

## ВСТУП

# МЕТЕЛИКИ, ЗЕБРИ ТА ЕМБРІОНИ

*Ну, вона літає в хмарах,  
У голові — шапіто:  
Метелики та зебри,  
Місячне сяйво й казки —  
Це все, про що вона думає...*

Джиммі Гендрікс,  
«Маленьке крило» (1967)

Зайшовши нещодавно до початкової школи, де навчаються мої діти, я взявся захоплено роздивлятися учнівські малюнки, що висіли на стінах у коридорі. Серед пейзажів і портретів траплялося чимало зображень тварин. Я мимоволі зауважив, що з-поміж тисяч видів ссавців честь бути увічненою на малюнках найчастіше випадала зебри. Якщо ж говорити про всіх можливих тварин, тут пальму першості утримував метелик. Тоді якраз була середина зими, а живемо ми у Вісконсині, США, тож діти не могли намалювати те, що бачили за вікном. То чому саме метелики та зебри?

Я впевнений, що ці малюнки відбивають глибинний зв'язок дітей із тваринними видами — їхніми формами, візерунками та кольорами. Ми всі відчуваємо цей зв'язок. Ось чому ми відвідуємо зоопарки, де дивимось на екзотичних тварин, вчащаємо до таких новомодних закладів, як вольєри з метеликами й акваріуми, а також витрачаємо мільярди на домашніх улюбленців: собак, котів, пташок і навіть риб. Найчастіше вибір улюбленої породи чи виду ґрунтується на естетичних уподобаннях. Але водночас нас зачаровують,

а іноді й жахають більш екстремальні форми тваринного життя: гігантські кальмари, хижі динозаври чи павуки-птахоїди.

Упродовж століть найвідоміші натуралісти так само надихалися цим захопленням тваринними формами. У холодній, сірій і незатишній довікторіанській Англії юний Чарльз Дарвін, якось прочитавши «Особистий наратив» Александра фон Гумбольдта, історію на дві тисячі сторінок про подорож до Південної Америки та навколо неї, був такий вражений, що пізніше зізнався: він думав, говорив і мріяв лише про те, як одного разу побачить ті тропічні красоти, що їх описав Гумбольдт. Зрештою, коли 1831 року випала нагода попливти туди на «Біглі»<sup>1</sup>, він ухопився за неї обома руками. Пізніше Дарвін написав Гумбольдту: «Весь мій життєвий шлях визначили читання й перечитування в юності цієї дійсно особистої оповіді». Двоє інших англійців, Генрі Волтер Бейтс, двадцятидворічний клерк і завзятий колекціонер комах, та його друг, натураліст-самоучка Альфред Рассел Воллес, також мріяли про мандрівку в далекі краї, де хотіли відшукати нові види. Прочитавши розповідь одного американця про подорож до Бразилії, Бейтс і Воллес і собі туди гайнули (1848 року). Подорож Дарвіна тривала 5 років, Бейтс пробув у тропіках 11 років, а Воллес — 14 (сумарно за дві мандрівки). І, спираючись на тисячі побачених і зібраних там видів, ці мрійники затіяли першу революцію в біології.

Мабуть, життя в умовах північного клімату має в собі щось таке, що змушує мріяти про тропіки. Я виріс у Толедо, штат Огайо, серед міських парків і фермерських угідь, поблизу берегів щедрого озера Ері. Мої мрії про райські краї підживлювали журнали й телепередача «Царство тварин» (тоді вона була ще чорно-білою). Десятки років по тому я можу назвати себе щасливцем: мені випала нагода побачити

1 Про цю навколосвітню подорож, що наштовхнула Чарльза Дарвіна на еволюційне вчення, він напише книжку «Щоденник досліджень» (більш відому як «Подорож на “Біглі”») (тут і далі — прим. пер., якщо не зазначено іншого).

тварин в африканській савані, джунглях Центральної Америки й на бар'єрних рифах біля Австралії та Белізу (і все ж таки я був туристом, а не відважним дослідником — просто повірте мені). І вони вражають ще більше, ніж я міг уявити.

Серед широких прерій Кенії пасуться стада зебр і слонів, повз які походжають поодинокі жирафи, страуси й гепарди. Смугасті коні, гігантські сірі ссавці з двометровими носами та плямисті коти, які біжать швидше за «джип»? Повірити в таке складно — та все ж ці істоти існують.

У дощових лісах зазвичай повно дрібніших створінь. У мерехтливому світлі, що пробивається крізь щілини в кронах дерев, пурхають яскраві метелики, як-от червоно-жовтий *Heliconius* або блакитний із металевим відблиском *Morpho*. У трав'яній підстилці під ногами кумкають отруйні жаби, поцятковані червоними та бірюзовими плямами, а яскраво-зелені мурахи-листорізи збирають урожай. Уночі на лови виходять великі хижаки. Я ніколи не забуду заціпеніння під час зустрічі з двометровою смертоносною списоголовою змією серед непроглядної темряви та цілковитої тиші белізьких джунглів, де, до речі, водиться чимало ягуарів (їх самих ми не бачили, лише свіжі сліди, але ті хижаки були десь дуже близько).

У морі ж багатство й химерність форм просто вражають. Якщо пірнути в мілководдя біля австралійських коралових островів, то можна на власні очі побачити те неймовірне розмаїття риб, коралів і молюсків. Довкруг — неонові кольори, тіла будь-яких форм і розмірів, приголомшливі геометричні візерунки, а час від часу вдається помітити гігантську морську черепаху, восьминога чи нестримну акулу.

Багатство розмірів, форм, будови та кольору тіл тварин порушує важливе питання про походження видів. Як утворилися ці особливі форми? І як вони еволюціонували? Це дуже давні запитання в біології, які сягають часів Дарвіна, Воллеса та Бейтса, ба навіть раніших досліджень, але лиш зовсім недавно на них знайшли відповіді, багато з яких виявилися

такими дивовижними та глибокими, що їм удалося змінити наші погляди на створення тваринного світу й наше місце в ньому. Тож первинним натхненням для цієї оповіді став той поклик, який ми всі відчуваємо до тваринних форм, однак я поставив собі за мету копнути глибше, від поверхового подиву й захоплення цими формами до способу їхнього утворення — тобто спробувати передати це оновлене бачення біологічних процесів, що визначають структурні закономірності та різноманіття у тваринній будові. В основі багатьох видимих елементів тваринних форм лежать дивовижні процеси, прекрасні самі собою тим, що перетворюють єдину крихітну клітину на велику, складну, високоорганізовану істоту з притаманними їй особливостями будови, а із часом спричинили появу цілого царства з мільйонами індивідуальних структур.

## Ембріони та еволюція

Перше, що натуралісти зробили, щоб дати собі раду з великим розмаїттям тварин, — це розділили їх на групи, як-от хребетні (включно з рибами, земноводними, рептиліями, птахами й ссавцями) та членистоногі (комахи, ракоподібні, павукоподібні тощо), але між цими групами й усередині них є чимало відмінностей. Що відрізняє рибу від саламандри? Або комаху — від павука? Якщо не вдаватися в деталі, леопард, звісно, — це кіт, проте яка різниця між ним та домашньою кицею? Зрештою, що відрізняє нас від наших двоюрідних братів — шимпанзе?

Ключ до відповіді на такі запитання — усвідомлення, що кожна тваринна форма постала в результаті двох процесів: індивідуального розвитку від яйцеклітини та поступової еволюції від предків. Щоб зрозуміти походження різноманіття тваринних форм, ми маємо осягнути ці два процеси та їхній тісний взаємозв'язок. Простіше кажучи, розвиток перетворює яйцеклітину на ембріон і, зрештою, на дорослу

форму. Еволюція ж форми відбувається шляхом змін під час розвитку.

Від обох цих процесів просто дух перехоплює. Візьміть до уваги, що розвиток цілої складної істоти починається з однієї клітини — заплідненої яйцеклітини. Лише за один день (у випадку личинки мухи), кілька тижнів (миші) або декілька місяців (нас самих) яйцеклітина перетворюється на мільйони, мільярди або навіть 10 трильйонів клітин (якщо говорити про людину), які зрештою формують органи, тканини та частини тіла. Не так багато природних явищ — якщо такі взагалі є, — викликають настільки сильний подив і благоговіння, як перетворення яйцеклітини на ембріон і повноцінну тварину. Один із видатних біологів, близький соратник Дарвіна Томас Г. Гакслі, зазначав:

Що глибше дослідник Природи пізнає її закони, то менше він дивується й то більше захоплюється; та з-поміж усіх вічних чудес, які вона відкриває для споглядання, найбільшого захоплення, вочевидь, заслуговує розвиток рослини чи тваринної форми з ембріона.

*«Афоризми та роздуми» (1907)*

Тісний зв'язок між розвитком і еволюцією вже давно перебуває в полі зору біології. І Дарвін у «Походженні видів» (1859) та «Походженні людини» (1871), і Гакслі в короткій, але шедевральній праці «Докази місця людини в природі» (1863) значною мірою спиралися на факти ембріології (станом на середину XIX століття), пов'язуючи людину з тваринним царством і знаходячи беззаперечні докази еволюції. Дарвін закликав читачів замислитися над тим, як незначні зміни, що стаються на різних етапах процесу з різними частинами тіла протягом багатьох тисяч або навіть мільйонів поколінь і можуть тривати від десятків тисяч до кількох мільйонів років, урешті призводять до створення різних форм, пристосованих до різних обставин

і наділених унікальними властивостями. Саме так можна пояснити суть еволюції у двох словах.

З погляду Гакслі суть аргументації зводилася до простого факту: ми можемо дивуватися процесу перетворення яйцеклітини на дорослу особину, але водночас сприймаємо це як буденну реальність. І лише нестача уяви не дає змоги збагнути, як зміни в цьому процесі, що накопичуються впродовж надзвичайно тривалого часу — значно довшого за людський досвід, — сприяють формуванню різноманітності життя. Еволюція — таке саме природне явище, як і розвиток.

Еволюція як природний процес, подібний до розвитку дерева з насіння або птаха з яйця, виключає творіння та будь-яке інше надприродне втручання.

*«Афоризми та роздуми» (1907)*

Хоча Дарвін і Гакслі мали рацію щодо розвитку як ключового елемента еволюції, більш ніж сто років після публікації їхніх основних праць не було майже ніякого прогресу в розумінні таємниць розвитку. Загадка, як зі звичайної яйцеклітини народжується ціла особина, залишалась одним із найбільш незбагнених питань у всій біології. Багато хто припускав, ніби цей розвиток годі зрозуміти й у контексті різних видів тварин він матиме різні тлумачення. Ця справа виявилася такою складною та невдячною, що ембріологія, генетика й еволюційна біологія, які ще століття тому становили нерозривне ядро біологічної думки, розпалися на окремі дисципліни, кожна з яких намагалася виробити власні засадничі принципи.

Оскільки поступ ембріології надовго загальмував, ця наука не відігравала суттєвої ролі в так званій синтетичній теорії еволюції, що виникла в 1930–1940-х. Протягом десятиліть після Дарвіна біологи намагалися зрозуміти механізми еволюції. В епоху появи «Походження видів» ще не було нічого відомо про механізм успадкування ознак. Увага до робіт

Грегора Менделя прийшла лише через багато років, а генетика почала прогресувати аж у 1900-х. Різниця в поглядах біологів зумовлювала й розходження в підходах до проблем еволюції. Палеонтологія зосереджувалася на великих часових відтинках, літописі скам'янілостей та еволюції вищих таксонів. Систематиків цікавили природа видів і процес видоутворення. Генетики переважно вивчали варіації ознак в обмеженій кількості видів. Ці дисципліни були роз'єднані між собою, а іноді й відкрито протистояли одна одній щодо того, яка з них робить найцінніший внесок у розвиток еволюційної біології. Поступово все ж вдалось домогтися певного співналаштування завдяки інтеграції еволюційних поглядів на різних рівнях. Праця Джуліана Гакслі «Еволюція: сучасний синтез» (1942) ознаменувала початок цього союзу, у межах якого загально визнаними вважали дві основні ідеї: по-перше, поступову еволюцію можна пояснити невеликими генетичними змінами, які породжують варіації, що закріплюються під впливом природного добору; по-друге, еволюцію на вищих таксономічних рівнях і в більших масштабах можна пояснити тими самими поступовими еволюційними процесами, що тривають протягом довгих періодів.

Синтетична теорія еволюції великою мірою визначила сприйняття та викладання еволюційної біології на наступні 60 років. Однак вона була неповною — навіть попри слово «синтетична» в назві. На момент виникнення синтетичної теорії еволюції і аж до недавнього часу ми могли стверджувати, що форми справді змінюються й що на це впливає природний добір, але нічого не знали про те, як саме змінюються форми, про видиму драму еволюції, закарбовану, наприклад, у літописі скам'янілостей. Синтетична теорія сприймала ембріологію своєю «чорною скринькою», що якось перетворювала генетичну інформацію на повноцінніх тривимірних тварин.

Наука перебувала в цій патовій ситуації кілька десятиліть. Ембріологія досліджувала явища, відкриті внаслідок взаємодії з яйцеклітинами та ембріонами окремих видів, і повністю

нехтувала еволюційними проблемами. Еволюційна біологія вивчала генетичні варіації в популяціях, ігноруючи зв'язок між генами та формою. Доходило навіть до того, що в деяких колах еволюційну біологію відкидали, відводячи їй місце на заборонених музейних полицях.

Такою була ситуація в 1970-х, коли вперше пролунали голоси на підтримку возз'єднання ембріології та еволюційної біології. Прикметна в цьому розумінні заслуга Стівена Джея Гулда, чия праця «Онтогенез і філогенез» відродила дискусію щодо того, як зміни розвитку можуть вплинути на еволюцію. Гулд також розворушив еволюційну біологію, коли разом із Найлзом Елдреджем запропонував новий погляд на закономірності літопису скам'янілостей та висунув ідею *переривчастої рівноваги* — мовляв, еволюцію характеризують тривалі періоди стазису (рівноваги), що перемежуються з короткими інтервалами швидких змін (перериванням). Ця робота Гулда вкупі із численними наступними працями спричинилася до того, що «загальну картину» в еволюційній біології переглянули, водночас привернувши увагу до основних нерозв'язаних питань. Плоди його старань проросли в головах кількох напрочуд сприйнятливих молодих учених — серед яких був і я.

Що на мою думку, що на думку інших, хто виріс в епоху новітніх успіхів молекулярної біології в поясненні функціонування генів, ситуація в ембріології та еволюційній біології була незадовільною, хоч обидві дисципліни відкривали величезні можливості. Наша нестача знань у царині ембріології, здавалося, перетворила більшу частину дискусій щодо еволюції форми в еволюційній біології на марні вправління в спекуляціях. Як можна досягти прогресу в питаннях, пов'язаних з еволюцією форми, без наукового розуміння того, як узагалі утворюється форма? Популяційній генетиці вдалося визначити, що еволюція відбувається через зміни в генах, але цей принцип не мав зрозумілого прикладу. Не надали жодного детального пояснення, як конкретний ген вплинув

на форму та еволюцію якоїсь тварини. Нове розуміння еволюції вимагало прориву в ембріології.

### Револуція ево-дево

Усі знали, що гени мають посідати центральне місце в таємницях як розвитку, так і еволюції. Зебри схожі на зебр, метелики схожі на метеликів, а ми схожі на себе завдяки відповідному набору генів. Проблема полягала в тому, що було незрозуміло, які саме гени мають значення для розвитку тварини.

Довгу мовчанку в ембріології врешті-решт перервало кілька блискучих генетиків, які, працюючи з плодовою мушкою — робочою конячкою генетики останні 80 років — розробили алгоритми пошуку генів, що контролюють розвиток мухи. Завдяки відкриттю цих генів та їхньому вивченню в 1980-х сформувався захопливий і геть інакший погляд на розвиток. Ба більше: стали зрозумілими логіка та порядок, що лежать в основі походження тваринної форми.

Майже відразу після того, як описали перші набори генів плодової мушки, стався справжній вибух, що спричинив нову революцію в еволюційній біології. Понад століття біологи припускали: різні види тварин генетично сконструйовані по-різному. Що більша відмінність між тваринними формами, то менше спільного матиме розвиток цих двох тварин на рівні їхніх генів (якщо взагалі там може бути хоч щось подібне). Один із творців синтетичної теорії еволюції, Ернст Майр, писав, що «пошук гомологічних генів не має жодного сенсу — хіба що у випадку дуже близьких родичів». Але всупереч очікуванням біологів виявилось, що більшість генів, які відповідальні за організацію основних аспектів тіла плодової мушки, мають точні аналоги, що контролюють ті самі процеси в більшості тварин — зокрема й у нас. Разом із цим відкриттям прийшло усвідомлення: розвиток різних частин тіла, як-от очей, кінцівок чи серця, також керувався тими самими генами в різних тварин — попри те що серед тварин

ці частини тіла суттєво різняться за будовою і довгий час вважалося, ніби їхня еволюція відбувалася різними шляхами. Міжвидове порівняння генів розвитку стало новою дисципліною на стику ембріології та еволюційної біології — еволюційною біологією розвитку (або, якщо коротко, ево-дево).

Уже перші кроки після революції ево-дево показали, що попри значні відмінності в зовнішньому вигляді та фізіології всі складні тварини — мухи й мухоловки, динозаври й трилобіти, метелики, зебри й люди — мають спільний «набір головних генів», які керують формуванням і моделюванням їхніх тіл та частин тіла. Детальніше про відкриття цього генетичного інструментарію<sup>1</sup> та його дивовижні властивості я розповім у розділі 3. Важливо від початку усвідомити ось який момент: це відкриття зруйнувало наші попередні уявлення про те, як взаємопов'язані між собою тварини й що їх різнить, і дало змогу по-новому поглянути на еволюцію.

Тепер завдяки секвенуванню всієї ДНК видів (їхніх *геномів*) нам відомо не тільки про те, що мухи та люди мають чималу спільну когорту генів розвитку, а й про те, що в мишей і людей майже ідентичні набори з приблизно 29 тисяч генів, а із шимпанзе ми взагалі майже на 99 % однакові з погляду аналізу ДНК. Мабуть, ці факти та цифри неабияк дошкуляють тим, хто прагне поставити людей вище за тваринний світ замість того, щоб сприймати людство як його розвинену частину. Мені б хотілося, щоб вислів Льюїса Блека, стендап-коміка, який мені одного дня випало почути, став відомим набагато ширшому колу. Він сказав, що навіть не сперечатиметься з противниками еволюції, бо ж «у нас є скам'янілості — ми переможемо». Влучно підмічено, пане Блек, але насправді можна посилатися не лише на скам'янілості.

1 Гені інструментарію (англ. *Toolkit Genes*) — це неформальний, але широко вживаний термін в еволюційній біології розвитку (ево-дево), який описує відносно невеликий набір консервативних (тобто таких, що майже не змінилися протягом еволюції) генів, які контролюють основні етапи росту та будови організму (*прим. ред.*).

Дійсно, нові факти та погляди в царині ембріології та ево-дево розбирають на молекули залишки застарілої антиеволюційної риторики щодо доцільності проміжних форм або ймовірності розвитку складних структур. Тепер ми розуміємо, як утворюється складна система, даючи змогу одній клітині перетворитися на цілу тварину. Крім того, завдяки цілком новому набору потужних методів ми можемо побачити, як модифікації розвитку збільшують складність і розширюють різноманітність. Відкриття древнього генетичного інструментарію — неспростовний доказ походження та модифікації тварин, зокрема людей, від більш простого спільного предка. Ево-дево уможливорює відстеження зміни структур упродовж надзвичайно довгих періодів еволюції і пояснює, як риб'ячі плавці в наземних хребетних стали кінцівками, як послідовні етапи інновацій і модифікацій спричинилися до виникнення ротових апаратів, отруйних кігтів, плавальних і годувальних придатків, зябер, крил із простої трубчастоті ходильної ноги, і скільки різновидів очей утворилося з базового набору світлочутливих клітин. Величезна кількість нових даних ево-дево дозволяє яскравіше зрозуміти, як утворюються та еволюціонують тваринні форми.

### **Парадокс генетичного інструментарію та походження різноманіття**

Історії про спільні гени, відповідальні за формування тіла, і про схожість нашого генома з геномом інших тварин потроху стають відомі широкому загалу. Однак зазвичай не беруть до уваги те, як відкриття цього спільного генетичного інструментарію та суттєвої подібності між геномами різних видів ставить нас перед очевидним парадоксом. Якщо вже набори генів аж такі подібні, то як виникають відмінності? Розв'язання цього парадокса та його наслідки посідають центральне місце в моїй історії. Власне, розв'язання парадокса великої генетичної подібності між різноманітними видами

зводиться до двох ключових ідей, з якими я поступово ознайомлюватиму вас у книжці, неодноразово повертаючись до них. Ці концепції мають вирішальне значення для розуміння того, як специфічні для окремого виду інструкції щодо побудови тварини закодовані в її ДНК і як саме утворюється та розвивається форма. Суть цих ідей не отримала належного розгляду в пресі (якщо про них взагалі хтось згадував), але вони суттєво впливають на розуміння вагомих епізодів в історії існування життя на Землі, як-от вибухового розвитку тваринних форм у кембрійський період, еволюції різноманітності серед окремих видів (наприклад, метеликів, жуків чи зябликів) і нашої еволюції від спільного предка із шимпанзе та гориллами.

Перша ідея полягає в тому, що різноманітність залежить не так від генетичного інструментарію в організмі тварини, як, за словами Еріка Клептона, «від того, як ним користуватися». Розвиток форми залежить від активації та пригнічення генів у різний час і в різних місцях під час розвитку. Відмінності у формі виникають унаслідок еволюційних змін відносно того, коли і як використовуються гени — особливо ті, які впливають на кількість, форму або розмір структури. Ми побачимо, що є багато способів використання генів — а це зі свого боку й призвело до суттєвого різноманіття в конструкціях тіла та моделюванні окремих структур.

Друга ідея пов'язана з тим, де конкретно в геномі варто шукати «сліди злочину» — тобто генетичні причини еволюції форми. Виявляється, геть не там, де останні 40 років їх намагалися віднайти. Вже досить давно стало зрозуміло, що гени складаються з довгих ділянок ДНК, які декодуються універсальним способом у процесі виробництва білків, що, власне, і виконують безпосередню роботу з побудови клітин і тіл тварин. Генетичний код для білків — тоненький словник на 20 слів — відомий ученим ось вже 40 років, тож послідовності ДНК досить просто декодувати в послідовності білків. Однак маловідомим залишається той факт, що за кодування

приблизно 25 тисяч білків у нашому тілі відповідає буквально крихітна частка нашої ДНК — лише близько 1,5 %. То що ж міститься в решті величезного масиву нашої ДНК? Приблизно 3 % генома, що складається з близько 100 мільйонів окремих фрагментів, виконують *регуляторну* функцію: саме ця ДНК визначає час, місце та інтенсивність експресії генетичного матеріалу. Я опишуватиму, як регуляторна ДНК структурована в дивовижні мікросистеми, що інтегрують інформацію про положення клітин в ембріоні на різних етапах розвитку. У результаті роботи цих мікросистем зрештою утворюються анатомічні елементи, які визначають тваринні форми. Якраз у регуляторній ДНК закладені інструкції з побудови анатомічних структур, і саме еволюційні зміни в цій регуляторній ДНК призводять до різноманітності форм.

Щоб зрозуміти роль і значення регуляторної ДНК в еволюції, доведеться принагідно торкнутися багатьох тем. Спочатку потрібно зрозуміти, як побудовані тварини та яку роль відіграють гени в розвитку ембріона. Цьому буде присвячена перша половина книжки, яка сама собою містить чимало захопливих знахідок. Я наведу для прикладу деякі загальні риси тваринної морфології та певні тенденції в еволюції побудови тіла, що є спільними для різних груп тварин (розділ 1). Також опишу деякі дивовижні мутовані форми, які допомогли біологам на шляху до відкриття набору головних генів, що регулюють розвиток (розділи 2 і 3). Ми побачимо, як діють ці гени та як вони відображають логіку й порядок побудови тіл тварин і складних шаблонів (розділ 4). Крім того, ми дізнаємося більше про мікросистеми в геномі, що містять інструкції з формування анатомічних елементів (розділ 5).

У другій половині книжки я спробую об'єднати доступні нам знання про скам'янілості, гени та ембріони в контексті питання утворення тваринної різноманітності. Зверну увагу на деякі з найбільш важливих, цікавих або переконливих епізодів в історії еволюції тварин, що ілюструють, як багато індивідуальних зразків змогла створити природа з невеликої

кількості будівельних блоків. Детально досліджу генетичні основи та основи розвитку кембрійського вибуху, який породив основну різноманітну масу тваринних типів і частин тіла, відомих нам сьогодні (розділи 6 і 7). Досліджуватиму походження візерунків на крилах метеликів — це чудовий приклад, як природа вдається до винаходів, змушуючи напрочуд старі гени опановувати нові навички (розділ 8). Розповім кілька історій про еволюцію оперення острівних птахів і забарвлення шерсті ссавців (розділ 9). Усе це захопливі й приємні історії, які дають змогу глибше зрозуміти особливості еволюційного процесу. Але вони мають і прикладне значення, адже завдяки їм можна дізнатися більше про ті процеси, що лежать в основі еволюції людини. В останніх розділах книжки я розглядатиму становлення нашого виду, найвизначніша риса якого — саме «прекрасний розум», а не якась фізична особливість (розділ 10). Простежу наше походження від мавпоподібного предка, який жив 6 мільйонів років тому, зосередившись на фізичних змінах і змінах розвитку, що призвели до появи *Homo sapiens*. Під час цього екскурсу зверну увагу на масштаб і типи генетичних змін, які відбулися під час нашої еволюції та які можна вважати головними в процесі формування тих рис, що передусім асоціюються з людиною.

### Велич у новішій синтетичній теорії: дія третя

Тривалу історію еволюційної науки можна розглядати як драму принаймні в трьох діях. У дії першій, що сталася майже 150 років тому, Дарвін завершив найважливішу книжку в історії біології закликом до читачів звернути увагу на велич у запропонованому ним новому баченні природи — у тому, як «із досить простого джерела розвинулася — і далі розвивається — незліченна кількість найпрекрасніших форм». У дії другій творці синтетичної теорії еволюції об'єднали принаймні три дисципліни, прагнучи до величного синтезу

знань. Щось величне є і нині, у дії третій, у тій перспективі, яку ембріологія та еволюційна біологія розвитку надають для формування тваринних форм і біологічного різноманіття. Частково ця велич проявляється наочно, бо ми можемо на власні очі бачити, як виникає нескінченне розмаїття живих форм.

Але краса в науці ніколи не лежить лише на поверхні. Наука у своєму найкращому прояві — це результат співдії наших емоційної та інтелектуальної сторін, це синтез між тим, із чим часто асоціюють ліву (логіка та міркування) і праву (емоції та творчість) півкулі мозку. Найвизначніші ситуації в науці, коли траплялася «еврика», поєднують чуттєву естетику й концептуальне осяяння. Фізик Віктор Вайскопф (який водночас був піаністом) зазначав: «Прекрасне в науці зводиться до того самого, що вважають прекрасним у Бетховена. Це те, що ви відчуваєте, коли раптом серед туману фактів бачите зв'язок. Ідеться про складну сукупність людських переживань, які резонують із чимось глибоко всередині вас, поєднуючи те, що завжди у вас було, але ніколи раніше не складалося воєдино».

Коротко кажучи, наука у своєму найліпшому прояві пропонує такий самий досвід, як хороші книги чи фільми. Ми відчуваємо поклик якоїсь таємниці чи драми — і відгукуємося на нього, прямуючи до певного одкровення, яке в найкращому разі дасть нам змогу ясніше бачити й розуміти світ. Головне обмеження вченого — правда. Чи може науковий, невигадааний світ надихати й радувати людей так, як уявний світ художньої літератури?

100 років тому з'явилася книжка Редьярда Кіплінга, що на тепер уже стала класикою, — «Такі самі оповідки», збірка дитячих казок, натхненних його життям в Індії. Серед чарівних історій Кіплінга траплялися як більш приземлені («Як у леопарда з'явилися плями» чи «Як у верблюда виник горб»), так і вигадливіші («Метелик, який тупнув ніжною»), пропонуючи незвичний погляд на те, як деякі з-поміж наших улюблених

і незвичайних істот набули характерних для себе рис. Та хай би якими чудовими були ці казкові пояснення появи плям, смуг, горбів і рогів, сучасна біологія може розповідати такі історії про метеликів, зебр і леопардів, які здатні зачаровувати, на мою думку, не згірш за казки Кіплінга. Ба більше: ці біологічні оповідки пропонують кілька простих, елегантних істин, які поглиблюють наше розуміння всіх тваринних форм — зокрема й нас самих.