

ДЕВІД РАЙХ

# ХТО МИ ТАКІ?

ПОХОДЖЕННЯ ЛЮДИНИ  
КРІЗЬ ПРИЗМУ ДНК

*Переклала з англійської  
Анна Марховська*

«НАШ ФОРМАТ» · КИЇВ · 2019

[Купити книгу на сайті kniga.biz.ua >>>](http://kniga.biz.ua)

# Зміст

<i>Подяки</i> .....	9
<i>Вступ</i> .....	11
<b>Частина перша</b>	
<b>Давня історія нашого виду</b>	
<i>Розділ 1. Як знайти в геномі відповідь на питання про те, хто ми такі</i> .....	29
<i>Розділ 2. Зустрічі з неандертальцями</i> .....	51
<i>Розділ 3. Стародавня ДНК відкрила скриньку Пандори</i> .....	81
<b>Частина друга</b>	
<b>Як ми стали такими, якими є</b>	
<i>Розділ 4. Привиди людства</i> .....	107
<i>Розділ 5. Становлення сучасної Європи</i> .....	131
<i>Розділ 6. Зіткнення, під впливом якого сформувалася Індія</i> .....	157
<i>Розділ 7. У пошуках пращурів корінних народів Америки</i> .....	193
<i>Розділ 8. Генетичні витоки населення Східної Азії</i> .....	229
<i>Розділ 9. Повернення Африки до історії людства</i> .....	249
<b>Частина третя</b>	
<b>Геном революційний</b>	
<i>Розділ 10. Геноміка нерівності</i> .....	271
<i>Розділ 11. Геноміка раси та ідентичності</i> .....	290
<i>Розділ 12. Майбутнє стародавньої ДНК</i> .....	320
<i>Зауваження до ілюстрацій</i> .....	334
<i>Примітки</i> .....	338

## Вступ

**Н**а цю книжку мене надихнув Лука Каваллі-Сфорца — візіонер, який першим почав досліджувати минуле у площині генетики. Я навчався в одного з його учнів, тож я належу до його школи, котра розглядає геном як призму, що дає змогу досягнути історію нашого виду.

Кар'єра Каваллі-Сфорца сягнула піку в 1994 році, коли він видав книгу «Історія і географія генів людини», у якій відома на той час інформація з царин археології, лінгвістики, історії та генетики сплелася у величну оповідь про те, як народи світу стали такими, якими вони є сьогодні<sup>1</sup>. Ця книга давала загальне уявлення про давно минулі часи. Однак спиралася вона на тогочасну інформацію, тож її обмежував незначний обсяг доступних на той момент генетичних даних; їх було так мало, що на тлі значно багатшої інформації з царин археології та лінгвістики вони практично не мали сенсу. Подеколи з наявних на той час генетичних даних можна було вивести закономірності, котрі збігалися з відомими тоді фактами, однак на основі інформації, яку відкривали ці закономірності, неможливо було довести щось по-справжньому нове. Правду кажучи, усі основні твердження Каваллі-Сфорца було фактично спростовано. Двадцять років тому всі — від Каваллі-Сфорца до молодих магістрантів типу мене — працювали в епоху темних часів ДНК.

У 1960-х Каваллі-Сфорца висловив здогадку, яке зрештою задало напрямок усій його кар'єрі. Він припустив, що великі переселення народів минулих часів можна буде відтворити, спираючись виключно на генетичні відмінності між народами сьогодення<sup>2</sup>.

Протягом наступних п'яти десятиліть кожне дослідження Каваллі-Сфорца, здавалося, підтверджувало це припущення. На початку його діяльності технологічні можливості для дослідження мінливості людини були низькими й обмежувалися вимірюванням вмісту білка у крові з використанням варіантів на зразок груп крові А, В і О, які визначають лікарі, підбираючи донора крові для реципієнта. На початку 1990-х років учений із колегами зібрав дані про понад сотню таких відмінностей у різних популяціях. На основі цих даних вони чітко класифікували людей за континентами — відповідно до того, наскільки часто у них збігалися такі відмінності (наприклад, вихідці з Європи частіше збігалися з іншими вихідцями з Європи, вихідці зі Східної Азії — із вихідцями зі Східної Азії, а вихідці з Африки — із вихідцями з Африки). У 1990-х і 2000-х вони вивели свою працю на новий рівень, перейшовши від мінливості білків до безпосереднього дослідження ДНК, нашого генетичного коду. Вони розглянули близько тисячі представників п'ятдесяти популяцій з різних куточків планети, досліджуючи мінливість на понад 300 позиціях у геномі<sup>3</sup>. А коли вони запрограмували комп'ютер, котрий не мав даних про назви популяцій, розбити піддослідних на п'ять груп, результати надзвичайно чітко збіглися із поширеними уявленнями про розподіл генетичного спадку в доісторичних людей (населення Західної Євразії, Східної Азії, корінні народи Америки, населення Нової Гвінеї та Африки).

Передусім Каваллі-Сфорца цікавила інтерпретація генних кластерів сучасних людей у контексті історії популяцій. Разом із колегами він проаналізував дані про їхні групи крові, послуговуючись методом визначення комбінацій біологічних відмінностей, які найкраще характеризують відмінності між людьми. Наклавши ці комбінації груп крові на мапу Західної Євразії, вони виявили, що групу, для якої характерний найвищий рівень відмінностей між людьми, найчастіше можна побачити на Близькому Сході, а в напрямку Європи (за градієнтом із південного сходу на північний захід) її частотність знижується<sup>4</sup>. Вони побачили в цьому генетичний наслідок міграції землеробів із Близького Сходу в Європу, котра, як нам відомо з археології, відбулася 9000 років тому. Спад інтенсивності вказує на те, що по прибутті у Європу перші землероби схрестилися з

## Як знайти в геномі відповідь на питання про те, хто ми такі

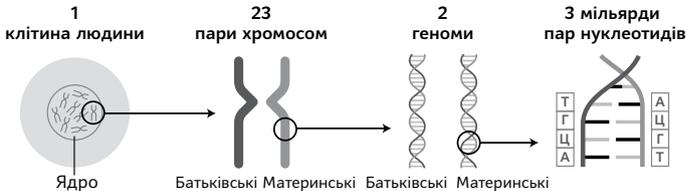
### Хроніка основних подій, пов'язаних із мінливістю людини

**Щ**об зрозуміти, чому генетика здатна пролити світло на минуле людського роду, необхідно усвідомлювати принцип зберігання інформації в геномі (геном — це повний набір генетичного коду, який кожен із нас успадковує від батьків). У 1953 році Джеймс Ватсон, Френсіс Крік, Розалінд Франклін та Моріс Вілкінс довели, що геном міститься у спарених ланцюжках завдовжки приблизно три мільярди хімічних структурних елементів (а разом — шість мільярдів), котрі можна собі уявляти, як літери з алфавіту — А (аденін), Ц (цитозин), Г (гуанін) і Т (тимін)<sup>23</sup>. Те, що ми називаємо геном, складається з крихітних фрагментів таких ланцюжків довжиною близько тисячі літер, котрі відіграють роль матриці для збору білків, які виконують більшість функцій у клітинах. Між генами міститься некодуюча ДНК, яку часом називають «сміттевою». Порядок літер у ДНК можуть зчитувати машини, котрі запускають хімічні реакції на певних фрагментах ДНК; ці машини випускають спалахи світла під час того, як хімічні реакції проходять уздовж послідовності ДНК. На кожному з літер А, Ц, Г і Т ці реакції відповідають різними кольорами, тож послідовності ДНК можна вносити у комп'ютер за допомогою камери.

І хоча в центрі уваги переважної більшості науковців стоїть біологічна інформація, яка міститься в генах, часом між послідовностями ДНК трапляються відмінності. Причина таких відмінностей —

випадкові помилки в копіях геномів (іншими словами, мутації), котрі відбулися в минулому. Вчені-генетики звертаються до таких відмінностей, які трапляються приблизно раз на тисячу літер і в генах, і у «сміттєвій» ДНК, коли досліджують минуле. На три мільярди літер зазвичай трапляється близько трьох мільйонів відмінностей між геномами неспоріднених людей. Що вища щільність відмінностей між двома геномами на будь-якому відрізку, то більше минуло часу, відколи цим відрізкам відповідав спільний предок; річ у тім, що з плином часу такі мутації накопичуються з приблизно однаковою частотністю. Тож щільність відмінностей — це такий собі біологічний секундомір, запис про те, скільки минуло часу від ключових подій у минулому.

Мітохондріальна ДНК яскраво ілюструє те, як генетику можна застосовувати в дослідженні минулого. Це крихітний фрагмент геному (близько 1/200 000), який передається за материнською лінією: від матері до доньки, а від доньки — до онуки. У 1987 році Алан



### Мутації зумовлюють відмінності між такими послідовностями



### Геном можна розглядати, як послідовність літер

Рисунок 3. У геномі міститься близько трьох мільярдів нуклеотидів, які можна собі уявляти як чотири літери з біологічної абетки: аденін (А), цитозин (Ц), гуанін (Г) і тимін (Т). Якщо зіставити два геноми, приблизно 99,9% літер у них будуть ідентичними, а решта 0,1% відрізняться; такі відмінності свідчать про мутації, котрі накопичуються з плином часу. Ці мутації надають нам інформацію про те, наскільки спорідненими є дві особи, а також у них міститься надзвичайно точна інформація про минуле.

Вілсон з колегами секвенували кількасот літер мітохондріальної ДНК людей із різних куточків світу. Порівнявши мутації, за якими відрізнялися ці послідовності, вони реконструювали дерево спорідненості за материнською лінією. Вони з'ясували, що найдавніша гілка цього дерева — та, котра найпершою відділилася від основного стовбура, — сьогодні збереглася тільки в народів із генетичним спадком Центральної та Західної Африки; це означає, що прашури сучасних людей жили в Африці. З іншого боку, усі сучасні позаафриканські народи походять від «молодшої» гілки цього дерева<sup>24</sup>. Це відкриття посіло гідне місце серед археологічних, генетичних і палеонтологічних доказів (які з'явилися в 1980-х і 1990-х роках) на користь теорії про походження сучасної людини від прашурів, котрі населяли Африку протягом останніх ста тисяч років. Спираючись на відомості про частотність, з якою накопичуються мутації, Вілсон із колегами припустили, що найсучасніша африканська прародителька усіх генеалогічних гілок, відома на ім'я «Мітохондріальна Єва», жила близько 200 000 років тому<sup>25</sup>. Актуальні розрахунки вказують на 160 000 років, але важливо розуміти, що вони, як і більшість дат у царині генетики, є неточними, оскільки реальну частотність мутацій у людей визначити складно<sup>26</sup>.

Відкриття такого сучасного спільного прашура було надзвичайно радісним, оскільки воно спростовувало гіпотезу «мультирегіонального походження» людини, відповідно до якої сучасні люди, котрі населяють численні регіони Африки та Євразії, зобов'язані своїм походженням передусім доісторичному розселенню (принаймні 1,8 мільйона років тому) *Homo erectus* — виду, котрий виробляв знаряддя праці з каменю, а розмір його мозку сягав двох третин від розміру нашого мозку. Згідно з гіпотезою мультирегіонального походження людини, нащадки *Homo erectus* паралельно розвивалися в Африці та Євразії; від них утворилися популяції, котрі й сьогодні населяють ті самі території. А отже, за гіпотезою мультирегіонального походження, у сучасних народів, яких розділяє понад мільйон років (період розселення виду *Homo erectus* і його нащадків), мали б бути однакові послідовності мітохондріальної ДНК. Проте генетичні дані суперечать цим припущенням. Спільний для всіх людей предок за мітохондріальною ДНК жив удесятеро пізніше,

## Зустрічі з неандертальцями

### Зустрічі неандертальців із сучасними людьми

**С**ьогодні та група людей, до якої ми належимо, — сучасна людина — лишилася на планеті сама. Ми витіснили або винищили інших людей — передусім у період, який розпочався 50 000 років тому, коли сучасна людина розселилася в Європі, а в Африці, ймовірно, також відбувалися масштабні переселення. Найближчі наші родичі з нині живих — це африканські примати: шимпанзе, бонобо і горили, але жоден із цих видів не здатен виготовляти складні знаряддя праці або користуватися абстрактною мовою. Втім близько 40 000 років тому землю населяло чимало груп архаїчних людей, котрі відрізнялися від нас на фізичному рівні, але були прямоходячими і мали багато з тих здібностей, які маємо ми. На відміну від археологічних джерел, матеріали ДНК можуть відповісти на питання про те, який зв'язок ці архаїчні люди мали з нами.

Жодна з первісних груп людей не потребує цієї відповіді так, як неандертальці. Починаючи від 400 000 років тому в Європі панували ці кремезні люди, чий мозок у середньому був більшим, ніж у сучасної людини. Особину, якій неандертальці зобов'язані своїм ім'ям, знайшли в 1856 році робітники вапнякового кар'єру в долині Неандерталь (слово «долина» німецькою мовою — *Thal* або *Tal*). Багато років велися суперечки про те, чи ці рештки належали спотвореній людині, прашуру людини або представникові генеалогічної лінії, дуже відмінної від нашої. Неандертальці стали першим видом

первісної людини, зафіксованим у наукових джерелах. В опублікованій у 1871 році книзі «Походження людини» (англ. «The Descent of Man») Чарльз Дарвін висловив думку про те, що люди подібні до інших тварин, оскільки вони також є результатом еволюції<sup>62</sup>. І хоча сам Дарвін не вважав неандертальців значущими, зрештою було визнано, що за своїм походженням вони набагато ближчі до сучасних людей, аніж до приматів, які і досі існують; це слугувало доказом на користь теорії Дарвіна про те, що такі популяції існували в минулому.

Протягом наступних ста п'ятдесяти років знайшлося ще чимало кістяків неандертальця. Дослідження показали, що неандертальці, які населяли Європу, походять від ще більш стародавнього виду людини. У популярній культурі вони здобули репутацію чудовиськ — людей, які відрізняються від нас набагато більше, ніж насправді. Значною мірою така примітивна репутація неандертальця пов'язана з сутуліватою моделлю скелета неандертальця з французької місцини Ла-Шапель-о-Сен, яку виготовили в 1911 році. Але всі докази свідчать про те, що близько 100 000 років тому і раніше поведінка неандертальців була такою ж багатогранною, як і поведінка наших пращурів — анатомічно сучасних людей.

І неандертальці, й анатомічно сучасні люди виготовляли кам'яні знаряддя праці, послуговуючись так званою леваллуазькою технікою, яка вимагає не гірших когнітивних здібностей і вправності, ніж ті техніки для виготовлення знарядь праці, які винайшли сучасні люди під час пізнього палеоліту і пізньої кам'яної доби близько 50 000 років тому. За цією технікою від дбайливо підготованого кам'яного нуклеуса, який був мало схожим на готове знаряддя праці, обережно відбивали тонкі шари каменю; це означає, що для досягнення своєї мети майстер мусив тримати в уяві образ готового знаряддя та здійснювати складні кроки з обробки каменю.

Додатково про рівень когнітивного розвитку неандертальців свідчило те, що вони дбали про старих і немічних. Під час розкопок у печері Шанідар в Іраку було знайдено дев'ять кістяків; імовірно, що всіх цих людей — включно з напівсліпим чоловіком із сухою рукою — поховали умисно; а отже, вижити вони могли лише в один спосіб: якщо про них дбали друзі та родина<sup>63</sup>. Крім того, неандертальці шанували символізм, про що свідчать прикраси

з пазурів орла віком близько 130 000 років у Крапинській печері в Хорватії<sup>64</sup> і кам'яні кола віком близько 180 000 років у глибині печери Брюнікель у Франції<sup>65</sup>.

Але, незважаючи на всі подібності між неандертальцями та сучасними людьми, глибокі відмінності між ними очевидні. В одній статті 1950 року сказано, що у нью-йоркській підземці неандерталець нікому не впав би в око, «якби він помився, поголився і вдягнувся по-сучасному»<sup>66</sup>. Та насправді його (або її) видав би дивний виступ над бровами і дуже розвинені м'язи тіла. Неандертальці значно сильніше відрізнялися від будь-якої сучасної популяції людини, ніж сучасні популяції різняться між собою.

Зустріч неандертальців із сучасними людьми увійшла й у фантазію письменників. У виданому в 1955 році романі Вільяма Голдінга «Спадкоємці» (англ. «The Inheritors») сучасні люди вбивають групу неандертальців і приймають до себе неандертальську дитину, яка вижила<sup>67</sup>. У виданій в 1980 році книзі Джин Ауел «Клан печерного ведмеда» (англ. «The Clan of the Cave Bear») сучасну жінку виховують неандертальці; художній задум цієї книги — інсценувати те, якою могла б бути тісна взаємодія між цими двома групами людей, такими чужими й водночас такими близькими<sup>68</sup>.

Існують об'єктивні наукові докази зустрічей сучасної людини з неандертальцями. Особливо чітко це видно на прикладі Західної Європи, де неандертальці вимерли близько 39 000 років тому<sup>69</sup>, а сучасна людина з'явилася принаймні за кілька тисяч років до цього. Це очевидно, оскільки 44 000 років тому у Фумане на півдні Італії кам'яні знаряддя праці неандертальського типу поступилися місцем знаряддям, характерним для сучасної людини. На південному заході Європи характерні для сучасної людини знаряддя праці, виконані у так званому стилі Шательперонської культури, знаходили поміж решток неандертальців, які жили 44 000–39 000 років тому; а отже, або неандертальці запозичили стиль виготовлення знарядь праці в сучасної людини, або ці дві групи обмінювалися знаряддями чи матеріалами. Втім не всі археологи погоджуються з такою інтерпретацією, і між ними постійно ведуться суперечки про те, хто виготовив знахідки Шательперонської культури — неандертальці чи сучасні люди<sup>70</sup>.

## Стародавня ДНК відкрила скриньку Пандори

### Несподіванка зі сходу

**У** 2008 році російські археологи відкопали кістку мізинця у Денисовій печері, розташованій в Алтайських горах на півдні Сибіру; свою назву ця печера отримала від російського відлюдника на ім'я Діонісій, який оселився в ній у XVIII столітті. Пластинки росту в цій кістці ще не зрослися, тож належала вона дитині. Вік кістки був невизначеним — її маленький розмір не дозволяв застосувати радіовуглецевий метод датування, а до того ж її знайшли у змішаному прошарку ґрунту, в якому лежали знахідки, датовані і неповними 30 000, і понад 50 000 років. Анатолій Дерев'янка, керівник розкопки, зробив висновок про те, що ця особа могла належати до виду сучасної людини, тож так цей зразок і позначили. З іншого ж боку, чи могла ця людина бути неандертальцем, оскільки рештки неандертальців також знаходили поблизу Денисової печери<sup>106</sup>? Дерев'янка надіслав фрагмент цієї кістки Сванте Паабо в Німеччину.

Команді Паабо під керівництвом наукового співробітника Йоганнеса Краузе вдалося виділити зі знайденої в Денисовій печері кістки мітохондріальну ДНК<sup>107</sup>. Тип її послідовності ще жодного разу не траплявся серед понад десяти тисяч послідовностей ДНК сучасної людини та семи послідовностей ДНК неандертальця. Мітохондріальні ДНК теперішніх людей і неандертальців розділяє близько 200 відмінностей у мутаціях. У новій мітохондріальній ДНК пальця людини з Денисової печери виявили близько 400 відміннос-

тей від мітохондріальної ДНК і теперішніх людей, і неандертальців. Виходячи зі швидкості накопичення мутацій, можна припустити, що послідовності мітохондріальної ДНК теперішніх людей та неандертальців розділилися 470 000 – 360 000 років тому<sup>108</sup>. Кількість відмінностей у мутаціях мітохондріальної ДНК пальця з Денисової печери вказує на те, що вони розділилися близько 800 000 – 1 000 000 років тому. Звідси випливає, що ця кістка пальця могла належати представникові групи стародавніх людей, зразків якої у нас ще не було<sup>109</sup>.

Однак належність цієї популяції була невизначеною. Якщо в ситуації з неандертальцями ми могли шукати підказок у кістках або стилях виготовлення знарядь праці, то тут у нас таких підказок не було. Археологічні знахідки, пов'язані з неандертальцями, спонукали науковців до секвенування геному. У цієї ж нової стародавньої групи генетичні дані стояли на першому місці.

## Геном у пошуках викопних решток

Я довідався про цю досі невідому популяцію стародавньої людини на початку 2010 року під час відвідання лабораторії Сванте Паабо в німецькому місті Лейпциг. Відколи я приєднався до заснованого Сванте Паабо у 2007 році консорціуму з дослідження геному неандертальця, до Німеччини я їздив тричі на рік. Якось увечері Паабо запросив мене до пивного саду і розповів про нову послідовність мітохондріальної ДНК, яку вони виявили. Дивовижно, але з кістки пальця денисівської людини їм вдалося отримати зразок стародавньої ДНК у надзвичайно хорошому стані. Розглянувши десятки зразків решток неандертальця, Паабо знайшов декілька таких, у яких вміст ДНК людини не перевищував 4 %, але в цій кістці вміст ДНК людини сягав близько 70 %. Ця маленька кістка вже відкрила Паабо та його команді більше даних про повний геном, аніж неандертальський матеріал. Він запитав, чи було б мені цікаво долучитися до аналізу цих даних. Запрошення взяти участь в аналізі геному денисівської людини — це найщасливіший збіг обставин за всю мою наукову кар'єру.

За даними мітохондріального геному, кістка пальця денисівської людини належала особині з популяції, котра відкололася від

пращурів сучасної людини і неандертальця ще до того, як вони відокремилися одне від одного. Але в мітохондріальній ДНК міститься лише інформація про жіночу лінію, а це тільки крихітна частка від десятків тисяч генеалогічних ліній, котрі утворюють геном кожної людини. Для розуміння того, що насправді відбувалося в історії тієї чи іншої людини, незрівнянно ціннішою буде інформація про всі предкові генеалогічні лінії, разом узяті. Якщо говорити про денісівську людину, картина її повного геному кардинально відрізнялася від картини мітохондріальної ДНК.

Перше відкриття на матеріалі повного геному полягало в тім, що неандертальці були ближчими до того нового виду людей з Денисової печери, ніж кожен із цих видів — до сучасної людини; такий сценарій відрізнявся від спостережень, у яких ми спиралися на мітохондріальну ДНК<sup>10</sup>. Зрештою ми припустили, що відокремлення предкових популяцій неандертальця і денісівської людини відбулося приблизно 470 000–380 000 тисяч років тому, а відокремлення спільної предкової популяції обох цих стародавніх видів і сучасної людини — 770 000–550 000 років тому<sup>11</sup>. Не можна сказати, що своєрідний характер взаємозв'язків на мітохондріальній ДНК і консенсус на решті ділянок геному утворюють суперечність: період, коли у двох людей на будь-якій ділянці геному — наприклад, на мітохондріальній ДНК — були спільні пращури, має бути віддаленим у часі принаймні настільки ж, як і момент розколу їхніх пращурів на різні популяції, якщо не більше. Але аналіз повного геному дозволяє визначити період розколу популяцій: врахувавши, що повний геном охоплює масу пращурів, у ньому можна шукати короткі відрізки з відносно низькою щільністю мутацій; це свідчить про існування спільного предка, який жив незадовго до розколу популяцій. Наші знахідки вказували на те, що денісівська людина була близькоспорідненою з неандертальцем, але водночас ці два види були дуже різними — денісівська людина відкололася від пращурів неандертальця ще до появи багатьох характеристик неандертальця в палеонтологічних джерелах.

У нас точилися запеклі суперечки про те, як назвати цю нову популяцію, і врешті-решт ми зупинилися на узагальненій назві нелатинського походження — «Денісівська людина»; ми виходили

## Привиди людства

### Відкриття стародавніх популяцій Північної Євразії

**С**тикаючись із розмаїттям життя, еволюційні біологи тяжіють до метафори дерева. На світанку цієї галузі науки Чарльз Дарвін написав: «Часом подібності між представниками одного класу зображують у вигляді великого дерева. [...] Гілки з зеленим листям і бруньками можуть уособлювати ті види, що вже існують. [...] Величезні гілки, від яких відділилися менші, а від тих — ще менші, були маленькими пагінцями, коли деревце було ще маленьким»<sup>142</sup>. Сучасні популяції вийшли з популяцій минулого, котрі проросли зі спільного африканського коріння. Якщо метафора дерева коректна, то на кожен момент у минулому для кожної сучасної популяції має бути окрема предкова популяція. Дерево символізує те, що після відокремлення популяції більше не змішуються — так само, як у дерева не зростаються гілки.

Лавина нових даних, які вивільнила революція геному, вказує на некоректність метафори дерева для відображення взаємозв'язків між сучасними популяціями людини. Мій найближчий колега, прикладний математик Нік Паттерсон, розробив комплекс формальних тестів для визначення того, чи коректно модель дерева відбиває справжні взаємозв'язки між популяціями. На чільному місці серед них тест чотирьох популяцій, котрий, як я описав у частині I, аналізує сотні тисяч позицій у геномі, на яких у людей бувають відмінності (наприклад, у когось там аденін, один із чотирьох нуклеотидів або «літер» ДНК, а в інших — гуанін), котрі свідчать про

дуже давні мутації. Якщо зобразити чотири популяції у вигляді дерева, можна очікувати, що між частотністю їхніх мутацій існуватиме простий взаємозв'язок<sup>143</sup>.

Найпростіший тест для моделі дерева — визначення частотності мутацій у геномах двох популяцій, які, згідно з нашим припущенням, відокремилися від однієї гілки. Якщо модель дерева коректна, частотність мутацій у цих двох популяцій має безсистемно змінюватися після відокремлення від інших двох не настільки споріднених популяцій, тож відмінності в частотності мутацій між цими двома парами популяцій мають бути статистично незалежними. Якщо ж модель дерева некоректна, між відмінностями в частотності мутацій існуватимуть паралелі — свідчення того, що ці гілки могли схрещуватися. Тест чотирьох популяцій став основним доказом того, що неандертальці мали більше спільного з позаафриканськими популяціями, ніж з африканськими, а отже, між неандертальцями й позаафриканськими популяціями відбувся інтербридинг<sup>144</sup>. Але інтербридинг між стародавніми та сучасними людьми — це лише крихітна частка відкриттів, які вже вдалося зробити за допомогою тесту чотирьох популяцій.

Моя лабораторія вперше зробила велике відкриття, коли застосувала тест чотирьох популяцій для оцінки достовірності поширеної думки про те, що корінні американці та вихідці зі Східної Азії — це «популяції-сестри», які походять від спільної предкової гілки, котра колись відокремила від пращурів європейських популяцій і популяцій Центральної та Західної Африки. На свій подив, ми побачили, що на тих мутаціях, яких немає в популяції Центральної та Західної Африки, європейські популяції мають більше спільного з корінними американцями, ніж із населенням Східної Азії. Можна було б піддатися спокусі й сказати, що для цього спостереження існує банальне пояснення — наприклад, те, що за останні п'ятсот років корінним американцям передався генетичний спадок мігрантів з Європи. Але цю закономірність ми бачили в кожній розглянутій популяції корінних американців, навіть за доведеного факту відсутності європейських генетичних домішок. Наші дані дедалі більше суперечили сценарієві походження корінних американців та європейців від однієї популяції, що колись відкололася від популя-