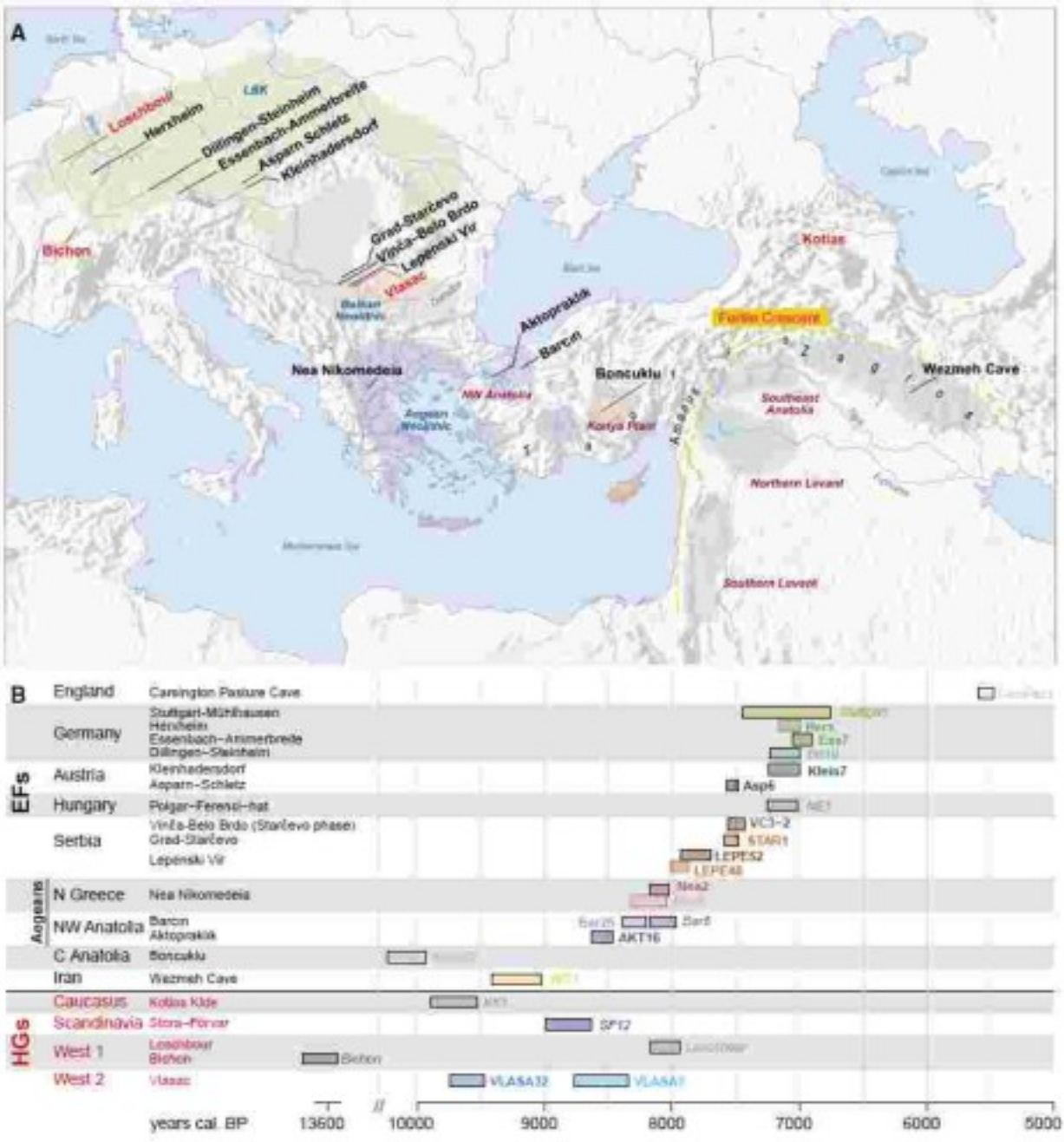
Моделирование показало, как складывался генофонд ранних европейских земледельцев

С использованием моделирования на основе геномных данных древних индивидов специалисты представили схему популяционной динамики в Европе и Юго-Западной Азии в мезолите и неолите. Она показала, что ранние земледельцы Анатолии и Европы сформировались в ходе множественного смешения популяций из Юго-Западной Азии с европейскими охотниками-собирателями.

Швейцарские исследователи предложили свою концепцию популяционных процессов, происходящих в Европе и Юго-Западной Азии в эпоху перехода от охоты и собирательства к производящему хозяйству. Статья с результатами этой работы опубликована в журнале Cell. По данным археологии и палеогенетики сформировалось представление, что земледелие и скотоводство возникло в области Плодородного полумесяца примерно 11,7 тысяч лет назад, а в Европу технологии сельского хозяйства проникли по двум путям: средиземноморскому и дунайскому. Как свидетельствуют исследования древней ДНК, ранние европейские земледельцы были генетически отличны от европейских охотников-собирателей. Показано, что на первых порах генетический обмен между теми и другими был очень ограниченным, но потом усилился.

Авторы данной статьи поставили перед собой задачу уточнить происхождение ранних земледельцев Юго-Западной Азии и Европы и процессы, которые привели к их дивергенции с охотниками-собирателями. Для этого они использовали как анализ древней ДНК, так и моделирование. Исходным материалом послужили геномы 15 индивидов — ранних земледельцев и охотников-собирателей. ДНК извлекли из останков, найденных на наиболее известных археологических сайтах Европы и Анатолии эпохи раннего голоцена, включая первые поселения земледельцев в бассейне Эгейского моря, мезолитические и неолитические стоянки у Железных ворот на Дунае и в других местах на Балканах и поселения раннего неолита Центральной Европы. С использованием ранее опубликованных данных, в работе проанализировали 25 древних геномов.



A. Расположение археологических сайтов, данные которых использованы в работе. Неолитические образцы показаны черным, мезолитические и палеолитические – красным. B. Хронологическое распределение 25 геномов, изученных в работе (в т.ч. 15 впервые секвенированных) (Marchi et al., 2022).

Анализ многомерного шкалирования выявил три кластера древних индивидов: 1) европейские охотники-собиратели, 2) ранние земледельцы из Анатолии и Европы, 3) ранние земледельцы из Ирана и охотники-собиратели с Кавказа (которые оказались расположены отдельно от остальных).

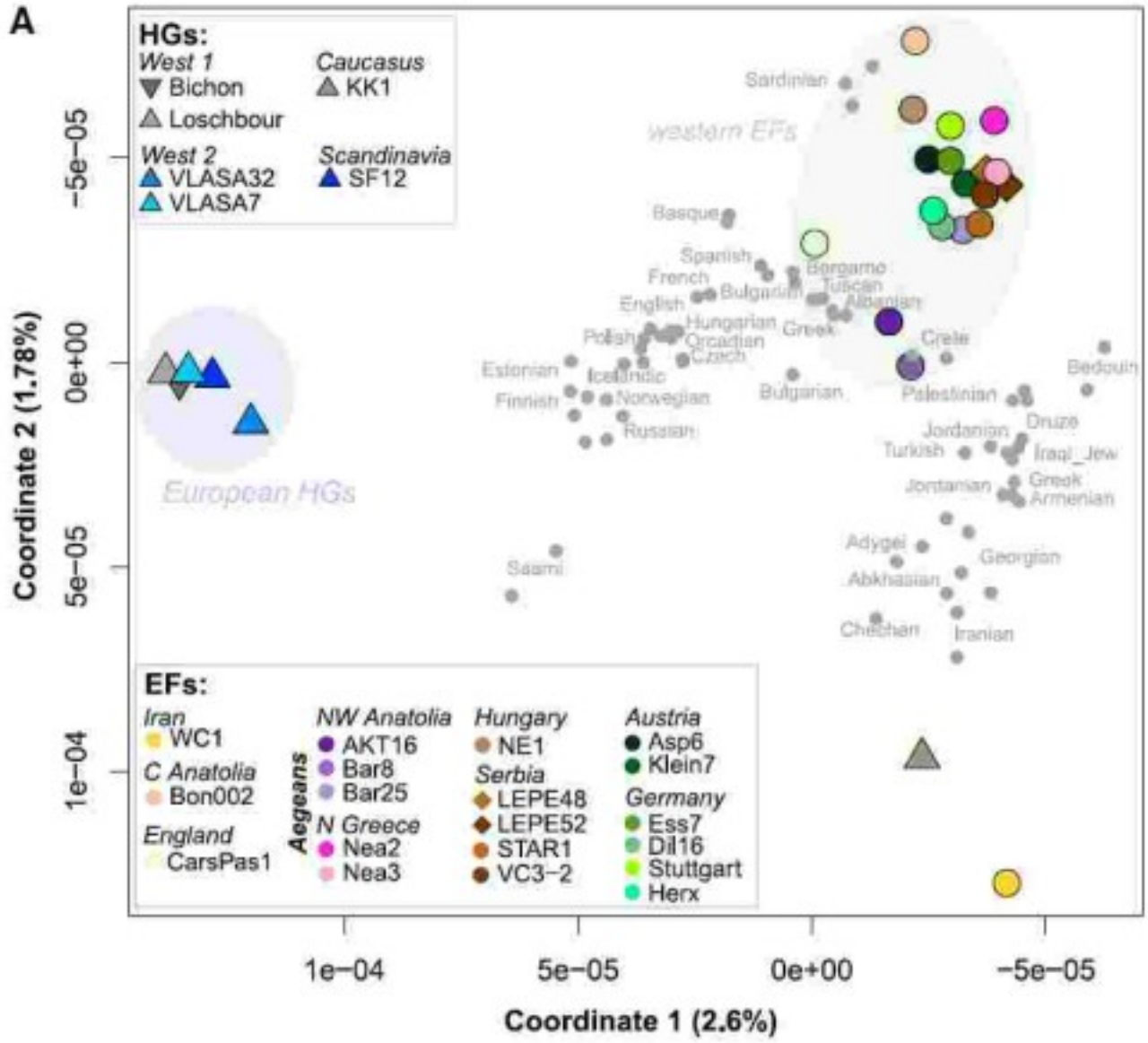


График многомерного шкалирования по 15 древним и 65 современным геномам из Европы и Юго-западной Азии. Большие круги и квадраты – ранние земледельцы, треугольники – охотники-собиратели. Овалы обозначают два кластера древних индивидов: европейские охотники-собиратели (HGs) и европейские и анатолийские земледельцы (EFs) (Marchi et al., 2022).

Далее, авторы применили моделирование на основе геномных данных по каждому кластеру. Используемая модель описана в литературе как модель «остров-континент», так как изучаемая популяция рассматривается как «остров», который получает генетический поток от метапопуляции («континента»). Они заложили в модель три метапопуляции – Западную, Центральную и Восточную.

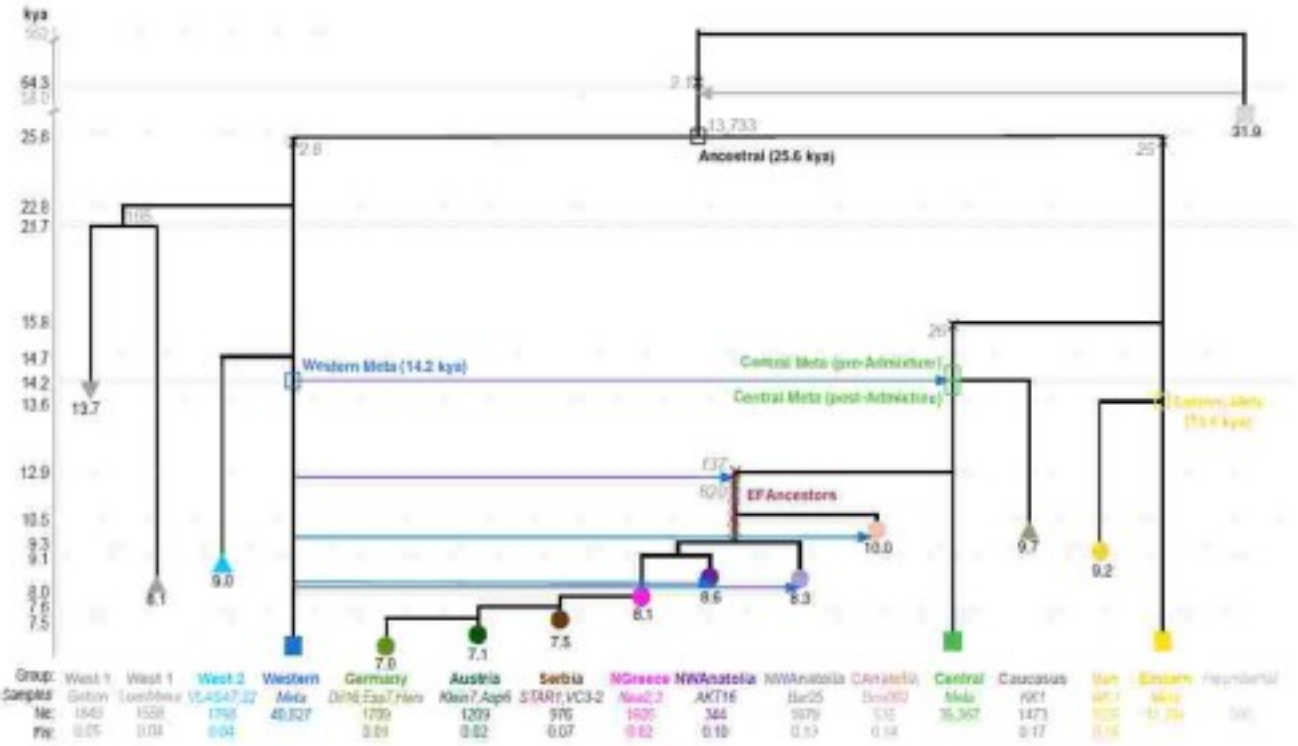
Дивергенция между предками Восточной и Западной метапопуляций, по расчетам исследователей, произошла около 26 тысяч лет назад. Она была связана с Последним ледниковым максимумом, в эпоху которого сильно сократилась площадь, пригодная для жизни человека, и люди сконцентрировались в климатических рефугиумах. Далее, согласно модели, около 23 тыс. лет назад европейские охотники-собиратели разделились на группы Западную-1 и Западную-2. Это произошло в ходе того, как они прошли через узкое бутылочное горлышко, что привело к снижению генетического разнообразия в их популяциях.

В противоречии с предыдущими исследованиями, авторы получили данные, что кавказские охотники-собиратели и ранние европейские земледельцы – это потомки одной популяции, предковой для Центральной метапопуляции. Это согласуется с последними данными, что кавказские охотники-собиратели более близки к европейским земледельцам, чем западноевропейские охотники-собиратели. Затем произошло смешение: предки Центральной метапопуляции получили около 14% своего генофонда от Западной метапопуляции, около 14,2 тыс. лет назад. Предки иранской неолитической популяции не были затронуты этим смешением, они, скорее, отделились от Восточной метапопуляции 13,6 тыс. лет назад, после ее разделения с Центральной 15,8 тыс. лет назад.

Предки западноевропейских ранних земледельцев дважды смешивались с западными охотниками-собирателями. Второй генетический поток они получили от Западной метапопуляции 12,9 тыс. лет назад. Таким образом, ранние западноевропейские земледельцы сформировались в ходе повторяющихся эпизодов генетических потоков от западноевропейских охотников-собирателей. Они дивергировали с кавказскими охотниками-собирателями между 12 и 9,1 тыс. лет назад.

Исследователи уделили большое внимание процессу разделения между ранними земледельцами Анатолии и Эгейского региона. Как они пишут, популяции из северо-западной Анатолии и северной Греции, по-видимому, отделились друг от друга около 9,1-9,3 тыс. лет назад, в ходе колонизации Эгейского региона ранними земледельцами. Напротив, ранние земледельцы из центральной Анатолии отделились, по меньшей мере, на 1000 лет раньше – 10,5 тыс. лет назад. Анатолийская и эгейская популяции земледельцев получили разной величины генетический поток от Западной метапопуляции: у анатолийских земледельцев вклад охотников-собирателей выше, чем у эгейских. Далее, модель показала постепенное распространение ранних земледельцев по Эгейскому региону с продолжением на Балканах и по Дунайскому коридору в Центральную Европу.

В статье представлена такая схема дивергенции популяций с оценкой времени разделения и эффективной численности популяции и определением эпизодов прохождения через бутылочное горлышко (обозначено X).



Демографическая история, полученная с помощью моделирования. Указано время событий (по оси Y) и возраст популяций, количество образцов, коэффициент инбридинга (Fis) и диплоидный эффективный размер популяции. Незаполненные символы обозначают древние популяции, которые моделировали после или до ключевых событий (разветвление или смешение). X символы обозначают эпизоды бутылочного горлышка (Marchi et al., 2022).

Авторы называют свою модель «демогеномной». По их мнению, моделируемый демографический сценарий хорошо согласуется с анализом многомерного шкалирования геномных данных. Четко выделяются три кластера, в которых европейские охотники-собиратели группируются вместе и отделяются от западноевропейских земледельцев, а кавказские охотники- собиратели и иранские земледельцы располагаются отдельно.

Исследователи приходят к выводу, что популяционное моделирование дает возможность получить более полную и детальную информацию, чем просто анализ геномных данных. Помимо основных развилок на дереве модель задает временные рамки дивергенции основных групп и позволяет оценить эффективный размер популяций.

Представленные ниже картинки популяционной динамики на основе данных из (Marchi et al., 2022) модифицированы редактором канала «Археология, история, генетика — исследования».


> 27 000 лет назад
До максимума последнего оледенения
Слабоструктурированные популяции


≈ 25 000 лет назад
Максимум последнего оледенения I
Разделение на западную и восточную группы
Западная
Восточная


≈ 20 000 лет назад
Максимум последнего оледенения II
Дополнительный раскол западной группы
Западная 1
Западная 2
Восточная


≈ 15 000 лет назад
После максимума последнего оледенения
Расширение ареала и восточное расслоение
Западная 1
Западная 2
Восточная 2
Восточная 1


≈ 14 200 лет назад
Бёллингское потепление
Первая примесь
Западная 1
Западная 2
Примесь 1
Восточная 2
Восточная 1


≈ 13 800 лет назад
Средний дриас
Разделения
Западная 1
Западная 2
Смешанные
север
Смешанные
юг
Восточная 2
Восточная 1





текст Надежды Маркиной

Источник:

Nina Marchi et al. The genomic origins of the world's first farmers // Cell 2022, 185, 1842–1859

https://doi.org/10.1016/j.cell.2022.04.008