помощью компьютерных экспериментов на имитационной модели.

ОБОСНОВАНИЕ И ОПИСАНИЕ МОДЕЛИ

Имитационные модели биогеоценозов могут быть построены только на основе фактических данных о структуре и динамике основных составляющих, которые, по выражению С.С. Шварца (1971), входят в их «ядро». Для тундр Ямала — это расти-

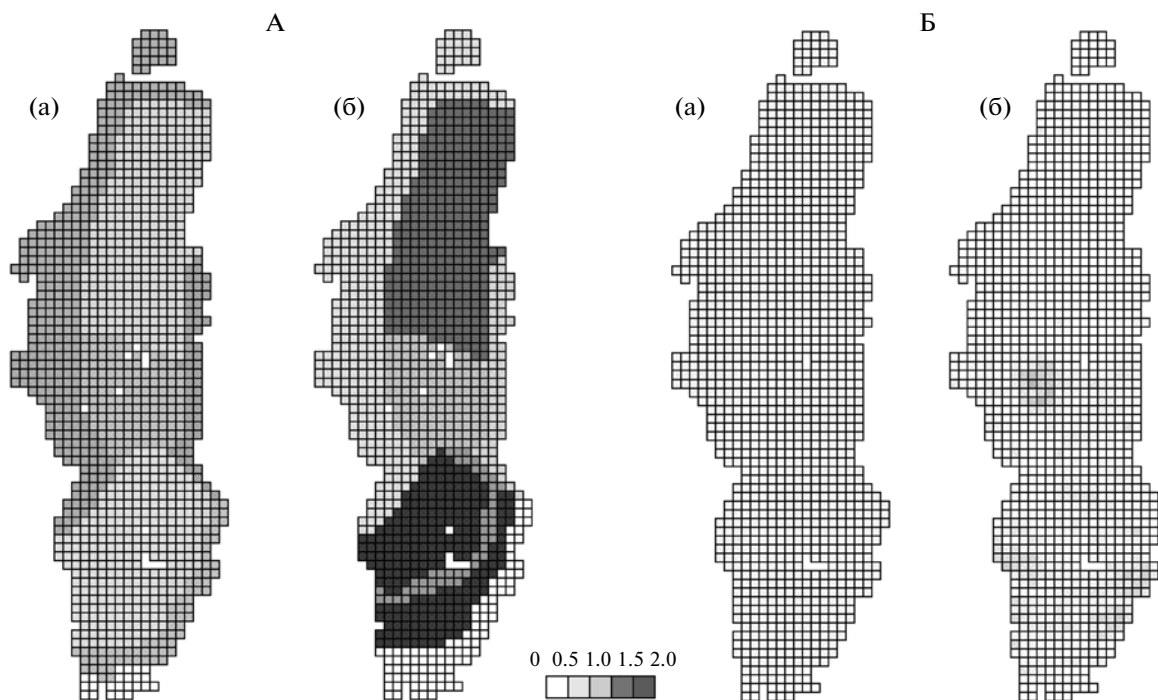


Рис. 2. Запасы растительных кормов (т/га) на Ямале в 1930-е годы (А) и в конце XX в. (Б). а – зеленые корма, б – лишайниковые корма; площадь одного квадрата – 100 км².

тельный покров, мелкие млекопитающие, домашние северные олени, хищные млекопитающие (прежде всего песцы) и хищные птицы. Функциональные связи между этими компонентами имеют нелинейный характер, затрудняющий прогнозирование динамики экосистем (Kryazhimskii, Danilov, 2000). Последние представляют собой констелляцию пересекающихся подсистем – естественной (биогеоценоза) и подсистемы, окружающей человека и “работающей” на него – антропогеоценоза по В.П. Алексееву (1993). Упрощенная схема такой системы, послужившая отправной точкой для построения алгоритма представляемой модели, изображена на рис. 3.

Имитационная модель взаимодействия домашних оленей и тундровой растительности представляла собой дискретно-событийную систему (Карпов, 2006). При проведении вычислений на каждом шаге моделирования (один год) рассчитывали величину зависимых переменных: запас лишайниковых и зеленых кормов, изъятая оленями масса кормов и эффект механических повреждений растительного покрова (вытаптывания). Эти величины изменялись в соответствии с поведением управляющей переменной – численностью оленей, которая произвольно задавалась при проведении модельных экспериментов. В результате была получена компьютерная имитация динамики запаса лишайниковых и зеленых кормов, т.е. изме-

нений ресурсного потенциала полуострова в зависимости от динамики поголовья оленей.

В.Н. Андреев (1933) оценивал средние кормовые потребности оленя в 1.25 т в год лишайниковых и 2.5 т в год зеленых кормов. Эти оценки были приняты нами при построении модели:

$$F_L = 1.25 \cdot N_y, \quad (1)$$

$$F_G = 2.5 \cdot N_y, \quad (2)$$

где F_L и F_G – кормовые нагрузки (т/год) на запасы лишайниковых (L) и зеленых (G) кормов соответственно; N_y – численность оленей в год у.

В расчетах В.Н. Андреева (1933) были учтены непроизводительные потери кормов. Так, он писал: “Суточная потребность оленей в лишайниках для зимнего периода (сюда же входят ранневесенний и поздне-осенний периоды, когда олени находятся преимущественно на лишайниковом корме) определяется величиной не более 5 кг воздушно-сухой массы лишайников. Но так как значительная часть лишайников при пастьбе, особенно в бесснежное время, непроизводительно тратится (главным образом вытаптывается), то суточную норму лишайников при современных условиях выпаса оленей следует считать вдвое выше суточной потребности, т.е. принять за 10 кг, что составляет за весь период (250 суток) 2.5 тонны воздушно-сухой массы лишайников. Исходя из суточной нормы оленя в зеленых кормах в

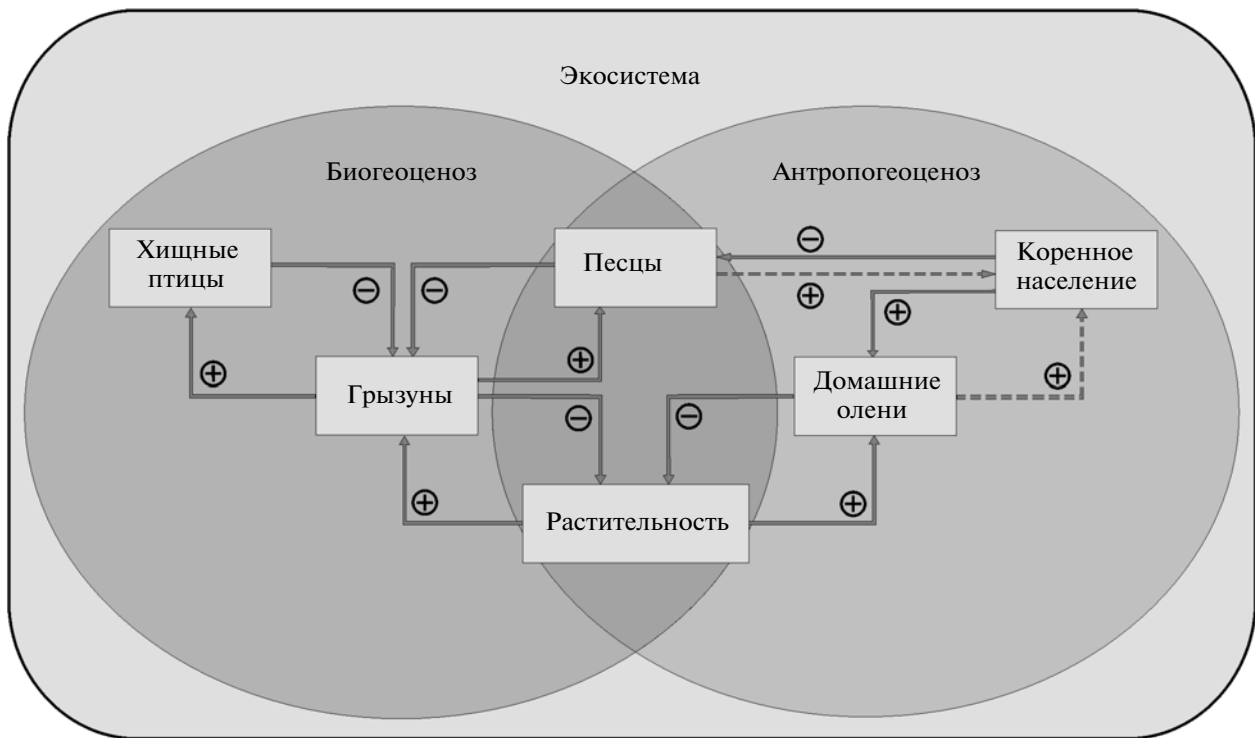


Рис. 3. Схема тундровой экосистемы Ямала как основа имитационного моделирования.

Штриховые линии – связи, определяющие получение экономической выгоды; сплошные – непосредственные (трофические) связи; знаком “плюс” отмечены положительные связи, знаком “минус” – отрицательные.

20 кг, что значительно превышает его суточную потребность, для всего летнего периода (115 суток) получаем 2300 кг, или округленно 2.5 тонны воздушно-сухой зеленой массы... Наблюдения, произведенные нами в тундрах Ямала и Северного Края и сделанные на их основании некоторые расчеты показывают, что олень потребляет приблизительно 1/6 часть годового прироста поедаемой вообще зеленой массы, выбирая в этом случае лишь лучшие зеленые корма и обходясь в это время почти совершенно без лишайников. Для расчета оленеемкости летних пастбищ мы и принимаем данную величину, т.е. (2.5 × 6) 15 тонн воздушно-сухой зеленой массы” (с. 147–148).

Поэтому в нашей модели принято, что лишайников вытаптывается столько же, сколько и съедается, их изымается в 2 раза больше, чем необходимо на питание, – 2.5 т/олень/год. Аналогичные потери зеленых кормов были оценены в 5 раз выше: если на питание одному оленю необходимо 2.5 т/год, то поправка на вытаптывание была принята равной 12.5 т/год, а общее изъятие зеленых кормов приравнялось к 15 т/год.

Эти оценки согласуются с тем, что чем меньше на пастбищах кормов, тем интенсивнее передвигаются животные, поэтому потери пастбищных ресурсов от вытаптывания увеличиваются быстрее, чем от стравливания. Причем непроизводитель-

ные потери быстро возрастают с уменьшением количества пастбищных кормов (Гамбарян, 1972; Абатуров, 1979; Полежаев, 1980). Поэтому в модели было принято, что потери ресурсов от вытаптывания прямо пропорциональны поголовью оленей и обратно пропорциональны запасу кормов:

$$T_L = t_L \cdot N_y / L_y, \quad (3)$$

$$T_G = t_G \cdot N_y / G_y, \quad (4)$$

где T_L и T_G – потери запаса от вытаптывания лишайниковых (L_y) и зеленых (G_y) кормов соответственно; t_L и t_G – коэффициенты влияния этого фактора на лишайниковые и зеленые корма; N_y – поголовье оленей в год y .

При определении величины коэффициентов пропорциональности ($t_L = 1375 \times 10^4$ и $t_G = 1625 \times 10^5$) исходили из принятых В.Н. Андреевым (1933) соотношений стопанных и стравленных запасов кормов, а также из его оценки запасов лишайниковых и зеленых кормов.

В модели прирост лишайников описывался классическим уравнением S-образного роста – уравнением Ферхюльста (Verhulst, 1845):

$$P_L = g_L \cdot L_y \cdot (1 - L_y / L_{\max}), \quad (5)$$



Рис. 4. Зависимость прироста лишайниковых пастбищ от их запаса, принятая при построении модели. Каноническая кривая Ферхюльста, учитывающая саморегуляцию: $P_L = 0.09L\left(1 - \frac{L}{2000}\right)$.

где P_L – величина годового прироста, L_y – запас лишайников в текущем году (y); L_{\max} – максимально возможная для данной географической зоны величина запаса (так называемая “емкость среды”); g_L – коэффициент, имеющий смысл величины удельного годовичного прироста, наблюдающегося при малых значениях запаса в отсутствие лимитирующих факторов (“стартовый прирост”).

Согласно этой зависимости, абсолютная величина годового прироста (P_L) принимает наибольшее значение, когда запас достигает примерно половины максимально возможной величины. Если лишайниковый покров приходит к зрелому (стационарному) состоянию (L_y приближается к L_{\max}), а скорость нарастания компенсирует скорость отмирания, то P_L приближается к нулю (рис. 4). В условиях пастбищной нагрузки стационарное состояние не достигается (величина запаса все время “отбрасывается” в зону, где скорость его роста положительна). Каноническая логистическая (S -образная) кривая зависимости возобновления от времени подтверждается исследованием восстановительных процессов у лишайников, например в Фенноскандии (рис. 5). Анализ литературных данных по приросту лишайников в разных районах тундровой зоны (Андреев, 1954; Kumpula et al., 2000; Gaio-Oliveira et al., 2006), а также собственные наблюдения авторов за естественным восстановлением лишайников на Ямале (Morozova, Ektova, 2010)

показали, что максимальный удельный прирост лишайников (g_L/L) во всех случаях был примерно одинаков (4.5–5.0% от запаса биомассы). Величина же L_{\max} может различаться в разных климатических условиях (в таежной зоне Финляндии она приблизительно в 3.5 раза больше, чем на Ямале). Поэтому в модели было принято, что для Ямала $g_L = 0.09$, а $L_{\max} = 14.8$ млн т (см. рис. 5).

Таким образом, изменения запаса лишайников могут быть выражены балансовым уравнением

$$L_{y+1} = L_y - F_L - T_L + P_L, \quad (6)$$

где L_y и L_{y+1} – запас лишайников в текущем (y) и следующем ($y + 1$) году соответственно; F_L и T_L – те же, что и в уравнениях (1) и (3) соответственно; P_L – годовой прирост запаса лишайников, который в отсутствие пастбищной нагрузки при их зрелом состоянии близок к нулю.

При построении модели годовая продукция зеленых кормовых растений считалась пропорциональной запасу их подземных органов (корней, корневищ). Исходя из общих закономерностей, прирост запаса подземных составляющих в модели считался зависимым от массы фотосинтезирующих частей (величины живой надземной фитомассы), что отражено в уравнении (7). Согласно литературным данным (Титлянова, 1977), удельная скорость отмирания живых зеленых растений была принята за постоянную величину (уравнение 8).

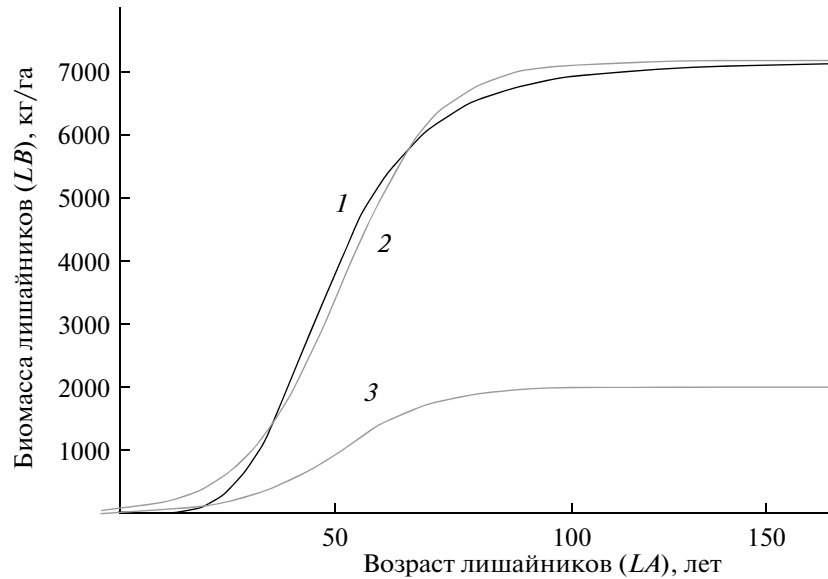


Рис. 5. S-образная динамика восстановления запасов лишайниковых кормов.

1 — кривая, предложенная авторами, анализировавшими данные по восстановлению покрова после пожаров разной давности в таежной зоне Финляндии (Kumpula et al., 2000): $LB = 4812.7364 / \left(\frac{1}{(LA/45)^{4.374}} + 1 \right) + 2343.8862 / \left(\frac{1}{(LA/45)^{4.374}} + 1 \right)^2$; 2 —

каноническая логистическая кривая для тех же данных, рассчитанная нами: $LB = \frac{7156.6226}{e^{-0.09LA}(100-1)+1}$. Видно, что сложная

параметризация данных по восстановлению лишайникового покрова описывает процесс не намного лучше, чем каноническая кривая Ферхюльста; 3 — кривая для кормового запаса лишайников на Ямале, рассчитанная по уравнению (5):

$$LB = \frac{2000}{e^{-0.09LA}(100-1)+1}.$$

Алгоритм вычисления запаса зеленых кормов в модели был следующим:

$$P_R = g_R(G_y - F_G - T_G)(1 - R_y/R_{\max}), \quad (7)$$

$$R_{y+1} = R_y + P_R - d_R \cdot R_y, \quad (8)$$

$$G_{y+1} = d_K \cdot R_{y+1}, \quad (9)$$

где P_R — годичный прирост резервных органов (подземных — для травянистых растений и надземных — для кустарничков и кустарников); G_y и G_{y+1} — продукция фотосинтезирующих частей в текущий и следующий годы; F_G — величина трофической нагрузки; T_G — величина ущерба от вытаптывания, R_y и R_{y+1} — масса многолетних частей растений (в основном это подземные части травянистых растений) в текущий и последующий годы соответственно, а R_{\max} — ее максимально возможное значение (емкость среды); $g_R = 10$ и $d_R = 0.2$ — коэффициенты относительного прироста и отмирания соответственно, принятые на основании литературных данных (Виелголоски, 1973; Wielgolaski, 1974; Титлянова, 1977; Куликов, 1989; Никонов, 1985).

В модели также было учтено воздействие периодически усиливающейся кормовой нагрузки на растительность со стороны грызунов. По данным многолетних наблюдений, периодичность всплеск их численности соответствовала многократно подтвержденной тенденции, показанной еще Ч. Элтоном (Elton, 1942), — 3–4 года. Известно, что лемминги в такие периоды могут изымать до 70% надземной массы трав (Thompson, 1955; Pitelka, 1964; Batzly, 1974). Поэтому прирост зеленых кормов в годы пиков рассчитывался (с учетом того, что грызуны изымают травянистую растительность, а не кустарники) как

$$P_R = g_R(G_y - F_G - T_G - 0.5G_y)(1 - R_y/R_{\max}). \quad (10)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

При построении модели управляющей переменной служило поголовье оленей. Как уже было сказано, начальные условия задавались исходя из материалов и расчетов В.Н. Андреева (1933), а алгоритм моделирования был построен в соответствии с соображениями, основанными на собственных и литературных данных о динамике и ха-

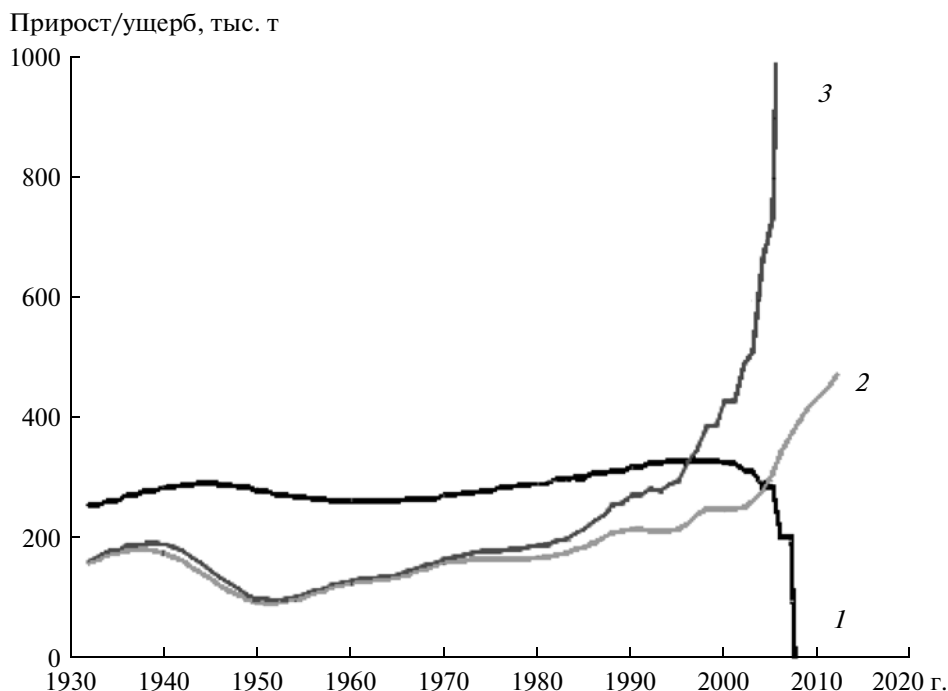


Рис. 6. Модельная динамика ущерба и естественного прироста кормовых запасов лишайников при реальном росте поголовья оленей на Ямале.

1 — ежегодный прирост лишайников; 2 — ежегодный ущерб от поедания; 3 — ежегодный ущерб от вытаптывания.

рактуре связей между разными компонентами экосистем Ямала.

При этом относительная роль трофической нагрузки и вытаптывания для лишайниковых кормов явно указывает на преимущественный вклад в общую пастбищную нагрузку именно последнего, что и было учтено в модели (рис. 6). Ежегодный прирост лишайников в первую декаду XXI в. стал отрицательным. При реализации модели траектории динамики кормовых запасов за период с 30-х годов до конца XX века, обусловленные реальным ростом поголовья оленей, пришли к современному состоянию, которое не было задано заранее (рис. 7а). Это подтверждает приемлемость использованных функциональных зависимостей и служит свидетельством верификации модели: нам удалось достаточно точно воспроизвести динамику пастбищных ресурсов при возрастающей пастбищной нагрузке.

При проведении экспериментов на модели в первую очередь надо было ответить на вопрос: что было бы, если бы всплеск численности леммингов не происходило? В результате данного эксперимента модельная динамика зеленых кормов изменилась лишь слегка — сдвинулся по времени “момент полной деградации растительности” (рис. 7б). Это свидетельствует о том, что возможные синергетические эффекты наложения всплеска численности грызунов на пастбищную нагрузку, скорее всего, не играли ключевой роли в

общей картине снижения запасов зеленых кормов в рассматриваемый период времени.

Сценарий следующего эксперимента: если бы численность оленей в 160 тыс. голов, которую В.Н. Андреев (1933) рекомендовал как допустимую к выпасу на полуострове и которая фактически была достигнута в 1990 г., более не увеличивалась, то, согласно предсказаниям модели, кормовой запас лишайников все равно снижался бы. К этому времени запас кормов уже значительно уменьшился относительно начала 30-х годов, и реабилитационные возможности экосистем уже не смогли бы компенсировать пастбищную нагрузку (рис. 7г).

Таким образом, результаты моделирования свидетельствуют о том, что численность оленей на Ямале в 160 тыс. голов в 1990 г. уже превышала предельно допустимую. Это объясняется тем, что в расчетах В.Н. Андреева (1933) не учитывалась связь ущерба лишайниковому покрову от вытаптывания с запасом кормов. Результаты компьютерных экспериментов, в которых внутрисистемная регуляция была учтена, показывают, что если бы (согласно рекомендациям В.Н. Андреева) численность оленей в 30-е годы возросла до 160 тыс. и оставалась потом постоянной, то запасы лишайниковых кормов все равно бы истощались. Восстановление не смогло бы компенсировать изъятие из-за уменьшения годичного прироста и общего запаса лишайниковых кормов (рис. 7д).

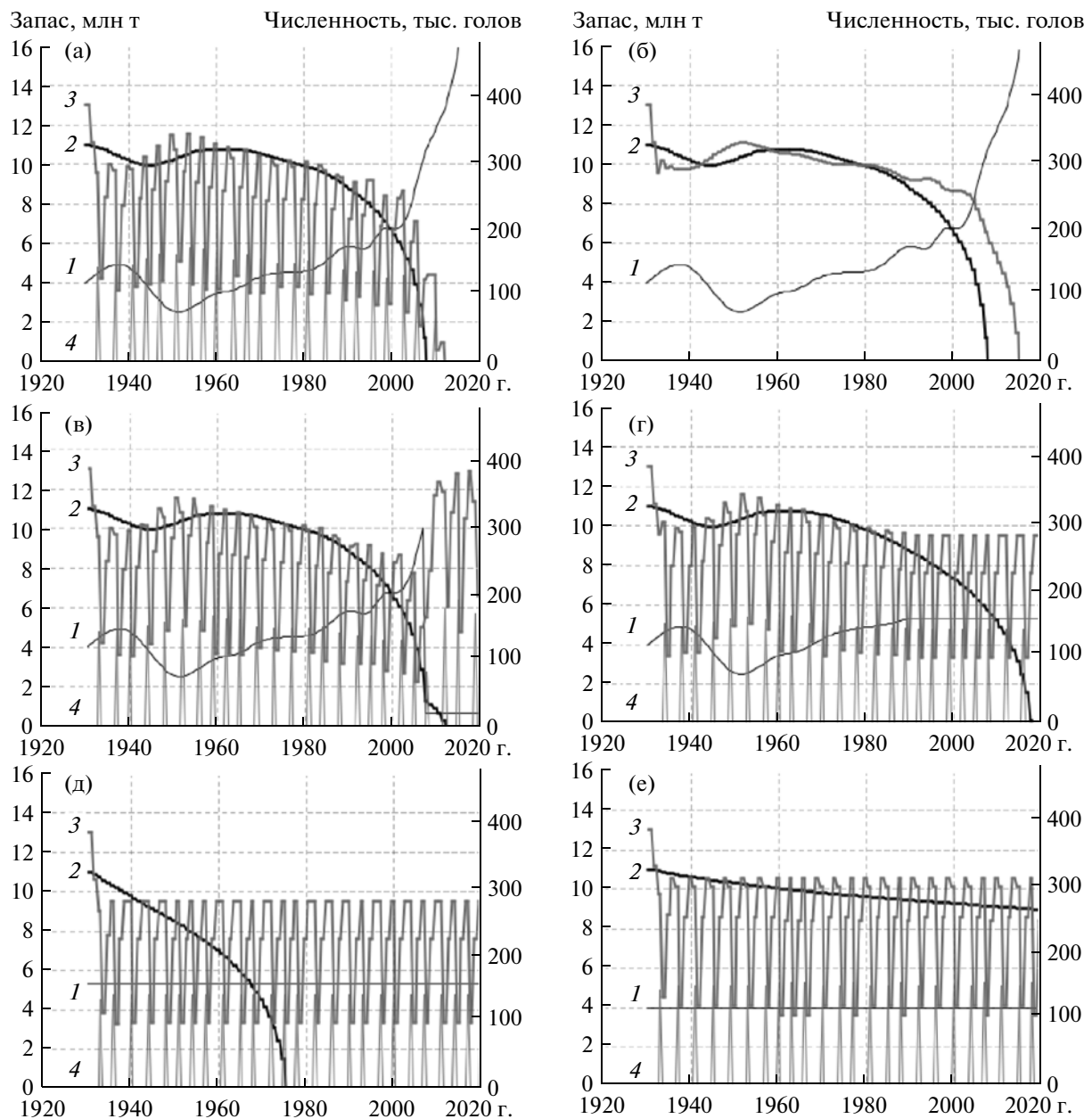


Рис. 7. Динамика запаса кормов на Ямале по результатам моделирования:

а – сценарий реальной динамики экстенсивного роста поголовья домашних оленей (верификация модели); б – тот же сценарий при гипотетическом отсутствии влияния грызунов; в – сценарий сокращения численности поголовья до 20 тыс. голов в 2007 г. – “рациональной” по методу расчетов В.Н. Андреева (1933) для имевшегося в это время кормового запаса; г – сценарий поддержания постоянной численности оленей после достижения ею в 1990 г. значения 160 тыс. голов – уровня “рациональной численности” по расчетам В.Н. Андреева на 1930-е годы; д – сценарий, предусматривающий, что поголовье оленей оставалось бы постоянным на “рациональном” (по В.Н. Андрееву) для 1930-х годов уровне в 160 тыс. голов; е – сценарий сохранения начального поголовья (120 тыс. голов) на протяжении всего рассматриваемого периода; 1 – численность оленей, тыс. голов; 2 – запас лишайников, млн т; 3 – запас зеленых кормов, млн т; 4 – нагрузка от грызунов, млн т

Рассмотрен нами и другой сценарий: поголовье оленей, выпасающееся на Ямале в начале 30-х годов (около 100 тыс.), оставалось бы неизменным. Результаты моделирования показали, что

только в этом случае существенного сокращения кормового запаса лишайников не произошло бы (рис. 7е). Предположительно такое поголовье может быть сопоставимо с численностью диких оле-

ней на Ямале до развития экстенсивного домашнего оленеводства, когда работали естественные механизмы регуляции численности.

Следуя рекомендациям В.Н. Андреева (1933), мы смоделировали допустимую численность оленей исходя из запаса кормов на современных пастбищах. Рассмотрена следующая ситуация: если бы в 2007 г., когда запасы лишайниковых кормов составляли примерно 1 млн т, поголовье оленей снизилось бы до 20 тыс., то лишайниковые корма все равно восстанавливались бы, но крайне медленно, в то время как зеленые корма могут быстро восстановиться (рис. 7в). Это свидетельствует о том, что в настоящее время на Ямале может выпасаться не более 20 тыс. оленей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что любая модель – упрощение и огрубление реальной картины, и в этом частично заключается эвристическое значение моделирования (Экологические системы, 1981), верификация модели, как показано выше, в целом подтвердила приемлемость принятых в модели построений.

Результаты анализа экосистемы Ямала не дают оснований для привлечения каких-либо других факторов (климатических изменений, промышленного освоения месторождений углеводородного сырья и т.п.) для объяснения деградации растительного покрова полуострова, кроме экстенсивно развивающегося крупностадного (кочевого) оленеводства. Результаты моделирования свидетельствуют о том, что быстрый рост поголовья оленей – основной фактор негативных изменений природно-территориальных комплексов на Ямале. В настоящее время ситуация уже приобрела катастрофический характер.

Техногенное воздействие значительно усугубляет ситуацию, так как пастбищные нагрузки с участков, изъятых под промышленное освоение, переносятся на соседние территории. Однако по сравнению с выпасом промышленное освоение Ямала пока может рассматриваться как второстепенный негативный фактор локального масштаба. На Ямале нет резервных пастбищ; практически все территории испытывают высокие пастбищные нагрузки. При этом на песчаных грунтах выбитые лишайниковые тундры не смогут восстановиться естественным путем.

Вопреки сложившемуся стереотипу, традиционное природопользование не является образцом гармоничного сосуществования человека и растительных ресурсов. Скорее наоборот, экстенсивный рост поголовья оленей – более серьезная угроза природным комплексам Ямала, чем, скажем, развитие нефтегазового комплекса.

Как показали результаты имитационного моделирования, в методике расчета общей емкости

пастбищ необходимо учитывать нелинейную зависимость годичного прироста лишайников от величины их запаса. Игнорирование этого приводит к завышению расчетной емкости пастбищ, что в свою очередь способствует их деградации даже при соблюдении рекомендаций по приведению поголовья к якобы допустимому (завышенному) значению. Результаты системного анализа комплекса “растительные ресурсы–домашний северный олень” показали, что на Ямале уже в 30-е годы XX в. выпасалось предельно допустимое количество оленей и резервы для увеличения поголовья отсутствовали. Дальнейший рост числа оленей привел к подрыву ресурсной базы оленеводства.

В настоящее время для сохранения оленеводства на Ямале необходимо ввести систему контроля пастбищных нагрузок, учитывающего как состояние кормовой базы, так и особенности реабилитационных процессов. Поскольку кормовая база сейчас существенно меньше той, что была в начале 30-х годов прошлого века, допустимое к выпасу поголовье оленей должно быть значительно ниже 100 тыс. голов. По предварительным оценкам, непосредственно на полуострове Ямал сейчас может выпасаться (традиционным способом) не более 20 тыс. оленей.

Авторы выражают благодарность работникам Департамента по развитию агропромышленного комплекса ЯНАО за сотрудничество в рамках договора о содружестве, М.Г. Головатину, А.А. Соколову и В.Г. Штро – за содействие в проведении исследований. Особо авторы признательны А.Н. Полежаеву за заинтересованное обсуждение и полезные рекомендации при подготовке настоящей публикации.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №11-04-01153-а), а также программ Президиума РАН “Биоразнообразие” № 09-П-4-1029 и “Биологические ресурсы” № 09-Т-4-1005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абатуров Б.Д.* Биопродукционный процесс в наземных экосистемах. М.: Наука, 1979. 128 с.
- Алексеев В.П.* Очерки экологии человека. М.: Наука, 1993. 192 с.
- Андреев В.Н.* Кормовая база Ямальского оленеводства // Советское оленеводство. 1933. Вып. 1. С. 99–164.
- Андреев В.Н.* Прирост кормовых лишайников и приемы его регулирования // Труды Ботанического института им. В.А.Комарова АН СССР. Сер. III. (Геоботаника). Л., 1954. Вып. 9. С. 11–75.
- Виелголаски Ф.Е.* Типы растительности и биомасса растений тундры // Экология. 1973. № 2. С. 19–36.
- Гамбарян П.П.* Бег млекопитающих. Л.: 1972. 334 с.
- Карпов Ю.Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БВХ – Петербург, 2006. 400 с.

- Клоков К.Б., Хрущёв С.А.* Оленеводческое хозяйство коренных народов Севера России: информационно-аналитический обзор. Т. 1. СПб.: ВВМ, 2004. 184 с.
- Куликов Г.Г.* Формирование высокопродуктивных фитоценозов в Забайкалье. Улан-Удэ: БНЦ СО АН СССР, 1989. 168 с.
- Магомедова М.А., Морозова Л.М.* Восстановление оленьих пастбищ // Восстановление земель на Крайнем Севере. Сыктывкар, 2000. С. 126–134.
- Морозова Л.М., Магомедова М.А.* Влияние выпаса оленей на ресурсный потенциал растительного покрова // Полуостров Ямал: растительный покров. Тюмень: Сити-пресс, 2006. С. 235–247.
- Морозова Л.М., Магомедова М.А.* Структура растительного покрова и растительные ресурсы полуострова Ямал. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2004. 63 с.
- Никонов В.В.* Общие особенности первичной биологической продуктивности и биогеохимических циклов на Крайнем Севере (на примере Кольского полуострова) // Сообщества Крайнего Севера и человек. М.: Наука, 1985. С. 79–90.
- Полежаев А.Н.* Изменение растительности на пастбищах Чукотки под влиянием выпаса // Экология. 1980. № 5. С. 5–13.
- Титлянова А.А.* Биологический круговорот углерода в травяных биоценозах. Новосибирск: Наука, 1977. 224 с.
- Хозяйственно-геоботаническая карта оленьих пастбищ Ямальского района ЯНАО. СПб: Федеральная служба лесного хозяйства России, Северо-западное государственное лесоустроительное предприятие, 1995.
- Шварц С.С.* Популяционная структура биогеоценоза // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1971. Т. 28. № 4. С. 485–493.
- Экологические системы. Адаптивная оценка и управление / Ред. Холинг К.С. М.: Мир, 1981. 397 с.
- Южаков А.А., Мухачёв А.Д.* Этническое оленеводство Западной Сибири: ненецкий тип. Новосибирск, 2001. 112 с.
- Batzly G.O.* Relationships between lemmings and vegetation in tundra ecosystems // Proc. 1st International. Theriological Congress. M., 1974. V. 1. P. 47–48.
- Elton Ch.* Voles, Mice and Lemmings: Problems in Population Dynamics. London: Oxford Univ. Press, 1942.
- Gaio-Oliveira G., Moen J., Danell Ö., Palmqvist K.* Effect of simulated reindeer grazing on the re-growth capacity of mat-forming lichens // Basic and Applied Ecology. 2006. № 7. P. 109–121.
- Golovatin M.G., Morozova L.M., Ektova S.N., Paskhalny S.P.* The change of tundra biota at Yamal peninsula (the North of the Western Siberia, Russia) in connection with anthropogenic and climatic shifts // Tundras: Vegetation, Wildlife and Climate Trends. Eds. Beltran Gutierrez and Cristos Pena. N.Y.: Nova Sci. Publ., 2010. Cht.1. P. 1–46.
- Kryazhinskii F.V., Danilov A.N.* Reindeer in tundra ecosystems: the challenges of understanding system complexity // Polar Research. 2000. V. 19. № 1. P. 107–110.
- Kunpula J., Colpaert A., Nieminen M.* Condition, potential recovery rate, and productivity of lichen (*Cladonia* sp.) ranges in Finnish reindeer management area // Arctic. 2000. V. 53, № 2, P. 152–160.
- Morozova L.M., Ektova S.N.* Monitoring of Restoration in Damaged Reindeer Pastures of the Yamal Peninsula (Russia) // International polar Year - Oslo Science Conference, 2010. <http://ipy-osc.no/abstract/384879>.
- Pitelka F.A.* The nutrient recovery hypothesis for Arctic microtine cycles // Grazing in terrestrial and marine environments. Oxford: Oxford Univ. Press. 1964. P. 55–56.
- Thompson D.Q.* The role of food and cover in population fluctuation of the brown lemming at Point Barrow, Alaska // Trans. North Am. Wildl. Conf. 1955. № 20. P. 166–176.
- Verhulst P.-F.* Recherches mathematiques sur la loi d'accroissement de la population // Nouv. mem. de l'Academie Royale des Sci. et Belles-Lettres de Bruxelles. 1845. № 18. P. 1–41.
- Wielgolaski F.E.* Study on generality of desert simulation model by use of tundra data // US/IBP Desert Biome Res. Memo. 1974. P. 74–75.