

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОКЛИМАТИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ АРЕАЛА

В. Ю. Мордовин¹, В. В. Михайлов²

¹Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крайнего Севера СО РАСХН, ²Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

¹НИИСХ Кр. Севера, Комсомольская ул., д.1, Норильск, 663302, ²СПИИРАН, 14-я линия В.О., д.39, Санкт-Петербург, 199178

¹<mordovinvladimir@mail.ru>, ²<mww@croquet.ru>

УДК 599.735

Мордовин В. Ю., Михайлов В. В. **Моделирование биоклиматической структуры ареала** // Труды СПИИРАН. Вып. 3, т. 2 — СПб.: Наука, 2006.

Аннотация. Представлена комплексная двухкомпонентная модель для расчетов биоклиматической структуры ареала диких северных оленей, включающая функциональную модель энергопотери животных и информационную модель климата ареала. Комплекс предназначен для решения двух основных задач — построения биоклиматических полей ареала и анализа влияния тех или иных сочетаний погодно-климатических условий на оленей. С помощью моделей по среднемесячным данным проведены биоклиматические расчеты ареала таймырской популяции диких северных оленей. Проведены также имитационные эксперименты по оценке влияния температуры воздуха, ветра, солнечной радиации, глубины снежного покрова на величину энергозатрат животных и выявлению критических значений погодно-климатических факторов. Практическое применение результатов — биоклиматическая индикация Арктики, анализ и прогнозирование пространственного размещения животных и их миграций, возможные изменения пространственной структуры популяции при климатических изменениях. — Библ. 24 назв.

UDC 599.735

Mordovin V. J., Michailov V. V. **Model of power expenditure of animals and climate** // SPIIRAS Proceedings. Issue 3, т. 2 — SPb.: Nauka, 2006.

Abstract. The complex two-components model for calculations of bioclimatic structure of the wild reindeers habitat, including functional model energy expenditure for animals and information model of a climate is submitted. The complex is intended for the decision of two primary goals — constructions of bioclimatic domains for the habitat and the analysis of influence of those or other combinations of weather-climatic conditions on reindeers. With help of models on the monthly average data bioclimatic calculations of the Taimyr reindeer population habitat are carried out. Imitation experiments are lead also according to influence of air temperature, wind velocity, solar radiation, cloud cover, snow cover condition, size of power inputs of animals and to revealing of critical values of weather-climatic factors. Practical application of results — bioclimatic indication of Arctic regions, the analysis and forecasting of spatial accommodation of animals and their migrations, probable changes of spatial structure of a population at climatic changes — Bibl. 24 items.

1. Введение

В Арктике изменения погоды и влияние климатических трендов на биосферу наиболее значительны. Являясь традиционной и фундаментальной физико-географической и экологической характеристикой климат, вместе с тем, как экосистемный фактор рассматривается преимущественно дескриптивно, часто без учета видовой специфики организмов. Количественные исследования динамики полярных экосистем в зависимости от биоклиматических факторов с целью диагностирования и прогнозирования их состояния включают большое число междисциплинарных аспектов, многие из которых мало изучены [1, 7, 16, 17].

В качестве конкретного объекта исследований мы рассматриваем ареал таймырской популяции диких северных оленей, охватывающий разнообразные ландшафты севера Средней Сибири с площадью около 1,5 млн. кв. км. Олени как компонент экосистем северной полярной области испытывают влияние погодно-климатических воздействий на всех уровнях системной организации — индивидуальном, популяционном, видовом и биоценотическом. Ареал жизнедеятельности северных оленей включает циркумполярную область Северного полушария Земли, а также внутриконтинентальные области Евразии и Северной Америки с широким пространственно-временным диапазоном климатических изменений. Ареалы отдельных популяций животных существенно различаются как по территориальной протяженности, так и по климатическим условиям. Это создает неоднородные условия биологической пластичности вида, продуктивных и экономических показателей сельскохозяйственного использования биоклиматических ресурсов ареалов. Описание биоклиматической структуры ареала северных оленей с помощью функциональных и информационных моделей позволяет визуализировать влияние погодно-климатических факторов на животных внутри конкретных территорий их обитания.

Для характеристики связи биологических и климатологических характеристик используются различные биоклиматические индикаторы [25]. Основные климатические параметры могут рассматриваться как биоклиматические, если установлено соответствие между ними и теми биологическими показателями состояния животных, которые фиксируются с помощью наблюдений или измерений, с целью контроля за индивидуальными и популяционными изменениями.

Вместе с тем кроме собственно климатических параметров существует ряд биоклиматических показателей, позволяющих количественно оценить синергическое влияние климатических факторов на живые организмы. Некоторые из них описывает теория термоклиматических индексов.

В настоящей работе интегральным параметром влияния климата на северных оленей выбрана величина энергозатрат животных [2, 6]. Пространственно-временное распределение энергозатрат следует рассматривать как одно из информационных биоклиматических полей ареала популяции животных или как его биоклиматический домен в другой терминологии. Расположение и сезонная динамика зон энергетического оптимума и пессимума поля определяют либо более предпочтительные, либо более суровые для животных области жизнедеятельности в зависимости от погодно-климатических условий. Подробное описание модели энергозатрат животных и полученных с ее помощью результатов по оценке теплопроводности меха и тканей, теплоотдачи животных в зимний период, влиянию инсоляции и активности на термический режим организма представлены в Трудах СПИИРАН (Вып. 2, т. 2), а также в работах [12, 22, 24].

2. Информационная модель климата ареала

2.1. Общая характеристика информационной модели климата ареала

Информационная модель климата представлена каталогами файлов информационных массивов и цифровых карт. Она содержит стандартные климатические поля, построенные по данным метеорологической сети, либо по данным дистанционного зондирования атмосферы с помощью космического теле-

метрического оборудования. Модель обеспечивает отбор и графическое представление массивов исходной климатической информации и результатов биоклиматических расчетов для содержательного анализа и интерпретации этих данных предметными специалистами. Второе назначение информационной модели климата — использование сосредоточенных в ней данных для проведения расчетов на модели энергозатрат животных. По этой причине в состав данных информационной модели климата включены все погодноклиматические, географические и астрономические элементы, являющиеся «климатическими входами» модели энергозатрат: температура воздуха, скорость ветра, высота и плотность снежного покрова, прямая солнечная радиация, диффузная радиация, облачность, высота Солнца, астрономически возможная продолжительность солнечного сияния, абсолютная продолжительность солнечного сияния, географические координаты станций и пунктов наблюдений. В состав данных включены также дополнительные параметры (например, атмосферное давление, векторы циклонической активности), необходимые для понимания динамики синоптических и климатических процессов в ареале популяции.

Пространственно-временная дискретность данных информационной модели климата, а следовательно, и техника вычислений, задается согласно типу решаемых задач. Для оперативных оценок необходимы срочные данные, снятые непосредственно в местах пребывания животных, либо измеренные в регламентированные сроки наблюдений на метеостанциях. Для ретроспективных исследований размещения популяции в зависимости от метеофакторов должны использоваться данные Госфонда о состоянии окружающей природной среды. Для общих оценок биоклимата ареала достаточна справочная климатологическая информация. Для исследования экосистемных трендов в связи с глобальными изменениями климата необходимы прогнозные оценки и данные, которые получены с помощью климатологических моделей и моделей экосистем.

Полная визуализация многомерной динамики модели, представляет многоступенчатую иерархию выполнения достаточно сложных задач, в том числе: получение, передачу, переработку, хранение, извлечение, графическое представление, печать и интерпретацию больших объемов числовой информации. Вместе с тем технические ограничения для решения этой задачи практически отсутствуют в связи с быстрым развитием вычислительной техники и ГИС технологий.

Определение числовых значений входного информационного массива модели климата проведено с использованием литературных источников и материалов, предоставленных отделом биологии промысловых животных НИИСХ Крайнего Севера. Для анализа многолетних рядов метеоданных была использована информация Госфонда. Данные из актинометрических и метеорологических ежемесячников получены в архиве ГГО им. Воейкова. Метеоданные, необходимые для работы с моделью, состоят из блока экспериментальной информации для отладки модели и системы информационных массивов натуральных данных для проведения биоклиматических расчетов. Для этого использовались данные климатического справочника, результаты изысканий и разработок ВНИИГМИ-МЦД (Мирового центра данных), в частности: СУД Аисори — специализированная СУБД для иерархической структуры данных, которые описываются средствами Языка описания гидрометеорологических данных; карты метеорологических полей, полученные в результате электронной обработки спутниковой информации.

Совместно информационная модель климата и функциональная потоковая модель энергозатрат популяции составляют единый комплекс, обеспечивающий проведение биоклиматических расчетов в двух вариантах – в фиксированной точке ареала для получения зависимости энергозатрат от времени, и на множестве точек ареала для получения полей энергозатрат в фиксированный момент дискретного времени.

Для проведения расчетов по таймырской популяции диких северных оленей и анализа особенностей климата были созданы массивы актинометрических и гидрометеорологических данных для 26 метеостанций в пределах ареала популяции (рис. 1). В качестве примера на рис. 2 и 3 показан фрагмент информационной модели климата: геоинформационные карты атмосферного давления на уровне моря и температуры воздуха у поверхности земли в январе. Пространственно-временная дискретность гидрометеорологических данных позволяет обеспечить их привязку к модели энергозатрат животных и решить прикладные задачи по определению зависимости энергозатрат от температуры воздуха, скорости ветра, глубины снежного покрова, выявлению границ толерантности оленей, исследованию факторов миграционной активности.

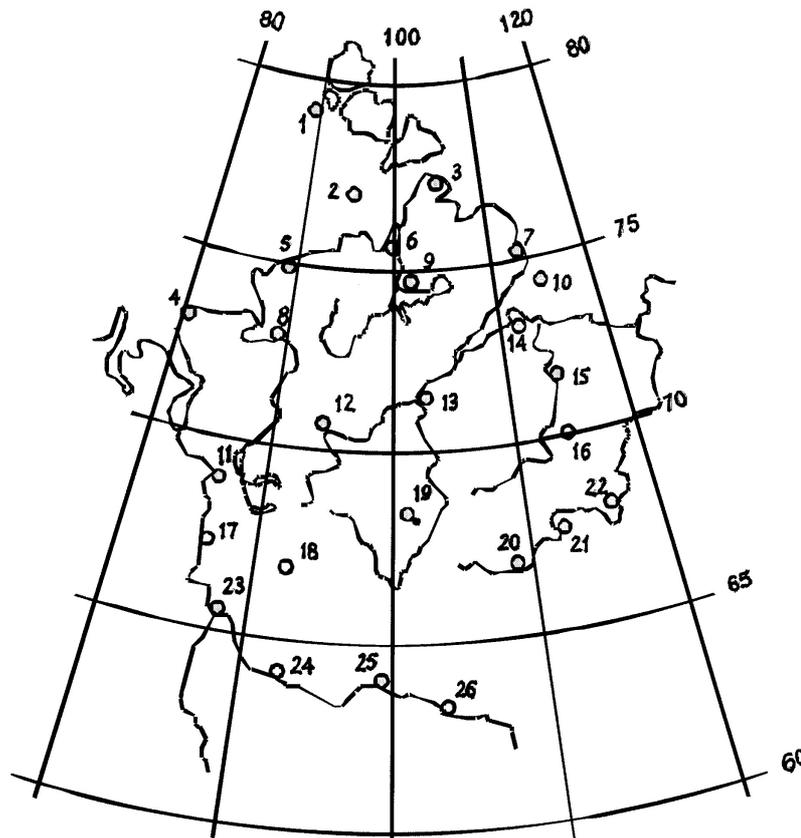


Рис. 1. Карта-схема сети метеорологических станций в пределах ареала таймырской популяции диких северных оленей.

1) Голомянный остров, 2) Русский остров, 3) Челюскин, мыс, 4) Диксон остров, 5) Стерлигова, мыс, 6) устье Таймыры, 7) Прончищевой бухта, 8) Усть-Тарей, 9) Таймырское озеро, 10) Уединения остров, 11) Дудинка, 12) Волочанка, 13) Косистый, мыс, 14) Саскылах, 15) Джалинда, 16) Игарка, 17) Агата, 18) Ессей, 19) Оленек, 20) Яролин, 21) Туой-Хая, 22) Туруханск, 23) Тутончаны, 24) Тура, 25) Кислокан, 26) Хатанга.

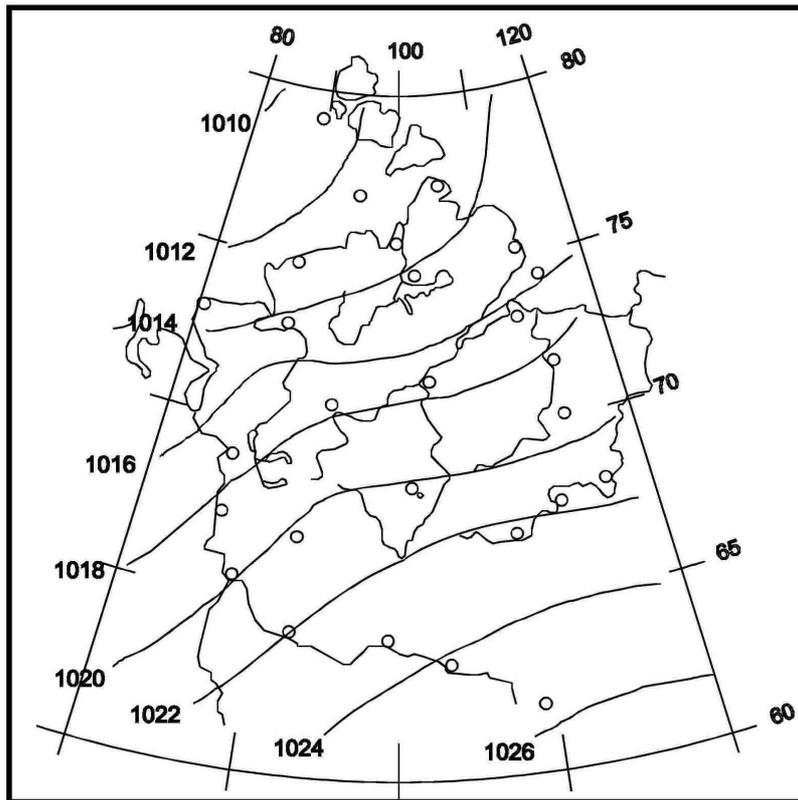


Рис. 2. Атмосферное давление на уровне моря, гПа. Январь.

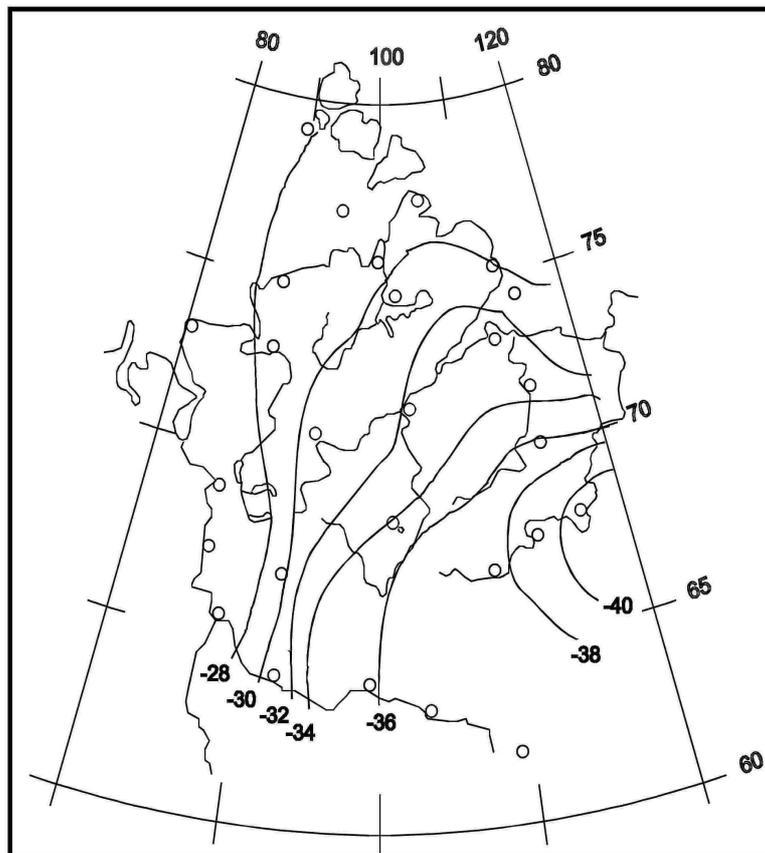


Рис. 3. Температура воздуха, °С. Январь.

Гидрометеорологические данные весьма репрезентативны: представлены многолетними рядами основных метеозлементов, измеренных в 8 регламентированных часовых сроках ежесуточных измерений. Климатологические данные могут быть получены для любого пространственно-временного радиуса усреднения. При практических расчетах использовался как суточный, так и месячный интервал фиксирования климатологических рядов.

Использование этой информации в северном оленеводстве, построение региональных и циркумполярных биоклиматических карт (например, для Европейского Севера, Якутии и Аляски) до последнего времени не практиковалось.

Современные методы и техника получения климатической информации для характеристики климата ареала, использование аэро-космических дистанционных зондов, математических моделей климата, геоинформационных систем позволяют в совокупности решать задачи не только регионального, но и более крупного масштаба, учитывающие современные изменения климата, а также теоретические и эмпирические обобщения биосферных феноменов.

2.2. Описание процесса разработки информационной модели климата ареала

В процессе построения биоклиматической модели популяции создаются модели как функциональные, так и информационные, совокупность которых можно рассматривать как модель системы «популяция-климат». Таким образом, информационная модель климата ареала популяции является подмножеством модели этой системы.

При разработке модели биоклиматической системы выделяют макро- и микроуровни, относящиеся к разработке конкретной модели. Если считать макропроцессом создание модели биоклимата ареала популяции, то микропроцессом — это создание информационной климатической модели в отдельной его точке. Шаги микропроцесса включают: предварительные эскизы решений, организацию климатических данных, их специфицирование, верификацию, проверку их адекватности, интеграцию в виде таблиц, прототипирование для использования в функциональных сетях, тестирование прототипов, оценку результатов моделирования, осмысление всех этапов моделирования.

В процессе разработки информационной модели климата ареала используются различные модели климатических данных. Моделью данных будем называть описание организации погодно-климатических данных в системе, используя терминологию объектно-ориентированного проектирования.

Модель климатических данных согласуется с моделью системы «популяция-климат» согласно уровню сложности задачи биоклиматологии. В системе «популяция-климат» обе компоненты являются весьма сложными системами, вместе с тем, характеризуемыми ограниченным набором параметров [3, 14]. Число параметров, описывающих климатическую систему, в связи с влиянием погодно-климатических факторов на животных, изменяется в зависимости от того, какие климатические факторы рассматриваются в энергообмене организмов, и какие компоненты климатической системы учитываются при расчетах. Например, в упрощенных моделях рассматривается влияние на энергообмен животных только температуры воздуха, а в сложных моделях — список параметров, учитывающих динамику состояний атмосферы и деятельного слоя подстилающей поверхности, включая океан, лито- и криосферу [9, 11, 21]. В дополнение отметим, что в последние годы сформировалось понимание того, что на

масштабах времени от сотен до сотен миллионов лет в качестве важнейшего компонента климатической системы необходимо рассматривать также саму биосферу. В соответствии с идеями В. Р. Вернадского, Дж. Лавлока и их последователей биота Земли рассматривается как единственный механизм поддержания пригодных для жизни условий окружающей среды в локальных и глобальных масштабах [4, 8, 13, 23].

В биоклиматической модели ареала основными элементами модели климатических данных являются таблицы, представляющие некоторые сущности, в которых столбцы представляют атрибуты сущностей, а строки — экземпляры сущностей. При генерации новых таблиц, используемых в функциональной модели, используются иерархическая модель гидрометеорологических данных, лежащая в основе специализированной системы управления данными Аисори, и реляционная модель, позволяющая манипулировать данными при расчетах на сетях.

Таблица — это множество ячеек с данными, образующих строки и столбцы прямоугольной формы. Строки таблицы (экземпляры сущности) называются записям. Столбцы (атрибуты сущности) называются полями. Каждая запись таблицы «температура воздуха у поверхности земли» для конкретной географической точки представляет экземпляр сущности «данные статистической обработки регистрации приземной температуры воздуха на метеостанции с заданными географическими координатами». При биоклиматическом моделировании любая запись таблиц входных климатических данных представляет экземпляр глобальной сущности «климат ареала популяции».

Данные, хранящиеся в ячейках одного столбца, принадлежат одному домену. Домен определяет набор допустимых значений и операций над данными. То есть данные в ячейках одного столбца должны быть одного типа.

В транспонированной таблице «*ТВ*» информационной модели климата атрибутам температуры воздуха соответствуют поля «месяц», «сокращение» (сокращенное название указателя климатического свойства, даты, отклонения от нормы и т.п.), «среднемесячное значение» (табл. 1). Транспонирование таблицы выполнено для удобства ее представления и печати.

Связь — это логическое отношение между сущностями, выражающее правило композиции сущностей в алгоритмической сети. В модели климатических данных сетевая связь — это связь между записями, основанная на одновременном использовании всех атрибутов на каждом шаге вычислений на сети. Например таблица «температура воздуха» связана с таблицей «облачность» сетевым отношением, которое характеризуется совпадением значения атрибута «месяц».

Таблица 1

Температура воздуха

« <i>ТВ</i> » температура воздуха у поверхности земли, °С. Метеостанция Челюскин, мыс.												
Месяц	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сокращение	Я	Ф	Мт	Ап	Мй	Ин	Ил	Ав	С	О	Н	Д
Средне- месячное значение	-25	-23	-20	-15	-7	2	8	6	-5	-15	-20	-22

2.3. Формирование архивов цифровых карт

Прежде чем включить данные из полученного архива в сетевую модель, выполняется их картографическая обработка и формируется архив цифровых карт. Эти действия преследуют две цели: во-первых, визуализацию исходных данных для их дополнительного тестирования, во-вторых, для их географической привязки к конкретному объекту биоклиматического анализа. Климатологические карты являются средством представления полей основных параметров климатической системы и результатом ее информационного моделирования, с которым работает предметный специалист. Создание цифровых карт выполняется с использованием универсальных и специализированных систем графической обработки данных. Климатологические и синоптические карты могут быть построены как самостоятельно (рис. 2, 3) так и получены с помощью факсимильной или Интернет-связи из Гидрометцентра.

Архив цифровых карт формируется на жестком диске и представлен двумя видами структуры, отражающими технологию их создания, дальнейшей обработки и передачи: 1) структуру архива исходных графических объектов и векторных карт; 2) структуру архива растровых карт.

Структура архива векторных карт представлена трехуровневым деревом файлов, отражающим процесс конструирования прототипа карт месячных полей метеоэлементов с учетом вида картографической проекции, частоты координатной сетки и точности представления контуров географических объектов, результатов выполнения интерполяционных процедур, насыщения карт необходимой пояснительной текстовой и пиктографической информацией, преобразования форматов графической информации и ее интеграции.

Структура архива растровых карт представлена деревом файлов одного или двух уровней и отражает требования по графическому представлению документов.

Феноменологическая диагностика архива — это распознавание особенностей синоптических и климатических полей с точки зрения их значимости для биологических объектов при исследовании экосистемных связей популяции северных оленей. Это могут быть особенности географического размещения экстремумов полей радиации, температуры воздуха и скоростей ветра, характер траекторий барических образований, статистические характеристики опасных явлений погоды и т.п.

Когнитивный поиск — это поиск в архиве ответов на четко поставленный вопрос, ответ на который заранее может быть неизвестен, например, к какому географическому району ареала популяции приурочена зона процессов, сопутствующих образованию ледяной корки на поверхности снега в текущем сезоне, каким был характер распределения радиационного баланса животных в в голоцене и т.п.

3. Расчеты биоклиматической структуры ареала

Ареал таймырской популяции диких северных оленей (АТП) как объект биоклиматического анализа охватывает обширный сектор Арктики, занимающего весь север Средней Сибири, вместе с тундровой зоной полуострова Таймыр и зоной полярных пустынь, а также лесотундровой и северотаежной зоной Эвенкии и северо-западной Якутии [10, 15].

Район Таймырского полуострова является одним из ключевых в формировании погоды на всем северном полушарии в том смысле, что с ним связан полюс атмосферной циркуляции (ПЦ) как центр циркуляции всей атмосферной массы, опоясываемой с юга планетарной фронтальной зоной. Этот центр циркуляции называют таймырским ПЦ. Область рассеяния точек позиционирования ПЦ образует подобие эллипса, главная ось которого ориентирована от Таймыра в сторону Северо-Канадского архипелага.

Это приводит к тому, что амплитуда «полюсного прилива» в районе Таймыра всегда заметно больше чем где-либо. Изменчивость температурного режима района составляет примерно 50% суммарной изменчивости температурного поля всей Арктики, включая Северо-Европейский, Восточно-Сибирский, Аляскинский и Северо-Канадский районы. Нулевая изаномала Евразии, построенная по многолетним среднегодовым и среднеянварским данным измерений температуры воздуха, оконтуривает Западный Таймыр, разделяя атлантический и континентальный секторы тепловой климатической машины [19].

Отрицательные температуры, сопровождающие большую часть года, являются причиной многолетней мерзлоты грунтов, мощность которых на Таймыре наибольшая в мире. Кроме того, в Путоранах обнаружен ископаемый лед.

Близка к рекордной в районе Таймыра положительная величина ($P = 12.5$ гПа/10° мерид.) и изменчивость ($\sigma = 3.4$ гПа/10° мерид.) градиента давления января — этой наиболее репрезентативной циркуляционной характеристики. Причем его среднемноголетняя меридиональная составляющая в районе Анабарского плато имеет абсолютный глобальный максимум. Распределение атмосферного давления определяет законы трансформации воздушных масс, их перенос по высотам и у земли, условия циклогенеза и теплообмена в атмосфере и, следовательно, всей экосистемной динамики. Если рассматривать процессы циклогенеза для всей области АТП в целом, то они характеризуются наибольшей осенней активизацией. Следует отметить однако, что для севера и юга АТП эти показатели существенно различны. Так в январе повторяемость циклонов на Таймыре (и связанных с ними штормовыми ветрами) достигает 8 дней в месяц, в то время как восточнее Путораны (местах зимнего размещения оленей) она уменьшается до 2 дней или отсутствует вовсе. С декабря по март здесь устанавливается исключительно устойчивый антициклональный режим погоды с морозами, достигающими -55°C , практически штилевыми ветрами и мощными температурными инверсиями.

Результаты биоклиматического моделирования для условий полярной зимы показывают, что теплоотдача животных различна в отдельных точках ареала популяции. Это не согласуется с результатами измерений кислородного метаболизма животных, демонстрирующих квазистатичность зимнего энергобаланса животных в полевых условиях стационара «RANGIFER» [18]. Линейный рост теплопотерь сохраняется при использовании всех доступных морфофункциональных средств экономии тепла. Относительные изменения теплоотдачи в диапазоне температур -10°C — -55°C при скорости ветра 5 м/с составляют 45% (табл. 2).

На рис. 4 показан расчет изменчивости энергозатрат северного оленя массой 100 кг в фиксированной точке ареала в течение месяца в зависимости от типичной изменчивости метеофакторов. Колебания интегральной кривой энергозатрат имеют более выраженный характер по сравнению с колебаниями энергозатрат в зависимости от отдельных условий внешней среды. Амплитуда

Таблица 2

Изменчивость плотности потока тепла через поверхность тела животного PQW , Вт/м².

T, °C	-50	-45	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5
U, м/с										
0	92	88	84	83	81	80	78	77	72	67
5	109	104	99	97	96	94	92	90	84	77
10	120	115	109	107	105	103	101	98	91	84
15	131	125	119	116	114	112	109	106	98	90
20	142	135	128	125	123	120	117	113	105	96
25	152	145	137	134	131	128	124	120	111	102

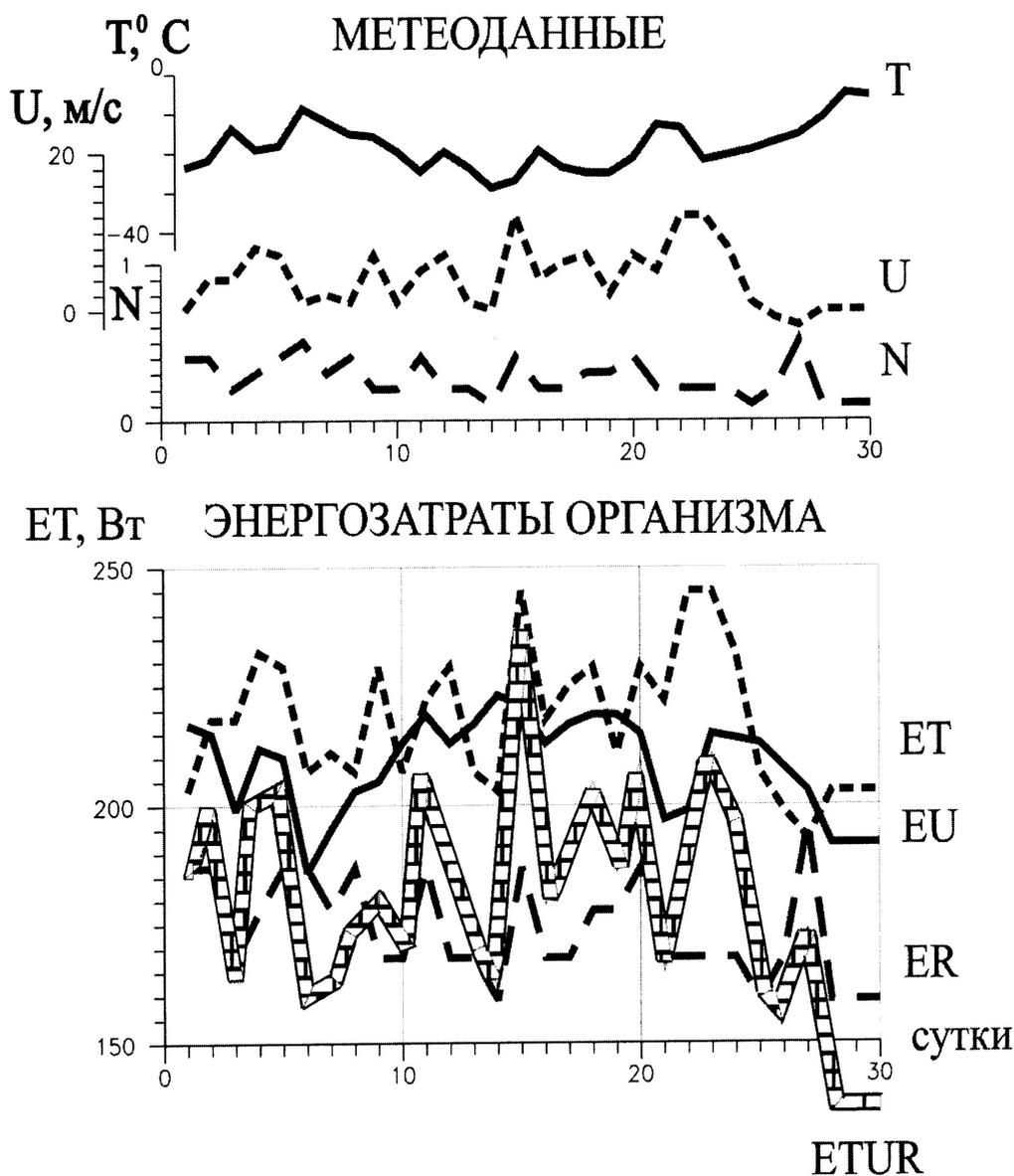


Рис. 4. Месячный ход энергозатрат в зависимости от метеофакторов.

T, U, R, N — температура воздуха, скорость ветра, суммарная радиация, облачность; ET — энергозатраты при постоянных U, R ; EU — энергозатраты при постоянных T, R ; ER — энергозатраты при постоянных T, U ; $ETUR$ — энергозатраты в зависимости от совместного влияния T, U, R .

колебаний значительна и по величине приблизительно равна мощности основного обмена.

С помощью модели рассчитано поле энергозатрат во всех точках ареала в течение года. Для зимнего периода географическое распределение энергозатрат животных показано на рис. 5 (слева). Поле энергозатрат существенно отличается от поля температуры воздуха в ареале популяции, рис. 3. В отличие от изотерм, повторяющих очертания континентальной границы, изолинии энергетического поля почти перпендикулярно пересекают ее, что свидетельствует о значительном вкладе в формирование поля нетемпературных факторов. Вместо ожидаемого минимума энергетического поля на севере ареала, в связи с увеличением температуры воздуха в сторону океана, оно имеет здесь максимум. Минимум поля расположен в южном и юго-восточном секторах ареала, где зимуют основные группировки животных.

На рис. 5 (справа) показаны результаты расчетов поля энергозатрат животных в апреле, когда его числовые значения минимальны. Заметно ослабление зональных градиентов поля по сравнению с зимой, а также выравнивание кривизны изолиний. Это приводит к потере географической выразительности

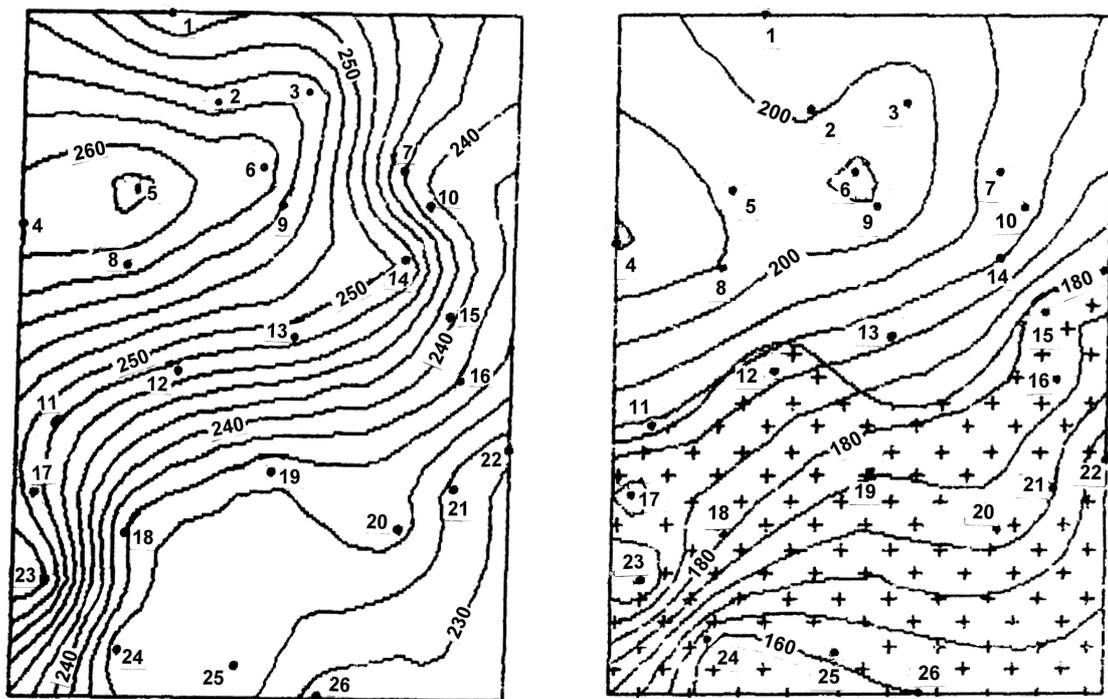


Рис. 5. Географическое распределение энергозатрат животных в их ареале в январе (слева), в апреле (справа). Точки с номерами показывают расположение метеостанций.

поля энергозатрат по сравнению с полями давления, температуры, высоты снежного покрова в ареале популяции, вскрывающих кардинальную сезонную перестройку термобарической ситуации, а также условий двигательной активности животных и вязкости грунта, на преодоление которой животными затрачивается значительная энергия. Однако более внимательный анализ поля энергозатрат обнаруживает существование обширной области теплового пессимума в период наиболее активной весенней миграции, вызванного энергетическим прессом на животных, обусловленного изменением радиационных фак-

торов апреля–мая. Биомеханическая мощность животных в этом месяце также достигает критических значений при преодолении животными топографического гребня распределения снега.

Перечисленные особенности биоклиматических полей относятся к их среднесезонным значениям. Погодно-климатические условия текущего сезона могут существенно отличаться от тех, которые формируют многолетнюю биоклиматическую структуру ареала животных. Однако использование в моделях синоптических данных приводит к резкому увеличению количества информации, что требует для ее усвоения и переработки дополнительных технических средств.

4. Заключение

Разработана функциональная потоковая модель энергообмена животных с учетом биоклиматических факторов. Сформированы входные климатические данные модели энергообмена животных и разработана информационная модель климата ареала. Входные погодно-климатические данные модели энергообмена животных формируются как по оперативным данным гидрометеорологических измерений, так и с использованием архивной информации. В случае одиночных и отрывочных данных их включение в алгоритмические сети не представляет трудностей. В случае массовых данных, организованных в специализированные базы гидрометеорологических данных, необходимо представление о структуре их организации в архивах и структуре данных, используемых в функциональных моделях.

При разработке информационной модели климата ареала популяции для ее применения при биоклиматических расчетах использовалась иерархическая модель архивных данных и реляционная модель данных, с которой оперируют алгоритмические сети. Информационная модель климата представлена каталогами файлов информационных массивов и цифровых карт. Файлы данных, необходимые при проектировании и конструировании карт, были использованы также для расчетов географически распределенных энергозатрат популяции, воссоздания полей энергозатрат по дискретным точкам и для выявления биоклиматической структуры территории обитания животных.

Литература

1. Анисимов О. А., Белолуцкая М. А. Оценка влияния изменения климата и деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России // Метеорология и гидрология. 2002. № 6. С. 15–22.
2. Будыко М. И. О тепловом балансе живых организмов // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1959. № 1. С. 29–35.
3. Васильев А. А. Теоретическая биология. М.: МФТИ, 2002. 354 с.
4. Вернадский В. Н. Философские мысли натуралиста. М.: Наука, 1988. 517 с.
5. Веселов В. М. Технологическая поддержка организации архивов Госфонда на ПЭВМ. Технология «Аисори – АРМ ЯОД-Архив» // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2002. Вып. 170. С. 66–85.
6. Винберг Г. Г. Энергетический принцип изучения трофических связей и продуктивности экологических систем // Зоол. журн. 1962. Т. 41, вып. 11. С. 1618–1630.
7. Горшков В. Г., Кондратьев К. Я. Концептуальные аспекты экологических исследований: роль энерго- и массообмена // Вестник АН СССР. 1988. № 10. С. 62–70.
8. Горшков В. В., Горшков В. Г., Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С., Макарьева А. М. Биотическая регуляция окружающей среды // Экология. 1999. № 2. С. 105–113.

9. *Каган Б. А., Лайхтман Д. Л., Оганесян Л. А., Пясковский Р. В.* Двумерная термическая модель Мирового океана // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. 1974. Т. 10, № 10. С. 1118–1122.
10. *Колпащиков Л. А.* Таймырская популяция дикого северного оленя (биологические основы управления и устойчивого использования ресурсов): Автореф. дис. докт. биол. наук. Норильск, 2000. 48 с.
11. *Лайхтман Д. Л.* Некоторые закономерности теплового режима Центральной Арктики // Тр. ААНИИ. 1959. №226. С. 42–47.
12. *Михайлов В. В., Мордовин В. Ю.* Модель энергозатрат животных и климат // Труды СПИИРАН. Вып. 2, т. 2. СПб.: Наука, 2004. С. 407–416.
13. *Моисеев Н. Н.* Человек и ноосфера. М.: Молодая гвардия, 1990. 349 с.
14. *Монин А. С.* Теоретические основы геофизической гидродинамики. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 424 с.
15. *Павлов Б. М. и др.* Экологическая структура популяции диких северных оленей Таймыра // Экология. 1971. №1. С. 49–56.
16. *Постников С. Н.* Экологическая энергетика животных в XX веке // Сб. трудов Второй Российской конференции: Физика в биологии и медицине. Екатеринбург, 2000. С. 15–31.
17. *Рубин А. Б., Ризниченко Г. Ю.* Математические модели в экологии // Итоги науки и техники. Сер. Математическая биология и медицина. 1988. Вып. 2. С. 113–172.
18. *Сегаль А. Н., Игнатов Ю. В.* Теплоотдача с поверхности тела у северного оленя (*Rangifer tarandus L.*) // Зоол. журн. 1974. Т. 53, вып. 5. С. 747–755.
19. *Шулейкин В. В.* Избранные труды. Крупномасштабное взаимодействие океана и атмосферы. М.: Наука, 1986. 175 с.
20. *Hahn G. L., Mader T. L. and Eigenberg R. A.* Perspective on development of thermal indices for animal studies and management // Symp. Proc.: Interactions between climate and animal production. European Association Of Animal Production Proceedings. 2003. Technical Series No. 7. Wageningen Academic Publishers. P. 31–45.
21. *Hart J. S. et al.* The influence of climate on metabolic and thermal responses of infant caribou // Can. J. Zool. 1961. Vol. 39. P. 845–856.
22. *Kolpaschikov L. A., Michailov V. V., Mordovin V. J.* Bioclimatic model of the habitat of wild reindeer. Norilsk: SAIMU, 2005. 27 p.
23. *Lavelock J.* The ages of Gaia. Oxford Univ. Press, 1995. 376 p.
24. *Michailov V. V., Mordovin V. J.* Modeling a bioclimate of the range // Proceedings of 31 International Symposium on Remote Sensing of Environment, 2005. [Компакт-диск]. 3 p.