

Зародження ідей

Карл Лінней (1707–1778), батько сучасної систематики, за життя вивчив сотні рослин і тварин. Його наукові класифікаційні схеми не залишали місця для емоцій, проте був один виняток. Серед тисяч досліджених Ліннеєм тварин представники ряду Хвостаті (*Urodela* або *Caudata*) були об'єктом його зневаги та глузування. Дітям подобаються саламандри і тритони — смиренні істоти з великими очима та головою, чотирма кінцівками та довгим хвостом. Але Лінней з якоїсь невідомої причини вважав їх надзвичайно «неприємними й огидними тваринами» і проголошував удачею те, що «Творець не витрачав свої сили на створення багатьох їхніх різновидів».

Якщо Лінней вбачав у саламандрах найгірший акт творіння, інші вважали їх уособленням стихії та майже легендарними істотами. Філософи від Плінія Старшого до Святого Августина проголошували, що тритони й саламандри — це істоти, породжені лавою, пеклом та полум'ям. Августин вважав саламандр живим доказом реальності спалення в пекельному вогні. Його ідеї базувались на твердженнях, що саламандри стійкі до полум'я і не згорають у багатті. Легенди про такі суперможливості могли відображати особливості біології цих тварин. Як відомо акваріюмістам та натуралістам, деякі види саламандр полюбують мешкати під колодами, які гниють. Імовірно, люди, які за часів Августина збирали колоди на дрова, про це

не здогадувались. Тож при розпаленні багаття з вогких колод могли несподівано вилазити звивисті саламандри, що, безсумнівно, породжувало страх перед їхньою диявольською природою.

Хоча в світі відносно мало видів саламандр (за останніми оцінками, приблизно до п'ятисот), їхнє значення для людства виходить далеко за межі інстинктивної ненависті та уявлень про пекельний вогонь. Вони стали каталізатором розробки нового підходу до розуміння основних перетворень в історії життя.

У 1800-х рр. зоологічні експедиції бродили світом, досліджуючи континенти, гори та джунглі. Вони описали тисячі нових мінералів, видів тварин та артефактів. На борту дослідницьких суден часто перебував натураліст, завданням якого було збирати нові види тварин і рослин, гірські породи та вивчати нові ландшафти. В ту епоху люди, які мали змогу аналізувати зразки, що прибували до доків та залізничних станцій Лондона, Парижа та Берліна, і публікувати про них статті, ставали знаменитостями.

Якщо колись людина ставала зоологом по праву народження, то це був Огюст Дюмеріль (Auguste Duméril, 1812–1870), професор Музею природничої історії в Парижі. Як і його батько Андре — професор, який також довгі роки працював у цьому музеї, — він захоплювався плазунами та комахами. Батько й син разом проводили дослідження та створили в музеї звіринець, де на додаток до музейних експонатів можна було спостерігати за живими тваринами. Дюмеріль-старший опублікував впливову класифікацію тваринного світу, використовуючи анатомічні описи, зроблені сином. Коли в 1860 р. Андре помер, Огюст з ентузіазмом взявся описувати нові види.

У січні 1864 р. Дюмеріль отримав партію з шести саламандр, виловлених групою, яка досліджувала озеро неподалік

від Мехіко. Саламандри були великими дорослими особинами, і їх, на відміну від інших дорослих саламандр, відомих на той час, прикрашав повний набір пір'ястих зябер, які стирчали, мов плюмаж, біля основи черепа. На їхніх спинах містився кіль, який тягнувся до хвоста, схожого на плавець. Було зрозуміло: ці дорослі саламандри із зябрами та специфічною формою тіла живуть у воді.

Таких саламандр, невідомих нинішнім дослідникам, у давнину добре знали ацтеки. Можливо, для науки ці види були новими, але в Мексиці їх вважали улюбленим делікатесом і часто смажили на свята та для особливих ритуалів.

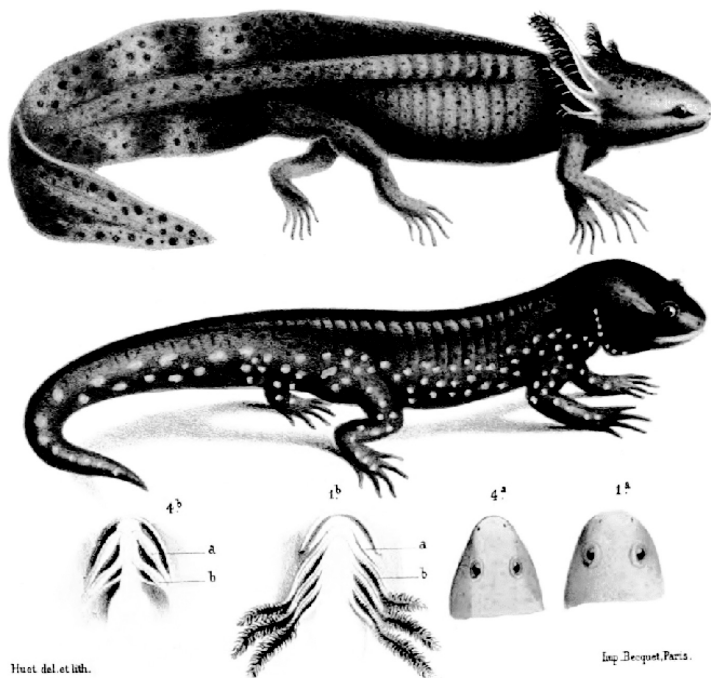
Перебуваючи під впливом недавно проголошеної теорії еволюції Дарвіна, Дюмеріль подумав, що ці саламандри можуть пролити світло на те, як відбувалась еволюція риб для виходу на сушу. Він розмістив їх у звіринці, створеному разом із батьком. На щастя, у Дюмеріля були і самці, і самки, тож приблизно через рік вони спарувались і відклали запліднені яйця. У 1865 р. з цих яєць вилупилися абсолютно здорові маленькі саламандри. За саламандрами легко доглядати, і за належних умов вони не потребують особливого годування протягом тривалого періоду часу. З його підопічними все йшло добре, тож Дюмеріль залишив їх на самоті.

Пізніше того ж року він зазирнув до їхнього помешкання. Спочатку подумав, що переплутав клітку, бо зараз усередині перебували два види саламандр. По-перше, це були батьки — великі водні особини із зябрами. Але поряд з ними мешкав інший вид. Ці істоти також були дорослими, але виглядали цілком наземними тваринами: у них не було зябер і плавцеподібного хвоста — взагалі нічого, що вказувало б на їхню здатність жити в воді. Придивившись до їхньої анатомії та порівнявши їх із видами, вже описаними в науковій літературі, Дюмеріль

зрозумів, що цим саламандрам вчені дали назву роками раніше. У них були точні ознаки роду *Ambystoma* — добре відомого різновиду саламандр, який мешкає виключно на суші.

Тварини-батьки і тварини-діти настільки відрізнялися одні від одних, що за класифікаційною схемою Ліннея їх можна було віднести навіть до різних родів. Це було таке ж диво, як якби одного року Дюмеріль посадив у вольєр шимпанзе, а наступного — знайшов їх у щасливій компанії з горилами.

Чи ця нова форма життя впала з неба? Чи у вольєрі Дюмеріля в Парижі відбулася велика трансформація? Що начарували саламандри цього разу?



Два типи саламандр Дюмеріля

Цікавість до ембріонів

Протягом століть люди дивилися на ембріони, інтуїтивно відчуваючи, що в процесах трансформації від яйця до дорослої особини ховаються підказки про закони, які роблять види відмінними один від одного. Дійсно, тоді, коли Дюмеріль сушив голову над таємницею своїх саламандр, вивчення розвитку ембріона, чи то риби, жаби чи курчата, перетворилось на засіб дослідження біологічного різноманіття всіх тварин на Землі.

Відтоді як Аристотель заглянув усередину курячих яєць, курячі ембріони стали предметом захоплення. Пташенята розвиваються у власному вмістилищі, в яке можна зазирнути, як у вікно. Можна вирізати отвір у шкаралупі, підсвітити яйце збоку, покласти під мікроскоп і побачити всередині зародок. Спочатку він виглядає як невелика грудка білих клітин, розташована безпосередньо на поверхні жовтка. З часом він збільшується, і поступово з'являються частини, які можна розпізнати: голова, хвіст, спина та кінцівки. Процес відбувається за незмінним сценарієм. На самому початку запліднена яйцеклітина ділиться: одна клітина перетворюється на дві, дві — на чотири, чотири — на вісім і так далі. У міру розмноження клітин ембріон з часом стає подібним до кульки. Протягом кількох днів він перетворюється з порожнистої кульки на простий диск клітин, оточений структурами, які захищатимуть його, живитимуть і створюватимуть належне середовище для розвитку. З цього простого диска клітин утворюється ціла істота. Недарма ембріональний розвиток став джерелом спекуляцій та наукових досліджень.

Шарль Бонне (Charles Bonnet, 1720–1793) стверджував, що ембріон, по суті, є маленькою, але повністю сформованою мініатюрною істотою. Під час його перебування в утробі матері

розвиваються та зростають органи, які існують від самого початку. Уявлення Бонне про еволюцію базувались на існуванні цих так званих гомункулів. Самки несуть в собі всі майбутні покоління. Гомункули, яких вони несуть, здатні пережити катастрофи, і з часом від попередніх поколінь самок виникнуть нові форми життя. На завершальному етапі, колись у майбутньому, з гомункулів у людських утробах утворяться ангели.

У наступне століття почались дослідження ембріонів різних видів з використанням нових оптичних технологій. Як тільки вчені на власні очі побачили справжні ембріони, ідея Бонне сконала, але пошук пояснень того, як при ембріогенезі створюються тіла настільки різних істот, як слони, птахи та риби, продовжувався.

У 1816 р. двоє студентів-медиків, досліджуючи ембріони, одними з перших знайшли пояснення біологічному різноманіттю тварин. Обидва студенти, Карл Ернст фон Бер (Karl Ernst von Baer, 1792–1876) і Крістіан Пандер (Christian Pander, 1794–1865), походили зі знатних сімей німецькомовних регіонів Балтії. Вступивши до медичного коледжу у Вюрцбурзі, вони скористалися методикою Аристотеля і почали розглядати курячі ембріони. Пандер інкубував тисячі яєць, розкривав їх у різні терміни розвитку і під лупою роздивлявся, як у ембріонів формуються органи. Спочатку він мав очевидну перевагу над своїм другом: походячи із заможної родини, міг дозволити собі сконструювати стелажі, де вміщались тисячі яєць, найняти помічника для малювання ембріонів і замовляти високоякісні гравюри для публікацій. Фон Бер був біднішим за Пандера, тож перебував на другому плані.

Скориставшись технологічними досягненнями, Пандер зміг отримати першокласні збільшувальні лінзи. Завдяки великій кількості ембріонів різного віку та новим лінзам, за допомогою

яких їх можна було розглядати, він побачив те, чого до нього не бачила жодна людина. Ембріони на ранніх стадіях не мали не лише органів, які можна було б розпізнати, а і взагалі нічого спільного з гомункулами, про які просторікував Бонне. На ранніх стадіях розвитку ембріони нічим не нагадували дорослих особин, а були простими дисками з клітин, розташованих на поверхні жовтка.

Пандера цікавив не лише зовнішній вигляд ембріонів — він хотів дізнатись, що відбувається всередині. Сфокусувавши лінзу, він помітив, що спочатку зародок виглядає як простий диск розміром у кілька піщинок. Збільшуючись у процесі розвитку, диск урешті-решт починає складатися з трьох шарів тканини, розміщених, один на одному. На цьому етапі ембріон виглядає приблизно як дископодібний тришаровий торт.



Карл Ернст фон Бер

Маючи в розпорядженні тисячі яєць, Пандер простежив, що відбувається з кожним із цих шарів у процесі розвитку курячого ембріона від стадії простого тришарового диска до пташеняти з головою, крилами та ногами. Він спостерігав за тим, як поступово з'являються органи.

Працюючи з лінзою та детально замальовуючи ембріони на всіх можливих термінах розвитку, Пандер виявив у цьому складному процесі просту об'єднувальну концепцію. Всю організацію тіла можна було звести до цих трьох шарів. Внутрішній шар з часом дає початок нутрощам і пов'язаним з ними залозам. Середній шар перетворюється на кістки та м'язи, а зовнішній — на шкіру і нервову систему. Пандер і фон Бер, доброзичливий спостерігач цих відкриттів, зрозуміли, що наявність трьох шарів свідчить про важливий організаційний принцип розвитку тіла курчати.

Фон Бер здогадувався, що в цих шарах приховано ще багато інформації. На жаль, через брак коштів він зміг проводити власні дослідження лише через десять років, коли отримав професорську посаду в Кенігсберзькому університеті. Відтоді, маючи фінансові можливості, він міг досліджувати таємниці ембріонів різних видів. Його пристрасть час від часу збивала його з пуття. Щоб продемонструвати, в якому органі розвиваються яйцеклітини ссавців, він приніс у жертву собаку свого директора. Ім'я фон Бера назавжди пов'язане з відкриттям того, що яйцеклітини ссавців розвиваються з фолікулів яєчника, проте історія замовчує, як директор поставився до його експериментальних методів.

Фон Бер запитав: через які механізми один вид тварин стає відмінним від іншого? Він зібрав ембріони стількох видів, скільки зміг знайти, від риб до ящірок та черепах. Він виймав ембріони з яєць або материнської утроби і поміщав їх у посудини зі спиртом як консервантом. Потім, подібно до свого друга

Пандера, він почав вивчати, що є спільним у розвитку всіх тварин і що робить кожен вид унікальним.

Розглядаючи всі свої експонати під лупою, він зробив фундаментальні дослідження щодо різноманітності тварин. Кожен вид починав розвиток з трьох шарів: внутрішнього, зовнішнього та середнього. І він виявив, що розвиток цих шарів був абсолютно однаковим у різних видів тварин. Клітини найглибшого шару, біля основи диска, перетворювались на органи травного тракту і пов'язані з ним залози. З середнього шару утворювались нирки, репродуктивні органи, м'язи та кістки, а з зовнішнього — шкіра та нервова система. Оригінальне відкриття Пандера стосувалося не лише курчат, а і тварин загалом.

Це просте спостереження виявило універсальний зв'язок між усіма органами всіх відомих видів тварин. Незалежно від того, чи є істота глибоководною рибою-вудильником або альбатросом, її серце походить від клітин середнього шару, мозок — від клітин зовнішнього, а кишечник, шлунок та інші органи травлення — від клітин внутрішнього. Це правило настільки фундаментальне, що, вибравши будь-який орган у тілі будь-якої тварини на Землі, можна впевнено сказати, з якого клітинного шару він утворився.

Тоді фон Бер припустився помилки. Він забув повісити ярлики на кілька посудин, в яких містилися ембріони різних видів, а потім спробував їх розрізнити. Описуючи немічені ембріони, фон Бер сказав: «Це можуть бути ящірки, дрібні птахи або зовсім молоді ссавці. Формування голови й тулуба у цих тварин досить схоже. Кінцівок у цих ембріонів ще немає. Але навіть якби вони і перебували на перших стадіях розвитку, це все одно нічим не допомогло б ідентифікації, оскільки кінцівки ящірок і ссавців, крила і ноги птахів, а також руки і ноги людей розвиваються з тієї самої основної форми».

Через свою невдачу з маркуванням посудин фон Бер виявив закономірність у процесі поступового розвитку тварин. Тіла дорослих особин маскують їхню глибоку подібність на початку розвитку. Хоча дорослі особини або новонароджені можуть виглядати зовсім по-різному, на самих ранніх стадіях розвитку вони дуже подібні.

Така подібність ембріонів надзвичайна навіть у деталях. Голова дорослої риби мало схожа на голову дорослої черепахи, птаха чи людини. Але через короткий час після зачаття всі ембріони зазначених видів мають чотири опуклості біля основи голови. Це так звані зяброві дуги: вони розділені між собою щілиною і розвиваються у будь-якої істоти, яка матиме кістковий череп. Дійсно, їх наявність — базис для розвитку черепів різних типів. У риб клітини всередині цих опуклостей дають початок м'язам, нервам, артеріям та кісткам зябер. Щілини, що відокремлюють опуклості, перетворюються на зяброві щілини. Попри відсутність зябер у людини, на стадії ембріона присутні і зяброві дуги, і щілини. У людини клітини цих опуклостей дають початок кісткам, м'язам, артеріям та нервам певної частини нижньої щелепи, середнього вуха, горла та голосового апарата. Щілини не залишаються відкритими, натомість запечатуються і стають частинами наших вух та горла. У людини зяброві щілини наявні лише на ембріональній фазі розвитку.

Численні приклади, від нирок і мозку до нервів і хребта, зробили аргументацію фон Бера потужною і переконливою. Тіла акул та риб містять сполучнотканинний стрижень, що тягнеться під спинним мозком від голови до хвоста. Наповнений желеподібною речовиною, він утворює гнучку опору для тіла. Хребет людини складається з хребців — кісткових блоків, сполучених між собою міжхребцевими дисками. Але ми, люди, не маємо стрижня, що тягнеться від голови до стегон. Проте

людські ембріони мають принципову схожість з ембріонами акул та риб: у них є цей стрижень. Під час ембріонального розвитку він розпадається на невеликі блоки, які з часом перетворюються на внутрішню частину наших міжхребцевих дисків. Якщо у вас колись були болячі травми міжхребцевих дисків, майте на увазі — ви пошкодили древній пережиток ембріонального розвитку, який людина поділяє з акулами та рибами.

Спостереження фон Бера щодо подібності ембріонів різних видів на ранніх стадіях розвитку привернули увагу Дарвіна. Робота фон Бера була опублікована в 1828 р., і через три роки, відправляючись на кораблі «Бігль» у кругосвітню подорож, що змінила його життя, Дарвін уже знав про неї. Через три десятиліття він опублікував «Походження видів», навівши подібність ембріонів на доказ своєї теорії еволюції. Той факт, що такі різні істоти, як риби, жаби та люди, мають спільну вихідну точку, промовляв Дарвіну про їхню спільну історію. Що може бути кращим свідченням спільного походження різних видів, ніж спільні стадії ембріонального розвитку?

Після відкриттів фон Бера в галузі ембріології німецький вчений Ернст Геккель (Ernst Haeckel, 1834–1919), дослідник з наступного покоління, вивчав зв'язок між ембріональними стадіями розвитку та еволюційною історією. Геккель отримав освіту лікаря, але не витримував спілкування з хворими, тому поїхав до Єни навчатись порівняльної анатомії у провідного спеціаліста. Його життя змінилося після знайомства з Чарльзом Дарвіном і його працями.

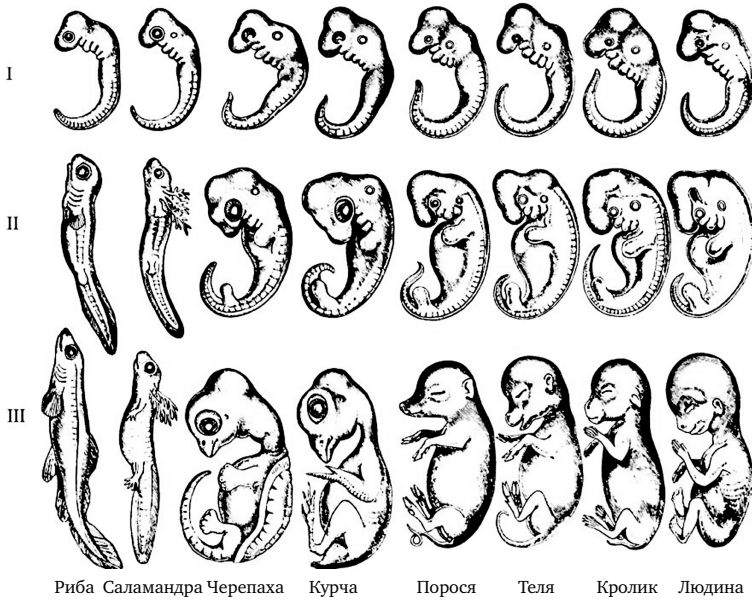
Геккель вивчив ембріони всього тваринного царства і написав понад сто монографій, що описують та ілюструють стадії розвитку ембріонів різних видів. Він бачив безперервний зв'язок між мистецтвом та життям: різноманітність життя була витвором мистецтва. Він створив кілька найкрасивіших

з будь-коли зроблених кольорових літографій. Його об'ємні зображення коралів, черепашок та ембріонів відображають епоху, коли ретельне анатомічне малювання пов'язувало науку та естетику. Ембріони, зокрема, його приваблювали не лише своєю красою, а й тим, що підтверджували нову теорію Дарвіна. Геккель, завжди вартий цитування, є автором фрази, яка стала хрестоматійною для багатьох біологів ХХ століття: «Онтогенез [індивідуальний розвиток] повторює філогенез [еволюційну історію]».

Геккель стверджував, що ембріони тварин у процесі розвитку відтворюють еволюційну історію виду: ембріон миші послідовно схожий на хробака, рибу, амфібію та рептилію. Ці стадії залежать від того, як у процесі еволюції виникали нові ознаки. Він висунув гіпотезу, що нові еволюційні ознаки додаються на кінцевих стадіях розвитку; наприклад, земноводні виникли шляхом додавання особливостей, характерних для земноводних, до кінцевих стадій розвитку рибного предка, а особливості плазунів — до земноводних тощо. З часом, за словами Геккеля, цей процес привів до ембріонального розвитку, що повторює еволюційну історію виду.

Кому відтепер потрібні скам'янілості проміжних ланок еволюції для вивчення історії життя, якщо, за припущенням Геккеля, її можна прочитати в ембріонах? Теорія рекапітуляції Геккеля була настільки впливовою, що люди вирушали в експедиції для отримання ембріонів різних видів. Наприклад, в антарктичній експедиції Роберта Фолкона Скотта (Robert Falcon Scott) 1912 р., що мала на меті дістатися до Південного полюса, три члени команди були одержимі пошуками яєць імператорських пінгвінів. Дослідники вважали, що ембріони імператорських пінгвінів, які тоді вважалися примітивними істотами, нададуть підказки про те, як птахи еволюціонували від плазунів. На

якомусь з етапів ембріонального розвитку зародок міг виявити подібність до їхнього предка-рептилії.



Геккелеве порівняння ембріонального розвитку різних видів. Ця схема вплинула на уми, але викликала суперечки. Дехто стверджував, що він перебільшує схожість між ембріонами і забагато дозволяє собі у схемах

У розпал австралійської зими троє членів екіпажу вирушили в місячну подорож на санях від своєї бази в бік мису Крозьє, місця гніздування пінгвінів. У непроглядній темряві при температурі, яка опускалася до мінус шістдесяти градусів за Фаренгейтом, ці троє кілька разів ледь не загинули — їхні намети зривало вітром, вони зісковзували в щілини. Один з них, Епслі Черрі-Гаррард (Apsley Cherry-Garrard), у своєму класичному путівнику «Найгірша подорож у світі» (*The Worst Journey in the World*) написав, що групі вдалось повернутися до табору з трьома яйцями пінгвінів. Пізніше у трагічній і невдалій спробі