

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АРЕАЛА ДИКИХ СЕВЕРНЫХ ОЛЕНЕЙ ТАЙМЫРСКОЙ ПОПУЛЯЦИИ

Л.А.КОЛПАЩИКОВ,

В.Ю.МОРДОВИН

В.В.МИХАЙЛОВ (СПИИРАН);

(НИИСХ Крайнего Севера);

А.В.ПЕСТЕРЕВА (СПБГУ)

В Программу исследований МПГ включены работы по моделированию биоклиматической структуры ареалов животных на примере таймырской популяции диких северных оленей. Проект включен

в кластер CARMA (Circum Polar Rangifer Monitoring and Assessment) Международной программы МПГ и выполняется в СПИИРАН при участии сотрудников НИИСХ Крайнего Севера (Норильск), ААНИИ и СПБГУ.

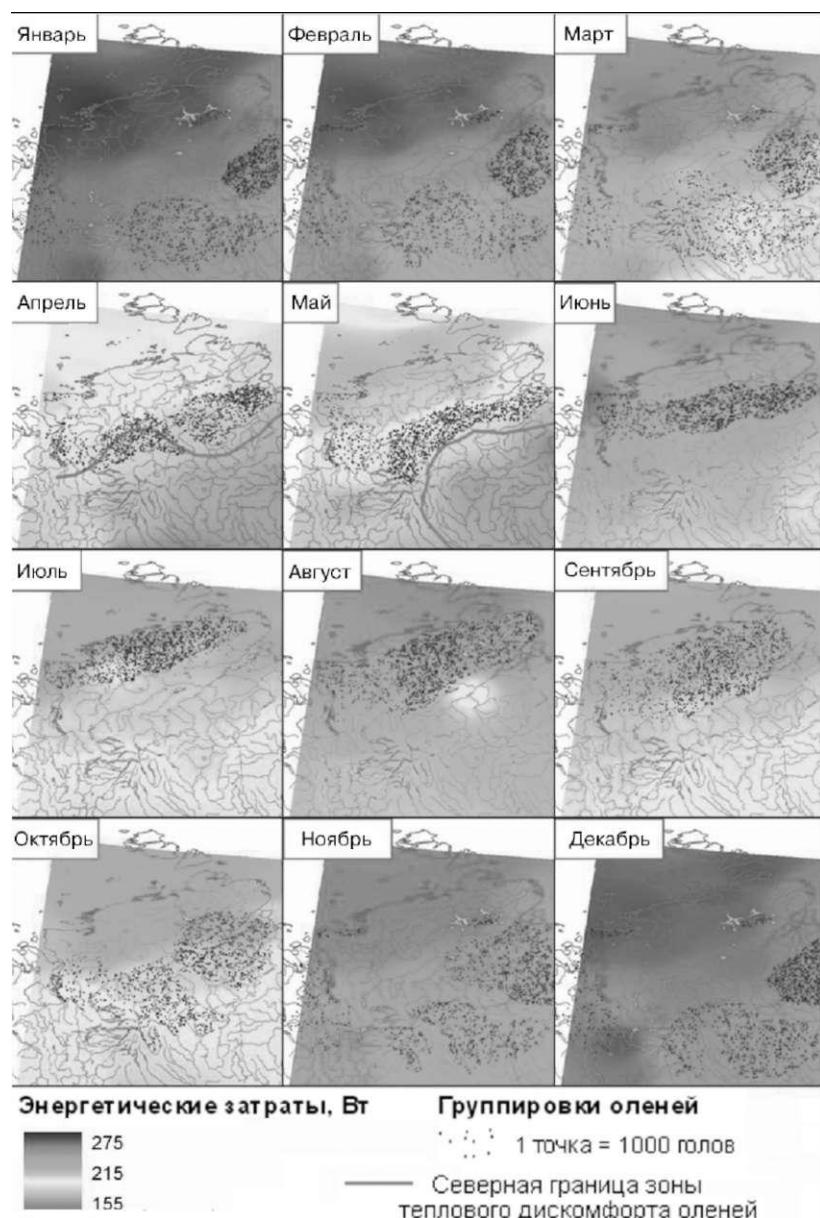


Рис. 1. Осредненные данные о сезонной динамике биоклиматических полей и расположении группировок животных

Погода и климат на севере являются важнейшими факторами, определяющими возможность существования животных, их территориальное размещение, направление и сроки сезонных миграций. В сравнении с другими экологическими показателями, именно по метеорологическим факторам имеется наиболее полная, точная и обширная количественная информация, получаемая от сети метеостанций и спутников. Однако в зоогеографических исследованиях роль метеорологических условий оценивается главным образом на качественном уровне.

Цель работы состоит в выборе количественной меры влияния климатических факторов на животных, определении на основе этой меры биоклиматической структуры ареала, оценке связи этой структуры с территориальным размещением и миграциями группировок оленей. Решение этих задач связано с выявлением закономерностей пространственно-временной динамики популяций диких северных оленей и прогнозированием территориального размещения оленей в условиях глобальных климатических изменений.

При изучении влияния погодно-климатических факторов на популяцию в качестве показателя ее состояния можно взять массу животных в популяционных классах, динамика которой определяется поступлением энергии с пищей и ее расходом в процессе жизнедеятельности. С массой животного связаны основные популяционные показатели - яловость,

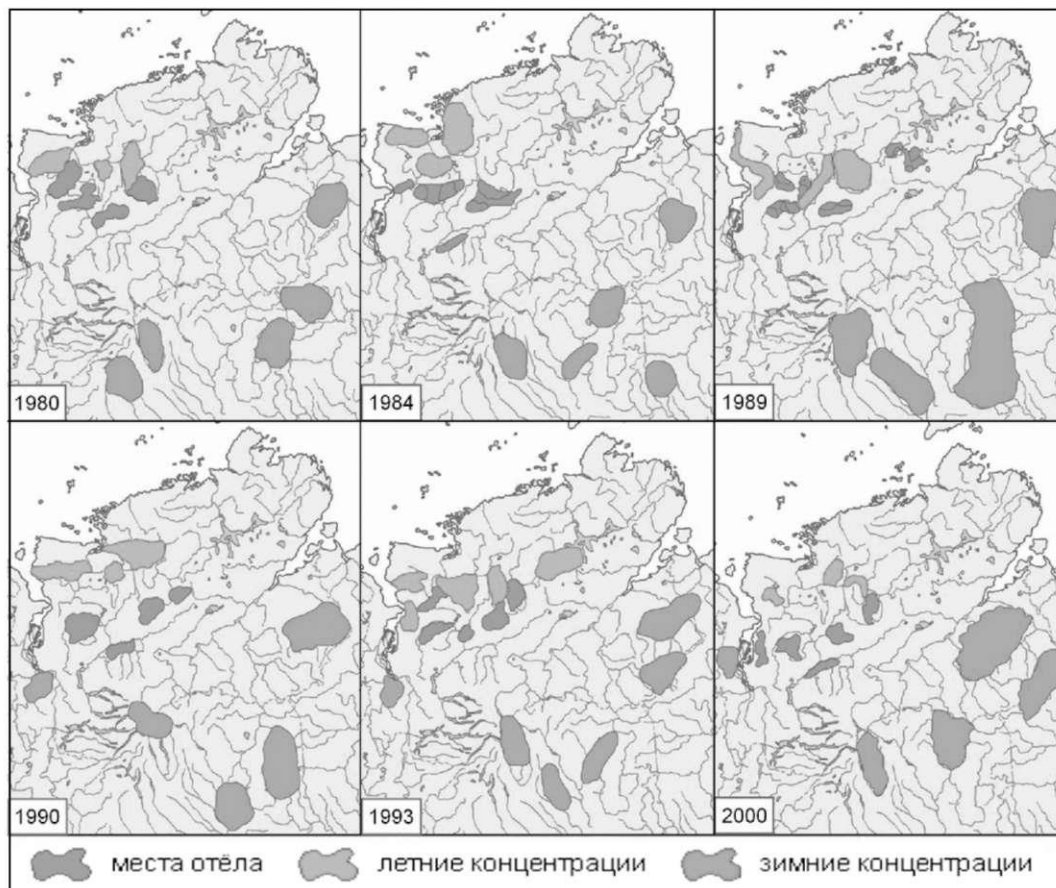


Рис. 2. Сезонное размещение группировок оленей и мест отела за отдельные годы

интенсивность гона, смертность, миграционная активность. Накопленные в онтогенезе адаптации животных направлены на максимизацию разности между поступающей и расходуемой энергией.

Погодно-климатические условия влияют на северных оленей прежде всего через расходную часть энергобаланса, в том числе через потери ассимилированной энергии на теплоотдачу, двигательную активность, основной обмен в зависимости от гелиофизических, метеорологических факторов и морфофизиологических функций организма. Ведущую роль при этом играют тепловые потоки, баланс которых является следствием закона сохранения энергии. Указанные причины позволяют принять энергозатраты в качестве интегрального количественного показателя влияния климата на животных.

Однако возможности прямого измерения составляющих энергобаланса животных весьма ограничены и недостаточны для проведения биоклиматических расчетов в реальном диапазоне изменения погодно-климатических факторов. Чтобы снять эти ограничения, мы разработали математическую модель, связывающую энергопотери организма животного со значениями основных погодно-климатических факторов - температурой воздуха, скоростью ветра, облачностью, прямой и рассеянной радиацией, состоянием снежного покрова. Модель можно применять для решения двух задач:

1) для построения полей энергозатрат (биоклиматических полей) в зависимости от значений погодно-климатических факторов на всей территории обитания животных. Расчеты при этом можно вести на основе актинометрических и метеоданных от сети метеостанций в ареале популяции и спутниковых данных;

2) для расчетов энергозатрат дикого северного оленя «в точке», выявления сочетаний метеофакторов, ведущих к переохлаждению или перегреву организма, снижению кормодобывающей активности и иницирующих миграционное поведение животных для объяснения с энергетических позиций тех или иных сторон их поведения.

Математическая модель энергообмена животных основана на уравнении для полной метаболической мощности животного и учитывает потоки энергии, связанные с теплопродукцией организма, основным обменом, дыханием и нагреванием пищи, а также механические энергопотери, включая затраты энергии на передвижение, на свободный выпас, на извлечение корма. Потери тепла в зимний период определяются в основном температурой воздуха и скоростью ветра. В летний период к факторам энергобаланса добавляются солнечная радиация и облачность.

Для оценки теплоотдачи организма северного оленя в состоянии покоя использовалась двухслойная модель «ядро-мех». Поток тепла к поверхности кожи рас-

считывается с учетом тканевой теплоизоляции и разности ректальной температуры и температуры поверхности кожи. В слое меха перенос тепла происходит в воздушной среде, для его описания используем одномерное уравнение теплопроводности. Описание конвективных и турбулентных потоков в модели редуцированы из дифференциального уравнения теплопроводности по двухслойной схеме. Это позволило вместо трудноизмеримой температуры эпидермиса использовать при расчетах энергообмена организма внутреннюю температуру тела животного.

Компьютерная модель построена по компартментному принципу. Тепловое излучение участков тела (туловищной части, верхнего отдела конечностей и живота, дистального отдела конечностей), различающихся по толщине меха и жировых отложений, гипотермической специфике, рассчитыва-

ются в отдельных блоках. Суточные энергозатраты зависят от бюджета времени и суммарных трат в тот или иной период активности. Для популяции в целом энергозатраты определяются с учетом числа животных различных половозрастных классов и массы особей.

Абиотические входы модели представлены следующим набором элементов: температурой воздуха, ветром, высотой и плотностью снежного покрова, влажностью, облачностью, прямой радиацией, диффузной радиацией, угловой высотой солнца.

На модели энергообмена проведены компьютерные эксперименты для оценки теплопроводности меха и тканей, теплоотдачи животного в условиях зимы, связи терморегуляторной функции с активностью, влияния инсоляции на метаболизм организма. Расчеты показали, что при тихой погоде

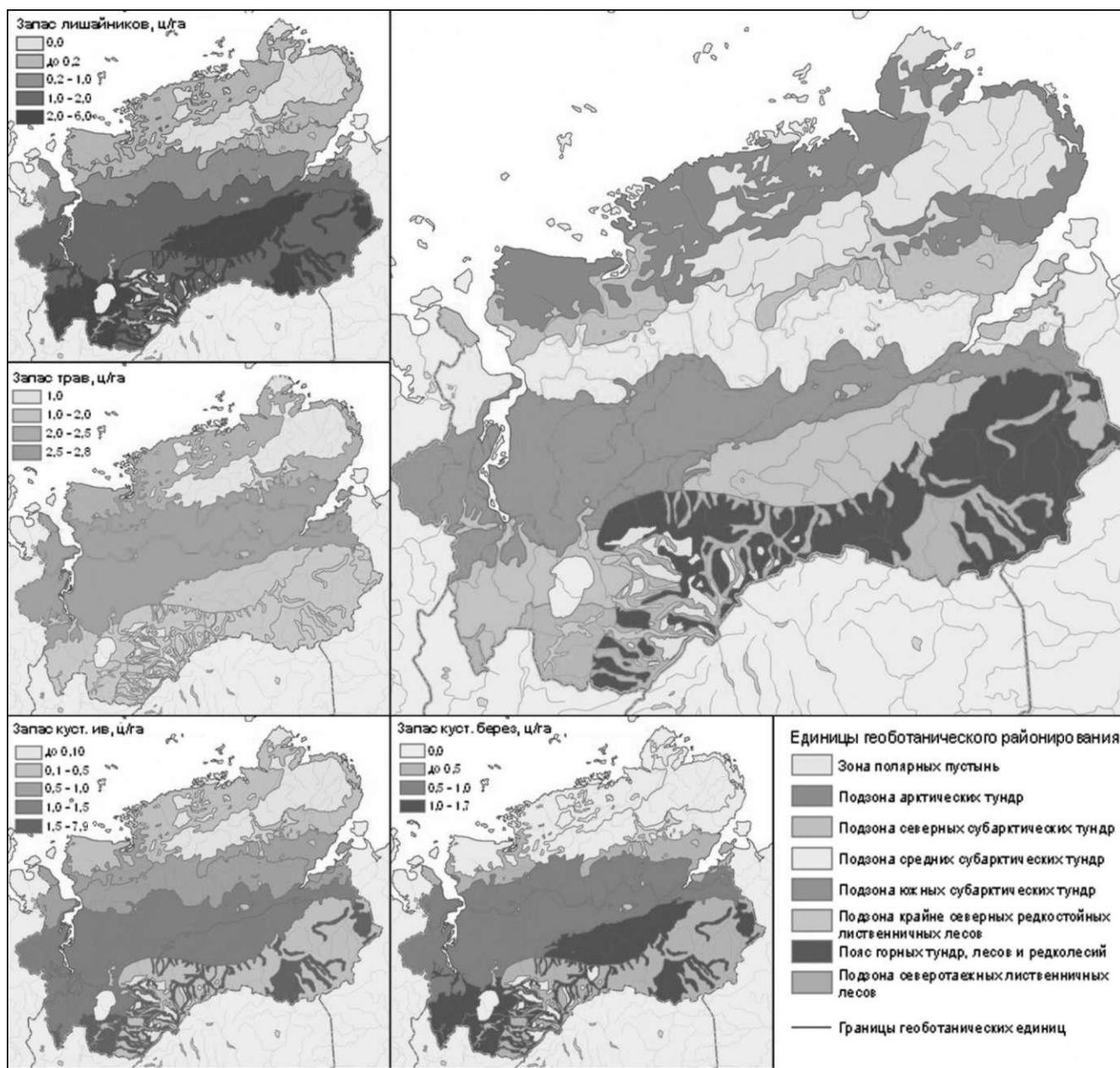


Рис. 3. Зональная карта кормовых ресурсов оленей на Таймыре

и снижении температуры от -10 до -40 °С теплопроводность меха становится меньше на 40–50 % за счет пилomotorной реакции волосяного покрова. Однако это не компенсирует возрастание теплоотдачи при увеличении температурного градиента воздух-организм. Относительное увеличение теплоотдачи при снижении температуры от -10 до -55 °С при скорости ветра 5 м/с составляет 55 %. Охлаждающее действие ветра в диапазоне скоростей 5–10 м/с на каждые 1 м/с эквивалентно снижению температуры воздуха на 3–5 °С. Абсолютный прирост теплопотерь при увеличении скорости ветра от 0 до 5 м/с и температуре -30 °С составляет 1000 ккал, или 25 % суточного расхода тепла организма.

В период положительных значений температуры воздуха к параметрам, определяющим энергообмен (температура воздуха, скорость ветра), добавляются радиационные факторы: прямая и диффузная радиация, облачность.

В июне-июле поток прямой солнечной радиации на горизонтальную поверхность при ясном небе достигает 10 000 ккал/м² за сутки, в то время как расходная часть теплообмена животных при температуре воздуха 20 °С и скорости ветра 5 м/с составляет около 2000 ккал/м², что приводит к тепловому дисбалансу. Адаптации животных в период положительных значений температуры воздуха направлены на поддержание стабильного состояния организма относительно верхней границы термонейтральной зоны.

Экстремальное влияние солнечной радиации на энергообмен северных оленей при отрицательных значениях температуры воздуха определялось по максимальным значениям суммарной радиации при ясном небе в апреле в дневные часы. Расчеты показали, что максимальный энергосброс, возможный при терморегуляторном дыхании, не обеспечивает толерантности северных оленей по отношению к максимальной инсоляции. Таким образом, энергетический эффект инсоляции, а не температуры воздуха способен вызвать тепловой дискомфорт животных и стать причиной миграции животных на север, в более комфортные для северных оленей климатические зоны. Этот феномен впервые теоретически установил В.Ю.Мордовин в расчетах на модели энергообмена.

Построение биоклиматических полей ареала (полей энергопотерь) выполнялось путем аппроксимации точечных данных о среднемесячных энергопотерях в местах расположения метеостанций на территории Таймыра и севера Эвенкии методом обратных взвешенных расстояний средствами панели

Spatial Analyst ArcGIS. Энергетическое поле ареала зимой (ноябрь-март), в отличие от ожидаемого минимума поля на севере ареала в связи с повышением температуры в сторону океана, имеет минимум на юге и юго-востоке, т.е. в восточном и южном секторах ареала, где и зимуют основные группировки животных (рис.1). В апреле и мае мигрирующие группировки животных располагаются в основной массе севернее границы перегрева, как бы сдвигаясь из зоны теплового дискомфорта в более благоприятные районы ареала. Территория летних пастбищ (июнь-август) соответствует зоне энергетического максимума. Однако, как было указано, летом именно эти районы благоприятны для оленей с энергетических позиций.

В рамках Программы научных исследования МПГ совместно с ААНИИ подготовлены данные для построения полей ареала таймырской популяции на интервале с 1970 до 1993 г. Совместно с НИИСХ Крайнего Севера подготовлены цифровые карты сезонного размещения группировок оленей и мест отела за ряд лет (рис. 2) и зональная карта кормовых ресурсов оленей на Таймыре по материалам Р.П.Щелкуновой (рис. 3).

В 2008 г. планируется построить поля энергопотерь для имеющегося массива метеоданных, проанализировать их динамику и взаимосвязь с территориальным размещением оленей на Таймыре. Мы планируем построить биоклиматические поля территории обитания диких северных оленей Евразии (Таймыр, Якутия, Чукотка) при получении соответствующей информации о климате. При этом таймырская популяция оленей, как наиболее изученная, будет рассматриваться в качестве «модельной».

Этот же подход в рамках проекта IPY-CARMA может быть применен для оценки биоклиматической структуры ареалов диких северных оленей Северной Америки, Скандинавии и Гренландии, т.е. всей циркумполярной области Земли. Основная проблема при этом состоит в подготовке необходимой климатической информации.

Поскольку сеть метеостанций на севере Америки гораздо реже, чем в России, встает вопрос об использовании спутниковой и модельной информации. Ее применение в биоклиматических расчетах позволило бы получить более точные и качественно новые сведения о климатической структуре. Проблема заключается в составе климатических факторов, данные по которым можно получить со спутников, а также в организационной и коммерческой стороне подготовки и предварительной обработки данных.