

## Две загадки от якутских лошадей

[Належда Маркина](#)

Древние и современные геномы поведали историю происхождения якутских лошадей и секрет их адаптации к холоду

**Якутские лошади – самые северные на планете и самые морозоустойчивые. Прочитав два древних и девять современных геномов и используя базу данных по другим геномам, команда российских и зарубежных исследователей нашла ответы на два вопроса. Первый вопрос — от каких древних популяций произошли современные якутские лошади. А второй – как им удалось приспособиться к экстремальным условиям якутского климата за такое короткое время.**

Якутия – один из самых холодных регионов Северного полушария, 40% ее территории лежит за Полярным Кругом, температура зимой опускается ниже  $-70$  градусов. К такому суровому климату адаптировались якутские лошади, которые, в отличие от якутских коров, даже зимой проводят весь день на открытом воздухе. Они даже научились выкапывать растительность из-под глубокого снега, как северные олени.

Пример адаптации к экстремальному климату очень интересен с точки зрения эволюции. В новом исследовании этот феномен



исследую генетики, а кроме того выясняют некоторые спорные моменты, связанные с происхождением современных якутских лошадей. Чтобы ответить на все вопросы, они секвенировали геномы древних и современных лошадей из Якутии. Результаты работы международной команды под руководством Людовика Орландо (Университет Копенгагена), в которую входят и российские исследователи из Якутска, Санкт-Петербурга и Москвы, опубликована в журнале PNAS.

Якутские лошади выглядят своеобразно: они низкорослые и коренастые, с короткими ногами, а на зиму у них отрастает густая шерсть. Компактное телосложение уменьшает отношение площади поверхности тела к объему, а значит, снижает потери тепла. Шерстяной покров, а также заметный слой подкожного жира защищают от суровых морозов. Но до сих пор не было исследовано, какие генетические изменения привели к таким адаптациям.

Происхождение современных якутских лошадей также остается спорным вопросом. Дикая лошадь в этом регионе жили еще в позднем плейстоцене, палеонтологи находят их останки. В то же время, одомашненные лошади появились в Якутии в XIII-XV веках с миграцией групп населения – тюркоязычных конных всадников, происходящих, по-видимому, с Алтая-Саян и с Байкала. Предполагают, что они добрались до Якутии, спасаясь от монгольской орды. Поселившись в Якутии, мигранты стали вести хозяйство, основанное на разведении скота. Лошадей они использовали в том числе и как источник мяса и молока.

По самой убедительной гипотезе именно от этой предковой популяции произошли современные якутские лошади. Другая 

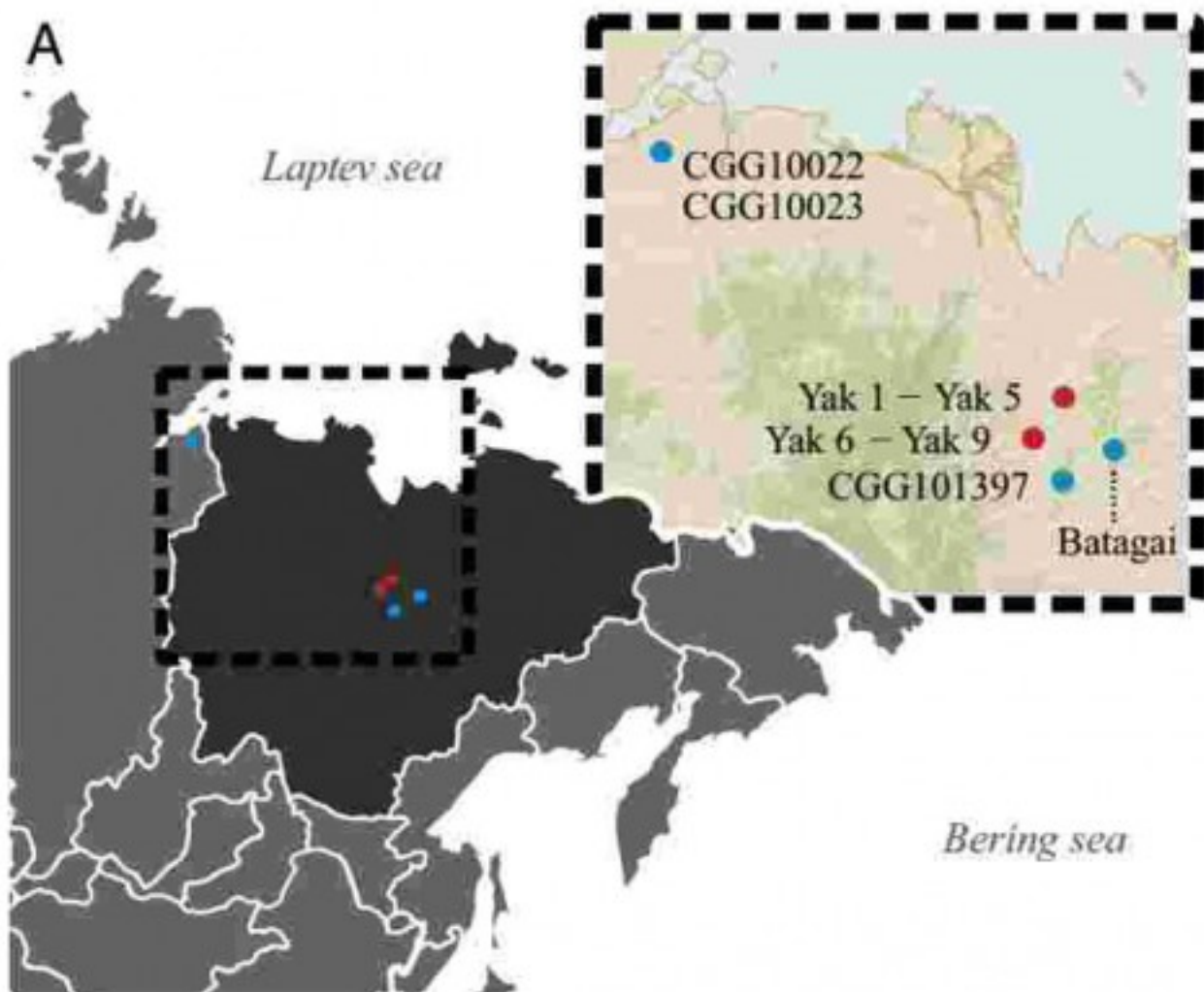
гипотеза считает, что одомашненные лошади, пришедшие сюда с человеком, смешались с местными популяциями диких лошадей. Наконец, третья предполагает, что современные якутские лошади произошли от диких лошадей позднего плейстоцена или среднего голоцена и были доместцированы прибывшими в Якутию переселенцами.

До сих пор генетический анализ якутских лошадей ограничивался немногими STR-маркерами (короткие tandemные повторы, участки ДНК с повторяющимися разное число раз элементами) и митохондриальной ДНК (мтДНК).

### Геномы древних и современных лошадей – об истории происхождения

Древние образцы ДНК извлекли из ископаемых останков лошадей от плейстоцена до исторического времени. Однако секвенирование показало, что в большинстве образцов ДНК в основном представлена бактериальными последовательностями (к сожалению, с древними образцами такое случается). Только в двух образцах удалось секвенировать относительно большие фрагменты ДНК с высоким покрытием – 18,3x и 20,2x (цифра указывает на то, сколько раз был прочитан каждый нуклеотид, и характеризует степень надежности). Первый образец (Batagai), откопанный около Верхоянска, по радиоуглеродному методу имеет возраст 5200 лет. Второй образец (CGG101397) был найден французской археологической экспедицией из захоронения начала XIX века. Оба они принадлежали жеребцам. В анализе ДНК использовали данные еще по двум образцам ископаемых лошадей — ODJ6 из XVIII века и Yukagir, возрастом около 5450 лет.

Современную ДНК собрали от 12 якутских лошадей в двух разных регионах Якутии. ДНК извлеченная из волос, позволила провести секвенирование со средним покрытием 21,6x для 9 лошадей.

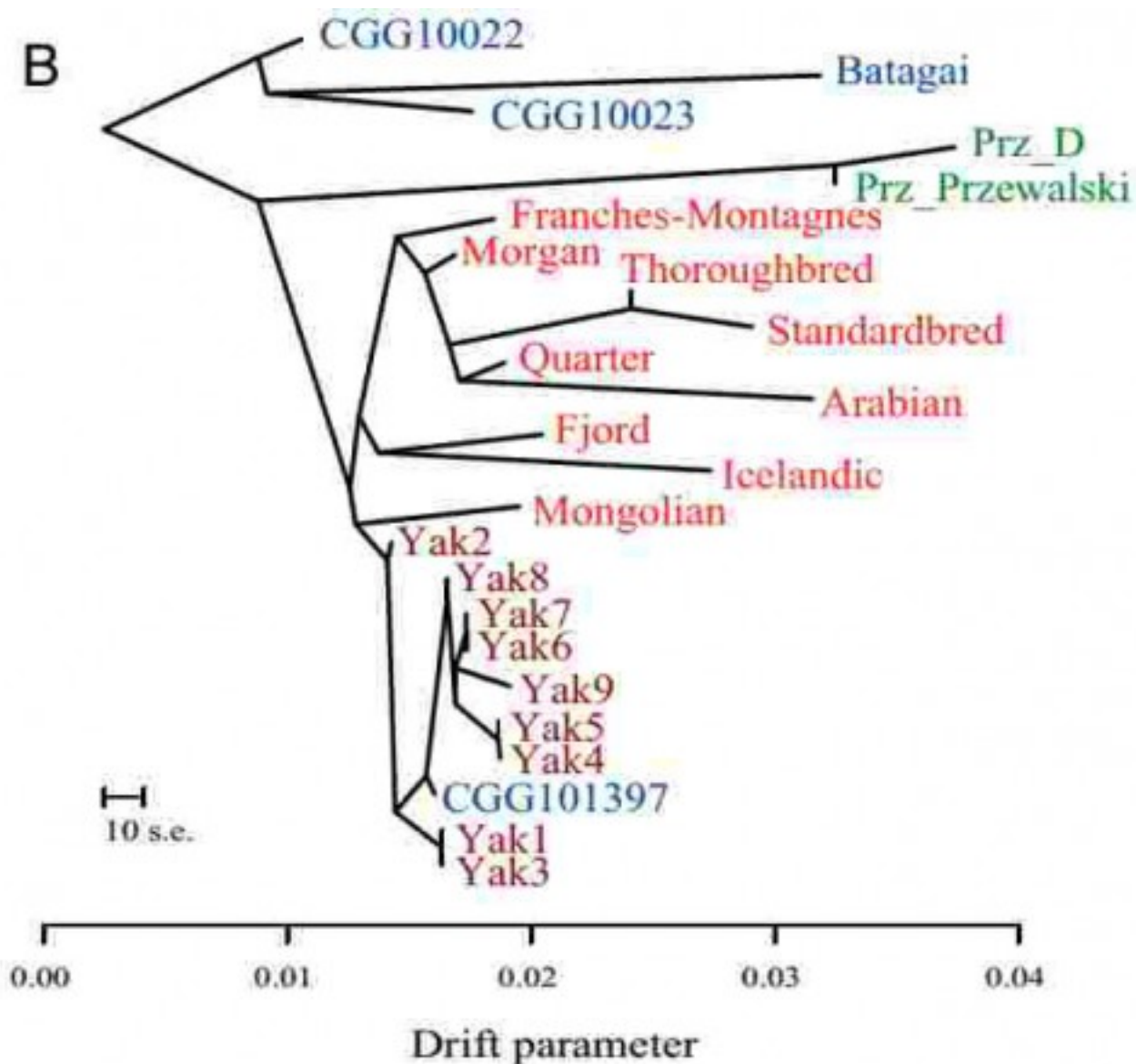


Местоположение изученных образцов ДНК лошадей в Якутии: голубым указаны древние образцы, красным – современные образцы.

Сначала сравнили мтДНК из 16 перечисленных образцов с базой данных по мтДНК от 27 древних (в том числе плейстоценовых) и 78 современных лошадей. Оказалось, что гаплотипы восьми из девяти современных якутских лошадей и CGG101397 (XIX век) близко родственны митохондриальным гаплотипам современных пород из разных регионов мира. МтДНК одного образца современной якутской лошади (Yak 8) группируется в кластер с вымершими плейстоценовыми лошадьми. А древние лошади более позднего времени (Batagai и Yukagir, 5,200 и 5,450 лет назад) группируются вместе в кластер, отдельный от современных лошадей.

Анализ Y-хромосом выявил у современных якутских лошадей 4 гаплотипа, близко родственных лошадям, прибывшим с людьми в XIII-XV вв, а также к образцу CGG101397 (XIX век).

В анализ включили также геномы трех современных лошадей Пржевальского, которые образовали отдельную от всех группу. Это видно на филогенетическом дереве, построенном по методике TreeMix, и на графике главных компонент.



Филогенетическое дерево TreeMix показывает связь между древними образцами (синий цвет), современными якутскими лошадьми (коричневый), лошадьми Пржевальского (зеленый) и современными породами (красный).

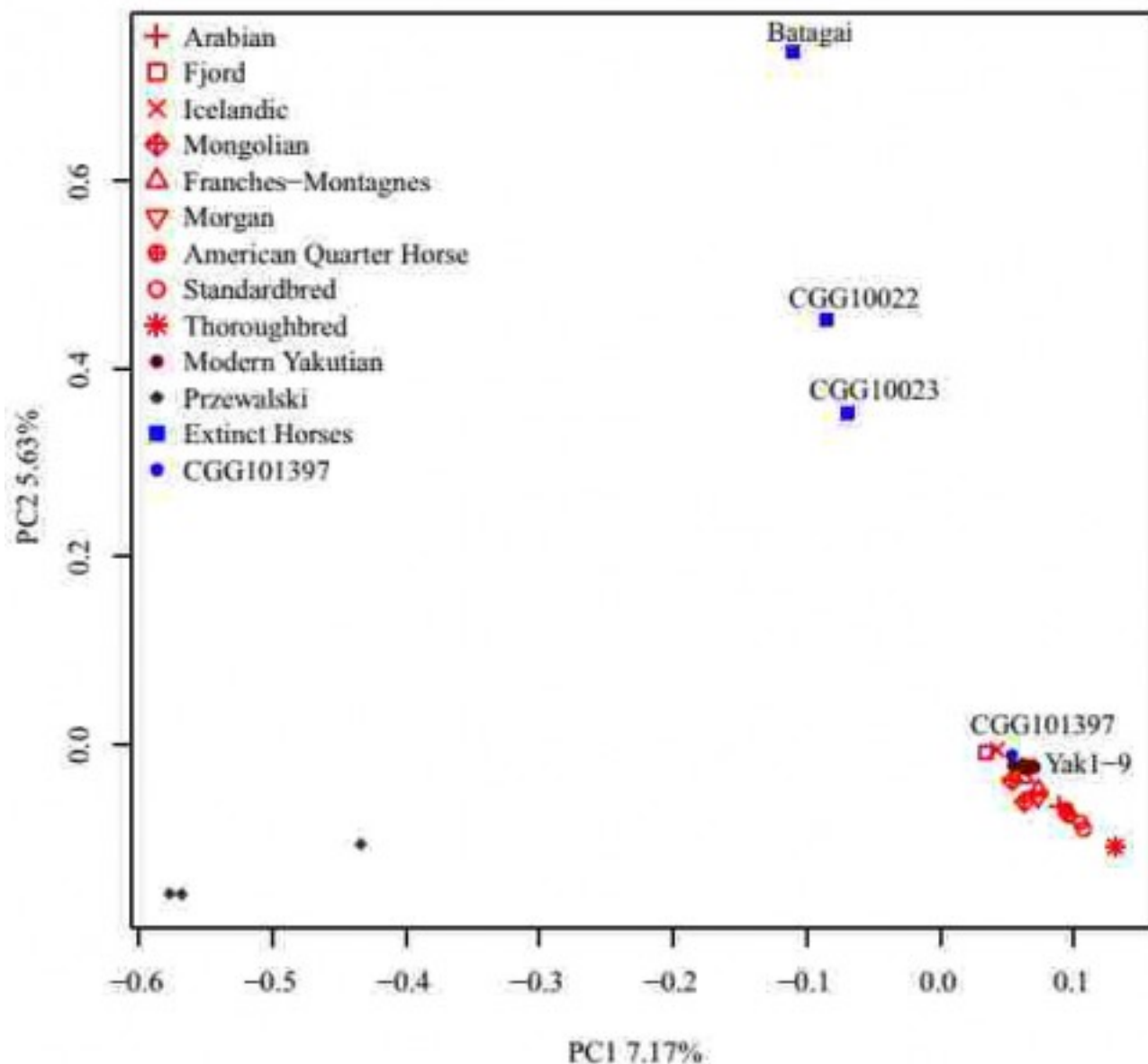


График анализа главных компонент. Показана генетическое расстояние между разными образцами ДНК лошадей. Обозначения перечислены в легенде. Красными значками обозначены различные породы современных лошадей, коричневые точки – современные якутские лошади, синяя точка – древняя лошадь XIX века, синие квадраты – лошади плейстоцена и среднего голоцена, зеленые точки – лошади Пржевальского.

Показано также генетическое сходство между образцами возрастом 5 тыс. лет из Якутии и образцами ископаемых лошадей того же времени с полуострова Таймыр, несмотря на тысячи километров, разделяющие эти регионы.

Из полученных результатов авторы делают вывод, что современные якутские лошади появились в Якутии позднее, чем 5200 лет назад, но раньше чем в XIX веке. В этот интервал как раз и попадает время прихода тюркоязычных переселенцев – XIII-XV века.

Авторы проследили демографическую историю якутских лошадей и выявили резкое сокращение популяции около 20 тысяч лет назад, в позднем плейстоцене, вероятно из-за климатических изменений. Но хотя у популяции плейстоценовых лошадей сократился эффективный размер популяции, она могла прожить еще долго. Вопрос в том, существовала ли еще популяция диких местных лошадей в момент прибытия лошадей с мигрантами и не внесла ли она свой компонент в генофонд современных лошадей. Несмотря на факт, что мтДНК гаплотип одного образца (номер 8) современной лошади очень близок к плейстоценовым, проведенные статистические расчеты не подтвердили это предположение.

Таким образом, похоже, что ни лошади плейстоцена, ни более поздние лошади среднего голоцена (около 5 тыс. лет назад), обитавшие в Якутии, не оставили следа в геноме современных якутских лошадей. Очевидно, их единственные предки – это лошади, прибывшие вместе с тюркоязычными переселенцами в середине прошлого тысячелетия. Из этого следует вывод, что адаптацию к экстремальным морозам якутские лошади приобрели за довольно короткий по эволюционным меркам срок.

## Секреты адаптации к якутским морозам

Чтобы найти адаптационные изменения в геноме, якутских лошадей сравнивали с большой базой данных по породам лошадей по всему миру. Удалось найти довольно много точек в геноме, которые, очевидно, служили мишенями естественного отбора на холодоустойчивость. Причем это были как кодирующие белки участки, так и некодирующие, регуляторные элементы. Большая часть принадлежала к так называемым цис-регуляторным элементам, которые находятся близко к генам, которые они регулируют.



Среди генов, которые изменили свою активность и обеспечили адаптацию к холоду, есть гены, влияющие на морфологию, физиологию, метаболизм. Среди первых, это гены, ограничивающие рост, и гены, связанные с развитием волосяного покрова. Мишенями для отбора стали гены жирового обмена, обеспечивающие накопление подкожного жира, а также гены, связанные с сокращением кровеносных сосудов в ответ на холод (тем самым уменьшаются потери тепла). Важное место занимают гены, обеспечивающие сезонные изменения метаболизма: летом он ускоряется, а зимой замедляется. Это достигается изменениями в генах сигнальных путей различных гормонов, таких как, стероидные, глюкокортикоидные. Например, гормональным путем регулируется активность адренорецепторов в печени, что повышает теплопродукцию и способствует выработке веществ-антифризов. Изменяется также метаболизм углеводов.

Холодовые адаптации у якутских лошадей сравнивали с аналогичными адаптациями у шерстистых мамонтов и у людей – жителей Сибири. Нашли много общего – отбор был направлен на одни и те же гены-мишени.

Таким образом, в этой части работы авторы приходят к двум любопытным выводам. Во-первых, что адаптации якутских лошадей к суровому климату – это пример сверхбыстрой эволюции. А во-вторых, можно говорить о конвергентной эволюции к холодному климату у разных видов – лошадь, мамонт, человек. Как пишут авторы, арктическая среда чрезвычайно ограничивает разнообразие генетического ландшафта, существует очень немного жизненных стратегий выживания в такой среде, поэтому они и вырабатываются независимо у разных видов.



**Источник:**

Tracking the origins of Yakutian horses and the genetic basis for their fast adaptation to subarctic environments

Pablo Librado, Clio Der Sarkissian, Luca Ermini, Mikkel Schubert, Hákon Jónsson, Anders Albrechtsen, Matteo Fumagalli, Melinda A. Yang, Cristina Gamba, Andaine Seguin-Orlando, Cecilie D. Mortensen, Bent Petersen, Cindi A. Hoover, Belen Lorente-Galdos, Artem Nedoluzhko, Eugenia Boulygina, Svetlana Tsygankova, Markus Neuditschko, Vidhya Jagannathan, Catherine Thèves, Ahmed H. Alfarhan, Saleh A. Alquraishi, Khaled A. S. Al-Rasheid, Thomas Sicheritz-Ponten, Ruslan Popov, Semyon Grigoriev,

Anatoly N. Alekseev, Edward M. Rubin, Molly McCue, Stefan Rieder, Tosso Leeb, Alexei Tikhonov, Eric Crubézy, Montgomery Slatkind, Tomas Marques-Bonet, Rasmus Nielsen, Eske Willerslev, Juha Kantanen, Egor Prokhortchouk and Ludovic Orlando