Мозаика культур Европы и Азии сложилась в бронзовом веке

Надежда Маркина

Анализ древних геномов показал картину миграций и динамику культур бронзового века

Генетики секвенировали 102 древних генома и обнаружили динамичную картину перемещений, смешений и замещений популяций Евразии в бронзовом веке (в интервале от 3 тыс. до 1 тыс. лет до н.э.). Эта генетическая мозаика не только проясняет динамику археологических культур Евразии, но даже — по мнению авторов – дает ключ к загадке распространения индоевропейских языков.

Читайте также ниже, в разделе «Мнения экспертов», комментарий Л.С.Клейна «Чем была ямная культура для Евразии бронзового века и современной?», а также объяснение биоинформатика Елены Лукьяновой, как работает программа ADMIXTURE.

Статья большого международного коллектива, опубликованная 11 июня в журнале Nature, посвящена исследованию геномов популяций Евразии в бронзовом веке (изучен период от 3000 до 1000 лет до н.э.). Первый автор Мортен Аллентофт (Morten E. Allentoft) и ведущий автор Эске Виллерслев (Eske Willerslev) представляют Центр географической генетики Музея естественной истории Университета Копенгагена, Дания.

Эта статья вызвала огромный интерес у специалистов по истории популяций человека — ведь в ней представлен анализ самого большого массива древних геномов из разных археологических культур эпохи бронзы. На основании анализа древних геномов авторы пробуют реконструировать древние миграции и распространение археологических культур во времени и пространстве.

В бронзовом веке, начало которого датируют временем 3500-3300 лет до н.э., в производстве орудий и оружия камень все больше уступает место металлу. Это сопровождается радикальными культурными и социальными изменениями в жизни людей. Они касаются не только хозяйственного уклада – возникает новое понимание имущественных отношений, семьи и личности. Основной вопрос, на который попытались ответить авторы статьи — были ли эти изменения результатом передачи культурных навыков или результатом миграций населения. Иными словами, «была ли это циркуляция людей или идей». Важнейший вопрос — связаны ли эти события с распространением индоевропейских языков, на которых сейчас говорит большая часть человечества.

Археологические культуры Евразии

Во введении авторы кратко представляют свое видение истории формирования генофонда Евразии до бронзового века, основанное на последних данных генетики. Популяции Западной Европы и Восточной Азии разделились в период между 45 и 36 тыс. лет назад. В азиатскую популяцию 20 тыс. лет назад (или немного ранее) влился дополнительный поток генов, «отставший» от той ранней миграции из Африки, что дала начало австралийским аборигенам. Западная ветвь составила метапопуляцию, разделившуюся на популяции Европы и Центральной Азии.

> metapopulation — часто используемый в западной генетической литературе (хотя практически отсутствующий в русскоязычной литературе) термин для описания больших многосоставных популяций.

Ранние европейцы получили поток генов с Ближнего Востока в процессе неолитизации около 8-5 тыс. лет назад, а также, по-видимому, и поток генов из Северной Азии. Это более-менее ясно, резюмируют авторы статьи. Но что случилось дальше, в бронзовом веке, до сих пор остается куда более туманным.

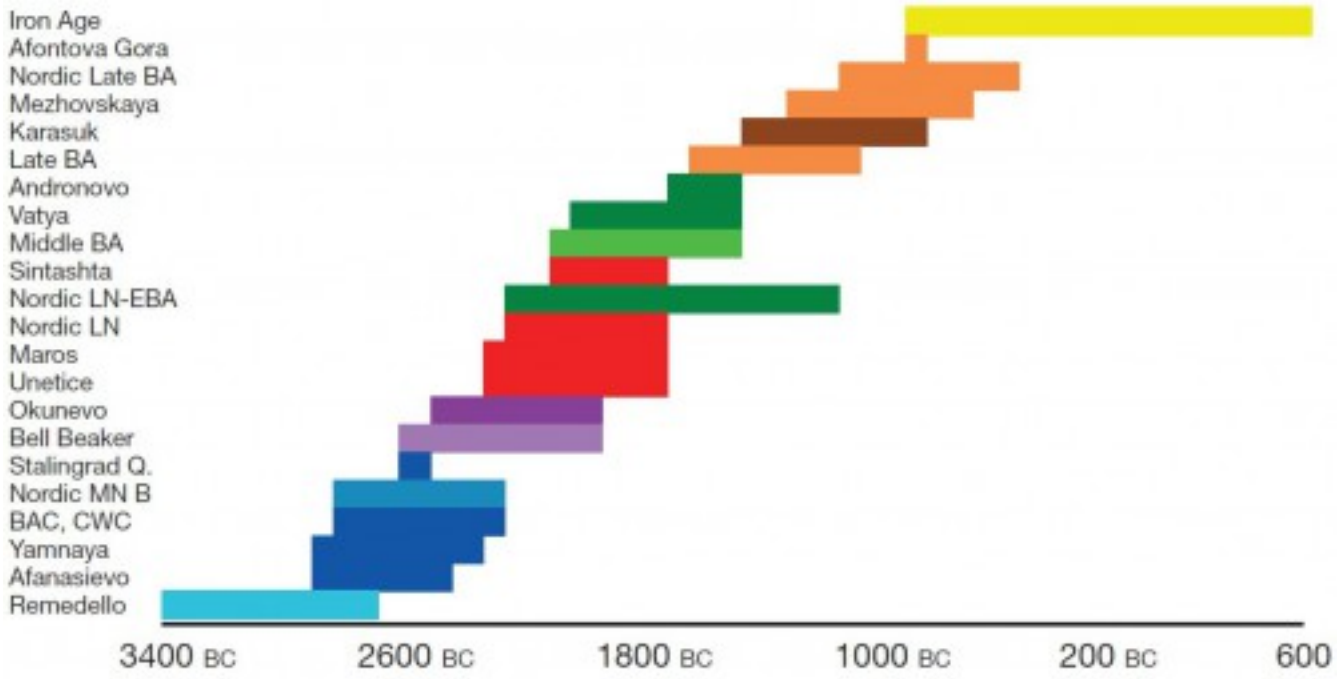
Общую картину последующих событий – пока на основе только данных археологии — авторы рисуют так. К третьему тысячелетию до н.э. значительная часть ареала культуры неолитических земледельцев в Восточной Европе замещается ямной культурой раннего бронзового века, она быстро распространяется от Урала до Венгрии. Ямная культура названная так по типу захоронений, известна строительством колесных повозок на тяжелых сплошных колесах. К 2800 году до н.э. в Европе возникает новая социальная и экономическая формация, названная культурой шнуровой керамики, или боевых топоров, эти названия происходят от типа орнамента на керамических изделиях и от обычая класть в могилы мужчин боевой топор (она же — культура одиночных погребений). Появившись, скорее всего, из ямной культуры, она замещает ареал оставшихся неолитических земледельцев. В Западной Сибири и Центральной Азии в это время все еще доминировали охотники-собиратели. Исключение составляют Алтай и Минусинский бассейн, где процветала афанасьевская культура, по своим особенностям близкая к ямной.

Culture	BC cal
Majkop	3700-3000
Remedello 1	3400-2800
Afanasievo	2900-2500
Yamnaya	3000-2400
Catakomb	2800-2200
Corded Ware	2800-2300
Single Grave	2800-2300
Battle Axe	2800-2300
Nordic MN B	2800-2200
Bell Beaker	2600-2000
Okunevo	2500-2000
Unetice	2300-1800
Maros	2300-1500
Sintashta	2100-1800
Nordic LN	2200-1800
Vatya	2000-1500
Nordic EBA	1800-1150
Andronovo	1700-1500
Karasuk	1400-900
Mezhovskaya	1300-800/700
Iron Age	9/700 BC-AD 500/1000

Хронология археологических культур, обсуждаемых в статье.

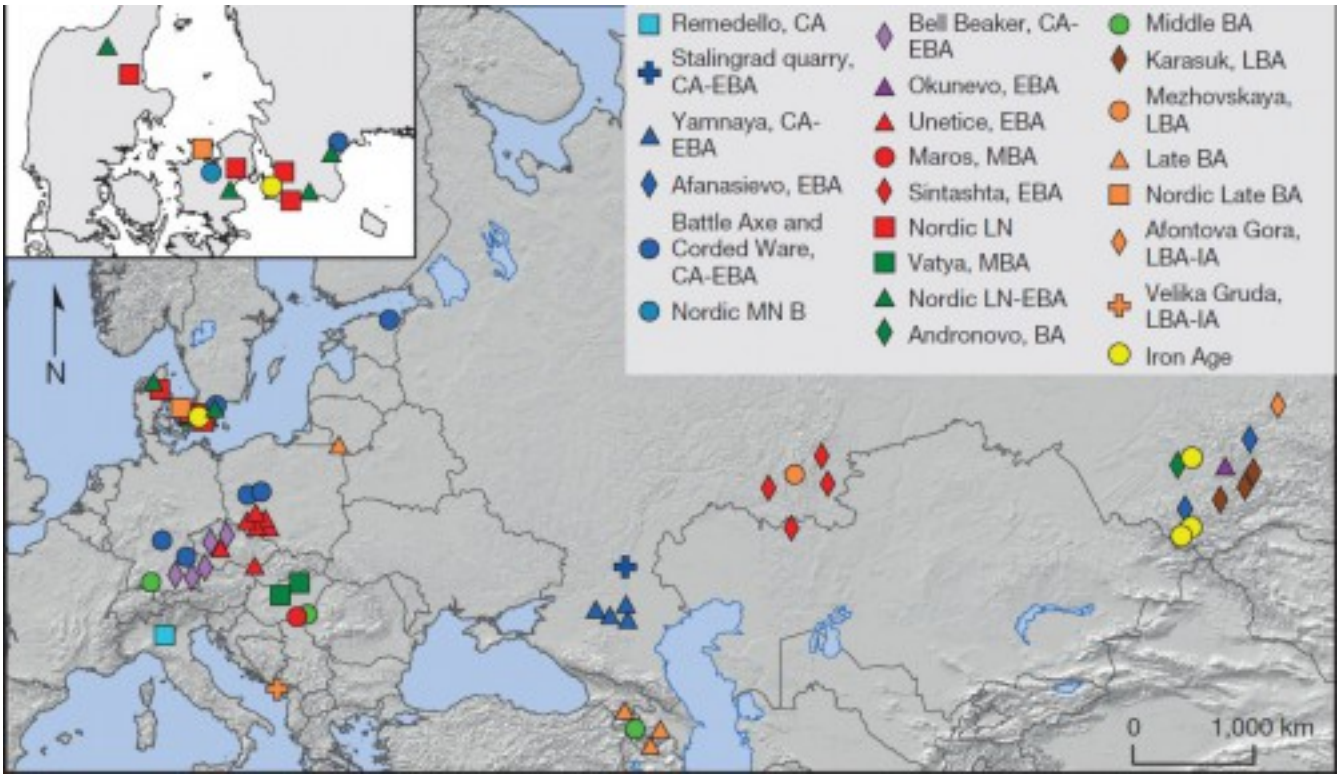
С начала 2000 лет до н.э. на Урале возникает синташтинская культура: для нее характерно строительство легких боевых колесниц, разведение и тренировка лошадей и производство новых видов оружия. Эти инновации быстро распространились по Европе и перешли в андроновскую культуру, вместе с ней проникнув в Азию.

В поздней бронзе, около 1500 лет до н.э., андроновская культура постепенно замещается другими археологическими культурами – авторы указывают межовскую, карасукскую и коряковскую культуры (последняя еще не вошла в употребление как термин у российских археологов). Датировки обсуждаемых в статье культур авторы представили в таблице и на рисунке.



Название либо местоположение и датировка изучаемых культур (снизу вверх, по хронологии)

Анализ древней ДНК



Местоположение изучаемых образцов древней ДНК, слева вверху перечислены названия культур и их обозначения.

Авторы исследования поставили перед собой задачу увеличить число полностью секвенированных древних геномов . В предшествующей статье Вольфганга Хаака и Дэвида Райха был проведен полногеномный анализ 69 образцов. В данной работе, чтобы достичь своей цели, ученые применили несколько новых методических приемов, в частности, способ извлечения ткани для взятия ДНК, и разработали два специальных буферных раствора, чтобы снизить вероятность загрязнения и получить возможность прочтения очень маленьких кусочков ДНК. По времени исследователи отбирали образцы возрастом от начала 3-го до середины 2-го тысячелетия до н.э. В числе этих образцов были ДНК индивидуумов, принадлежащих к бронзовому веку, а также несколько образцов из позднего неолита и железного века. Географически они охватывали Скандинавию, Центральную, Южную и Восточную Европу, Южный Урал и Центральную Сибирь.

На первом этапе авторы изучили сохранность ДНК в 603 образцах и 102 образца (от 101 индивидуума) выбрали для полногеномного исследования. В большинстве случаев они были взяты из зубов, хотя в некоторых случаях – из костей. Все изучаемые образцы были датированы радиоуглеродным методом.

Даже с применением новых технологических приемов извлечения ДНК исследователям удалось секвенировали геномы с очень низким покрытием. Для 101 генома этот параметр колебался от 0,01x до 7,4x, в среднем составил 0,7x (цифра показывает, сколько раз – в среднем — был прочитан каждый нуклеотид; для сравнения – при анализе современных геномов хорошим покрытием считается 30x – 8-x). 19 геномов секвенировали с несколько более высоким покрытием – от 1,1x до 7,4x. Таким образом, пишут авторы, они удвоили число древних геномов, секвенированных с покрытием более 1x.

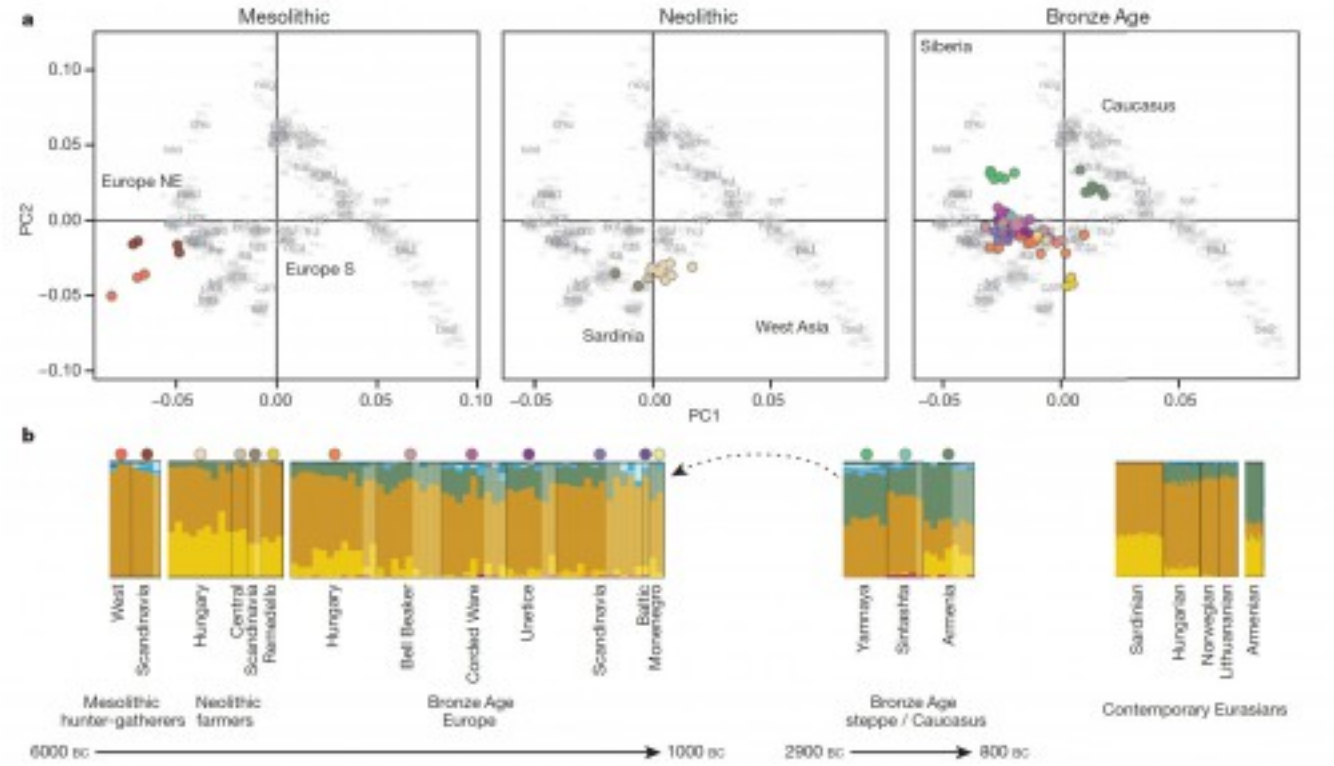
При анализе использовали несколько геномов, секвенированных ранее другими авторами с высоким покрытием: образец из Усть-Ишима (45 тыс. лет назад), образец из Костенок (36 тыс. лет назад), 13 образцов из Венгрии – неолит, бронзовый век и железный век, два неолитических образца из Швеции. А также образец из Сибири (24 тыс. лет назад), со стоянки Мальта, образцы из Западной и Северной Европы (Лошбор, Штутгарт, Мотала), мезолитический Ла-Бранья (7 тыс. лет назад) и тирольского «ледяного человека», 5,3 тыс. лет назад.

Затем из каждой древней популяции отобрали по одному геному с наибольшим числом SNP-маркеров, причем это число должно быть не менее 300 тысяч, прибавив к ним также геномы с высоким покрытием из предыдущих исследований. В результате были отобраны 17 индивидов, представляющих 16 популяций. Анализ проводили по методу главных компонент (PCA) и программе ADMIXTURE. Метод анализа главных компонент на основании генетического сходства позволил выявить 11 кластеров, соответствующих географии и культурной принадлежности образцов. Программа ADMIXTURE указала на состав предков для каждой изученной популяции.

> ADMIXTURE (буквально: примесь) – это компьютерная программа, позволяющая выявлять смешанность состава некоего набора индивидов на основе их генотипов и тем самым строить предположения о происхождении популяции. Подробнее читайте ниже в разделе «Мнения экспертов».

Европа эпохи бронзы

Анализируя свои геномные данные в сравнении с уже опубликованными данными по древним и современным геномам, авторы пришли к заключению, что генетическая структура Европы сложилась в бронзовом веке. Популяции в Северной и Южной Европе были сформированы смешением ранних охотников-собирателей и неолитических земледельцев, а в начале бронзового века получили поток генов из региона черноморско-каспийских степей. Это хорошо соотносится с археологическими данными по экспансии ямной культуры в Европу, что привело к появлению популяции культуры шнуровой керамики, уточняют авторы. Надо сказать, что они называют это событие «потоком генов с Кавказа». Очевидно, что их понимание Кавказа далеко от географического – судя по тексту статьи, они включают в него регион предкавказских степей, и более широко – весь степной регион.



Генетическая структура древней Европы и черноморско-каспийских степей. a) Анализ главных компонент (PCA) древних образцов (n=93) из разных периодов. b) Анализ по ADMIXTURE предковых компонентов (K=16) для древних (n=93) и современных индивидуумов.

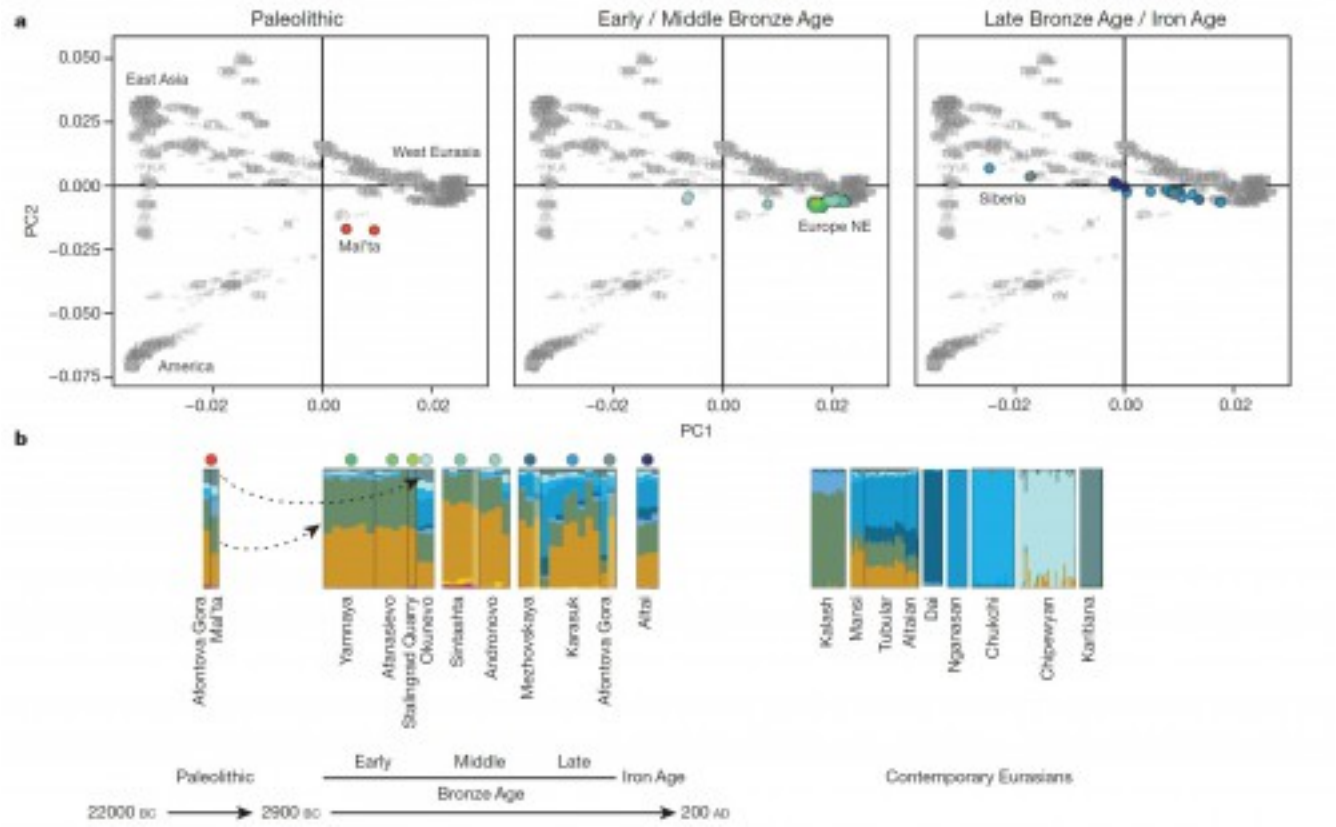
Анализ показал, что европейские культуры позднего неолита и бронзового века — шнуровой керамики, колоковидных кубков, унетицкая и скандинавская – генетически близки друг другу. Все они проявляют сходство с ямной культурой, наиболее близка к ней культура шнуровой керамики, наименее – культуры Венгрии, промежуточное положение занимает культура колоковидных кубков Центральной Европы.

Степной компонент (который авторы статьи называют «кавказским») различается в разных регионах Европы. Например, культура медного века Ремеделло в Италии не имеет его вовсе, но он широко представлен в культурах поздней бронзы в Черногории.

Генетическое сходство между культурами шнуровой керамики и синташтинской предполагает наличие общих предков. И у той, и у другой популяции в предках имелись неолитические земледельцы, отсутствующие в ранней ямной культуре. Это идет вразрез с предыдущими гипотезами, полагающими возникновение синташтинской культуры в Азии или на Ближнем Востоке (имеется в виду гипотеза С. А. Григорьева).

Азия эпохи бронзы

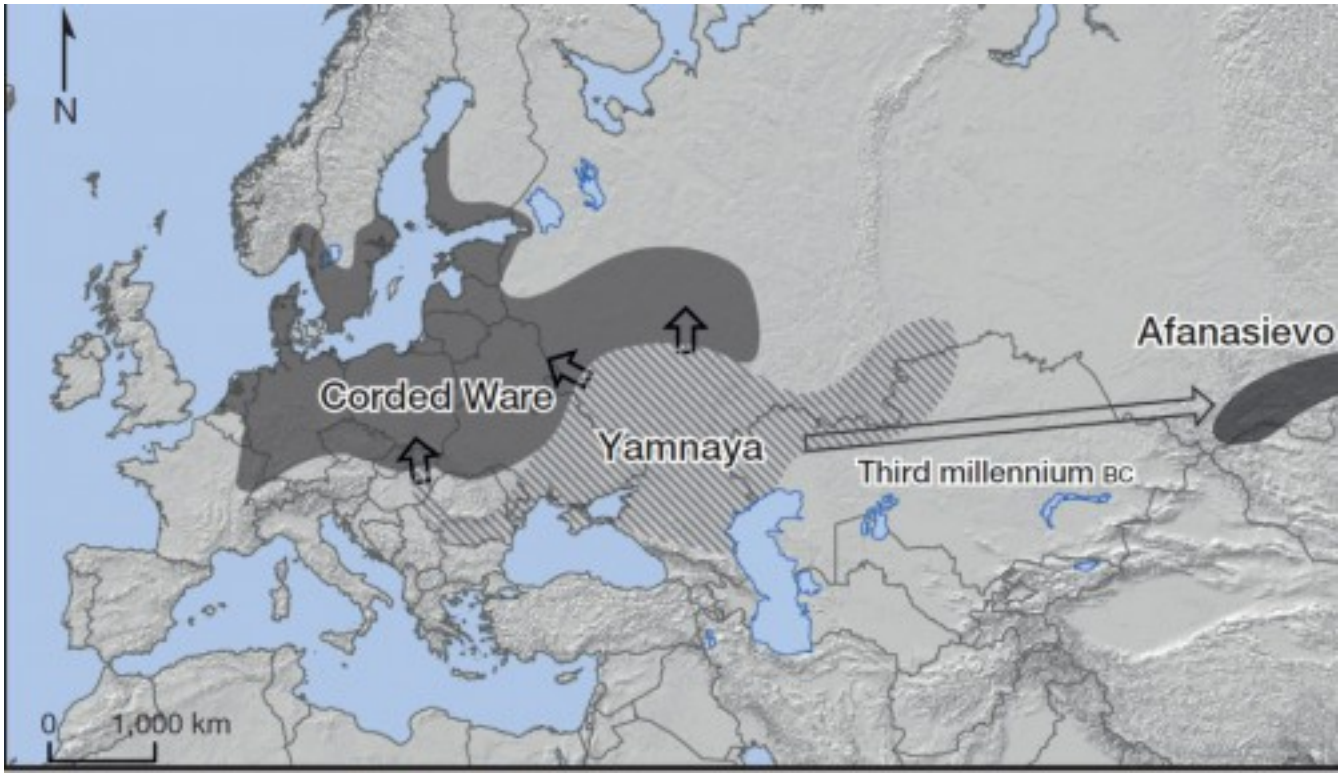
Бронзовый век в Азии, пишут авторы, столь же динамичен и характеризуется обширными миграциями и замещением популяций. Популяция раннего бронзового века — афанасьевская культура в Алтае-Саянском регионе — генетически неотличима от ямной. Это свидетельствует о том, что ямная культура из степей распространялась сразу в двух направлениях – как на запад, так и на восток. Благодаря этому в раннем бронзовом веке генетическое сходство появилось в таких отдаленных регионах, как Алтай и Скандинавия.



Генетическая структура Азии бронзового века. a) Анализ главных компонент (PCA) древних образцов (n=40) из разных периодов. b) Анализ по ADMIXTURE предковых компонентов (K=16) для древних (n=40) и современных индивидуумов.

Андроновская культура, возникшая в Центральной Азии в течение поздней бронзы, генетически близка к синташтинской и отличается от ямной и от афанасьевской. По-видимому, андроновская культура представляет собой временное и пространственное продолжение генофонда синташтинской. К концу бронзового века в Азии андроновская культура замещается карасукской и межовской и культурами железного века. Эти культуры появились в результате миграции популяций из Восточной Азии в Центральную и смешения их с западноевразийскими популяциями.

Исследователи отмечают тот факт, что популяция окуневской культуры бронзового века из Саяно-Алтайского региона демонстрирует генетическое сходство с современными коренными американцами, что подтверждается предыдущими краниометрическими исследованиями. Этот факт означает, что окуневская культура может представлять остаточную популяцию, родственную верхнепалеолитической популяции охотников-собирателей Сибири (представленной геномом со стоянки Мальта, близ озера Байкал). А эта популяция, в свою очередь, родственна предковой популяции индейцев Америки.



Местоположение культур раннего бронзового века – ямной (Yamnaya), шнуровой керамики (Corded Ware) и афанасьевской (Afanasievo).



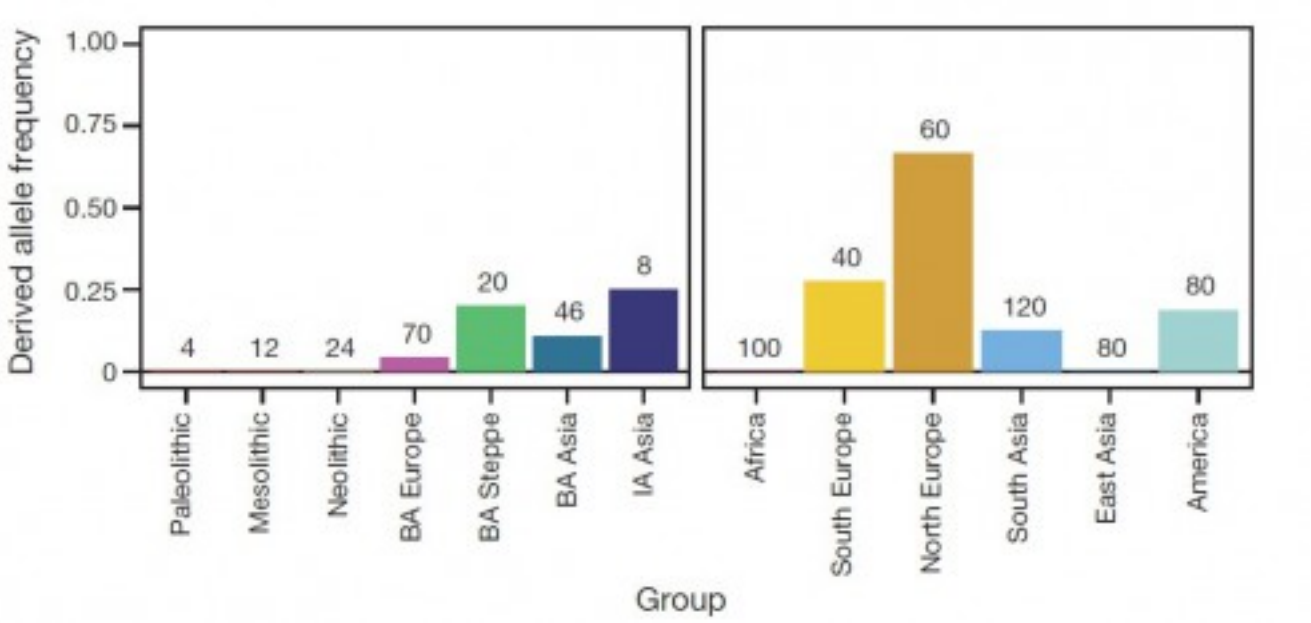
Культуры среднего и позднего бронзового века: синташтинская (Sintashta), андроновская (Andronovo), окуневская (Okunevo) и карасукская (Karasuk), в начале-середине второго тысячелетия до н.э., возникшие из миграции на восток.

Светлая кожа, голубые глаза и молоко

Авторы статьи проследили также за распространением в европейском генофонде отдельных генетических вариантов (всего 104), которые связаны с важными фенотипическими признаками. Быстрое увеличение частоты этих генетических вариантов

(аллелей) может объясняться тем, что они поддерживались естественным отбором.

Например, выяснилось, что два аллеля, ассоциированных со светлой пигментацией кожи, у европейцев стремительно увеличиваются в частоте. Аллель, обеспечивающий голубые глаза, хотя возникает еще у мезолитических охотников-собирателей, отсутствует в черноморско-каспийских степных популяциях, но у европейцев бронзового века достигает заметной частоты.



Частота аллеля толерантности к лактозе (rs4988235) в древних (слева) и современных (справа) популяциях.

Генетический вариант, связанный с толерантностью к лактозе (rs4988235), дает возможность взрослым людям употреблять в пищу молоко. Распространение этого аллеля традиционно связывали с появлением животноводства – он обеспечивал дополнительный источник питания. Полученные результаты оказались для исследователей неожиданными. Оказалось, в бронзовом веке частота данного аллеля была довольно низкой — в среднем 10%. Наибольшей частоты он достигал в популяции ямной культуры, поэтому авторы полагают, что именно от ямников он внедрился в Европу. Однако значительной частоты этот вариант достиг в более позднее время (а среди современных европейцев его частота составляет в среднем 70%). Получается, что люди стали пить молоко далеко не сразу после того, как одомашнили скот.

Циркуляция людей или идей?

Итак, на главный вопрос, что стало причиной радикальных культурных изменений в бронзовом веке — «циркуляция людей или идей» — авторы статьи получили ответ. Они показали, что в это время происходили сложные процессы экспансии, смешения и замещения популяций, и именно они сформировали генофонд Европы и значительной части Азии.

Результаты исследования показали, что современное население Евразии генетически ближе к популяциям бронзового века, чем к мезолитическим и неолитическим. Исключение составляют некоторые южные европейцы (население Сардинии и Сицилии), которые оказываются ближе к неолитическим земледельцам.

Авторы статьи считают, что миграции в период бронзового века хорошо объясняют распространение индоевропейских языков. Вероятный его сценарий — это экспансия ямников из черноморско-каспийских степей как в северную Европу, так и в Центральную Азию. Так, мигрирующие на восток ямники, вероятно, говорившие на индоевропейском языке, дали начало афанасьевской культуре близ Алтая около 3000 лет до н.э. Представители афанасьевской культуры могли продвинуться далее на юг, вглубь Центральной Азии, и этим объясняется загадочное присутствие одного из старейших индоевропейских языков, тохарского, в бассейне реки Тарим (на стыке современных Казахстана, Монголии и Китая).

Тем не менее, авторы предупреждают, что их выводы предварительны, и в каждом отдельном случае связь между культурными изменениями, миграциями и языком должна доказываться отдельно.

Источник:

Population genomics of Bronze Age Eurasia

Morten E. Allentoft, Martin Sikora, Karl-Göran Sjögren, Simon Rasmussen, Morten Rasmussen, Jesper Stenderup, Peter B. Damgaard, Hannes Schroeder, Torbjörn Ahlström, Lasse Vinner, Anna-Sapfo Malaspinas, Ashot Margaryan, Tom Higham, David Chivall, Niels Lynnerup, Lise Harvig, Justyna Baron, Philippe Della Casa, Paweł Dabrowski, Paul R. Duffy, Alexander V. Ebel, Andrey Epimakhov, Karin Frei, MirosławFurmanek, Tomasz Gralak, Andrey Gromov, Stanisław Gronkiewicz, Gisela Grupe, Tamás Hajdu, Radosław Jarysz, Valeri Khartanovich, Alexandr Khokhlov, Viktoria Kiss, Jan Kolar, Aivar Kriiska, Irena Lasak, Cristina Longhi, George McGlynn, Algimantas Merkevicius, Inga Merkyte, Mait Metspalu, Ruzan Mkrtchyan, Vyacheslav Moiseyev, Laszlo Paja, György Palfi, Dalia Pokutta, Łukasz Pospieszny, T. Douglas Price, Lehti Saag, Mikhail Sablin, Natalia Shishlina, Vaclav Smrc˘ka, Vasilii I. Soenov, Vajk Szeverenyi, Gusztav Toth, Synaru V. Trifanova, Liivi Varul, Magdolna Vicze, Levon Yepiskoposyan, Vladislav Zhitenev, Ludovic Orlando, Thomas Sicheritz-Ponte´n, Søren Brunak, Rasmus Nielsen, Kristian Kristiansen & Eske Willerslev

Nature 522, 167–172 (11 June 2015) doi:10.1038/nature14507

Аффилиация авторов по ссылке: http://www.nature.com/nature/journal/v522/n7555/full/nature14507.html