

УДК: 636.1.082.1(575.826)  
DOI: 10.52419/issn2072-2419.2025.3.376

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ СВОЙСТВ ВОЛОСЯНОГО ПОКРОВА У ЖЕРЕБЯТ РАЗНЫХ ПОПУЛЯЦИЙ ЯКУТСКОЙ ЛОШАДИ

Алферов И.В. – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. лаборатории селекции и разведения лошадей; Слепцов Е.С. – д-р ветеринар. наук., гл. науч. сотр. лаб. оленеводства и традиционных отраслей

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» - Якутский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени М.Г. Сафронова

\*ivan.alferov@mail.ru

**Ключевые слова:** якутская лошадь, теплоизоляция, шерстный покров, рост, адаптация, субарктический климат.

**Keywords:** Yakut horse, thermal insulation, hair coat, growth, adaptation, subarctic climate.

Поступила: 01.06.2025

Принята к публикации: 26.08.2025

Опубликована онлайн: 15.09.2025



### РЕФЕРАТ

Настоящее исследование направлено на сравнительный анализ терморегуляторных особенностей двух популяций жеребят якутской породы — момской (Арктический район) и амгинской (Центральный район) — в первые шесть месяцев жизни. Теплоизоляционные свойства шерстного покрова оценивались с использованием индекса теплоизоляции (ИТ), основанного на массе шерсти, её плотности и длине волос. У момских жеребят зимний ИТ составил 7270,65 (плотность  $1812 \pm 127$  волос/см<sup>2</sup>, масса  $0,107 \pm 0,0058$  г/см<sup>2</sup>, длина  $37,5 \pm 0,5$  мм, диаметр  $57,9 \pm 1,31$  мкм), у амгинских — 4646,34 (плотность  $1443 \pm 108$  волос/см<sup>2</sup>, масса  $0,070 \pm 0,0043$  г/см<sup>2</sup>, длина  $46,0 \pm 0,68$  мм). Для приблизительной оценки теплопроводности (k) использовались значения термического сопротивления шерсти (R), принятые в диапазоне  $0,8-0,9$  °С·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>, что соответствует данным по холодоустойчивым млекопитающим (Walsberg, 1991; Kvasdheim et al., 1994 и др.). На основе формулы  $k=L/R$  определялись ориентировочные значения теплопроводности. Теплопроводность момских жеребят ( $k=0,042-0,047$  Вт/м·К) ниже, чем у амгинских ( $k=0,051-0,058$  Вт/м·К), что обусловлено большей плотностью, снижающей теплотери. Амгинские жеребята уступают из-за меньшей плотности, что увеличивает конвективные потери, несмотря на большую длину волос. ИТ и k корректировались с учетом сезонных изменений и диаметра волос, подтверждая, что высокая плотность и оптимальный диаметр у момских жеребят обеспечивают эффективную терморегуляцию даже при меньшей длине шерсти. Морфологически момские жеребята компактнее (индекс обхвата груди 118,9% против 112,7%), что минимизирует теплотери по правилу Бергмана. В целом, результаты исследования

показывают, что момская популяция жеребят якутской породы характеризуется более выраженными термоадаптивными признаками на ранних этапах постнатального развития.

#### ВВЕДЕНИЕ / INTRODUCTION

За миллионы лет эволюции естественный отбор оказал значительное влияние на формирование биоразнообразия, приводя к вымиранию множества видов, включая большинство представителей отряда непарнокопытных (Perissodactyla). Среди них, за исключением отдельных реликтовых видов, таких как носороги (яванский носорог) и тапиры, наибольшее экологическое и антропогенное значение сохранила лошадь (*Equus caballus*). Этот вид обладает исключительной адаптивной пластичностью, что позволяет ему успешно осваивать самые разнообразные климатические зоны и экосистемы по всему миру.

Феномен адаптивной пластичности лошадей объясняется их эволюционной историей и генетической вариабельностью, которые способствовали формированию морфологических, физиологических и поведенческих приспособлений к разнообразным средам обитания [1,2]. Лошади способны эффективно регулировать метаболические процессы, оптимизировать терморегуляцию и адаптировать репродуктивные механизмы в зависимости от условий окружающей среды [3,4]. Эти черты позволили виду не только выжить, но и занять ключевую нишу в экосистемах, а также стать важным элементом человеческих цивилизаций благодаря одомашниванию [3,4,5,8].

Особенно примечательным примером локальной адаптации является якутская порода лошадей, выведенная в экстремальных условиях Северо-Восточной Сибири. Якутская приспособилась к субарктическому климату с температурами до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , коротким вегетационным периодом и ограниченной доступностью кормовых ресурсов. Якутские лошади обладают уникальными морфофизиологическими инструментариями, такими как густая шерсть, компактное телосложение и повышенная способность к накоплению жировых запасов, что позволяет им не

только выживать, но и давать потомство в суровых условиях крайнего севера. Морфологические адаптации у млекопитающих в холодных регионах включают компактное телосложение, минимизирующее теплопотери по правилу Бергмана [14]. Эти адаптации делают их ценным объектом для изучения механизмов адаптации млекопитающих в холодных регионах, где физиологические и морфологические изменения играют решающую роль.

Исследования показывают, что млекопитающие, обитающие в холодных регионах имеют более сложные адаптации, обеспечивающие выживание при низких температурах, что делает их объектом для изучения физиологических и морфологических особенностей [6].

Адаптация млекопитающих к холоду включает физиологические изменения, такие как усиление метаболизма на 20–50% в холоде, и морфологические, например, густую шерсть для сохранения тепла [7].

Генетические исследования выявляют мутации в генах, связанных с развитием густой шерсти и липидным обменом, что подтверждает эволюционную приспособленность [8].

Исследования показывают, что быстрые метаболические изменения позволили млекопитающим колонизировать холодные регионы, адаптируя базальный метаболический уровень к низким температурам [9].

Развитие млекопитающих в условиях холода сопряжено с дополнительными вызовами, особенно на ранних стадиях онтогенеза. Рост и развитие начинаются с оплодотворения, и ограниченные кормовые ресурсы в холодных регионах могут существенно влиять на темпы роста [10]. Доступность пищи и забота матери играют ключевую роль в темпах роста, особенно в раннем постнатальном периоде, что может оказывать долгосрочное влияние на физиологическое развитие [11].

В холодных регионах рост может замедляться из-за повышенных энергетических затрат на терморегуляцию, но исследования показывают, что у некоторых видов, таких как *Antechinus flavipes*, темпы роста остаются схожими при холоде и тепле, что указывает на пластичность развития [12].

Актуальность исследования обусловлена необходимостью изучения механизмов адаптации млекопитающих к экстремальным климатическим условиям, что имеет как фундаментальное, так и прикладное значение. В условиях глобальных изменений климата и антропогенного давления понимание адаптивных стратегий видов, способных выживать в суровых условиях, становится критически важным для сохранения биоразнообразия.

Научная новизна заключается в комплексном анализе роста, развития и теплоизоляционных свойств шерстного покрова жеребят якутской породы с применением условного индекса теплоизоляции (ИТ), разработанного для оценки изоляционной способности шерсти. Впервые проведено сравнительное изучение момской и амгинской популяций с учетом микроструктурных характеристик волос (длина, плотность, масса, диаметр) и их влияния на теплопроводность. Предложенный подход позволяет количественно оценить адаптивные преимущества якутских лошадей в сравнении с другими холодоустойчивыми млекопитающими.

Настоящее исследование посвящено изучению адаптивных механизмов якутской породы лошадей. В работе представлены результаты анализа темпов роста, морфологических особенностей и теплоизоляционных свойств шерстного покрова жеребят из момской и амгинской популяций, а также сравнительная оценка их адаптивных характеристик.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ / MATERIALS AND METHODS

Для анализа роста, развития и теплоизоляционных свойств волосяного покрова жеребят якутской породы были отобраны по пять жеребят момской и амгинской популяций (n=5). Животным обеспечива-

лись идентичные условия кормления и содержания для исключения влияния внешних факторов. Измерения живой массы проводились в возрасте 3 дней, 1 месяца, 3 месяцев и 6 месяцев с использованием механических весов. Параметры волосяного покрова (длина, плотность, масса, диаметр) и промеры телосложения определялись стандартными зоотехническими методами. Длина волос измерялась линейкой на образцах, взятых с боковой поверхности тела. Плотность определялась подсчетом волос на площади 1 см<sup>2</sup> с использованием стереомикроскопа. Масса волос измерялась взвешиванием с площади 1 см<sup>2</sup> на аналитических весах (±0,001 г). Диаметр волос оценивался микрометрическим анализом 20 случайно выбранных волос от каждого жеребенка с помощью цифрового микроскопа. Данные обрабатывались статистически с применением t-критерия Стьюдента (P≥0,95 и P≥0,99).

Для оценки теплоизоляционных свойств шерстного покрова рассчитывался условный индекс теплоизоляции (ИТ) по формуле:

$$\text{ИТ} = m (\text{г/см}^2) \times \rho (\text{волос/см}^2) \times L (\text{мм}),$$

где:

m — масса шерсти на единицу площади (г/см<sup>2</sup>),

ρ — плотность волосяного покрова (волос/см<sup>2</sup>),

L — средняя длина волос (мм).

Данный индекс представляет собой **условную величину**, характеризующую объем шерстного слоя и, соответственно, его способность удерживать воздух. Чем выше значение ИТ, тем выше потенциальная теплоизоляционная эффективность шерсти.

ИТ вычислялся для зимнего (6 месяцев) и летнего периодов на основе средних значений параметров, отражая объем шерстного слоя как косвенный показатель изоляционной способности.

Для сопоставления с данными литературы, где теплоизоляция выражена в теплопроводности (k, Вт/м·К), проводилась оценка k на основе подходов, описанных в Scholander et al. (1950), Walsberg (1991),

Kvadsheim et al. (1994), Riddell et al. (2021), Langman et al. (2019), McCafferty et al. (2007) и другие [15-21].

Поскольку прямые измерения теплового потока ( $q$ ) и разницы температур ( $\Delta T$ ) в настоящем исследовании отсутствовали,  $k$  оценивался косвенно — через термическое сопротивление ( $R$ , °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>), с использованием соотношения:

$$k = R/L,$$

где:

$R$  — термическое сопротивление (°C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>),

$L$  — толщина шерстного слоя, определяемая как средняя длина волос, переведённая в метры.

Для обеих популяций (момских и амгинских)  $R$  принималось в диапазоне 0,8–0,9 °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>, что соответствует типичным значениям для холодоустойчивых млекопитающих с плотностью шерсти 1600–2500 волос/см<sup>2</sup> и диаметром волос 50–70 мкм, как указано в Langman et al., Walsberg, Kvadsheim et al. и других источниках [15-21]. Это предположение основано на сходстве физиологических характеристик терморегуляции у якутских лошадей независимо от популяции, с различиями в изоляции, обусловленными параметрами шерсти. Оценка  $k$  является приблизительной и требует подтверждения прямыми измерениями.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ / RESULTS

В своей работе Vliх отмечает, что в холодных условиях наблюдается повышенная эффективность метаболической системы, способствующую быстрому набору массы, большинство полярных животных накапливают большие запасы жира, чтобы пережить зимнюю нехватку пищи [22, 23]. В нашем исследовании при рождении амгинские жеребята имели несколько большую массу (43,5±0,45 кг против 41,3±0,41 кг у момских), однако к 6 месяцам момские жеребята достигли 208,22±4,91 кг, опережая амгинских (196,3±4,71 кг) с общим приростом 166,9 кг против 152,8 кг, что свидетельствует о приросте на 9,22%. Среднесуточный прирост массы у момских жеребят достигал

пика в первые три месяца (1047 г/сутки против 938 г/сутки у амгинских), однако в дальнейшем приросты снижались, вероятно, из-за активности кровососущих насекомых, что коррелирует с данными исследований по сезонной акклиматизации (Langman et al., 2015).

Особое внимание в нашем исследовании уделено характеристикам волосяного покрова, который играет ключевую роль в теплоизоляции организма. У момских жеребят масса волос на 1 см<sup>2</sup> составляет 0,107±0,0058 г, плотность – 1812±127 волос/см<sup>2</sup>, длина – 37,5±0,5 мм, а диаметр – 57,9±1,31 мкм, что обеспечивает условный индекс теплоизоляции (ИТ) равный 7270,65, тогда как у амгинских показатели оказались ниже (ИТ = 4646,34) (таблица 1). По исследованиям Алексева Н.Д. волосы якутской породы являются полыми, что значительно снижает их теплопроводность за счёт наличия воздушных каналов внутри стержня волоса [24]. Данные результаты свидетельствуют о том, что даже незначительные различия в микроструктуре волос оказывают существенное влияние на общую способность организма к сохранению тепла. Генетические исследования, выявляющие мутации в генах, связанных с развитием шерсти и метаболизмом, дополнительно подтверждают, что подобные морфологические особенности являются адаптивной реакцией на субарктические условия [25].

Сравнение данных Scholander et al. (1950) по теплоизоляции меха арктических млекопитающих и Walsberg (1991) по сезонной изменчивости шерстного покрова песцов показывает, что высокая плотность волос является общим механизмом повышения изоляции, а различия в длине волос отражают адаптации к климатическим условиям [14, 15]. Обзор терморегуляции у домашних животных (Collier & Gebremedhin, 2015) [11] подтверждает, что масса тела и характеристики шерсти, такие как плотность и структура, играют важную роль в поддержании оптимальной температуры, что отражается в более высоких показателях теплоизоляции у момских жеребят по сравнению с

амгинскими.

Обобщенные обзоры по терморегуляции (McCafferty, 2017; Collier & Gebremedhin, 2015) указывают на то, что эффективность изоляции определяется не только плотностью, но и диаметром волос, а сезонные изменения шерстного

покрова коррелируют с климатическими условиями, что подтверждается сравнительным анализом характеристик шерсти момских и амгинских жеребят и подчеркивает значимость каждой микроструктурной характеристики в обеспечении высокой теплоизоляции.

Таблица 1 – Параметры волосяного покрова и индекс теплоизоляции (M±SE)

Улус	Сезон	Длина (мм)	Кол-во (шт/см <sup>2</sup> )	Масса (г/см <sup>2</sup> )	ИТ
Момский	Зима	37,5±0,5	1812±127	0,107±0,0058	7270,65
	Лето	6,0±0,18	798±95	0,057±0,0034	272,9
Амгинский	Зима	46,0±0,68	1443±108	0,070±0,0043	4646,34
	Лето	5,65±0,16	618±86	0,049±0,0031	171,1

**Расчет теплопроводности (k):**

Для момских жеребят L=0,0375 м:

при R=0,8 °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>:

k=0,0375/0,8=0,0469 Вт/м·К,

при R=0,9 °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>:

k=0,0375/0,9=0,0417 Вт/м·К,

**итог: k≈0,042–0,047 Вт/м·К.**

Для амгинских жеребят L=0,046 м L = 0,046 \, м L=0,046м:

при R=0,8 °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>:

k=0,046/0,8=0,0575 Вт/м·К,

при R=0,9 °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup>:

k=0,046/0,9=0,0511 Вт/м·К k = 0,046,

**итог: k≈0,051–0,058 Вт/м·К.**

Полученные значения k корректировались с учетом плотности и диаметра волос. У момских жеребят более высокая плотность (1812±127 против 1443±108 волос/см<sup>2</sup>) и больший диаметр (57,9±1,31 против 55,3±1,2 мкм) способствуют снижению теплопроводности за счет увеличения объема воздушных карманов в шерстном слое, что согласуется с выводами Riddell et al., что более высокая плотность волос увеличивает теплоизоляцию за счет создания большего объема воздушных карманов в мехе, которые снижают теплопроводность [15, 20].

У амгинских жеребят большая длина (46 мм против 37,5 мм) увеличивает k, но меньшая плотность снижает эффективность изоляции, что подтверждается меньшим ИТ. Оценочные значения k сравнивались с данными литературы для валидации теплоизоляционных свойств

шерсти якутских жеребят в контексте адаптации к субарктическому климату.

**ВЫВОДЫ / CONCLUSION**

Результаты показывают, что момские жеребята обладают более высокой теплоизоляционной способностью по сравнению с амгинскими, что обусловлено характеристиками их шерсти и тела. Теплопроводность (k) у момских жеребят в возрасте 6 месяцев составляет 0,042–0,047 Вт/м·К (при R=0,8–0,9 °C·м<sup>2</sup>·Вт<sup>-1</sup> L=0,0375м), что указывает на низкую способность шерсти проводить тепло и высокую изоляцию, близкую к нижней границе диапазона для холодоустойчивых млекопитающих (0,03–0,05 Вт/м·К). Это говорит об эффективной защите от холода в условиях Момского улуса. У амгинских жеребят k=0,051–0,058 Вт/м·К (при том же R, L=0,046м), что на 20–23% выше, и ближе к верхнему пределу для животных с умеренной изоляцией (k≈0,067 Вт/м·К). Это указывает на сниженную способность к удержанию тепла по сравнению с видами, обладающими более эффективной теплоизоляцией. Условный индекс теплоизоляции (ИТ), рассчитанный как ИТ=масса×плотность×длина, у момских жеребят зимой равен 7270,65, что в 1,56 раза выше, чем у амгинских (4646,34), благодаря большей плотности (1812±127 волос/см<sup>2</sup> против 1443±108 волос/см<sup>2</sup>) и массе волос (0,107±0,0058 г/см<sup>2</sup> против 0,070±0,0043 г/см<sup>2</sup>), несмотря на мень-

шую длину ( $37,5 \pm 0,5$  мм против  $46,0 \pm 0,68$  мм). У амгинских большая длина не компенсирует меньшую плотность, что увеличивает конвективные потери тепла, снижая изоляцию. Плотность шерсти у момских жеребят находится в диапазоне холодоустойчивых видов ( $1600\text{--}2500$  волос/ $\text{см}^2$ ), обеспечивая плотный слой с большим количеством воздушных карманов, у амгинских плотность ( $1443 \pm 108$  волос/ $\text{см}^2$ ) ниже оптимального порога, а диаметр ( $55,3 \pm 1,2$  мкм) лишь немного меньше, что не компенсирует меньшую плотность, делая их шерсть менее эффективной.

Морфологически момские жеребята лучше приспособлены к холоду: их индекс обхвата груди (118,9% против 112,7%) и эйрисомность (116,7% против 111,9%) указывают на компактное телосложение, минимизирующее теплопотери по правилу Бергмана, а превосходство по обхвату груди (на 5,5%) и пясти (на 4,4%) усиливает эту адаптацию. Амгинские жеребята менее компактны, что менее выгодно в экстремальных условиях.

Сравнение с другими холодоустойчивыми млекопитающими позволяет определить положение якутских жеребят среди адаптированных к холоду видов. У северных оленей (Soppela, 2010, Walsberg, G. E. (1991), Cena, K., & Monteith, J. L. (1975) плотность в среднем  $2000$  волос/ $\text{см}^2$ , диаметр  $50\text{--}60$  мкм, длина  $30\text{--}40$  мм,  $k=0,03\text{--}0,05$  Вт/м·К [15, 17], и момские жеребята ( $1812 \pm 127$  волос/ $\text{см}^2$ ,  $57,9 \pm 1,31$  мкм,  $k=0,042\text{--}0,047$  Вт/м·К) близки по этим параметрам, с меньшей длиной, оптимизированной для субарктики, тогда как амгинские ( $1443 \pm 108$  волос/ $\text{см}^2$ ,  $k=0,051\text{--}0,058$  Вт/м·К). Песцы (Russell & Tumilson (1996) Walsberg, 1991, Prestrud, 1991, Kvadsheim et al, 1994) с плотностью  $2000\text{--}2500$  волос/ $\text{см}^2$ , диаметром  $40\text{--}60$  мкм, длиной  $50\text{--}60$  мм и  $k=0,03$  Вт/м·К [15, 16, 19, 26] превосходят момских по плотности и  $k$ , у амгинских жеребят показатели заметно ниже, что объясняется, скорее всего, меньшей экологической нагрузкой (температурный

режим в Амгинском улусе немногим мягче чем в Момском).

Таким образом, момские жеребята обладают более эффективной защитой от холода благодаря низкой теплопроводности ( $k=0,042\text{--}0,047$  Вт/м·К), высокому индексу теплоизоляции ( $7270,65$ ), оптимальной плотности волосяного покрова ( $1812 \pm 127$  волос/ $\text{см}^2$ ) и диаметру волос ( $57,9 \pm 1,31$  мкм), а также компактному телосложению. Амгинские жеребята имеют более высокую теплопроводность  $k$  ( $0,051\text{--}0,058$  Вт/м·К), меньший индекс теплоизоляции ( $4646,34$ ), меньшую плотность ( $1443 \pm 108$  волос/ $\text{см}^2$ ) и менее компактную конституцию. Полученные данные свидетельствуют о более выраженных адаптационных преимуществах момской популяции к экстремальным холодам субарктической зоны.

#### COMPARATIVE ASSESSMENT OF HAIR COAT INSULATION PROPERTIES IN FOALS FROM DIFFERENT POPULATIONS OF YAKUTIAN HORSES

Alferov I.V.\* – Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher at the Laboratory of Selection and Breeding of Horses; Sleptsov E.S. – Doctor of V.S., Ch. scientific co-workers of the laboratory reindeer husbandry and traditional industries Federal State Budgetary Institution of Science Federal Research Center "Yakut Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" - Yakut Research Institute of Agriculture named after M.G. Safronova

\*ivan.alferov@mail.ru

#### ABSTRACT

This study aims to conduct a comparative analysis of thermoregulatory characteristics in two populations of Yakut horse foals — the Mомsky (Arctic region) and Amgin-sky (Central region) — during the first six months of life. The thermal insulation properties of the coat were assessed using an insulation index (II) based on coat mass, hair density, and hair length. In winter, the II for Mомsky foals was  $7270.65$  (density:

1812 ± 127 hairs/cm<sup>2</sup>; mass: 0.107 ± 0.0058 g/cm<sup>2</sup>; hair length: 37.5 ± 0.5 mm; diameter: 57.9 ± 1.31 μm), while the Amginsky foals had an II of 4646.34 (density: 1443 ± 108 hairs/cm<sup>2</sup>; mass: 0.070 ± 0.0043 g/cm<sup>2</sup>; hair length: 46.0 ± 0.68 mm). To approximate thermal conductivity (k), values of thermal resistance (R) in the range of 0.8–0.9 °C·m<sup>2</sup>·W<sup>-1</sup> were used, consistent with data for cold-adapted mammals (Walsberg, 1991; Kvadsheim et al., 1994, among others). Using the formula  $k = L / R$ , approximate conductivity values were calculated. The thermal conductivity of the Momsky foals ( $k = 0.042–0.047$  W/m·K) was lower than that of the Amginsky foals ( $k = 0.051–0.058$  W/m·K), which is attributed to the higher hair density that reduces heat loss. Although Amginsky foals had longer hair, the lower density increased convective loss. Both II and k were adjusted for seasonal variation and hair diameter, confirming that the higher density and optimal diameter in Momsky foals ensure effective thermoregulation even with shorter hair length. Morphologically, Momsky foals were more compact (girth index: 118.9% vs. 112.7%), minimizing heat loss in accordance with Bergmann's rule. Overall, the findings indicate that the Momsky population of Yakut horse foals displays more pronounced thermoadaptive traits during the early stages of postnatal development.

#### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Gaunitz, C., et al. (2018). Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses. *Science*, 360(6384), 111–114. doi:10.1126/science.aao3297.
2. West-Eberhard, M. J. (2003). *Developmental Plasticity and Evolution*. Oxford University Press. Ссылка на книгу.
3. Librado, P., et al. (2021). The origins and spread of domestic horses from the Western Eurasian steppes. *Nature*, 598(7882), 634–640. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04018-9>.
4. Outram, A. K., et al. (2009). The earliest horse harnessing and milking. *Science*, 323(5919), 1332–1335. doi:10.1126/science.1169726.
5. Anthony, D. W. (2007). *The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*. Princeton University Press.
6. Salewski, Volker et al. “Morphological change to birds over 120 years is not explained by thermal adaptation to climate change.” *PloS one* vol. 9,7 e101927. 14 Jul. 2014, doi:10.1371/journal.pone.0101927
7. Fuller, Andrea et al. “Adaptation to heat and water shortage in large, arid-zone mammals.” *Physiology (Bethesda, Md.)* vol. 29,3 (2014): 159–67. doi:10.1152/physiol.00049.2013.
8. Librado P, Gamba C, Gaunitz C, et al. Ancient genomic changes associated with domestication of the horse. *Science*. 2017;356(6336):442–445. doi:10.1126/science.aam5298
9. Avaria-Llautureo, J., Hernández, C.E., Rodríguez-Serrano, E. et al. The decoupled nature of basal metabolic rate and body temperature in endotherm evolution. *Nature* 572, 651–654 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1476-9>.
10. Gilbert SF. *Developmental Biology*. 6th edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000.
11. Collier, Robert J, and Kifle G Gebremedhin. “Thermal biology of domestic animals.” *Annual review of animal biosciences* vol. 3 (2015): 513–32. doi:10.1146/annurev-animal-022114-110659.
12. Warnecke et al., 2020, *Growing Up in a Changing Climate: How Temperature Affects the Development of Morphological, Behavioral and Physiological Traits of a Marsupial Mammal*
13. McCafferty, Dominic J., Guillaume Pandraud, Jehanno Gilles, M Fabra-Puchol and Pierre-Yves Henry. “Animal thermoregulation: a review of insulation, physiology and behaviour relevant to temperature control in buildings.” *Bioinspiration & Biomimetics* 13 (2017): n. pag. (2017)
14. Scholander, P. F., Walters, V., Hock, R., & Irving, L. (1950). Body insulation of some arctic and tropical mammals and birds. *Biological Bulletin*, 99(2), 225–236. <https://doi.org/10.2307/1538740>

15. Walsberg, G. E. (1991). Thermal effects of seasonal coat change in three sub-arctic mammals. *Journal of Thermal Biology*, 16 (5), 291–296. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(91\)90025-8](https://doi.org/10.1016/0306-4565(91)90025-8)
16. Kvadsheim, P. H., Folkow, L. P., & Blix, A. S. (1994). A new device for measurement of thermal conductivity of fur and blubber. *Journal of Thermal Biology*, 19(6), 431–435. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(94\)90044-2](https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90044-2)
17. Cena, K., & Monteith, J. L. (1975). Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 188 (1093), 395–411. <https://doi.org/10.1098/rspb.1975.0027>
18. Chappell, M. A. (1980). Insulation, radiation, and convection in small arctic mammals. *Journal of Mammalogy*, 61(2), 268–277. <https://doi.org/10.2307/1380050>
19. Prestrud, P. (1991). Adaptation by the Arctic fox (*Alopex lagopus*) to the polar winter. *Arctic*, 44(2), 132–138. <https://doi.org/10.14430/arctic1529>
20. Riddell EA, Patton JL, Beissinger SR. Thermal adaptation of pelage in desert rodents balances cooling and insulation. *Evolution*. 2022;76(12):3001-3013. doi:10.1111/evo.14643. (2021),
21. Langman VA, Langman SL, Ellifrit N. Seasonal acclimatization determined by non-invasive measurements of coat insulation. *Zoo Biol*. 2015;34(4):368-373. doi:10.1002/zoo.21219 (2019)
22. Blix A. S. (2016). Adaptations to polar life in mammals and birds. *The Journal of experimental biology*, 219(Pt 8), 1093–1105. <https://doi.org/10.1242/jeb.120477>
23. Blix, Arnoldus. (2007). *Arctic Animals and Their Adaptations to Life on the Edge*. *Polar Research*. 26. 10.3402/polar.v26i1.6209
24. Алексеев, Н. Д. Адаптация лошадей к температурным факторам среды : специальность 03.03.00 "Физиология" : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Алексеев Николай Дмитриевич. – Б. м., 1985. – 199 с. – EDN NPQKNH.
25. Agata, Ako, and Tadashi Nomura. “Thermal Adaptations in Animals: Genes, Development, and Evolution.” *Advances in experimental medicine and biology* vol. 1461 (2024): 253-265. doi:10.1007/978-981-97-4584-5\_18
26. Päivi Soppelä, Mauri Nieminen & Jouni Timisjärvi (1988). Thermoregulation in reindeer. *Journal of Thermal Biology*, 13(3), 231–237.
27. Russell, J. E., & Tumlison, R. (1996). Comparison of microstructure of white winter fur and brown summer fur of some Arctic mammals. *Acta Zoologica (Stockholm)*, 77 (4), 279–282. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1996.tb01272.x>

#### REFERENCES

- Gaunitz, C., et al. (2018). Ancient genomes revisit the ancestry of domestic and Przewalski's horses. *Science*, 360(6384), 111–114. doi:10.1126/science.aao3297
- West-Eberhard, M. J. (2003). *Developmental Plasticity and Evolution*. Oxford University Press. Book link
- Librado, P., et al. (2021). The origins and spread of domestic horses from the Western Eurasian steppes. *Nature*, 598(7882), 634–640. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-04018-9>
- Outram, A. K., et al. (2009). The earliest horse harnessing and milking. *Science*, 323 (5919), 1332–1335. doi:10.1126/science.1169726
- Anthony, D. W. (2007). *The Horse, the Wheel, and Language: How Bronze-Age Riders from the Eurasian Steppes Shaped the Modern World*. Princeton University Press.
- Salewski, Volker et al. “Morphological change to birds over 120 years is not explained by thermal adaptation to climate change.” *PloS one* vol. 9.7 e101927. 14 Jul. 2014, doi:10.1371/journal.pone.0101927
- Fuller, Andrea et al. “Adaptation to heat and water shortage in large, arid-zone mammals.” *Physiology (Bethesda, Md.)* vol. 29.3 (2014): 159-67. doi:10.1152/physiol.00049.2013
- Librado P, Gamba C, Gaunitz C, et al. Ancient genomic changes associated with domestication of the horse. *Science*. 2017;356(6336):442-445. doi:10.1126/

science.aam5298

9. Avaria-Llautureo, J., Hernández, C.E., Rodríguez-Serrano, E. et al. The decoupled nature of basal metabolic rate and body temperature in endotherm evolution. *Nature* 572, 651–654 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1476-9>
10. Gilbert SF. *Developmental Biology*. 6th edition. Sunderland (MA): Sinauer Associates; 2000.
11. Collier, Robert J, and Kifle G Gebremedhin. “Thermal biology of domestic animals.” *Annual review of animal biosciences* vol. 3 (2015): 513-32. doi:10.1146/annurev-animal-022114-110659
12. Warnecke et al., 2020, Growing Up in a Changing Climate: How Temperature Affects the Development of Morphological, Behavioral and Physiological Traits of a Marsupial Mammal
13. McCafferty, Dominic J., Guillaume Pandraud, Jehanno Gilles, M Fabra-Puchol and Pierre-Yves Henry. “Animal thermoregulation: a review of insulation, physiology and behavior relevant to temperature control in buildings.” *Bioinspiration & Biomimetics* 13 (2017): n. pag. (2017)
14. Scholander, P. F., Walters, V., Hock, R., & Irving, L. (1950). Body insulation of some arctic and tropical mammals and birds. *Biological Bulletin*, 99(2), 225–236. <https://doi.org/10.2307/1538740>
15. Walsberg, G. E. (1991). Thermal effects of seasonal coat change in three sub-arctic mammals. *Journal of Thermal Biology*, 16 (5), 291–296. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(91\)90025-8](https://doi.org/10.1016/0306-4565(91)90025-8)
16. Kvasdshim, P. H., Folkow, L. P., & Blix, A. S. (1994). A new device for measuring thermal conductivity of fur and blubber. *Journal of Thermal Biology*, 19(6), 431–435. [https://doi.org/10.1016/0306-4565\(94\)90044-2](https://doi.org/10.1016/0306-4565(94)90044-2)
17. Cena, K., & Monteith, J. L. (1975). Transfer processes in animal coats. II. Conduction and convection. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 188 (1093), 395–411. <https://doi.org/10.1098/rspb.1975.0027>
18. Chappell, M. A. (1980). Insulation, radiation, and convection in small arctic mammals. *Journal of Mammalogy*, 61(2), 268–277. <https://doi.org/10.2307/1380050>
19. Prestrud, P. (1991). Adaptation by the Arctic fox (*Alopex lagopus*) to the polar winter. *Arctic*, 44(2), 132–138. <https://doi.org/10.14430/arctic1529>
20. Riddell EA, Patton JL, Beissinger SR. Thermal adaptation of pelage in desert rodents balances cooling and insulation. *Evolution*. 2022;76(12):3001-3013. doi:10.1111/evo.14643. (2021),
21. Langman VA, Langman SL, Ellifrit N. Seasonal acclimatization determined by non-invasive measurements of coat insulation. *Zoo Biol*. 2015;34(4):368-373. doi:10.1002/zoo.21219 (2019)
22. Blix A. S. (2016). Adaptations to polar life in mammals and birds. *The Journal of experimental biology*, 219(Pt 8), 1093–1105. <https://doi.org/10.1242/jeb.120477>
23. Blix, Arnoldus. (2007). *Arctic Animals and Their Adaptations to Life on the Edge*. Polar Research. 26. 10.3402/polar.v26i1.6209
24. Alekseev, N. D. Adaptation of horses to temperature factors of the environment: specialty 03.03.00 "Physiology": dissertation for the degree of candidate of biological sciences / Alekseev, Nikolai Dmitrievich. - B. m., 1985. - 199 p. - EDN NPQKNH.
25. Agata, Ako, and Tadashi Nomura. “Thermal Adaptations in Animals: Genes, Development, and Evolution.” *Advances in experimental medicine and biology* vol. 1461 (2024): 253-265. doi:10.1007/978-981-97-4584-5\_18
26. Päivi Söppelä, Mauri Nieminen & Jouni Timisjärvi (1988). Thermoregulation in reindeer. *Journal of Thermal Biology*, 13(3), 231–237.
27. Russell, J. E., & Tumlison, R. (1996). Comparison of microstructure of white winter fur and brown summer fur of some Arctic mammals. *Acta Zoologica (Stockholm)*, 77(4), 279–282. <https://doi.org/10.1111/j.1463-6395.1996.tb01272.x>