

В.В. МИХАЙЛОВ, А.В. ПЕСТЕРЕВА  
**ЗООКЛИМАТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ  
НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ЖИВОТНЫХ  
И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ**

---

*Михайлов В.В., Пестерева А.В. Зооклиматический мониторинг на основе модели теплового баланса животных и ГИС-технологий.*

**Аннотация.** Рассмотрены вопросы зооклиматического мониторинга ареала с выделением на нем благоприятных для существования животных термонейтральных зон. Представлена методика определения структуры и границ термонейтральных зон с использованием модели теплового баланса северного оленя и ГИС-технологий. Приведены примеры построения зооклиматических полей территории обитания оленей на севере Средней Сибири.

**Ключевые слова:** зооклиматические поля, термонейтральная зона, тепловой баланс, тепловое сопротивление организма.

*Mikhailov V.V., Pestereva A.V. Zooclimatic monitoring based on the heat balance model and GIS-technology.*

**Abstract.** The article covers questions of zooclimatic monitoring with outlining of thermoneutral zones favorable to the existence of animals. The technique of determining the structure and boundaries thermoneutral zones using the reindeer heat balance model and GIS technologies. We present examples of zooclimatic distribution over deer habitat territory in northern Central Siberia.

**Keywords:** zooclimatic distribution, thermoneutral zone, heat balance, the thermal resistance of the organism.

---

**1. Введение.** Среди факторов внешней среды погода и климат занимают в жизни северных оленей ведущее место. Воздействие погодно-климатических факторов на оленей может быть прямым и косвенным. Прямое — это воздействие на теплообмен организма животного со средой и работу системы терморегуляции. Косвенные воздействия погодно-климатических факторов связаны с их воздействием на среду обитания: на продуктивность и доступность пастбищ, образование гололеда, на интенсивность лета кровососущих насекомых, развитие эпизоотий и др. Представленная в работе система зооклиматического мониторинга касается только прямых связей животных с погодно-климатическими условиями ареала. Цели мониторинга состоят в определении территорий, благоприятных для северных оленей по погодно-климатическим условиям и отслеживании их изменений. В отношении диких оленей эти знания позволят увеличить эффективность мер охраны популяции и промыслового использования ресурсов, в отношении домашних — обоснованно подойти к выбору сезонного размещения стад на пастбищах и снизить непроизводительный отход животных.

**2. Механизмы терморегуляции организма оленя и термонейтральные зоны.** Поддержание теплового баланса организма обеспечивается за счет работы систем физиологической, химической и поведенческой регуляции. Физиологические механизмы терморегуляции северного оленя включают пилоэрекцию (изменение толщины) меха, перераспределение потоков крови в оболочке, потоотделение, адаптивные изменение системы дыхания. Поведенческие механизмы терморегуляции — это изменение позы (отдых лежа или стоя), переход в заветренные или проветриваемые участки и т. п. В критических погодных условиях зимы угроза переохлаждения устраняется путем включения форм химической терморегуляции, которые обеспечивают компенсацию теплопотерь за счет роста теплопродукции организма животного. Это, как правило, холодовая мышечная дрожь и терморегуляционный мышечный тонус. Устранение перегрева летом происходит за счет снижения уровня метаболизма и, соответственно, теплопродукции организма животного. Пищевая активность ограничивается ночными часами, снижаются затраты энергии на пастьбу и специфическое динамическое действия пищи (СДД), на продуктивный обмен.

По современным представлениям [1, 2], благоприятными для существования животных являются зоны ареала, в которых поддержание теплового баланса происходит за счет работы физиологической системы терморегуляции. Такие зоны ареала называются термонейтральными. Источниками теплопродукции животного в границах термонейтральной зоны служат энергия основного и продуктивного обмена, СДД, образование тепла при выполнении механической работы. Дополнительные затраты энергии или ограничения ее поступления с пищей, направленные исключительно на поддержание теплового баланса организма отсутствуют. Теплопродукцию животного в пределах термонейтральной зоны прием за «нормальную» величину теплопродукции.

Различные районы термонейтральной зоны не идентичны по погодно-климатическим условиям и, соответственно, по реакции на них системы терморегуляции организма животных. Вблизи нижней границы зоны теплопроводность шерстяного покрова и тканей оболочки минимальны, как и тепловые потери, связанные с дыханием. Небольшое понижение температуры воздуха при этом может привести к выходу из термонейтральной зоны и переохлаждению организма. Вблизи верхней границы термонейтральной зоны имеет место обратная картина - теплопроводность шерстяного покрова, тканей оболочки близка к

максимальной, система дыхания переходит в режим полипноэ, при котором сброс тепла достигает предельной величины.

В пределах термонейтральной зоны величина теплопотерь относительно постоянна и равна «нормальной» теплопродукции организма, а стабильность тепловых потоков и тепловой баланс организма оленя поддерживаются за счет изменения теплового сопротивления шерстяного покрова, тканей оболочки и работы других механизмов терморегуляции. В целом, состояние физиологической системы терморегуляции можно оценить по величине обобщенного теплового сопротивления тела животного. Величину этого сопротивления будем определять отношением разности температур ядра (ректальной) и воздуха к теплопотерям организма. На нижней границе термонейтральной зоны сопротивление достигает максимального значения, ограниченного возможностями механизмов физиологической системы терморегуляции при фактических значениях метео- и актинометрических факторов, на верхней границе – минимального.

Обобщенное тепловое сопротивление является интегральным показателем, характеризующим воздействие погодно-климатических факторов на оленей, и может служить для оценки неоднородности термонейтральной зоны по погодно-климатическим условиям. В качестве показателя напряженности погодно-климатических условий для оленя примем нормированную величину сопротивления, равную нулю на верхней границе термонейтральной зоны, и единице – на нижней. Минимальная и максимальная величина сопротивления для нормировки должны быть рассчитаны при реальных значениях погодно-климатических факторов. Отклонение показателя напряженности от предельных величин будет характеризовать запас устойчивости системы терморегуляции животного к перегреву или переохлаждению в данных погодно-климатических условиях.

За границей термонейтральной зоны регулирование теплового баланса организма животного осуществляется за счет изменения теплопродукции при фиксированных значениях обобщенного теплового сопротивления, достигших своего предельного уровня. Показатель напряженности в прежнем виде здесь не работает. По этой причине напряженность погодно-климатических условий за границей термонейтральной зоны будем оценивать по величине фиктивного обобщенного сопротивления, рассчитываемого при снятых ограничениях физиологической системы терморегуляции и численно равного отношению разности температур ректальной и воздуха к «нормальной» теплопродукции организма. Нормирование выполняем по истинным пре-

дельным значениям теплового сопротивления. Величина показателя напряженности при этом может быть больше единицы или меньше нуля, что соответствует такому относительному увеличению или уменьшению предельных величин термосопротивления, которое обеспечило бы восстановление теплового баланса при «нормальной» величине теплопродукции. Чем больше относительно единицы или меньше относительно нуля показатель напряженности, тем суровее для оленя погодные-климатические условия, быстрее будет происходить переохлаждение или перегрев организма и большая энергетическая цена должна быть заплачена животным для восстановления теплового баланса. Эта цена соответствует дополнительным затратам энергии, направленным на компенсацию теплопотерь при переохлаждении и вычетах, сделанным из энергетического бюджета организма исключительно для устранения перегрева. В результате нарушается нормальный энергобаланс, обеспечивающий стабилизацию (или слабое снижение) массы в зимний период и ее интенсивный прирост летом. Энергетический дисбаланс приводит к падению защитных и репродуктивных показателей животных, вследствие чего олени длительное время в таких условиях существовать не могут.

Известно, что активность оленя складывается из циклического повторения основных форм поведения - передвижения, раскапывания снега (в зимний период), пастбы или поедания корма из лунок, отдыха в положении стоя или лежа. Длительность цикла составляет 4-5 часов [3, 4]. Каждая из форм характеризуется своим соотношением продуцирования и расходования тепла. Это позволяет животным компенсировать нарушение теплового баланса в пределах цикла активности, в котором имеются формы поведения как с избыточной величиной теплопродукции, так и недостаточной для компенсации теплопотерь [5]. Таким образом, структура термонейтральной зоны и ее границы в общем случае будут определяться усредненной в пределах цикла активности величиной обобщенного теплового сопротивления тела оленя.

В данной работе расчет обобщенного теплового сопротивления и оценку параметров термонейтральной зоны мы выполняли для лимитирующих форм активности. В летний период — это отдых в положении стоя. Если в этом положении животное не может сбросить излишки тепла, то оно не сможет обеспечить тепловой баланс организма без снижения теплопродукции или принятия других экстремальных мер — захода в воду, на снежники, наледи и т.п. В зимний период — это отдых в положении лежа, который занимает около 40% суточного бюджета времени оленя. Переохлаждение животного в этом состоянии

приводит к необходимости включения химических систем терморегуляции для восстановления теплового баланса или поиска заветренных участков для лежки. Исходя из этого, верхнюю границу термонейтральной зоны мы оценивали по нарушению теплового баланса (перегреву) организма оленя в положении «отдых стоя», нижнюю границу оценивали по нарушению теплового баланса (переохлаждению) в положении «отдых лежа».

Имеются обширные материалы о влиянии внешней среды на тепловое состояние животных, полученные экспериментальным путем (А.Ф. Давыдова, А.Я. Соколова, А.В. Кушнир, А.Н. Сегаль, А.Д. Слоним, Н.А. Чермных, A.S. Blix, C. Cuyler, S.G. Fancy, L.P. Folkow, H.K. Jonson, I.S. Hart, C.P. Lentz, E.N. McEwan, D. Russell, R.G. White и многие другие). Однако для анализа влияния метеофакторов в широком диапазоне их изменений и решения задач зооклиматического картирования и мониторинга этих данных недостаточно. Провести натурные эксперименты для произвольных сочетаний факторов среды, состояния организма животного и форм поведения не представляется возможным. По этой причине для расчета напряженности погодно-климатических условий, определения структуры термонейтральных зон и их границ была использована модель теплового баланса оленя, подробное описание которой имеется в работе [6].

**3. Процедура построения зооклиматических полей.** Построение зооклиматического поля ареала включает решение трех задач. Первая — это формирование массива входных данных для проведения модельных расчетов и построения зооклиматических полей. Массив содержит временные ряды актинометрических и метеоданных о температуре воздуха, скорости ветра, облачности, глубине и плотности снегового покрова, прямой и рассеянной солнечной радиации, высоте солнца. Это могут быть данные от сети метеостанций в ареале, метеоспутников и от других источников. Проблема заключается в отборе данных с тем или иным осреднением, их корректировки и форматирования [7]. Вторая задача — проведение расчетов на модели теплового баланса по сформированному массиву данных для определения напряженности погодно-климатических условий для оленей в локальных точках ареала. Третья задача — построение поля напряженности (зооклиматического поля ареала) и определение границ термонейтральной зоны.

Для манипуляции исходными данными, осуществления интерполяции и создания изолиний была выбрана открытая ГИС программа Quantum GIS (QGIS). Пакет QGIS по умолчанию включает ряд часто

используемых инструментов для работы с векторными и растровыми пространственными данными, а также позволяет расширять набор инструментов самостоятельно или использовать дополнения, созданные другими пользователями. В основе инструментов QGIS лежит библиотека пространственных функций gdal. В случае таких функций, как интерполяция точечных данных и построение изолиний, графический интерфейс дублирован генерируемыми командами gdal с учётом всех параметров. Графический интерфейс облегчает задачу первоначального подбора аргументов, например для интерполяции – таких, как алгоритм интерполяции, количество точек для аппроксимации, формат и границы растра на выходе. Сгенерированный код незаменим для автоматизированного построения ряда полей или изолиний с заменой только исходных значений.

Поля напряженности погодно-климатических условий были построены путем интерполяции рассчитанных величин, привязанных к расположению метеостанций. Интерполяция была проведена с использованием алгоритма обратно взвешенных расстояний — неизвестные значения ячеек растра в этом методе вычисляются по среднему от суммы известных значений в положениях метеостанций, находящихся вблизи каждой ячейки. Чем ближе точка к центру оцениваемой ячейки, тем больший вес, или влияние, имеет ее значение в процессе вычисления среднего. Построенные поля и изолинии были нанесены на карту вместе с метеостанциями и топографическими объектами. Для удобства сравнения карт всем полям была присвоена одинаковая цветовая шкала. Изолинии показаны с шагом в 0.2 и с утолщенными изолиниями границ термонейтральной зоны 0 и 1. В результате мы получили объективную количественную характеристику комплексного влияния погодно-климатических и радиационных факторов на тепловой баланс оленей в различных точках ареала с фиксацией границ термонейтральной зоны.

**4. Напряженность погодно-климатических условий в локальных точках ареала.** Для анализа зооклиматической структуры ареала диких северных оленей таймырской популяции и территории оленеводческих хозяйств Ямало-Ненецкого автономного округа (ЯНАО), нами были проведены расчеты напряженности условий для телят диких и домашних оленей и взрослых самцов (в положении «отдых стоя» и «отдых лежа»). Расчеты проводились по среднемесячным данным 1986 г. от 25 метеостанций, расположенных на указанной территории (рис. 1). Выбор 1986 г. связан с тем, что по погодно-климатическим

условиям он может быть отнесен к «средним» на интервале с 1970 до 1990 г.

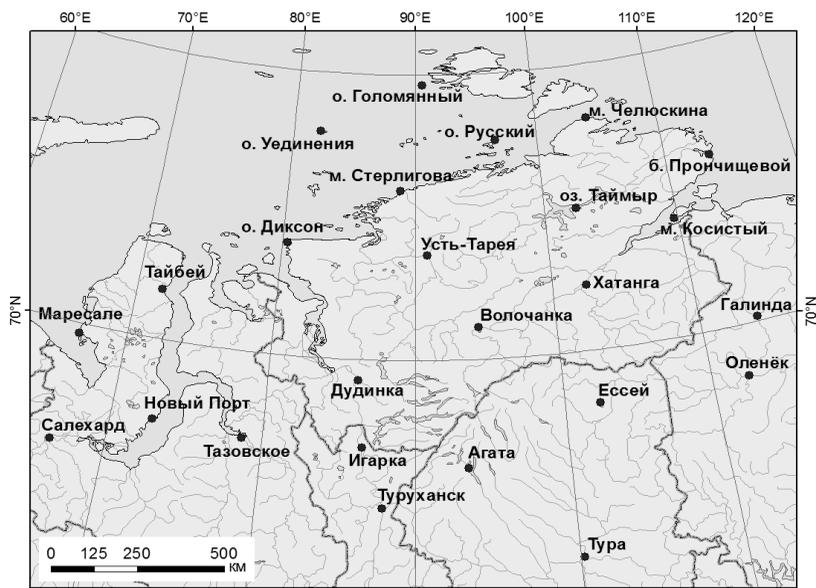


Рис. 1. Карта расположения метеостанций.

В результате были получены данные о величине напряженности погодных-климатических условий для оленей в районах расположения метеостанций. В качестве примера в табл. 1 приведены данные для телят северных оленей в положении стоя, а в табл. 2 — в положении лежа для 15 наиболее интересных точек на указанной территории. В табл. 1 отсутствуют зимние месяцы, когда по всем станциям наблюдается переохлаждение животных.

*Положение «отдых стоя».* Для телят диких северных оленей с декабря по февраль практически вся территория является зоной переохлаждения. В марте зона переохлаждения сдвигается до Агаты и Игарки, в апреле зона достигает района пос. Волочанка. В ЯНАО в марте-апреле зона переохлаждения телят диких оленей включает районы Тамбея, Маресале и Новый Порт. Для домашних оленей весной зона переохлаждения включает только северную часть Ямала — район Тамбея. В мае-июне (время отела диких и домашних оленей) и в сентябре-октябре (осенний нагул и подготовка к гону) вся территория является благоприятной для северных оленей термонейтральной зо-

ной. В июле-августе на территории возникают обширные зоны перегрева. В июле в ЯНАО — это районы Салехарда и Тазовского, на Таймыре и в Эвенкии — районы Дудинки, Волочанки, Хатанги и вся более южная часть территории. В августе зона перегрева смещается к югу до районов Ессей, Туры, Агаты и Игарки. Зоны перегрева телят диких и домашних оленей почти совпадают, хотя дикие перегреваются в меньшей степени ввиду меньшего веса.

**Таблица 1. Напряженность погодно-климатических условий для телят диких оленей в положении «отдых стоя» по метеоданным 1986 г.**

Метео станции	Месяц							
	4	5	6	7	8	9	10	11
м. Челюскина	1.13	0.80	0.45	0.17	0.17	0.45	0.86	1.07
Таймырское оз.	1.12	0.79	0.42	0.10	0.07	0.38	0.80	1.11
Диксон	1.08	0.75	0.42	0.10	0.17	0.29	0.65	0.84
Усть-Тарей	1.11	0.77	0.36	0.03	0.05	0.33	0.73	1.01
Хатанга	1.06	0.69	0.29	0.01	0.04	0.26	0.69	1.04
Волочанка	0.96	0.59	0.26	-0.13	0.02	0.19	0.71	0.86
Дудинка	1.05	0.63	0.29	-0.19	0.02	0.24	0.63	0.86
Игарка	0.82	0.47	0.17	-0.24	0.00	0.19	0.55	0.73
Агата	0.77	0.47	0.17	-0.20	0.00	0.17	0.54	0.82
Ессей	0.80	0.42	0.17	-0.19	0.00	0.15	0.55	1.01
Тура	0.63	0.36	0.17	-0.34	-0.1	0.12	0.49	0.86
Тайбей	1.06	0.72	0.38	0.12	0.13	0.26	0.63	0.72
Маресале	1.01	0.71	0.33	0.09	0.11	0.28	0.59	0.71
Новый Порт	1.00	0.69	0.33	0.02	0.03	0.29	0.59	0.77
Салехард	0.68	0.51	0.17	0.01	0.03	0.19	0.42	0.63

Взрослые самцы оленей более устойчивы к холоду, чем телята. При погодных условиях января 1986 г. ЯНАО, а также районы Туруханска и Игарки не входили в их зону переохлаждения. В феврале термонейтральные условия были в районах Туры, Агаты, Игарки и Туруханска, но ЯНАО попал в зону переохлаждения. В марте районы ЯНАО вышли из опасной зоны, в Эвенкии зона переохлаждения сдвинулась на север до Игарки, а в апреле — до районов Хатанги, Усть-Тареи, Диксона. В мае-июне и в сентябре-октябре вся территория являлась термонейтральной зоной для самцов северных оленей. В июле-августе для самцов образовались обширные зоны перегрева. В июле зона перегрева располагалась от районов Усть-Тареи, Хатанги и

южнее, на Ямале включала районы Нового Порта, Салехарда, Тазовского. В августе зона перегрева сместилась к югу до Волочанки, на Ямале она занимала южную часть полуострова — районы Салехарда и Тазовского.

В ноябре в приморских районах (о. Голомянный, Косистый, бухта Прончищевой), районе оз. Таймыр возникла зона переохладения, которая в декабре заняла всю территорию.

*Положение «отдых лежа».* Как показали расчеты, при погодных условиях 1986 г. телята с января по июнь и с сентября по декабрь не испытывают перегрева или сильного переохладения, хотя зимой находятся вблизи нижней границы термонейтральной зоны. Однако летом в июле-августе почти вся территория становится зоной перегрева. Взрослые самцы зимой не испытывают переохладения, но в июле-августе (в некоторых точках — в сентябре) перегреваются.

**Таблица 2. Напряженность погодно-климатических условий для телят диких оленей в положении «отдых лежа» по метеоданным 1986 г**

Метеостанции	Месяц									
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Челюскина мыс	0.92	0.48	0.3	-0.1	-0.1	0.12	0.53	1.04	0.99	
Таймырское озеро.	0.88	0.46	0.28	-0.2	-0.3	0.09	0.48	1.03	1.04	
Диксон	1.04	0.46	0.28	-0.2	-0.1	0.06	0.37	0.53	0.97	
Усть-Тарей	1.03	0.46	0.21	-0.3	-0.3	0.07	0.41	0.67	1.04	
Хатанга	1.04	0.39	0.16	-0.4	-0.3	0.05	0.39	1.04	1.04	
Волочанка	0.62	0.32	0.14	-0.5	-0.4	0.04	0.41	0.55	0.94	
Дудинка	1.04	0.34	0.16	-0.5	-0.4	0.05	0.34	0.55	0.97	
Игарка	0.51	0.21	0.08	-0.5	-0.4	0.04	0.28	0.44	1.04	
Агата	0.46	0.21	0.07	-0.5	-0.4	0.03	0.25	0.51	1.04	
Ессей	0.48	0.19	0.07	-0.6	-0.4	0.02	0.28	0.65	0.92	
Тура	0.35	0.12	0.04	-0.6	-0.5	0.01	0.23	0.53	0.9	
Тайбей	0.48	0.21	0.06	-0.5	-0.4	0.04	0.37	1.04	1.01	
Маресале	0.69	0.46	0.25	-0.2	-0.2	0.05	0.25	0.67	1.04	
Новый Порт	0.53	0.35	0.21	-0.3	-0.3	0.04	0.28	0.48	0.62	
Салехард	0.53	0.35	0.16	-0.4	-0.4	0.03	0.3	0.55	0.71	

Результаты расчетов на модели теплового баланса соответствуют имеющейся информации о поведении оленей на Таймыре в разные сезоны года — отдых преимущественно в положении лежа зимой и в положении стоя летом. Май и июнь по тепловым условиям являются

наиболее благоприятными месяцами для размножения, а сентябрь-октябрь — для осеннего нагула оленей, когда прекращается лет кровососущих насекомых, а погодные условия исключают как перегрев, так и переохлаждение животных на всей территории их обитания.

Зимой практически вся территория является термонейтральной зоной для оленей в положении лежа. Это дает возможность отдельным стадам и мелким группировкам оленей оставаться на зимовку в тундровых районах Таймыра, где их численность ограничивается не погодно-климатическими, а пищевыми факторами.

**5. Поля напряженности и границы термонейтральных зон.** На рис. 2 показаны поля напряженности и положение границы зон перегрева для телят диких оленей в положении «отдых стоя» в июле при нормальных погодных условиях 1986 г. и при повышении температуры воздуха на 4°C (другие факторы не менялись). Аналогичные сведения приведены для телят домашних оленей (рис. 3) и взрослых самцов (рис. 4). Как видно из рисунков, увеличение среднемесячной температуры воздуха в июле на 4°C приводит к существенному смещению на север районов комфортного существования оленей, причем в наибольшей мере это касается взрослых особей.

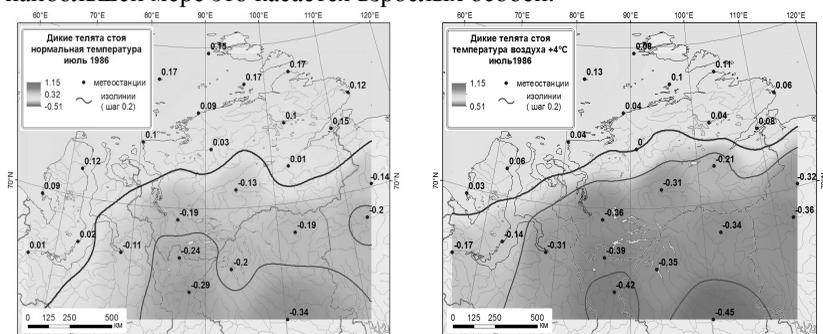


Рис. 2. Поля напряженности погодно-климатических условий для телят диких оленей в положении «отдых стоя», июль 1986 г.  
слева:  $t^0$  — норма, справа:  $t^0 + 4^{\circ}\text{C}$ .

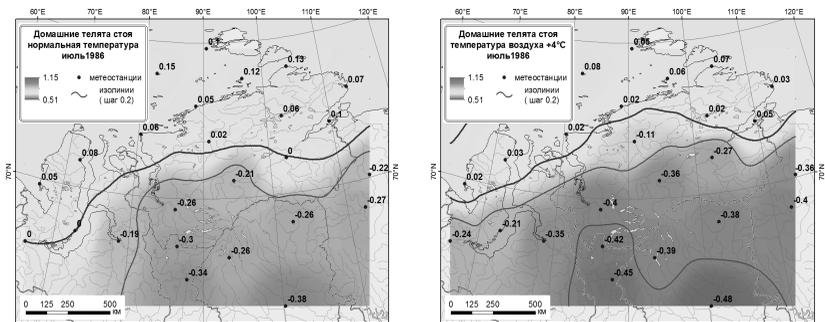


Рис. 3. Поля напряженности погодно-климатических условий для телят домашних оленей положения «отдых стоя», июль 1986 г.  
слева:  $t^0$  — норма, справа:  $t^0 + 4^{\circ}\text{C}$ .

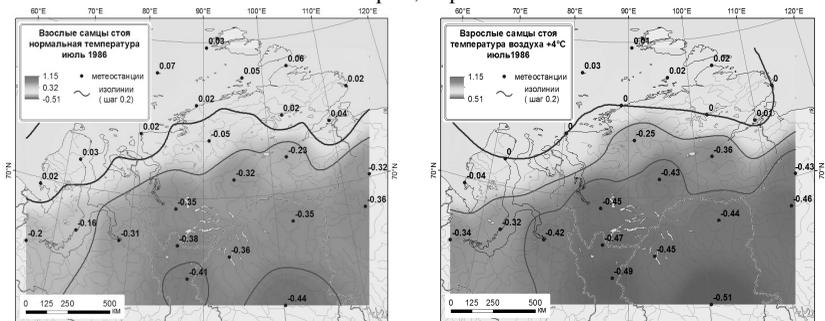


Рис. 4. Поля напряженности погодно-климатических условий для взрослых самцов оленей, положение «отдых стоя», июль 1986 г.  
слева:  $t^0$  — норма, справа:  $t^0 + 4^{\circ}\text{C}$ .

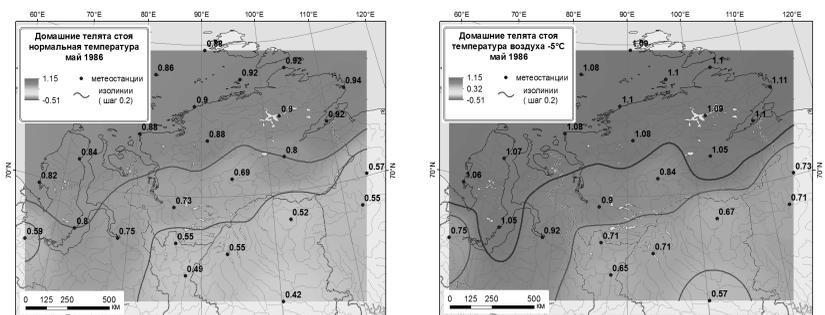


Рис. 5. Поля напряженности погодно-климатических условий для телят домашних оленей положения «отдых стоя», май 1986 г.

слева:  $t^0$  — норма, справа:  $t^0 - 5^{\circ}\text{C}$ .

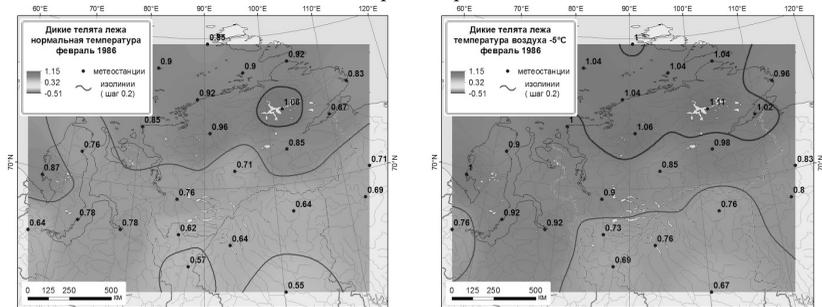


Рис. 6. Поля напряженности погодно-климатических условий для телят диких оленей в положении «отдых лежа», февраль 1986 г.

слева:  $t^0$  — норма, справа:  $t^0 - 5^{\circ}\text{C}$ .

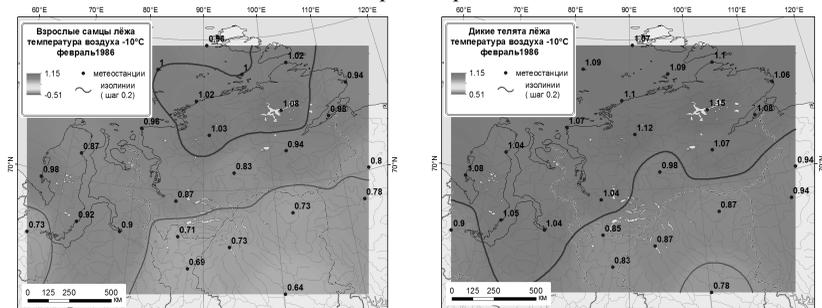


Рис. 7. Поля напряженности погодно-климатических условий для взрослых самцов (слева) и телят диких оленей (справа) в положении «отдых лежа», февраль 1986 г.  $t^0 - 10^{\circ}\text{C}$ .

На рис. 5 приведены поля напряженности для новорожденных телят домашних оленей в положении «отдых стоя» в мае при нормальных погодных условиях 1986 г. и при понижении температуры воздуха на  $5^{\circ}\text{C}$ . Видно, что при нормальных условиях телята не переохлаждаются. При снижении температуры на  $5^{\circ}\text{C}$  возникает зона переохлаждения, которая располагается на Таймыре к северу от уровня Дудинка-Волочанка-Хатанга и в ЯНАО — от уровня Салехард-Тазовское.

На Рис. 6 показаны поля напряженности и положение границы зон переохлаждения для телят диких оленей в положении «отдых лежа» в феврале при нормальных погодных условиях 1986 г. и при понижении температуры воздуха на  $5^{\circ}\text{C}$ . При нормальных условиях зона переохлаждения занимает лишь небольшую территорию в районе Таймырского озера. При понижении температуры на  $5^{\circ}\text{C}$  граница термоней-

тральной зоны смещается до уровня Диксона–Усть-Тареи–Хатанги. Для взрослых оленей территории Таймыра и ЯНАО являются комфортной зоной для отдыха в положении лежа как при нормальных погодных условиях февраля 1986 г., так и при снижении температуры на 5°C. При понижении температуры на -10°C термокомфортными для телят остаются лишь южные районы ареала — Игарка, Агапа, Ессей, Туруханск, Тура (рис. 7).

Взрослые животные менее чувствительны к снижению температуры воздуха. Для них зона переохлаждения будет занимать лишь районы Таймырского озера и Усть-Тареи, а также прибрежную часть севера полуострова.

**6. Заключение.** Предложенный модельный подход позволяет количественно оценить интенсивность воздействия на животных комплекса погодно-климатических факторов, позволяет определить территориальные границы термонейтральной зоны и отслеживать их изменения в системе интегрированного экологического мониторинга. Данная методика может быть применена к другим популяциям северных оленей Евразии и карибу Северной Америки, а после модификации модели теплового баланса — к животным других видов.

### Литература

1. *Иванов К.П.* Биоэнергетика и температурный гомеостазис. Л.: Наука ЛО, 1972. 168 с.
2. *Соколов А.Я., Кушнир А.Р.* Терморегуляция и биоэнергетика северного оленя. Новосибирск: Изд. СО РАН, 1997. 178 с.
3. *Овсов А.С.* Терморегуляторные механизмы природных адаптаций северного оленя. Автореф. канд. дисс. Л.:1991. 20 с.
4. *Колтащиков Л.А.* Таймырская популяция дикого северного оленя (биологические основы управления и устойчивого использования ресурсов). Автореф. Дисс. на соискание учен. степени доктора биол. наук. М.: 2000.48 с.
5. *Колтащиков Л.А., Зырянов В.А.* Некоторые закономерности питания диких северных оленей // Биологические проблемы Севера. Сыктывкар, 1981. Ч. 2. С. 30-31.
6. *Михайлов В.В.* Модель регулирования теплового баланса северного оленя, учитывающая сезонные изменения радиационных и метео факторов. Труды СПИИРАН, вып.6, 2013. С .
7. *Михайлов В.В., Филь Ю.Ю.* Автоматизированная система для проведения биоклиматических расчетов. «Наука в современном мире – XI Международная конференция», Сб. научн. трудов. М.: изд. Спутник, 2012. С.203-211.

**Михайлов Владимир Валентинович** — д.т.н, проф.; ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН. Область научных интересов: системный анализ, разработка моделей и методов исследования экологических и популяционных систем, разработка моделей теплового баланса организма животных, методов зооклиматического анализа и мониторинга. Число научных публикаций - 175. [mwwsari@gmail.com](mailto:mwwsari@gmail.com); СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328–0103, факс +7(812) 328–4450.

**Mikhailov Vladimir Valentinovich** — Ph.D., Dc.Sci., Prof.; Leading Researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, SPIIRAS. Research interests: systems analysis, development of models and methods for studying environmental and population systems, modeling of the thermal balance of the body of animals, methods of analysis and zooclimatic monitoring. The number of publications — 175. mwwcari@gmail.com; SPIIRAS, 14-line, 39, St. Petersburg, 199178, Russia; office phone +7 (812) 328-0103, fax: +7 (812) 328-4450.

**Пестерева Анна Вадимовна** — магистр географии; научный сотрудник лаборатории исследований социальных и природных систем Арктики, Университет Северной Айовы, Сидар Фоллс, Айова, США, ГИС программист, Aerial Services, Inc, Сидар Фоллс, Айова, США. Область научных интересов: ГИС мониторинг и пространственное моделирование миграции дикого северного оленя, открытые системы и веб-технологии в картографии. Число научных публикаций — 5. 205 ITTC UNI 50614-0406 USA; p.t. 1-319-830-6340

**Pestereva Anna Vadimovna** — MS; researcher, Arctic Social and Environmental Systems Research Laboratory, University of Northern Iowa Cedar Falls, IA USA; GIS programmer, Aerial Services, Inc, Cedar Falls, IA USA. Research interests: GIS and spatial modeling of wild reindeer migration, open source and web mapping. The number of publications — 5. 205 ITTC UNI 50614-0406 USA; office phone 1-319-830-6340

**Поддержка исследования.** Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 13-08-00702), Русского географического общества (грант 07/19/2011), программы CARMA (Circum Arctic Rangifer Monitoring and Assessment project).

Рекомендовано лабораторией информационных технологий в системном анализе и моделировании, заместитель директора по научной работе Соколов Б.В., д.т.н., проф. Статья поступила в редакцию 26.06.2013.

## РЕФЕРАТ

### *Михайлов В.В., Пестерева А.В.* Зооклиматический мониторинг на основе модели теплового баланса животных и ГИС-технологий.

Прямое воздействие погодно-климатических факторов на животных — это воздействие на теплообмен организма животного со средой и работу его системы терморегуляции. Поддержание теплового баланса организма обеспечивается за счет работы систем физиологической, химической и поведенческой регуляции. Физиологические механизмы терморегуляции северного оленя включают пилоэрекцию меха, перераспределение потоков крови в оболочке, адаптивные изменения системы дыхания. При переохлаждении включаются формы химической терморегуляции, которые обеспечивают компенсацию теплопотерь за счет роста теплопродукции организма животного. Устранение перегрева летом происходит за счет снижения уровня метаболизма. Благоприятными для существования животных являются термонеутральные зоны ареала, в которых поддержание теплового баланса обеспечивается за счет работы физиологической системы терморегуляции. Источниками теплопродукции животного в термонеutralной зоне служит энергия «нормального» метаболизма. Дополнительные затраты энергии или ограничения ее поступления с пищей, направленные исключительно на поддержание теплового баланса отсутствуют. За границей термонеutralной зоны нарушается энергобаланс, обеспечивающий стабилизацию (или слабое снижение) массы в зимний период и ее интенсивный прирост летом, вследствие чего олени длительное время в таких условиях существовать не могут. Работу системы терморегуляции характеризует обобщенное тепловое сопротивление организма животного, равное отношению разности ректальной температуры и температуры воздуха к суммарным теплопотерям организма. В качестве показателя напряженности погодно-климатических условий для оленя принята нормированная величина обобщенного теплового сопротивления, равная нулю на верхней границе термонеutralной зоны, и единице — на нижней. Территориальное распределение показателя напряженности в зависимости от значений актинометрических и метеофакторов образует зооклиматическое поле ареала популяции и определяет положение границ термонеutralной зоны. Построение зооклиматического поля включает решение трех задач. Первая — это формирование массива входных данных для модельных расчетов. Вторая задача — проведение расчетов на модели теплового баланса для определения напряженности погодно-климатических условий по величинам обобщенного теплового сопротивления в локальных точках ареала. Третья задача — построение зооклиматического поля ареала и определение границ термонеutralной зоны с использованием ГИС-технологий.

В качестве примера, приведены результаты расчетов показателя напряженности погодно-климатических условий для северных оленей и карты зооклиматических полей Таймыра и Ямала. Показано расположение границ термонеutralных зон для взрослых животных и телят по метеоусловиям 1986 г., а также смещение границ при изменении погодно-климатических условий ареала.

## SUMMARY

### *Mikhailov V.V., Pestereva A.V. Zooklimatic monitoring based on the model of the heat balance of animals and GIS technology.*

The direct effect of climatic factors on the animal - is the impact on the animal's body heat exchange with the environment and the work of its thermoregulatory system. Maintaining the heat balance is achieved through the work of the physiological systems, chemical and behavioral regulation. Physiological mechanisms thermoregulating reindeer furs include piloerection, the redistribution of blood flow in the shell, adaptive change in the respiratory system. When hypothermia include forms of chemical thermoregulation, which provide compensation of heat losses due to increased heat production of the animal. Elimination of overheating in summer is due to the decrease in metabolic rate. Favorable to the existence of animals are thermo-neutral zone of the area in which the maintenance of thermal balance is achieved through the work of the physiological system of thermoregulation. The sources of heat production in the animal thermo neutral zone is the energy of the 'normal' metabolism. Additional energy costs or limit its revenue from food, aimed solely at maintaining the heat balance are absent. Abroad, the energy balance is disturbed thermo-neutral zone, providing stabilization (or slight decrease) in weight in the winter and its intense growth in the summer, so that the deer for a long time under such conditions can not exist. The work of the thermoregulatory system characterizes the generalized thermal resistance of the animal, an equal ratio of the difference in rectal temperature and air temperature to the total heat loss of the body. As an indicator of the intensity of weather-climatic conditions adopted by the normalized value of the generalized thermal resistance, which is equal to zero at the upper thermo-neutral zone, and one - on the bottom. The territorial distribution of the tension indicator, depending on the values of solar radiation and meteorological factors form zooklimatic field of the habitat and determines the boundaries of the thermo neutral zone. Building zooklimatic field includes three tasks. First - this is the formation of an array of input data for the model calculations. The second problem - settlement on the model of the heat balance to determine the strength of the thermo regulatory system in the local area locations. The third task - building zooklimatic field of the habitat and the delimitation of the thermo neutral zone using GIS technology.

As an example, shows the results of a stress exponent of the thermoregulatory system of reindeer and maps zooklimatic fields in Jamal and Taimyr. Shows the location of the boundaries thermo neutral zones for adult animals and calves in the average weather conditions in 1986, as well as the shifting boundaries when the climatic conditions of the area.