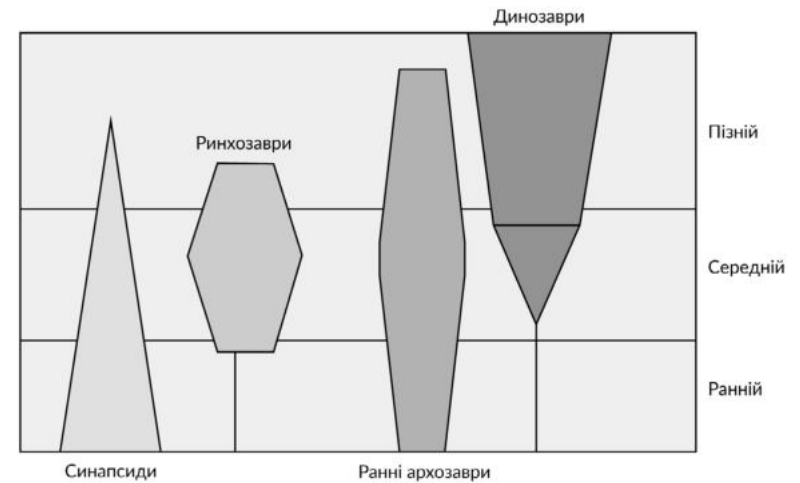


ПОХОДЖЕННЯ ДИНОЗАВРІВ

Одне відомо точно: динозаври з'явилися в тріасовий період, між 252 та 201 мільйонами років тому. Майже в усьому іншому ми не впевнені. Наприклад, коли саме вони з'явилися, у ранньому чи пізньому тріасі? Яким був світ, коли вони вийшли на сцену? Чи проторували вони шлях до панування в глобальній екосистемі відчайдушною боротьбою з іншими тваринами або ж їм просто пощастило посісти своє місце? Всі ці теми були актуальними у 1980-х, коли я починав кар'єру палеонтолога. Все своє життя я присвятив пошуку відповідей на ці питання, проте не можу сказати, що знайшов їх усі: щоразу, коли розв'язуєш одну проблему, виникають нові. Це розповідь про мінливі уявлення щодо еволюції, нові скам'янілості й нові дослідження.

Навчаючись у докторантурі, я намагався розробити екологічну модель походження динозаврів. Тодішня «стандартна» модель являла собою триетапний процес. Спершу синапсиди, пращури ссавців, були панівними всеїдними. Потім синапсидів витіснили ринхозаври як травоядні та ранні архозаври як м'ясоїдні. До архозаврів належать сучасні птахи й крокодили, а також динозаври та їхні пращури. Нарешті, ринхозаври і ранні архозаври поступилися динозаврам. Ми невдовзі зустрінемося з усіма цими тваринами й особливу увагу звернемо на ринхозаврів і перших динозаврів.

Вважалося, що ці етапи утворювали екологічну естафету, в якій одна група поступається іншій, а та своєю чергою поступається наступній. Цю модель походження динозаврів запропонували двоє видатних американських палеонтологів Ел Ромер і Нед Колберт, автори всіх стандартних підручників, тож їхні ідеї були поширені та відомі. Важливо, що естафетна модель Ромера–Колберта припускає конкуренцію між усіма



Класична модель походження динозаврів за поступовим конкурентним заміщенням у тріасовий період

цими тваринами, і що динозаври в якийсь спосіб вибороли собі шлях до панування. Як їм це вдалося? Можливо, тому, що вони мали вертикальну поставу, тож могли бігати швидше за своїх менш успішних сусідів. У ширшому еволюційному розумінні модель екологічної естафети Ромера–Колберта твердо вкладалася в припущення, що масштабна еволюція була поступальною.

Молодим науковим співробітником я запропонував цілковито протилежний погляд у статті 1983 року. Я стверджував, що динозаври вирвалися на сцену приблизно 230 мільйонів років тому не після тривалої конкурентної боротьби, а після епізоду вимирання. Ринхозаврів і ранніх архозаврів убила зміна клімату, що спричинила посушливі умови й поширення нових видів рослин, зокрема хвойних. Ринхозаври засмучено жували жорсткі голки та шишки з хвойних дерев, що постали на сухому ґрунті; власне, вони звикли харчуватися такими ж жорсткими, але більш поживними рослинами на кшталт насінних папоротей, але ті потребували вологішого клімату. Можливо, посушливий клімат і поширення

хвойних спричинили швидку кончину насінних папоротей, а за ними й ринхозаврів. Під час свого розквіту ринхозаври були дуже численними й становили до 80 відсотків усієї викопної фауни. Після їхнього вимирання динозаври скористалися нагодою й поширилися в порожньому екопросторі — це, як я стверджував 1983-го, радше опортунізм, аніж прогрес.

Ця моя ідея, напевно, дуже дратувала визнаних палеонтологів. Справді, у мене відбулася палка й неочікувана дискусія з британським патріархом досліджень тріасових динозаврів, головою відділу динозаврів Музею природничої історії в Лондоні, доктором Аланом Черігом. Він перехопив мене на конференції в Манчестері 1985-го, і в нас було серйозне обговорення — у душі. (У ті часи конференції зазвичай проводили в університетських гуртожитках із загальним душем.) Я намагався переконати Черіга, що для розв'язання великих проблем макроеволюції варто використовувати числові й філогенетичні методи, але він не погоджувався. Ми лишилися кожен зі своїм і розійшлися мирно, хоч і трохи пригніченими.

Отже, це розповідь про масштабні еволюційні зміни, яка, втім, залежить від хорошого знання скам'янілостей, порід і моделей, які цю еволюцію описують. Нам треба розглянути екологію тріасових звірів, потім ринхозаврів (дивну, але привабливу групу тріасових тварин, які є важливими в багатьох аспектах), тоді питання найперших динозаврів, і насамкінець те, як скласти до купи історію скам'янілих знахідок, кліматичних змін і масових вимирань, щоб дізнатися, яким чином динозаври запанували на Землі.

Екологія та походження динозаврів

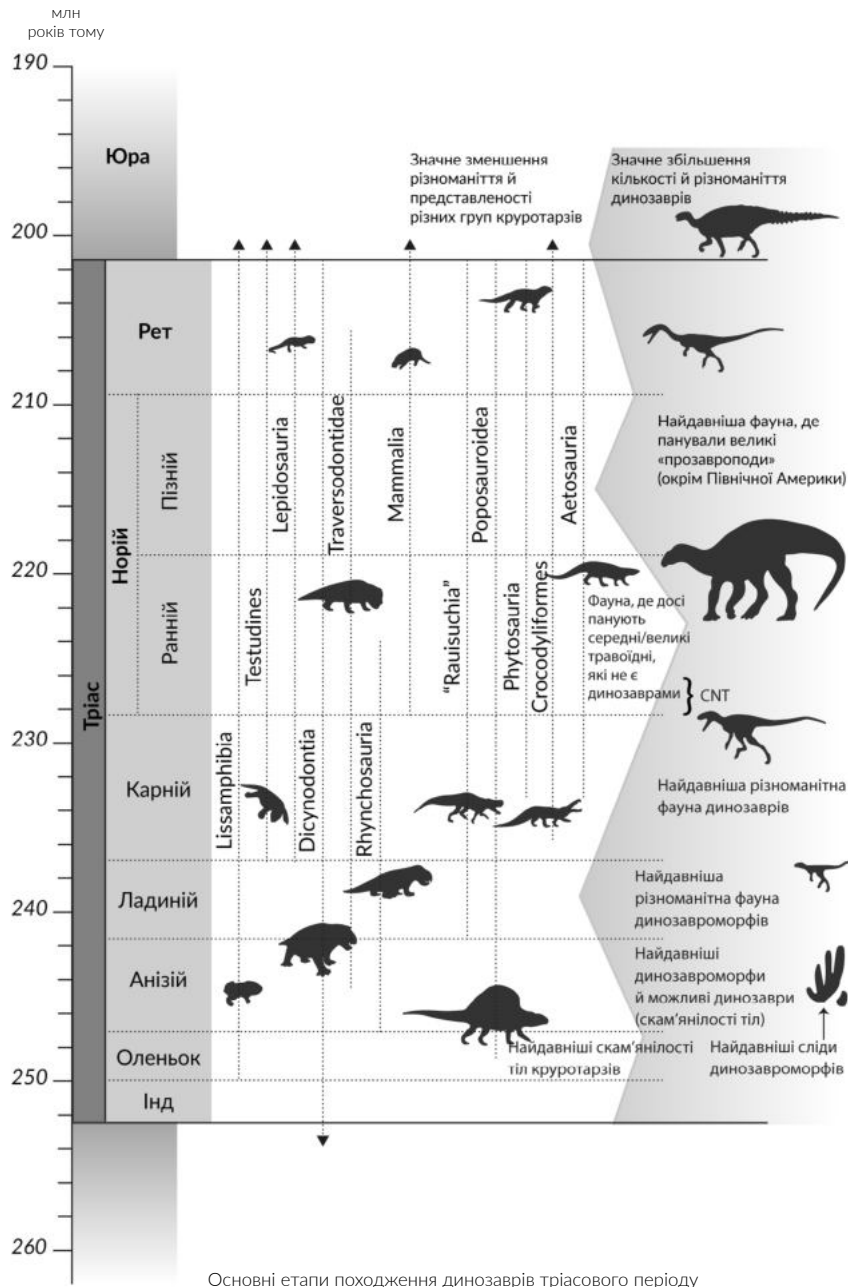
То чому Ромер, Колберт і Черіг стверджували, що динозаври витіснили своїх суперників у конкурентній боротьбі? Частково через припущення про поступовість еволюції — динозаври замінили своїх суперників-невдах (синапсидів, ринхозаврів

і ранніх архозаврів), а їх і собі 180 мільйонів років потому замінили ссавці. Кожен етап на цьому шляху супроводжувало певне вдосконалення, завдяки якому тварини ставали швидшими, розумнішими або принаймні кращими суперниками.

У дечому це чистий дарвінізм — виживання найпристосованішого, постійне вдосконалення. Втім, із 1980-го ми дізналися, що еволюція не є однонапрямною чи непохитною. Власне, довкілля і надалі змінюється — клімат стає теплішим чи прохолоднішим, континенти рухаються, виникають гірські кряжі, підіймається і спадає рівень моря. Унаслідок цих змін рослини й тварини і досі адаптуються в суто дарвіністський спосіб, але так ніколи й не досягають досконалості. Зміни довкілля непередбачувані та випадкові, тож види загалом успішні, але ніколи не ідеальні.

У 1980-х науковці зосереджувалися на поставі тварин. Сучасні рептилії, як-от черепахи, ящірки та крокодили, мають латеральне положення кінцівок. Це означає, що їхні передні й задні ноги трохи виступають убік. Під час пересування, якщо дивитися згори, кожна нога описує широку дугу, а хребет вигинається з боку в бік. Рептилії з латеральним положенням кінцівок тримають живіт близько до землі й загалом можуть рухатися швидко лише на коротких відстанях. Ссавцям натомість властива пряма хода, їхні руки і ноги немовби підіткнуті під тіло. Під час ходьби вони використовують їхню повну довжину, щоби зробити крок, тому кінцівки чи тіло не відхиляються вбік. Відомо, що багато ссавців, зокрема коні чи вовки, можуть бігти швидко на довгі відстані, на що істоти з латеральним положенням кінцівок загалом не здатні.

У тріасовий період відбулася помітна зміна в поставі рептилій. Синапсиди й ринхозаври переважно мали латеральне положення кінцівок, тоді як динозаври були прямохідними, тож це давало їм конкурентну перевагу. Динозаври могли пересуватися швидше за своїх попередників і в підсумку виграли біологічну гонитву озброєнь, яка тривала всі 50 мільйонів років тріасу.



Теорія здавалася зрозумілою й начебто пояснювала дані. Однак мене вона не задовольняла — через те, що скам'янілості й геологічні породи розповідали іншу історію. Перемога динозаврів відбулася швидко, а не поступово, і не було доказів безпосереднього суперництва. Це впливало з моїх дисертаційних досліджень ринхозаврів — групи рептилій, що панувала в усьому світі якраз перед стрімким поширенням динозаврів.

Ринхозаври

Розпочавши свої дисертаційні дослідження 1978 року, мій керівник, Алік Д. Волкер із Ньюкаслського університету, доручив мені працювати над *Hyperodapedon* (див. с. 31), ринхозавром пізнього тріасового періоду. Моїм завданням було оглянути приблизно двадцять екземплярів цієї дивної й незграбної чотиринової рептилії-травоїда. Зразки походили з жовтих піщаників навколо Елгіна, привабливого ринкового містечка в північно-східній Шотландії, де їх збирали ще з 1850-х.

Із цими скам'янілостями було неможливо працювати, бо вони мали вигляд порожнин у камені. Якоїсь миті у 230-мільйоннорічній історії того куточка Шотландії геологічні породи опустилися глибше під землю, стиснулись, частково переплавились, а потім знову піднялися на поверхню. Кістковий матеріал досі був там, але нагадував якусь шпаклівку. У вікторіанську епоху музейні препаратори молотком і стамескою старанно зчищали дрібнозернистий піщаник із розплющених кісток, але результати загалом були невтішні.

У 1950-х, розпочинаючи вивчення фауни тріасового періоду біля Елгіна, Алік Волкер здогадався видалити кістковий дріб'язок зі зразків, а потім зробив високоточні зліпки. З якихось причин, про які я так і не дізнався, він узяв за матеріал для зліпків полівінілхлорид (ПВХ). З нього виготовляють гумові рукавички: густу рідину, здатну зберігати колір, заливають

у форму, запікають до затвердіння й тоді дістають. Надзвичайна еластичність і міцність гумової рукавички з ПВХ були саме тим, що ми потребували, — після заливки й запікання ПВХ глибоко проникав у кожен порожнину та тріщину в камені.

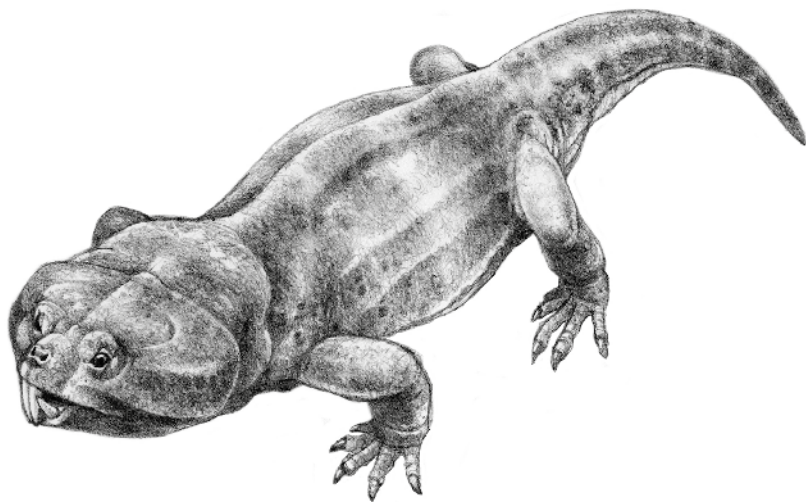
Іноді мені доводилося просити трьох чи чотирьох колег-студентів, щоби вони допомогли витягти з каменя ПВХ-зліпок кістки ноги чи черепа. Утім, воно було того варте, бо піщаник зберігав найдрібніші деталі, показуючи, наприклад, слізу протоку ока, великі кров'яні судини й шви між кістками черепа *Hyperodapedon*.

Отже, ринхозаври могли сягати півтора метра завдовжки й мали впізнаваний череп із гачкуватим носом, схожим на усмішку, якщо дивитися збоку, і чималою основою. Ця основа була такою широкою, що між маленькою черепною коробкою й щелепами, на яких за життя розташовувалися кілька потужних щелепних м'язів, виникав величезний проміжок. Діаметр м'яза дає змогу виміряти його силу, і ринхозаври мали, безсумнівно, потужні щелепи. Це підтверджували кілька рядів зубів, які розташовувалися позаду кожної щелепної кістки. І зубний ряд розширювався у міру того, як тварина росла. Ближче до переду зуби були плоскими через тертя між щелепами. Справді, один із перших палеонтологів, який описав ринхозаврів, знаменитий прихильник Дарвіна Томас Генрі Гакслі, порівнював змикання їхніх щелеп зі складанням кишенькового ножа: нижня щелепа — це лезо, яке зручно вкладається в заглибини верхньої. Це свідчить, що єдина щелепна дія, на яку були здатні ринхозаври, — це розрізання їжі мовби парою кравецьких ножиць. Цю дію іноді називають «стриженням». Щелепи не могли рухатися вбік, тому ринхозаври не здатні були пережовувати їжу.

Зрозуміти пристосування і світ ринхозаврів було важливо, бо вони панували серед трав'янистих, перш ніж на сцену зішли динозаври. Як швидко їх замінили, і чи витіснили їх динозаври чи ж ринхозаври померли з інших причин?

ГІПЕРОДАПЕДОН

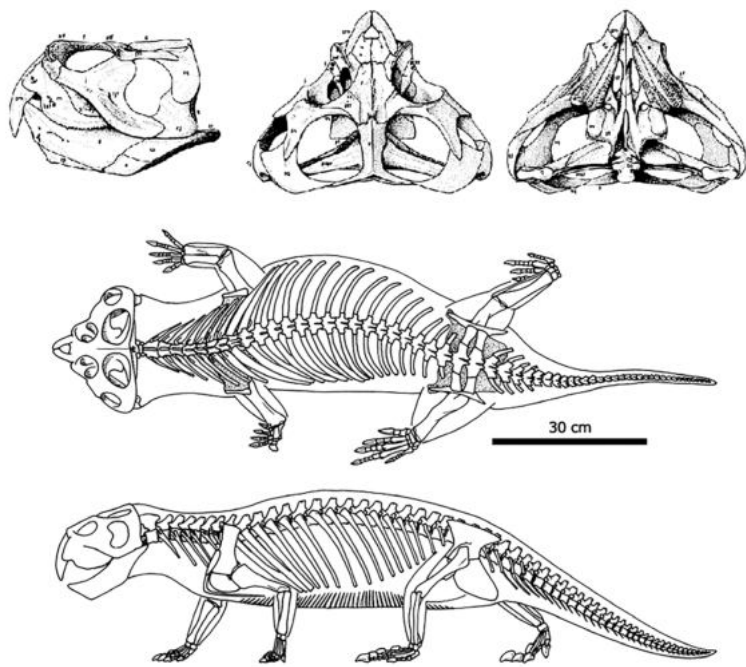
Рід *Hyperodapedon*
 Вид *gordoni*



Описав	Томас Гакслі 1859-го
Вік	пізній тріасовий період, 237–227 млн років тому
Місце знахідки скам'янілостей	Шотландія
Класифікація	<i>Archosauromorpha</i> ► <i>Rhynchosauria</i>
Довжина	1,3 м
Вага	50 кг
Маловідомий факт	<i>Hyperodapedon</i> був поширений в усьому світі й відомий з Аргентини, Бразилії, Індії й Танзанії



Коли настав час закінчувати аспірантуру, я постав перед дилемою. Ринхозаври були чарівні, принаймні так мені здавалося, з їхніми щасливими усмішками й стрижучими щелепами, але всі однакові. Палеонтологи відкопали сотні скелетів ринхозаврів, не тільки в Шотландії, а й у тріасових породах схожого віку в Бразилії, Аргентині, Індії, Танзанії, Зімбабве, Канаді та Сполучених Штатах. Спершу ці знахідки мали декілька різних назв, але я з іншими вченими дослідили їх повторно і не змогли виокремити якісь відмінності. Ринхозавр *Hyperodapedon* був поширений в усьому світі в пізній тріасовий період, одночасно з найдавнішими у світі динозаврами.



Ринхозавр *Hyperodapedon* з Елгіна в Шотландії — сторінка з моєї дисертації

Яким був перший динозавр

Аж до 2000 року всі найдавніші відомі динозаври походили з пізнього тріасового періоду, і їх датували приблизно 230 мільйонами років. Найдавніші репрезентативні зразки динозаврів знайшли в аргентинській формації Ісчігуаласто наприкінці 1950-х і в 1960-х, коли Ел Ромер з Гарварду разом із місцевими аргентинськими геологами почали розкопки. Місцевість Ісчігуаласто пролягає поблизу Анд і підіймається схилами величного гірського кряжа. Геологи подолали 200 кілометрів на північ від містечка Мендоса, що в провінції Сан-Хуан, спершу прохідними дорогами, а тоді путівцями, підбираючись щораз ближче до ділянки з динозаврами. Ландшафт Ісчігуаласто утворюють широкі голі долини, розмиті сезонними повеннями, чії води зриваються зі східного схилу Анд, лишаючи по собі смуги неродючих земель із широкими ущелинами, встеленими сумішшю червоного й сірого піщанику. Відклади зі скам'янілостями лежать у Провінційному парку Ісчігуаласто, розташованому в місцині з романтичною назвою Вальє-де-ла-Луна — Долина Місяця. Розкопувати такі безплідні ландшафти важко, проте це ідеальна територія для полювання на скам'янілості, оскільки тут немає родючого ґрунту чи рослинності, й білі з пурпуровим відтінком кістки добре вирізняються в породі.

Колекція скам'янілостей, яку зібрав Ромер, вирушила в Гарвард. Там він зі студентами опублікував серію робіт, у яких описав свої знахідки, включно з динозавром ***Herrerasaurus*** (див. с. 36). Назву цьому динозаврові дав 1963-го Освальдо Рейт, поважний аргентинський палеонтолог. *Herrerasaurus* був великою твариною, до шести метрів завдовжки, і мав сильні щелепи, здатні розрізати м'ясо. Він був двоногий і, очевидно, спроможний швидко рухатися на сильних прямих ногах із широко розставленими пальцями. Також *Herrerasaurus* мав довгі руки, якими хапав здобич. Його щелепи мали по двадцять п'ять схожих на ятагани зубів, кожен із зазубреним краєм, немов

ножі для стейка. Мені болісно повідомляти, що *Herrerasaurus*, напевно, був достатньо великим, аби харчуватися найрозповсюдженішими тваринами того часу — ринхозаврами. Серед інших тварин у відкладах Ісчігуаласто були менші, наприклад динозаври *Eoraptor* і *Panphagia*, кожен завдовжки з метр, а також броньовані травоїдні ранні архозаври — етозаври, і деякі менші м'ясоїдні синапсиди, що, ймовірно, скидалися на частково волохатих і частково лисих щурів.

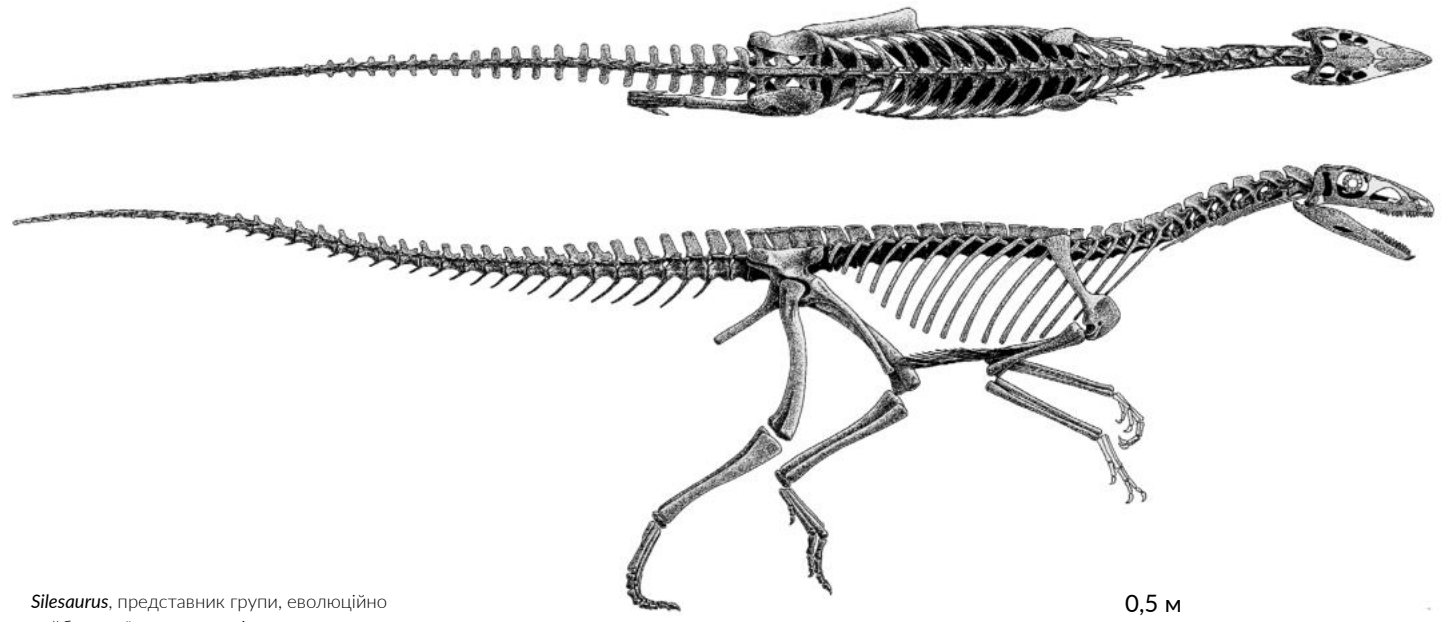
Наукові експедиції до Провінційного парку Ісчігуаласто в 1990-х виявили ще десятки динозаврячих скелетів, включно з доволі цілісними зразками *Herrerasaurus* та *Eoraptor*. Динозаври Ісчігуаласто, віком приблизно 230 мільйонів років, загалом схожі на дрібних динозаврів із формацій того ж віку в Бразилії, Індії та Північній Америці, саме тому я взяв їх за ознаку стрімкого видоутворення динозаврів у всьому світі після великої екологічної кризи.

Потім, після 2000-го, низка нових відкриттів несподівано відсунула дату походження динозаврів на 15 мільйонів років у минуле й помістила її в цілковито новий і неочікуваний контекст.

Перший натяк на революцію в нашому розумінні з'явився в Польщі. 2003-го Єжи Дзік, директор Палеонтологічного інституту Варшави, повідомив про худорляву рептилію з півдня Польщі під назвою *Silesaurus* (див. с. 36). Скам'янілість була наддивовижу повною, приблизно два метри завдовжки. То була рептилія з довгим

струнким тілом та тонкими кінцівками. Вона мала пряму поставу, видовжену шию та гладку голову. Схоже, бігав *Silesaurus* переважно на двох ногах, а довгі тонкі руки міг використовувати для повільної ходи на всіх чотирьох. Щелепи вистеляли зуби, схожі на кілки, а попереду розташовувалася подоба дзьоба. Вочевидь, *Silesaurus* був травоїдом, який щипав листя ороговілими кінчиками щелеп і пережовував їжу глибше в роті. *Silesaurus* скидався на динозавра, проте не зовсім. Тож чи міг він бути першим динозавром?

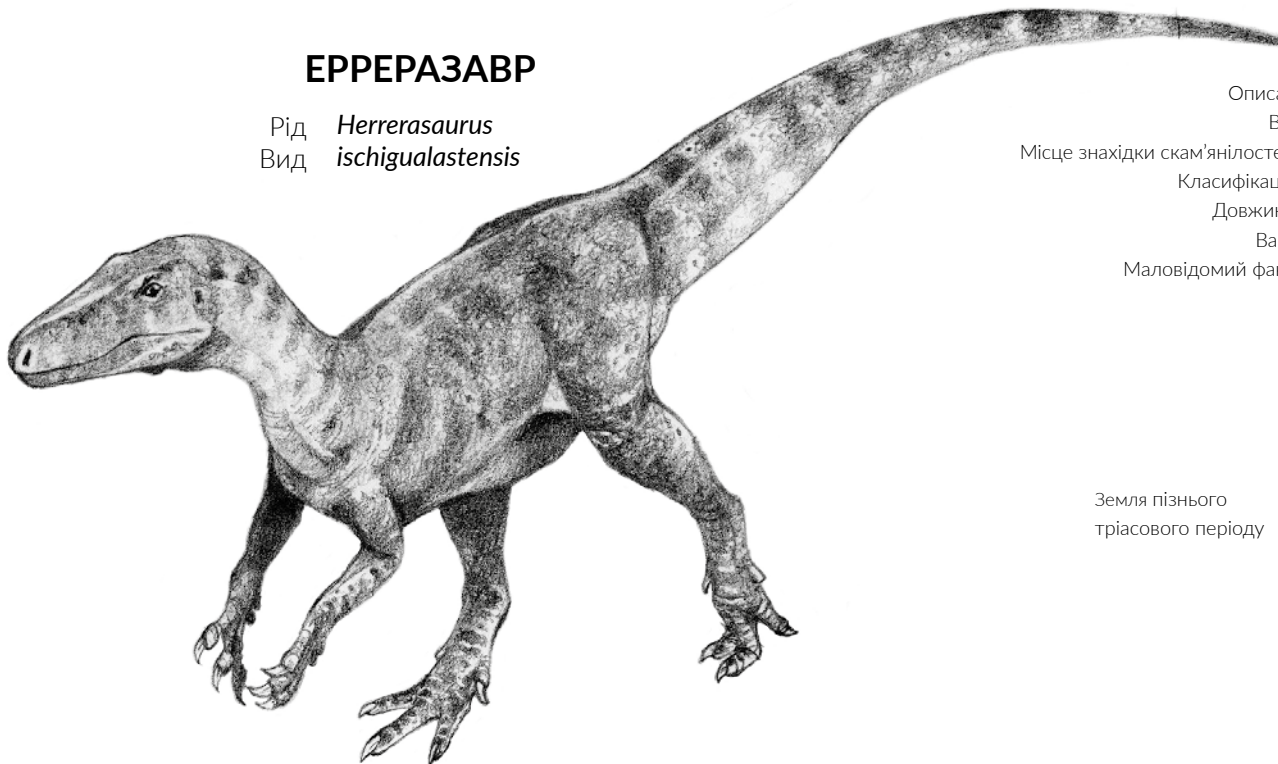
Другий польський сюрприз нагодився 2011-го, коли Стів Брусатте, Гжегож Недзведзький і Річард Батлер з'ясували, що тонкі трипальцеві сліди з кількох місцевостей, безсумнівно, належать динозавру. Їхнє відкриття взяли під сумнів — чи можемо ми бути впевнені, що ці маленькі скам'янілі сліди справді залишив динозавр? А раптом вони належали комусь схожому на динозавра, може, навіть силезавриду? Що ж, так, це можливо, проте почасти це не має значення.



Silesaurus, представник групи, еволюційно найближчої до динозаврів

ЕРРЕРАЗВР

Рід *Herrerasaurus*
Вид *ischigualastensis*



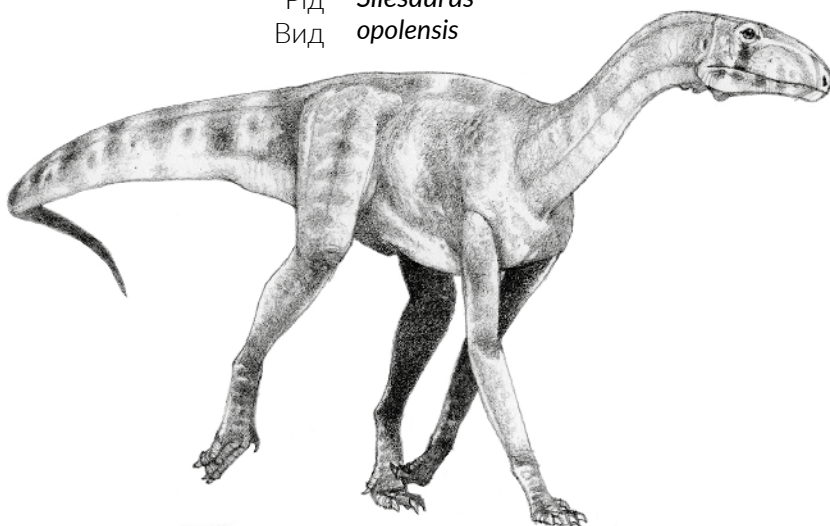
Описав Освальдо Рейґ 1963-го
Вік пізній тріасовий період, 237–227 млн років тому
Місце знахідки скам'янілостей Аргентина
Класифікація *Dinosauria* ▶ *Saurischia* ▶ *Herrerasauridae*
Довжина 6 м
Вага 270 кг
Маловідомий факт *Herrerasaurus* схожий на теропода, але насправді є раннім ящеротазовим — ані тероподом, ані завроподоморфом

Земля пізнього тріасового періоду ▶



СИЛЕЗАВР

Рід *Silesaurus*
Вид *opolensis*



Описав Єжи Дзік 2003-го
Вік пізній тріасовий період, 227–201 млн років тому
Місце знахідки скам'янілостей Польща
Класифікація *Dinosauria* ▶ *Silesauridae*
Довжина 2,3 м
Вага 40 кг
Маловідомий факт скам'янілості знайшли в глиняному кар'єрі, яким користувалася компанія з виробництва цементу

Земля пізнього тріасового періоду ▶



Остаточний доказ учені отримали 2010-го, коли Стерлінг Несбітт повідомив про силезаврида середнього тріасового періоду з формації Манда в Танзанії — *Asilisaurus*. Формацію Манда утворює піщаник червоного кольору, відкладений у прадавніх річках. Нині породи залягають під тонким шаром ґрунту біля берегів озера Малаві. Перші скам'янілості там знайшли сто років тому, але нові дослідження Стерлінга Несбітта та його команди виявили багато чудових нових зразків.

Відкриття *Asilisaurus* перенесло дату походження динозаврів з 230 до 245 мільйонів років тому або й давніше. Річ у тім, що жилий польський *Silesaurus*, так схожий на динозавра, був не єдиним. Виявляється, *Silesaurus* — представник цілої нової групи, яку 2010-го назвали *Silesauridae*. До цієї групи зарахували з пів десятка дрібних тварин середнього й пізнього тріасового періоду з Південної та Північної Америки... а тоді нагодився цей найдавніший силезаврид — *Asilisaurus*. Усі ці дрібні тварини скидалися на динозаврів, бо виявилось, що *Silesauridae* були найближчими родичами *Dinosauria* (офіційна назва динозаврів, яку запропонували 1842-го, про що дізнаємося в Розділі 2). Це означає, що в них був спільний прашур. Якщо *Silesauridae* з'явилися 245 мільйонів років тому, отже, їхні родичі, *Dinosauria*, мусили з'явитися приблизно у той самий час. У формації Манда є навіть потенційний динозавр, *Nyasasaurus*, але про нього можемо судити тільки за окремими кістками.

Макроекологія походження динозаврів

Якщо динозаври з'явилися в ранньому, а не пізньому тріасовому періоді, це зсуває час їхньої появи в один із найбуремніших періодів у історії життя. Тоді все живе відновлювалося від майже цілковитого знищення, і довкілля постійно лихоманило від жажливих кислотних дощів, глобального потепління й зменшення рівня кисню на океанічному дні. Усе почалося

252 мільйони років тому під час найбільшого масового вимирання всіх часів — пермсько-тріасового.

Це вимирання спричинили величезні вулканічні виверження в сучасному Сибіру, які запустили всеосяжне знищення довкілля: кислотні дощі й екстремальне потепління знищили ліси з рослинами; ґрунти зміло в море, і по них лишився тільки виснажений кам'янистий і випалений ландшафт. Неглибкі моря замулилися через органічні рештки, і це порушило звичні океанічні цикли. Життя на суходолі та в морі загинуло, вижило лише п'ять відсотків видів тварин.

За сприятливих умов життя доволі швидко відновлюється після масового вимирання. Утім, світ раннього тріасового періоду був далекий від сприятливого. Впродовж шести мільйонів років після кризи відбувалися повторні епізоди вивержень й екологічного руйнування. Життя пів мільйона років відроджувалося, а тоді його знову відкидало назад. Саме в такий тривожний світ прийшли перші динозаври, скориставшись своїм шансом проти інших груп у несприятливому середовищі.

У своїй роботі 1983 року я взяв під сумнів конкурентну модель успіху динозаврів і запропонував альтернативну модель вимирання. Щоб перевірити цю гіпотезу, я задокументував місцеперебування скам'янілостей і, наскільки це було можливо, зіставив їх із геохронологічною шкалою. Щонайменше це давало змогу перевірити закономірність змін. Мої дані свідчили, що впродовж тріасового періоду відбулася доволі різка зміна складу фауни рептилій. Ромер, Колберт і Черіг мали рацію в тому, що ми розпочали тріасовий період із фауни синнаксидів, пройшли через панування ринхозаврів і закінчили тріас із повсюдними динозаврами. Однак зміна відбувалася швидко, єдиною подією приблизно 230 мільйонів років тому.

Моя модель була чітко екологічною. Це означало, що я не просто зазначав присутність чи відсутність різних видів, а й хотів задокументувати їхню екологічну важливість. Це потребувало певних знань щодо їхніх розмірів і ймовірних раціонів,

а також розповсюдженості. Інакше кажучи, скільки видів зі 100 в будь-якій окремій локації належало до кожної групи? На превеликий подив, я виявив, що за часів існування ринхозаврів вони зазвичай налічували до 50 чи й більше відсотків від усієї викопної фауни. Справді, в Елгіні й деяких інших місцях вони могли представляти 80, а то й більше відсотків усіх викопних видів.

Ця спроба представити екологічну важливість окремих видів засвідчувала, що ринхозаври були панівними трав'янідами у всьому світі, а тоді, 230 мільйонів років тому, раптово зникли. В цьому й була вся суть. Їхні показники відносної представленості не скоротилися з 80 до 40 чи 20 відсотків в різних шарах породи. У певний період часу вони існували, а у шарі кількох метрів вище — вже ні. Це можна було би сприйняти просто як втрату одного чи двох видів на весь світ, проте екологічно нечисленні види ринхозаврів панували у своїх екосистемах, і їхнє зникнення не могло минути непомітно. (Пізніше ми повернемося до ймовірної причини раптового щезнення ринхозаврів.)

У цьому й полягала суть мого твердження. За зникненням панівних видів настав розквіт динозаврів. Вони тоді вже існували, як ми побачили у формації Ісчігуаласто, і були різноманітними й важливими, однак становили лише 5–10 відсотків усієї фауни. Натомість, після зникнення ринхозаврів динозаври стали представляти більше ніж 50 відсотків тварин у багатьох частинах світу.

Нові методи й нові моделі

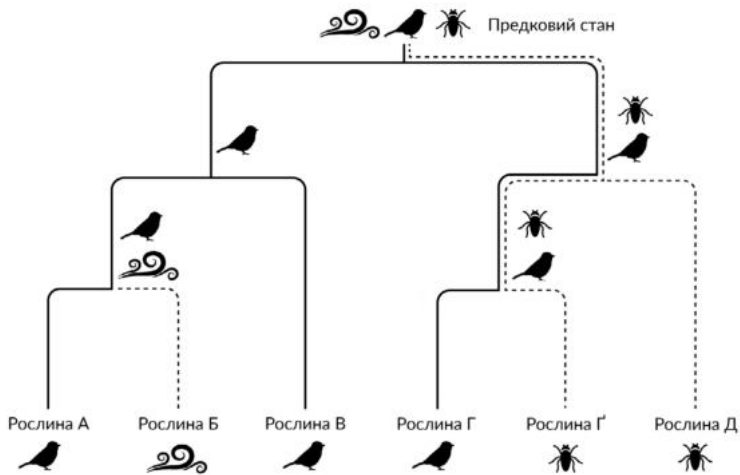
Не всі відкриття в палеонтології ґрунтуються на нових знахідках. Чимало успішних результатів досягають завдяки обчислювальним методам. Вони видаються менш захопливими, бо такі відкриття не містять «ленд-роверів», поту й екзотичних

пустельних локацій, але вони є вкрай важливими для розв'язання певних проблем.

Коли я проводив ранні дослідження тріасових екосистем, обчислювальні інструменти були доволі обмеженими. Для опису того, що відбувається, я міг послуговуватися тільки статистикою — наприклад, вираховував розміри зразків. Нині в нас є доступ до нових математичних методів, розроблених із метою надати біологам змогу порівнювати сучасні види, належно враховуючи їхню еволюційну спорідненість. Також вони дозволяють з'ясувати предковий стан будь-якої властивості чи ознаки: це може бути фізична риса, як-от розмір тіла чи довжина ноги, або ж поведінкова — розмір гнізда з яйцями чи особливості харчування. Наносячи відомі дані на еволюційне дерево, вчені можуть припустити, якими були пращури нижче на цьому дереві, а потім скористатися цим, щоб розглянути швидкість і типологію змін упродовж геологічного часу.

Як приклад застосування цих числових методів можна навести модель Ромера–Колберта — тріасова екологічна естафета між синапсидами й архозаврами (включно з динозаврами). Роланд Сукіас застосував її у своїй дисертації 2012 року. Він задокументував розмір тіла кількохсот синапсидів й архозавроморфів (архозаврів, ринхозаврів та їхніх родичів) і простежив за зміною розмірів у часі. Він виявив, що архозавроморфи стали більшими в тріасі, переважно представлені тоді динозаврами, а синапсиди стали меншими, перетворившись наприкінці тріасу на крихітних, як землерийка, ссавців. Залишалося питання: це була вимушена тенденція чи просто пасивна зміна?

Сукіас зумів підібрати різні моделі до своїх даних, і здебільшого здавалося, що еволюція рухалася випадково. Тобто зміни в розмірах точно відбувалися, але з достатніми локальними відмінностями й досить повільно, щоб не можна було сказати, що їх спричинила якась потужна еволюційна сила. Якби зміна розміру тіла в тріасі виявилася вимушеною



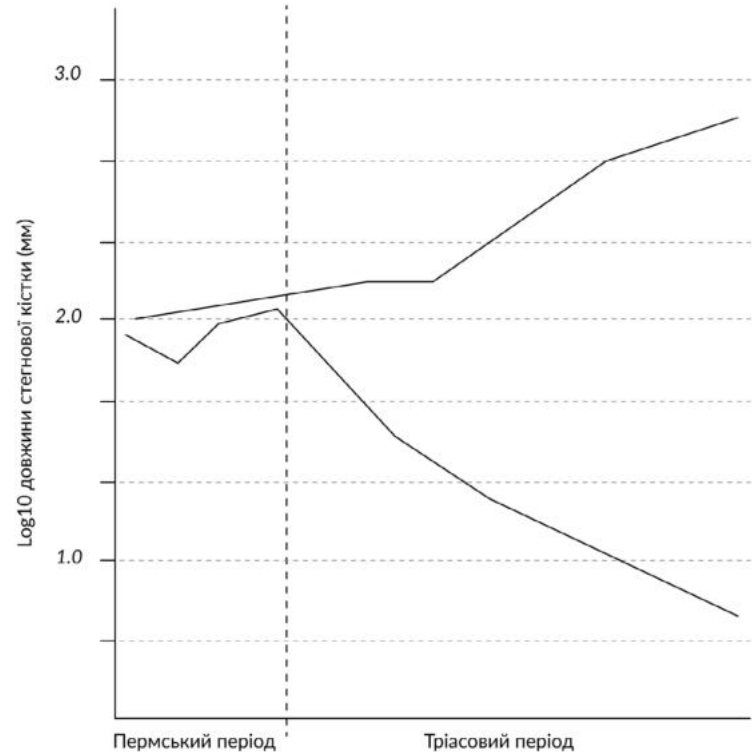
Виявлення предкових станів рослин, яких запилювали комахи, птахи чи вітер

тенденцією, можна було би стверджувати, що відбувся природний добір, і він здійснював тиск у напрямі більших розмірів. Усе, що міг сказати Сукіас, — що синапсиди загалом зменшувалися, а архозаври збільшувалися, проте все це могло відбуватися більш-менш довільно. Це не спростовувало модель Ромера–Колберта, відповідно до якої динозаври долали своїх попередників у конкурентній боротьбі, але й ніяк її не підтримувало.

У попередньому дослідженні Стів Брусатте, який тоді навчався в магістратурі в Брістолі, вивчав те саме питання, однак ретельніше розглядав перших динозаврів і ранніх архозаврів, яких ті замінили. Він вирішив вимірювати темпи еволюції не лише за однією рисою, наприклад, розмірами тіла, а й за всіма аспектами анатомії. Брусатте створив величезну таблицю з 500 ознак для кожного виду й користувався стандартними статистичними методами, щоб виокремити з цього масиву даних найважливіші ознаки.

Один зі способів візуалізації таких величезних і складних наборів даних — це знайти головні напрямки мінливості й відтворити їх у так званому морфопросторі, що буквально

означає «простір форми». Морфопростір — це графічний спосіб показати, як варіюється морфологія, тобто зовнішня будова та фізичні параметри організмів. Цей метод має здатність узагальнювати велику кількість інформації у щось зрозуміліше для нас. Найбільш схожі види розташовуються в морфопросторі близько один до одного, а найбільш відмінні — далеко.



Поки архозавроморфи (верхня лінія) збільшувалися в тріасовий період, синапсиди (нижня лінія) зменшувалися в розмірах

Морфопростір динозаврів і ранніх архозаврів демонстрував морфологічні ділянки, які займала кожна група. Ті не збігалися. Це означає, що вони можливо, не перетиналися. Коли Брусатте вираховував темпи змін, то виявив, що морфологічна мінливість динозаврів зростала, відповідно до того як група ставала різноманітнішою у пізньому тріасовому періоді.

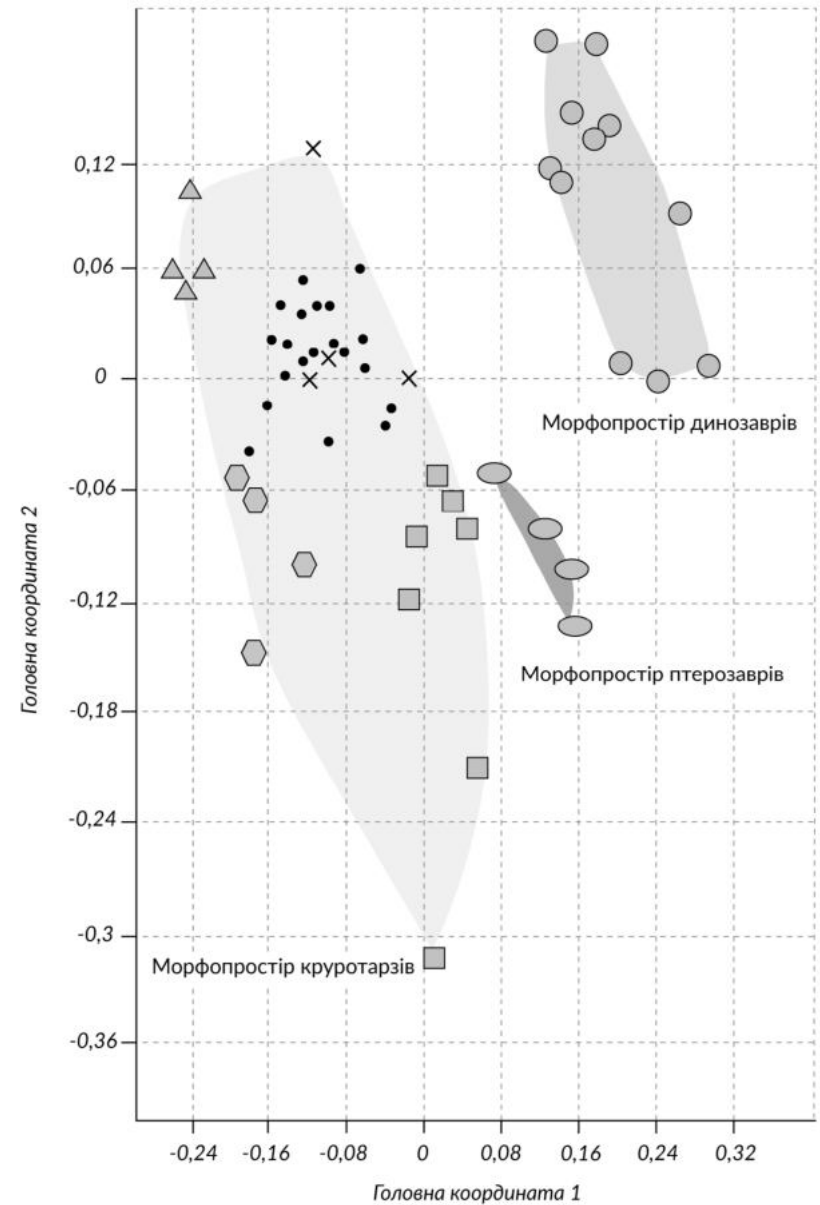
Але те саме відбувалося з їхніми ймовірними конкурентами — схожими на крокодилів архозаврами або круротарзами. Не було ознак того, що стрімке поширення динозаврів зачепило інших архозаврів і змусило їх відступити. Власне, усі вони, здавалося, урізноманітнювалися та займали новий морфопростір паралельно. Інших архозаврів нові динозаври зовсім не пригнічували, і вони очевидно процвітали. На нових динозаврів, як-от *Herrerasaurus* чи *Plateosaurus*, у їхніх екосистемах досі полювали деякі їхні родичі-круротарзи.

Ці числові методи — частина нової хвилі обчислювальної наукової діяльності в галузі макроеволюції. Методи нелегко опанувати, однак мої студенти вбирають їх, мов губка воду. Ці методи немовби відкрили шлях для нових досліджень еволюції динозаврів, а також того, як різні групи з'являлися й зникали. Вони дозволили взятися за серйозні еволюційні питання, на які неможливо було відповісти у 1980-х.

Походження динозаврів як триетапний процес

Що ж нам дають відкриття значно давніших динозаврів і нові обчислювальні дослідження? Чи належно ми розуміємо динаміку походження динозаврів? Що є ближчим до істини: модель екологічної естафети Ромера-Колберта-Черіга з поступальним конкурентним збільшенням чисельності динозаврів чи запропонована мною 1983-го модель опортунізму і масового вимирання?

Насправді ми всі по-різному помилялися. Я хибно стверджував, що динозаври виникли й поширилися в пізньому тріасі, бо тепер ми знаємо, що свої перші кроки вони зробили 245 мільйонів років тому, у ранньому та середньому тріасі. Ромер і Колберт мали рацію в тому, що походження й початкове поширення динозаврів тривали впродовж приблизно



Діаграма, що зображає морфопростори динозаврів й інших тріасових рептилій відповідно до їхніх адаптацій

40 мільйонів років у тріасовому періоді, хоча вони й не ґрунтувалися на жодних знаннях про давніших представників динозаврів.

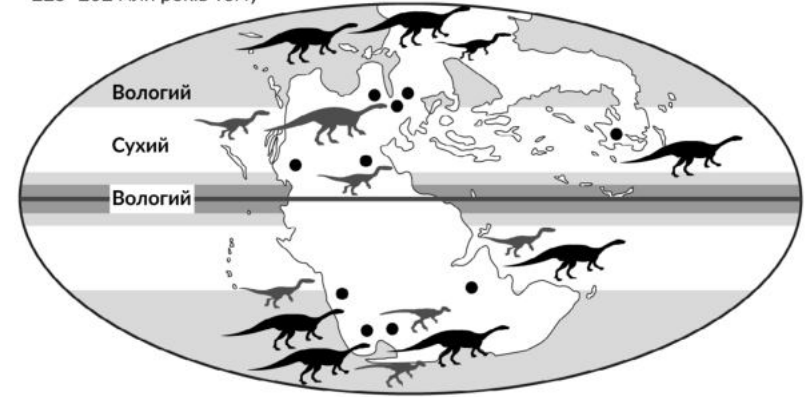
Пряма постава динозаврів явно була ключем до успіху — знову ж таки, як казали Ромер і Колберт, — однак дещо в інший спосіб, ніж вони припускали. Якщо перші динозаври з'явилися значно раніше, ніж було відомо у 1970-х і 1980-х, то вони не здолали в конкурентній боротьбі синапсидів, ринхозаврів, ранніх архозаврів чи будь-які інші групи. Під час еволюції організми здебільшого уникають конкуренції і за потреби охочіше перебираються у нові екологічні ніші — вибирають інший раціон чи географічну зону. Сім разів відміряй, один раз відріж — успішні організми доживають до наступного дня. Еволюція, ймовірно, має не зовсім «червоні [від крові] зуби й пазурі», як припускав Альфред Лорд Теннісон. Радше рожевуваті.

Але що спровокувало великий вибух, другий етап? Якби цього не сталося, динозаври могли б лишитися доволі рідкісними тваринами. Я міг мати рацію 1983 року. Однак нові докази свідчать про ще тісніший зв'язок між стрімким поширенням динозаврів і так званім карнійським пльовіальним¹ епізодом. Цю подію зауважили й описали Майк Сімміз й Аластер Раффелл ще 1989-го. Вони помітили дещо незвичне в розрізах порід пізнього тріасу у Великій Британії й інших частинах Європи: посеред загалом сухого клімату розпочався пльовіальний етап із рясними дощами, а потім знову повернулися посухи. Докази кліматичних змін знаходили і в породах, і в рештках рослин, які можна класифікувати як вологолюбні (мохи, печіночники, хвощі) чи посухостійкі (хвойні).

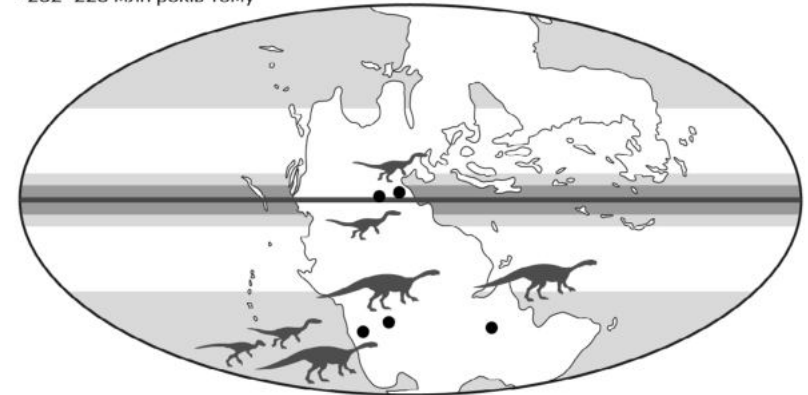
Так усе й лишалося без змін до 2012-го. Час від часу я, Сімміз чи Раффелл наголошували на зв'язку між стрімким поширенням динозаврів і карнійським пльовіальним епізодом, але більше ніхто не звертав на це особливої уваги. А потім

1 Дощовий; пов'язаний з періодом рясних опадів.

Середній норій — рет
~225–202 млн років тому



Пізній карній — ранній норій
~232–223 млн років тому



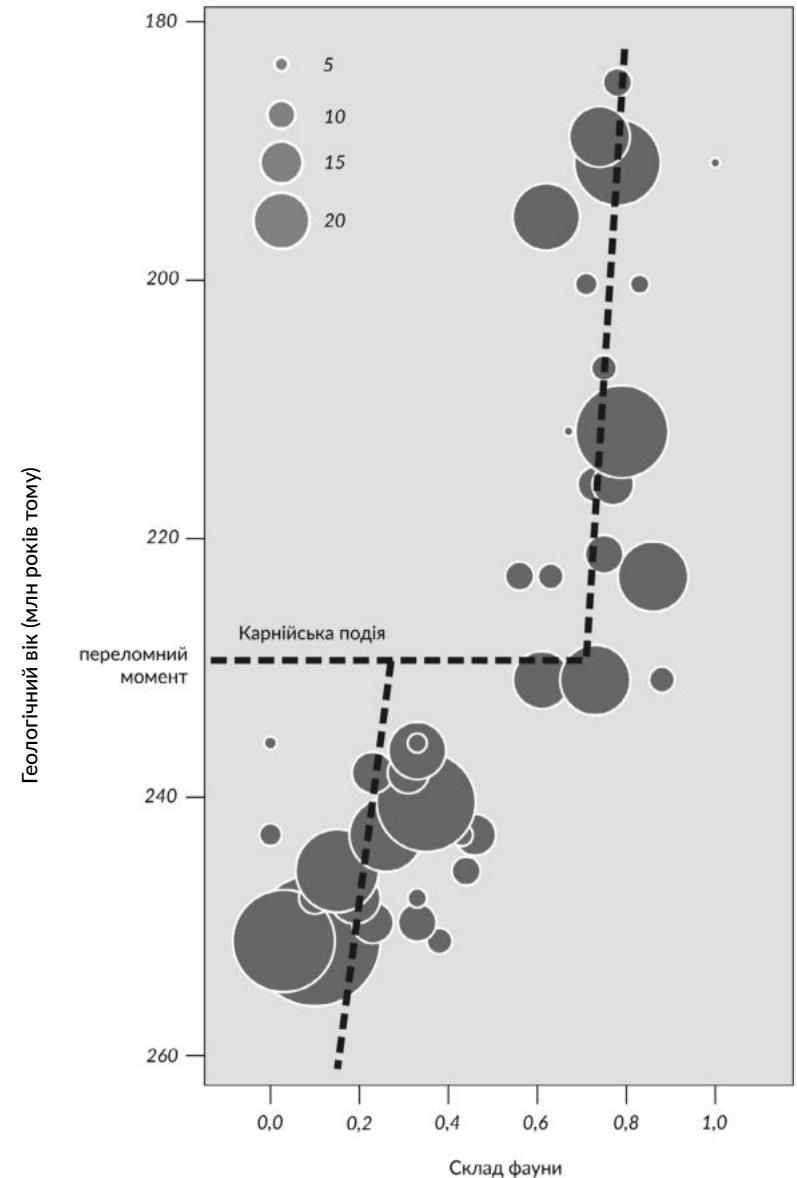
	Ornithischia (Птахотазові)	Sauropodomorpha (Завроподоморфи)	Theropoda (Тероподи)
Поширені			
Рідкісні			

Зміна кліматичних поясів у пізньому тріасовому періоді й рух динозаврів із південних континентів по всьому світу в пізніший період

незалежна робота, яку опублікував 2012 року італійський геолог Джакомо Даль Корсо, все змінила. Даль Корсо виявив, що породи, з яких стало відомо про карнійський пльовіальний епізод, містили також свідчення про великі вулканічні виверження на заході Північної Америки. Там приблизно 232 мільйони років тому внаслідок значних вивержень на поверхню виплеснулися значні обсяги вулканічної лави, й утворилися Врангельські базальти, що їх тепер можна побачити навколо Ванкувера й на північ уздовж узбережжя Британської Колумбії.

Даль Корсо стверджував, що виверження були такими масштабними, що спровокували шоківі кліматичні зміни у всьому світі. Як і наприкінці пермського періоду 252 мільйони років тому, виштовхнуті з вулканічних жерл величезні обсяги вуглекислого газу спричинили глобальне потепління й кислотні дощі. Це знищило життя на суходолі, призвело до окислення океану та втрати кисню в глибинних водах. Даль Корсо навів численні докази вимирання в морях по всій Європі та Північній Америці. Потепління також породило мегамусони в широкому екваторіальному поясі, який у ті часи охоплював усі ділянки проживання динозаврів у Північній та Південній Америці, Європі та Індії. Коли виверження припинилися, клімат знову став спекотним і сухим. Й усе це було вбивчим для життя на планеті.

Ці нові дослідження спонукали мене переглянути екологічні дані, які я зібрав 1983-го. Мені допомагали студенти Кормак Кінселла і Массімо Бернарді. Ми перевірили дані, збільшили вибірку зразків до понад 7700 й визначили відсоткове співвідношення всіх ключових груп: ринхозаврів, динозаврів й інших. Потім я побудував екологічні співвідношення у формі так званої бульбашкової діаграми, де кожна бульбашка представляє різну фауну (групу тварин). Центри бульбашок по вертикалі розташовано відповідно до геохронологічних дат. Розмір бульбашок відповідає кількості представників у вибірках, і я наносив їх на діаграму навпроти відсоткового



Переломний момент в еволюції екосистеми спричинив карнійський пльовіальний епізод 232 мільйони років тому

відношення, що показує, наскільки динозаври домінували серед тогочасної фауни (горизонтальна вісь).

Діаграма начебто підтверджувала гіпотезу про швидке поширення динозаврів. Ми бачили стрімке зростання їхньої кількості від 20 до майже 70 відсотків (від загальної вимерлої фауни), проте цього було недостатньо. Критики могли сказати, що ми просто вигадуємо. Тож ми застосували до даних числовий метод, який називають «аналізом переломних моментів». За допомогою цього методу вибудовують ламану лінію, що найкраще апроксимує дані, при цьому зламів у ній може бути як один, так і декілька. Ми запрограмували модель на один злам і запустили підрахунки. За короткий проміжок часу отримали відповідь — лінія, що найбільше підходила, ламалася точно на відмітці 232 мільйони років тому.

Ми сприйняли це як незалежний доказ того, що в цей час відбулося щось, що фундаментально перезавантажило умови тріасових екосистем. Динозаври справді з'явилися задовго до карнійського плювіального епізоду, але їм не вдавалося запанувати у фауні — власне, вони далі робили те, що й раніше, і будь-якому спостерігачеві здавалися б незначними. Ключовий стрибок відбувся 232 мільйони років тому. Наші дослідження визначили точку дотику екологічної революції, під час якої зросла значущість динозаврів, та екологічних потрясінь в середині карнію.

Встановлення зв'язку між Врангельськими виверженнями й карнійським плювіальним епізодом підтвердило гіпотезу про екологічну кризу, здатну вбити ринхозаврів й інших панівних тварин і в такий спосіб надати динозаврам нагоду стрімко вривоманітнитися в порожньому екопросторі. Та все ж потрібне було правильне датування, і, на щастя, останніми роками в цій галузі відбулися поступові зміни.

Датування диверсифікації динозаврів

Вище я цитував геологічний вік (див. Геохронологічна шкала, с. 6–7), наприклад, 230, 232 та 245 мільйонів років тому. Геологи так роблять. Але звідки ми знаємо? Це вкрай важливо для всіх наших гіпотез щодо походження та остаточного зникнення динозаврів. Ми маємо вміти визначати час давніх подій, а також зіставляти породи з різних континентів, щоб перевірити, чи, наприклад, драматичній події в Аргентині відповідає схожа на вигляд криза в італійських розрізах порід.

Датування порід — основне заняття геологів. Наука датування, яку називають стратиграфією, постала з цілком практичних завдань. У 1790-х скромний англійський геодезист Вільям Сміт уперше спробував датувати породи. Він був одним із перших економічних геологів, і йому платили за результат. Тоді не було доказів на користь того, що породи в нас під ногами — це щось більше за цілковиту мішанину. Ідея геологічної мапи, що показує впорядковане розташування різних формацій порід, а також шкали часу, яка визначає їхню послідовність і яку можна використовувати в різних місцях, була нечуваною. Сміт наполегливо працював усе життя, щоб утвердити обидва ці принципи.

Смітова практика припала на ранні роки Британської індустріальної революції, коли кожен власник землі намагався докопатися до вугілля, часто зовсім випадково. Люди міркували приблизно так: мій сусід Аркрайт знайшов вугілля на глибині двадцять метрів під своїми полями, тож я маю знайти вугілля на тій самій глибині. Іноді це працювало, іноді ні. Якщо дві точки розділяв розлом, послідовність порід могла бути геть іншою. Сміт використовував свої картографічні й стратиграфічні вміння, щоби творити дива: він міг сказати людям, де копати, і, що важливо, де не копати. Якщо порода належала до юрського періоду, в ній могло бути вугілля, бо юрський період молодший за кам'яновугільний, ліси й болота якого в майбутньому стали пластами вугілля. Утім, якщо

породи твого сусіда належали до силурійського періоду, вугілля там не буде: силур старший за кам'яновугільний період. Породи юрського й силурійського періодів можуть бути доволі схожими на вигляд темно-сірими вапняками, однак за вмістом скам'янілостей Сміт визначав вік, після чого обертав це знання на готівку.

З часів Сміта й завдяки старанням окремих країн, геохронологічна шкала та її основні поділки (ери та періоди) були більш-менш окреслені до 1840-го. Ця шкала працювала скрізь: дані обробляли в межах однієї країни, а потім порівнювали викопні рештки з рештками з інших країн. Визначена Смітом юрська фауна — амоніти й двостулкові молюски — мала відповідники в усьому світі. Так проводили лінію відповідного віку з Англії до Франції, Китаю та Аргентини. Подібні намагання визначити вік порід за зібранням скам'янілостей нині є настільки ж цінними, як і в часи Сміта, особливо в нафтовидобуванні, де компанії витрачають мільярди доларів на буріння. Вони хочуть заздалегідь знати, крізь що будуть бурити, і скільки їм просвердлити — 50 метрів чи 5 кілометрів, — щоб дістатися нафти.

Стратиграфія з використанням скам'янілостей не визначає точний вік. Його встановлюють радіоізотопним датуванням. 1905-го, невдовзі після відкриття радіоактивності, лауреат Нобелівської премії, фізик Ернест Резерфорд припустив, що радіоактивний розпад може слугувати точним хронометром для датування порід, і в такий спосіб визначити приблизний час формування Землі, що також вказуватиме на час виникнення Всесвіту. Енергійний молодий геолог Артур Голмз у двадцятидворічному віці ухопився за цю ідею й до 1911-го склав список основних дат. З 1911-го радіоізотопне датування стало важливою частиною лабораторної геології. Велика перевага цього підходу полягає в тому, що одну й ту саму породу можна датувати різними способами й у різних лабораторіях для перехресної перевірки.

На міжнародному рівні докладають значних зусиль для удосконалення точності та достовірності датування порід, а стандартну геохронологічну шкалу переглядають щокілька місяців, оскільки дати визначають дедалі точніше. Коли у 1970-х я починав геологічні дослідження, нам говорили про допустиму похибку радіоізотопного датування в плюс-мінус 5 відсотків. Тепер у деяких випадках точність зросла стократно, до похибки плюс-мінус 0,05 відсотка. Отож точність датування карнійського плювіального епізоду покращилася з $232 \pm 11,6$ до $232 \pm 0,116$ мільйонів років. Похибка в 116 тисяч років усе ще може видаватися сміховинно великою, але для геолога це диво!

Врангельські базальти можна датувати безпосередньо, бо це магматичні породи. Колись вони розплавився й затверділи, тому кристали всередині них дозволяють визначити час цього затвердіння. Осадкові породи важче датувати таким способом. Однак у Доломітах на півночі Італії є дивовижні послідовності морських відкладів, чиї шари точно датовані з проміжками в менше ніж мільйон років. Їх перемижують суходільні відклади з відбитками лап, що свідчать про відсутність динозаврів перед карнійським плювіальним епізодом і численну їхню присутність після нього. 2018-го завдяки роботі з цією чудовою ділянкою, яку очолював мій колишній докторант Массімо Бернарді (нині — куратор геологічного напряму в Музеї Науки в північноіталійському Тренто), ми засвідчили, що карнійський плювіальний епізод розпочав другий етап становлення динозаврів — їхнє стрімке поширення 232 мільйони років тому.

Перехресне датування між морськими й не морськими відкладами на півночі Італії підтверджують за допомогою незалежного методу, який має назву магнітостратиграфія. Він ґрунтується на факті, що напрямок намагніченості Землі багато десятків разів за її історію змінювався з північного на південний і навпаки. Ніхто не може достоту пояснити, чому північ із півднем міняються місцями й що відбувається

під час цієї зміни. Однак свідчення цього міститься в магнітних мінералах порід, і порівняння їхньої орієнтації відносно полюсів, як у смугастих стовпчиках барбершопів («звичайний-перевернутий-звичайний-перевернутий»), дозволяє зіставляти вік найрізноманітніших порід.

Раніше я вже припускав, що диверсифікація динозаврів відбувалася в три етапи. Ми розглянули перші два — їхню появу приблизно 245 мільйонів років тому у вирі відновлення після пермсько-тріасового вимирання та їхню стрімку диверсифікацію 232 мільйони років тому після карнійського пльовіального епізоду. Третій етап настав після завершення тріасового масового вимирання 201 мільйон років тому, і ми розглянемо це трохи детальніше в наступному розділі.

Як ми можемо визначати давні клімати

Описуючи походження динозаврів, я вільно говорив про посушливі й мусонні клімати. Як ми доходимо до цих важливих висновків? Усе починається з геології. Седиментологія — це наука про розуміння осадових порід і реконструкцію прадавнього довкілля. Геологи-першокурсники вчать відрізняти морські й континентальні відклади. Наприклад, тільки в морських міститься дрібний скам'янілий планктон і більші скам'янілості тварин, що жили лише в морі, як-от брахіоподи, морські їжаки чи морські лілії. З іншого боку, породи, що осіли в озерах або річках, можуть містити листя, комах чи динозаврів. Звісно, їх могли змити річки в море, але ми враховуємо панівні скам'янілості, а не рідкісні. Наприклад, породи формації Ісчігуаласто містять стовбури дерев і листя хвойних та інших рослин, що підтверджує їхнє відкладення на суходолі. Ці відклади — червоні аргіліти й піщаники. Подекуди трапляються великі канали, утворені давніми річками, і мул, що осів у тимчасових озерах. Також є нори, які вирили менші рептилії, і це додатково підтверджує те, що місцевість

свого часу переживала посухи, які змушували менших істот ховатися під землею.

Породи містять найрізноманітніші підказки. Наприклад, піщані дюни вказують на пустелі. Канали й нашаровані осадові породи свідчать про звивисті річки, що з часом звертали з боку в бік. Шари солі формувалися у прибережних ставках, які висихали під палючим сонцем.

Є також хімічні індикатори прадавніх умов. Наприклад, ізотопи кисню з цілісних шарів порід можуть вказувати на зміну температур. Частка ізотопів кисню змінюється залежно від температури під час випаровування з поверхні ставка чи випадіння дощу; співвідношення ізотопів також може показувати вміст солі й об'єм води в льодовикових щитах.

Екологічні умови відкладів можна визначити для окремих регіонів, а як щодо загальної картини світу?

Наскільки світ тріасового періоду відрізнявся від сучасного

Земля складається з численних тектонічних плит, що постійно рухаються. Деякі з них лежать в основі континентів, інші утворюють морське дно. Механізм руху плит формує розплавлена мантія Землі, яка залягає під ними. Великі конвекційні потоки у магмі штовхають і зсувають тверду кору. Подекуди розплавлена речовина з мантії виходить на поверхню, наприклад уздовж великих серединно-океанічних хребтів. Між Північною та Південною Атлантикою розташована суцільна система тріщин, крізь які час від часу вихлюпується базальтова лава. Середньоатлантичний хребет підіймається на поверхню в Ісландії. Постійний вихід свіжої кори в центрі Атлантики й у схожих системах хребтів у Тихому та Індійському океанах розсуває плити на океанічному дні зі швидкістю приблизно один сантиметр щороку. Там, де плити рухаються одна повз іншу, утворюються великі розломи, наприклад

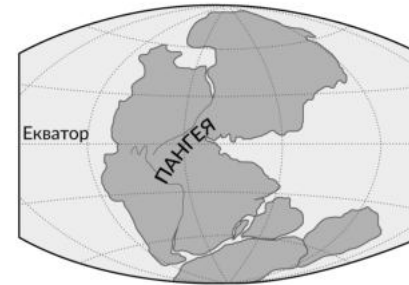
розлом Сан-Андреас у Каліфорнії, що періодично дає про себе знати. Це сьогоденні свідчення того, що земна кора постійно переміщується. В інших місцях океанічні плити пірнають під континентальні, як це відбувається уздовж Тихоокеанського узбережжя Південної Америки.

У триасовий період усі континентальні плити були злиті разом у суперконтинент Пангея. На полюсах ще не було суходолу, й льодовикових шапок теж не було. Це означає, що температура від екватора до полюса варіювалася менше ніж тепер і клімат був більш рівномірний. Сталий клімат на єдиному масиві суходолу означав, що ранні динозаври й інші суходільні тварини могли поширюватися набагато далі ніж нині.

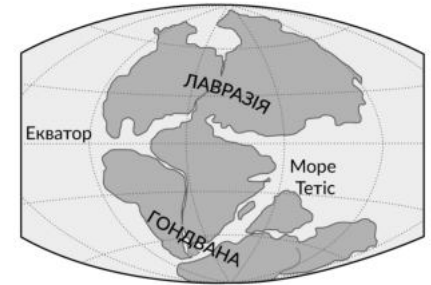
Як ми вже бачили, у пізньому триасі вздовж західного узбережжя Канади відбулася серія інтенсивних вулканічних вивержень, магма з яких затверділа й утворила Врангельські базальти. Десять мільйонів років по тому ще одна серія приблизно таких самих вивержень відбулася посеред Пангеї, уздовж рифтової лінії нового океану, що лише зароджувався. Ці виверження також утворили значну товщу базальту, який представлений базальтовими стовпами вздовж річки Гудзон між Нью-Йорком і Нью-Джерсі.

По всій прибережній смузі на сході Північної Америки є рифтові долини, що простягаються від Нової Шотландії на півночі й сході до Північної Кароліни на півдні. Ці рифтові долини утворилися, коли земну кору розколювала сила величезних конвекційних потоків у мантиї. Ці потоки тягнули теперішню Європу та Північну Африку на схід, а теперішню Північну Америку на захід. Попри те що рух відбувався на сантиметр щороку, за тисячі років напруга зростає, і кора тріснула — так само як це відбувається тепер у Великій рифтовій долині на сході Африки, бо цей континент також розколюється на частини.

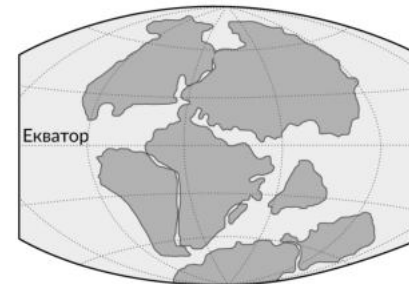
Рифтові долини на сході Північної Африки в пізній триасовий період утворили озера, а велика товща озерних порід осіла, часто маючи в собі скам'янілості риб, комах і рослин,



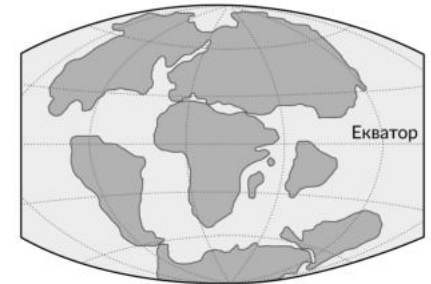
Пермський період
299–252 мільйони років тому



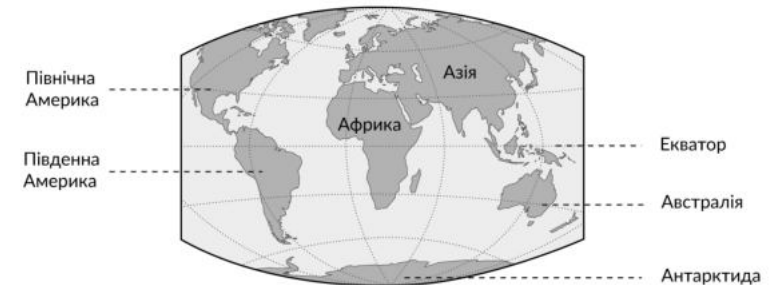
Триасовий період
252–201 мільйон років тому



Юрський період
201–145 мільйонів років тому



Крейдовий період
145–66 мільйонів років тому



Наші дні

Дрейф материків із пермського періоду до наших днів

а інколи й стежку слідів, яку залишив динозавр у вологих осадових породах на березі.

Азія, Європа та Північна Америка в пізньому тріасі лежали дещо південніше від місць, де вони розташовуються зараз. Лондон і Нью-Йорк були на широті Середземного й Карибського морів, а тому — значно теплішими, ніж тепер. Льодовикових шапок не існувало, холодні зими, відповідно, також не траплялися. Південна Америка, Африка, Індія, Антарктида й Австралія були з'єднані до купи в Південній півкулі, утворюючи суцільний суходіл. Динозаври могли пройти тисячі кілометрів з Південної Африки до Аризони чи з Канади до Північної Африки. Подекуди існувала місцева фауна, відмежована гірськими кряжами і кліматичними поясами, але загалом рослини та тварини на суходолі мали значно більше можливостей поширитися у всьому світі.

Такі умови тривали й у юрському періоді. Попри формування Північної Атлантики, тварини могли переходити з Африки до Південної Америки. Також залишалися шляхи з Північної Америки через Гренландію до Європи. Так тривало до пізнього юрського періоду, 150 мільйонів років тому. З цього часу походить велетенський завропод *Brachiosaurus*, відомий за рештками, знайденими у Танзанії на сході Африки та Вайомінгу в центрі Сполучених Штатів, а також величезний хижий *Allosaurus* із Вайомінгу, Португалії та, ймовірно, Танзанії. Між північними і південними континентами вздовж лінії екватора пролягав широкий океан, але динозаври рухалися на північ і південь маленькою смужкою суходолу, що поєднувала Марокко на півдні та Іспанію на півночі.

У крейдовому періоді континенти продовжували рух. Нарешті повністю відкрилася Південна Атлантика, і міграція тварин між Південною Америкою й Африкою обірвалася. Південні континенти розділилися: Африка рушила на північ, подекуди торкаючись Європи, південний краєчок Південної Америки з'єднався зі сходом Антарктиди, а тоді від'єдналася Австралія. У пізньому крейдовому періоді на волю вирвалася

Індія, розпочавши тривалу подорож на північ, щоби зрештою пришвартуватися до азійського континенту приблизно 50 мільйонів років тому. Індія сунеться далі, виштовхуючи в процесі Гімалаї.

У пізньому крейдовому періоді не лише континенти підійшли ближче до теперішнього розташування. У результаті посиленої активності серединно-океанічної мантії щонайменше на 100 метрів піднявся рівень моря. Такий підйом затопив узбережжя всіх континентів і розділив Африку з Північною Америкою міжконтинентальними протоками. Це означало, що можливість міграції динозаврів у пізній крейдовий період суттєво скоротилася. Наприклад, знаменитий *Tyrannosaurus rex* тих часів, на відміну від багатьох своїх попередників, зустрічається тільки в Північній Америці й більше ніде у світі. Вперше динозаври Східного узбережжя навіть не могли перетнути Північноамериканський континент, аби зустрітися з родичами на Західному узбережжі.

.....

Зміни кліматів і зміни світлів. Ще кілька років тому палеонтологи-динозаврознавці вважали, що загальні риси походження динозаврів відомі. А тоді все змінилося. Нові скам'янілості відсунули час походження динозаврів на 15 мільйонів років, у ранній тріасовий період. Якби раптом ви перенеслися в минуле машиною часу, то заледве помітили б тих перших динозаврів. Серед усього різноманіття великих і галасливих ринхозаврів, синапсидів та круротарзів кілька маленьких двоногих динозаврів, що вигулькували й ховалися назад у підлісок, видавалися б цілковито другорядними.

Їхня стрімка поява на сцені 15 мільйонів років потому, після спричиненого карнійським плувіальним епізодом спустошення, не може не вражати. З геологічного погляду, динозаври замінили ринхозаврів й інших істот буквально за ніч. Ми розуміємо, як це відбувалося, завдяки дивовижним новим скам'янілим знахідкам, а також прогресу в технології

датування порід і нашої здатності реконструювати давні клімати й світи, використовуючи сучасні обчислювальні методи для опрацювання великих обсягів даних і перевірки моделей макроеволюції.

За десять років цей розділ однозначно потребуватиме переписування. Передбачаю, що до того часу хтось десь відшукає рештки нових найстаріших динозаврів, поки що невідкритих. Нові дослідження краще визначать природу карнійського плювіального епізоду і допоможуть належно зрозуміти великі еволюційні й екологічні зміни, що роздирали життя на Землі впродовж тріасового періоду.