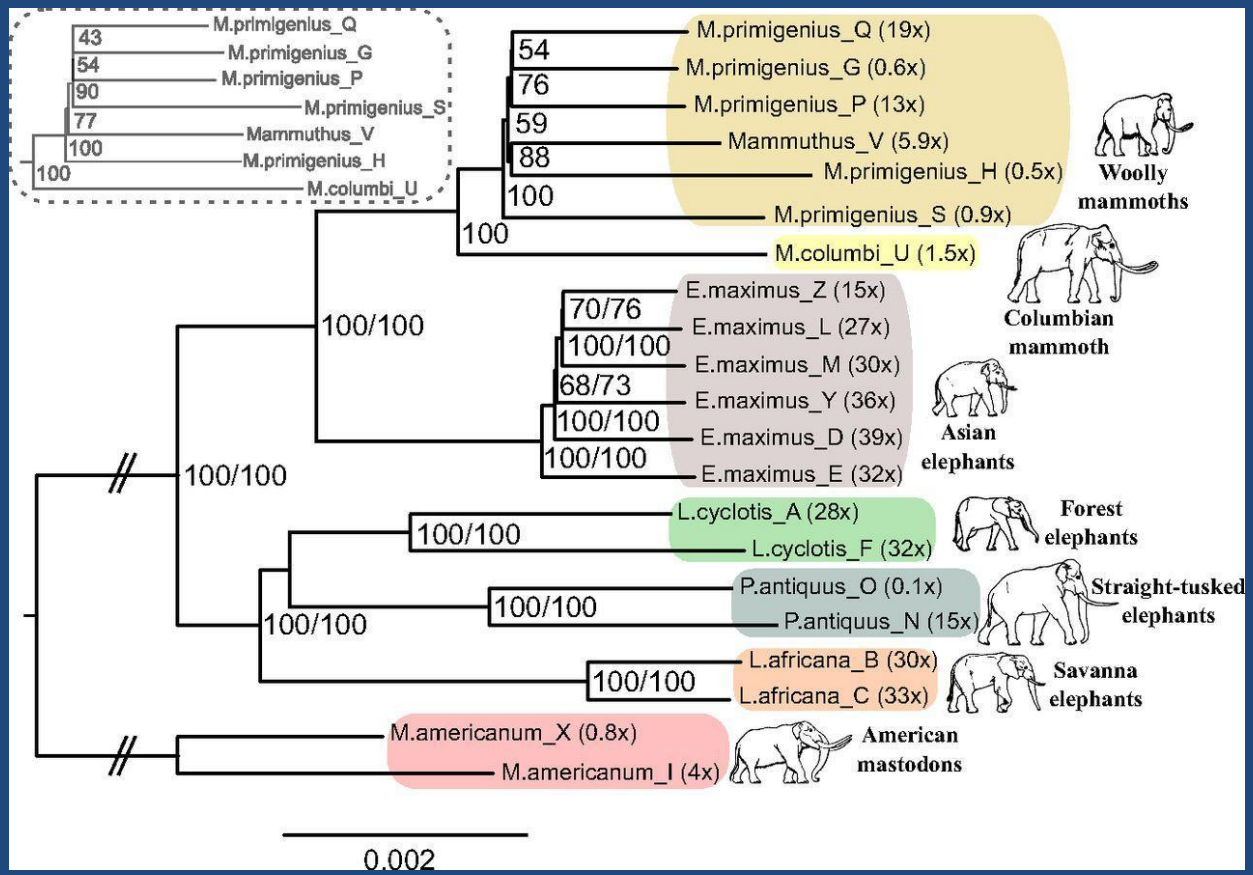
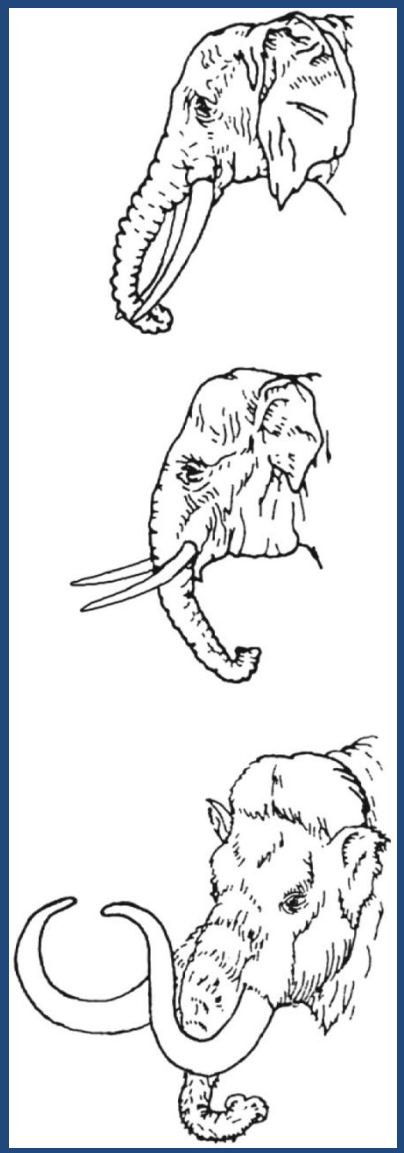
Адаптации шерстистого мамонта *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) к условиям окружающей среды

Boeskorov, G.G.; Mashchenko, E.N.; Plotnikov, V.V.; Shchelchkova, M.V.; Protopopov, A. V.; Solomonov, N. G. (2016). **Adaptation of the woolly mammoth *Mammuthus primigenius* (Blumenbach, 1799) to habitat conditions in the glacial period.** Contemporary Problems of Ecology. Sep. 2016, Vol. 9, Issue 5, pp. 544-553

Lynch, V.J. et al. (2015). **Elephantid Genomes Reveal the Molecular Bases of Woolly Mammoth Adaptations to the Arctic.** Cell Reports 12, pp. 217–228

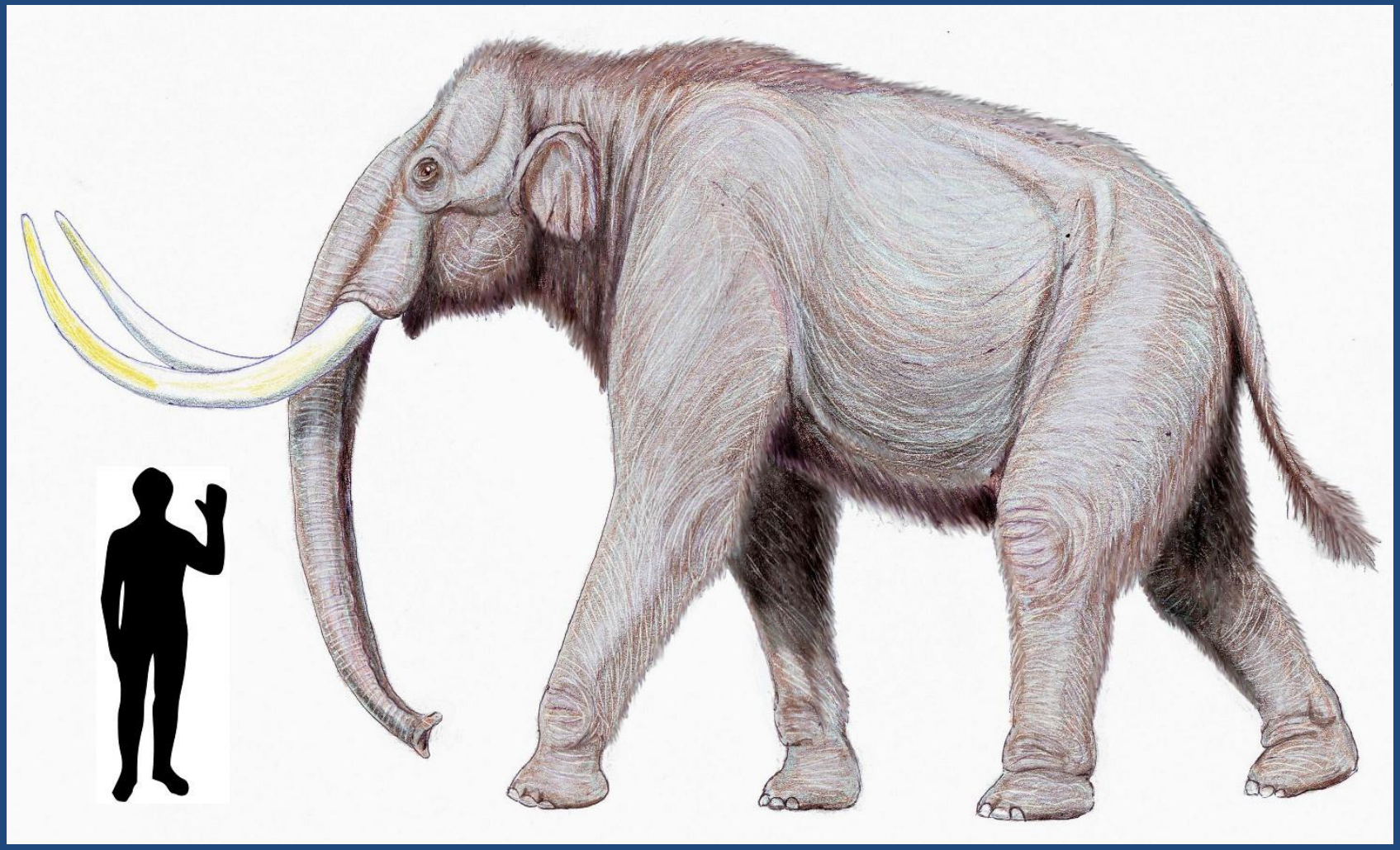
Мамонты и слоны – насколько близкие родственники?





Palkopoulou, E. et al. (2018). **A comprehensive genomic history of extinct and living elephants.** Proceedings of the National Academy of Sciences 115(11): 201720554

Степной мамонт *Mammuthus trogontherii* Pohlig, 1885: предок шерстистого мамонта

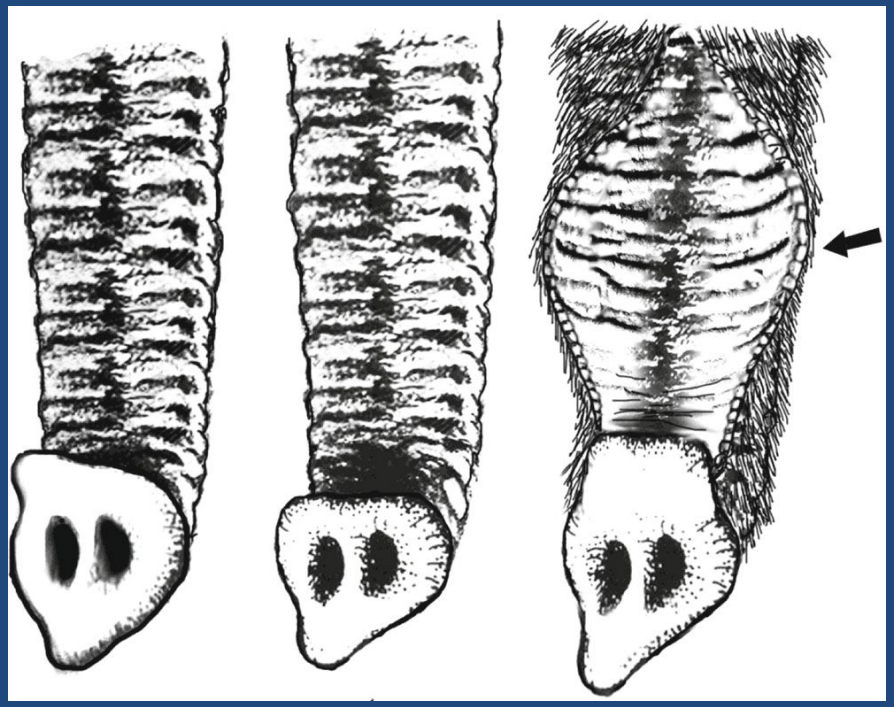


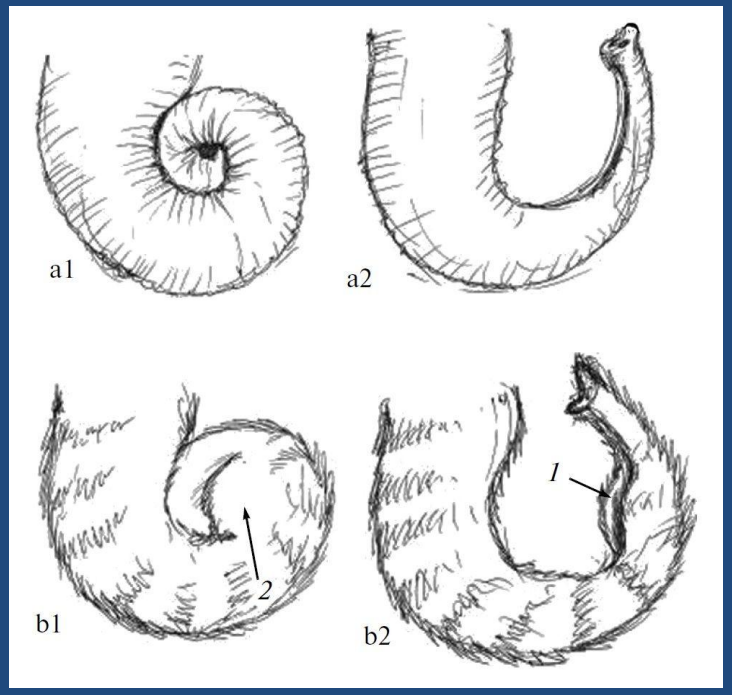
Шерсть

Трехъярусный мех: наиболее многочисленны пуховые волосы, сомкнутые в густую подпушь, более редки длинные промежуточные (или остевые) волосы и еще более редки направляющие волосы, придающие ворс шерсти. Волосы росли в коже поодиночке и имели сальные железы.

Шерсть мамонтов и мастодонтов

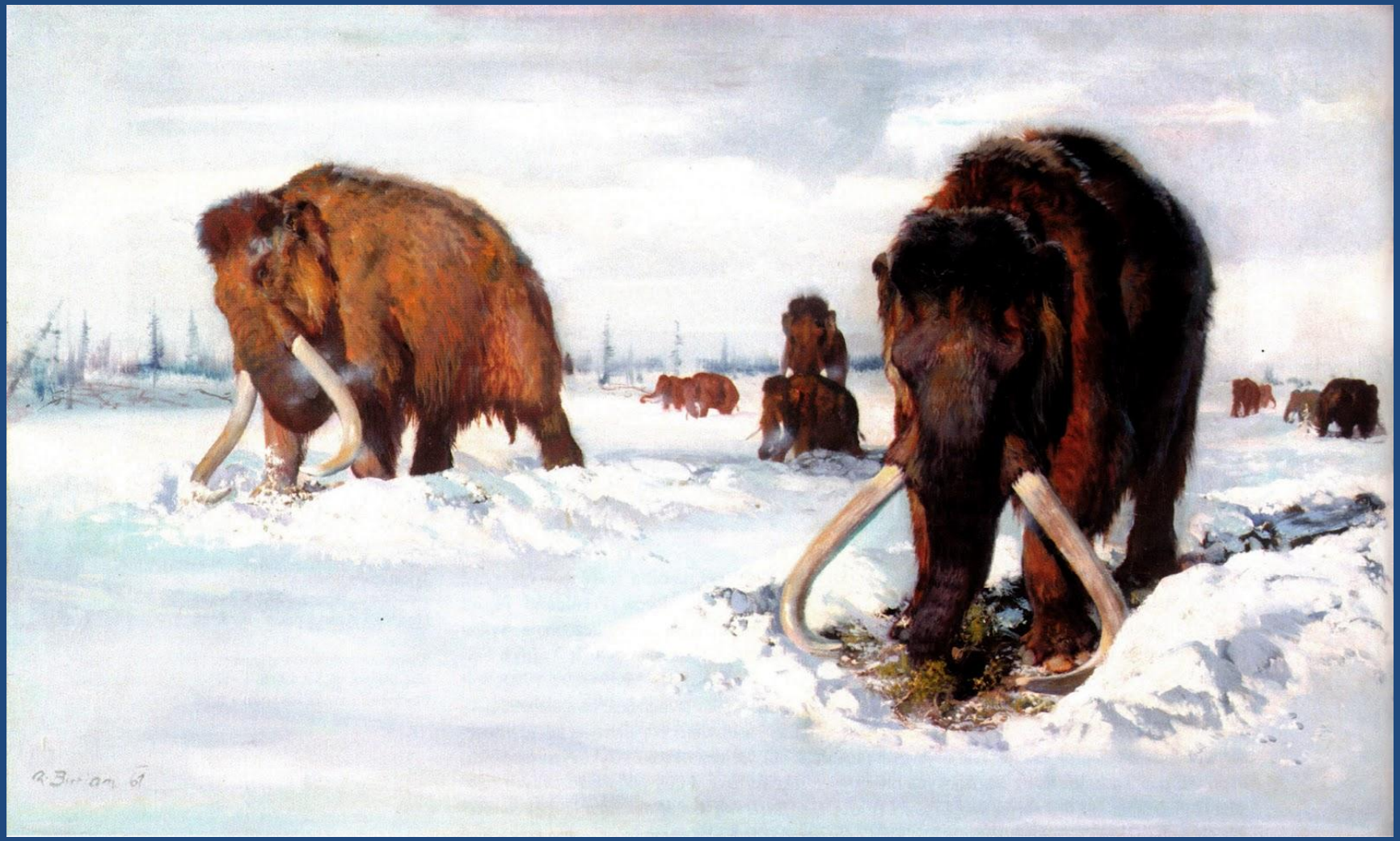
Хобот





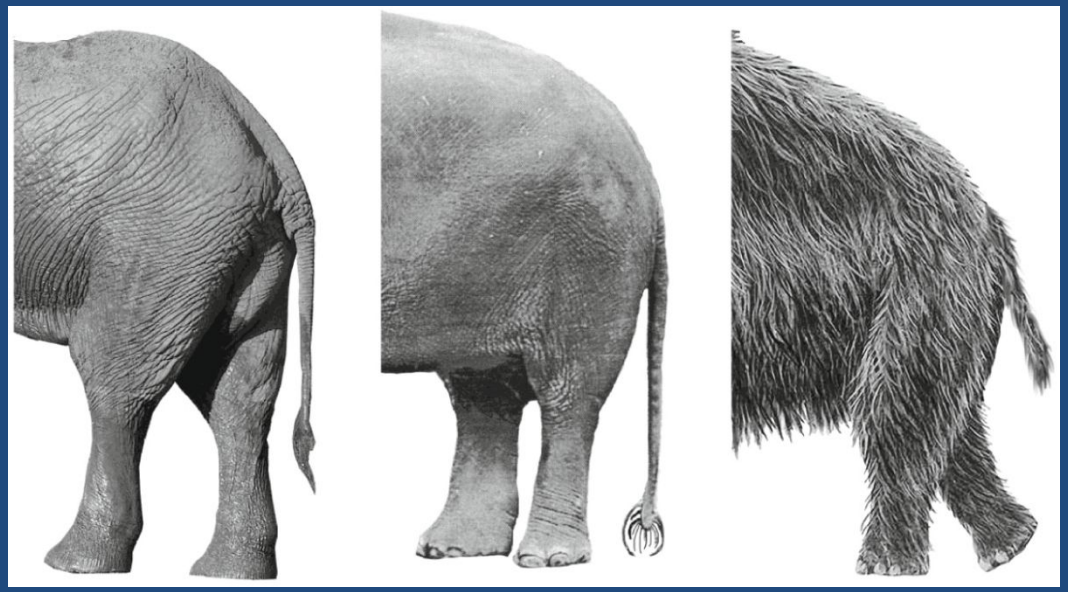
Бивни

E. Pfizenmayer (Pfizenmayer, 1939, according to Garutt, 1964) supposed that the mammoths used their spiral-shaped tusks to dig for grass under the snow. This idea was also supported later. It was considered to be proven by a worn out zone that was frequently recorded on the mammoth tusks (Garutt, 1964).



Уши и хвост

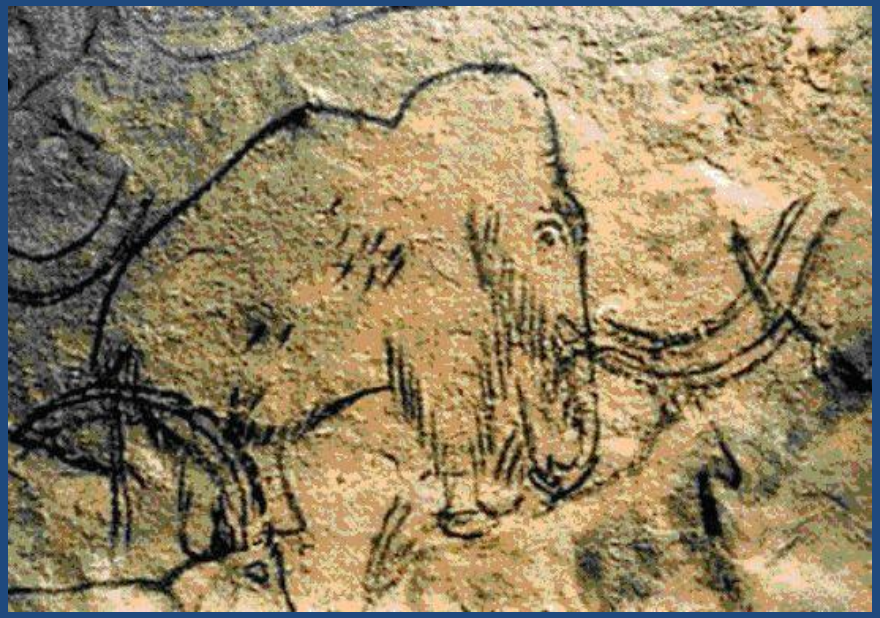
Правило Аллена: среди родственных форм гомойотермных животных, ведущих сходный образ жизни, те, которые обитают в более холодном климате, имеют относительно меньшие выступающие части тела: уши, ноги, хвосты и т.д.



Ноги

The surface of the Yukagir mammoth sole is 13.5% larger than the average area of the African elephant sole (Boeskorov et al., 2007). **The mammoths produced quite a small load on a support surface**, which evidently facilitated their movement across the snow and sticky ground. For example, for a Khatanga male, it equaled 663.2 g/cm2 (Vereshchagin and Tikhonov, 1990). For comparison, the woolly rhinoceros produced a load circa 1807 g on 1 cm2 of the sole support surface (Boeskorov, 2012) and for the modern bison Bison bonasus L. it is about 1000–1300 g (Formozov, 1946).

Шкура и подкожный жир. “Горб”?



Considerable subcutaneous fat deposits (up to 70 mm thick) were found for the first time on the dorsal part of the body of the Oimyakon baby mammoth during computer-tomography studies; they were localized from the posterior edge of the skull base to the withers region. There was a similar fat deposit in the neck region of the baby mammoth named **Lyuba**; it contained energy-storing brown fat (Fisher et al., 2012). The big amount of fat was found in the withers of the Sopkarginsk mammoth (Maschenko et al., 2014). **Thus, the mammoths could selectively store fat deposits as energy reserves in the region of the neck and the withers**. This facilitated survival under unfavorable winter conditions and made it possible to live through shortages of food and water. That is why the mammoth is drastically different from the modern elephants that have a subcutaneous fat tissue (up to 4 cm thick) distributed uniformly over the lateral and abdominal surfaces of the body. Thus, **the “humped mammoths” in the paleolithic images were real**.

Быстрый рост детёнышей

…по костям детенышей мамонта из местонахождения Севск (Брянская область) было установлено, что мамонтята при рождении были на 35-40% более мелкими, чем детеныши современных слонов, зато за первые 6-8 месяцев жизни росли так быстро, что догоняли детей своих современных родственников. Затем рост опять замедлялся. Этого говорит о том, что зимой, которая как раз начиналась на 6-7-м месяце жизни новорожденного мамонтенка, он питался хуже, мать не могла уже кормить его молоком. Поэтому мамонтенок начинал есть ту же пищу, что и взрослые. Стирание зубов детенышей мамонта это подтверждает. У мамонтят зубы первых смен начинали стираться и изнашивались намного раньше, чем у детенышей современных слонов. (Мащенко, 2006)

"Натуральный антифриз"

Кровь шерстистых мамонтов обладала свойствами природного антифриза. Даже при очень низких температурах их гигантские тела снабжались кислородом. Ученые подвергли испытаниям восстановленные протеины крови мамонта и выяснили, что **их гемоглобин высвобождал молекулы кислорода даже при низких температурах**. Обычно при низких температурах гемоглобин теряет эту способность.

“Гемоглобин связывает и несет O2; однако его способность поставлять O2 в дыхательные клетки затрудняется при низких температурах, так как деоксигенация по своей природе является эндотермической реакцией (то есть сродство к гемоглобину O2 увеличивается при понижении температуры). Мы установили аминокислотные замены с большим фенотипическим эффектом на химерную субъединицу b/d-глобина гемоглобина мамонта, которые обеспечивают уникальное решение этой проблемы и тем самым сводят к минимуму потери тепла.“

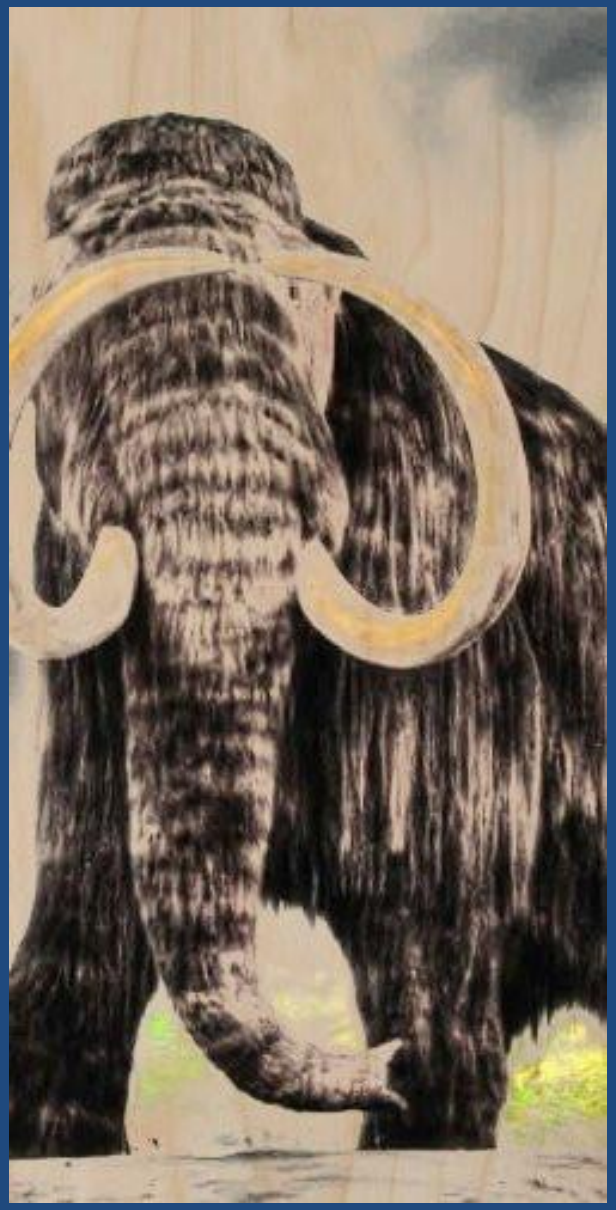
Campbell, K.L. et al. (2010). **Substitutions in woolly mammoth hemoglobin confer biochemical properties adaptive for cold tolerance.** Nature Genetics 42(6):536-40

Генетические адаптации

Коллектив ученых из США, Великобритании и Сингапура обнаружил гены мамонта, ответственные за адаптацию этих животных к экстремальному холоду. Для этого авторы отсеквенировали полный геном двух мамонтов, умерших приблизительно 60 и 20 тысяч лет назад, и сравнили его с геномом индийского слона. Работа была опубликована в Cell Reports в 2015 году.

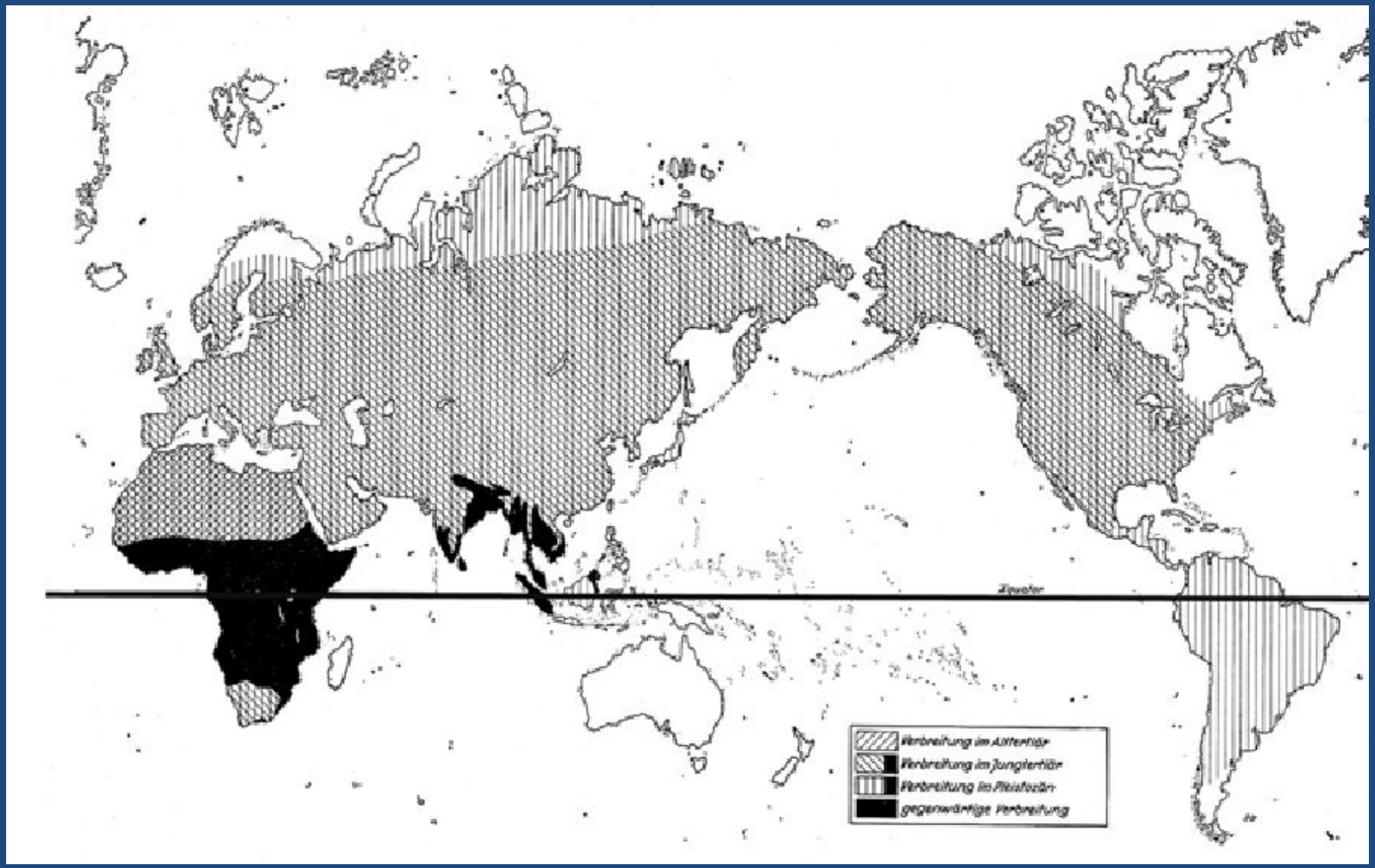
Среди 1642 последовательностей в белок-кодирующих генах мамонта, в которых были обнаружены замены, авторам удалось идентифицировать ряд белков, отвечающих за приспособление к температурным условиям. **Характерные для мамонтов изменения генов были связаны с метаболизмом жиров (в том числе бурого жира), инсулиновой сигнализацией, ростом волос и развитием кожи, ощущением температуры и суточным ритмом.** Все эти свойства организма имели важнейшее значение для адаптации к экстремальному холоду и полярной ночи.

Особый интерес представляла группа генов, отвечающих за ощущение температуры, которые также играют важную роль в росте волос и запасании жира. Ученые смогли воссоздать древний вариант одного из этих генов - **TRPV3**. При пересадке его в клетки человека оказалось, что TRPV3 мамонта вырабатывает белок, реагирующий на тепло слабее, чем тот, что кодируется слоновьей версией TRPV3. Лабораторные мыши, в организме которых TRPV3 был отключен искусственным образом, предпочитают холодные помещения, а их волосы оказались более волнистыми.

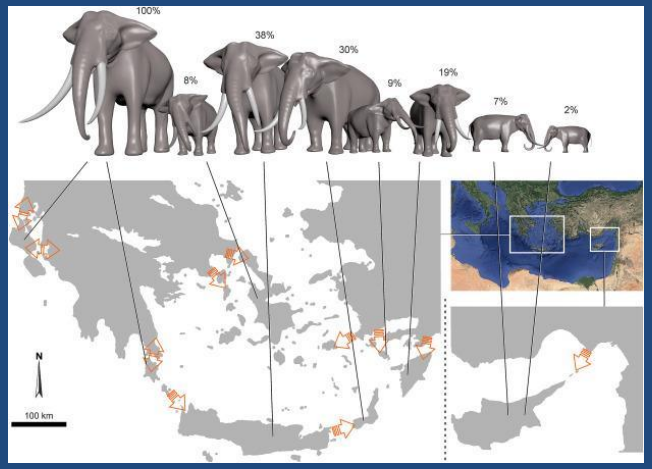


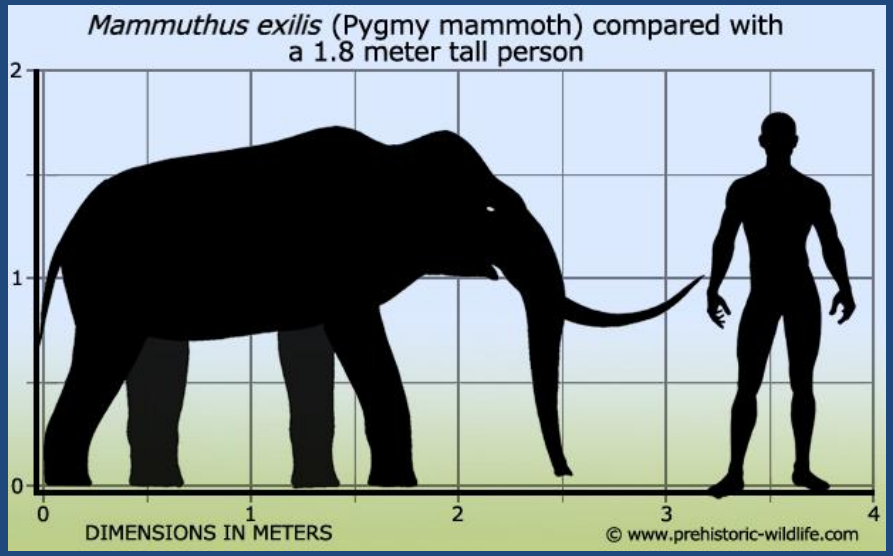
Lynch, V.J. et al. (2015). **Elephantid Genomes Reveal the Molecular Bases of Woolly Mammoth Adaptations to the Arctic**. Cell Reports 12

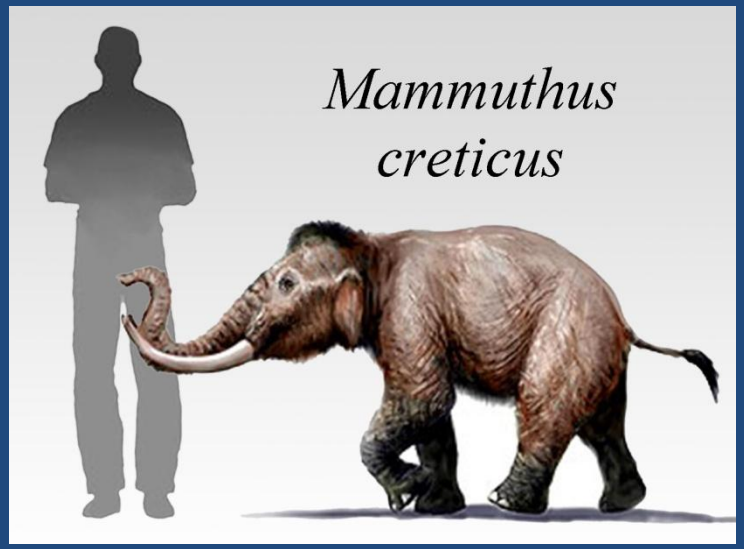
Ареал хоботных в позднем плейстоцене



Ареалы островных хоботных







Выводы

– Шерстистый мамонт был высокоспециализированным видом открытых ландшафтов Голарктики позднего плейстоцена;

– Адаптации вида к условиям арктической “мамонтовой степи” формировались на базе другого вида, жившего в немногим менее суровом климате равнин Европы и Центральной Азии, и совершенно предсказуемо носили комплексный характер;

– Многие из адаптаций шерстистых мамонтов появлялись независимо как среди различных отрядов крупных млекопитающих, так и в рамках отряда хоботных, ради достижения одной цели – выживания в условиях арктической тундростепи.

Спасибо за внимание!