

ЗМІСТ

Вступ 16

Розділ 1. Народження 22

Розділ 2. Потужний удар 45

Розділ 3. Чорна Земля 66

Розділ 4. Блакитна Земля 88

Розділ 5. Сіра Земля 111

Розділ 6. Жива Земля 135

Розділ 7. Червона Земля 161

Розділ 8. «Нудний» мільярд 187

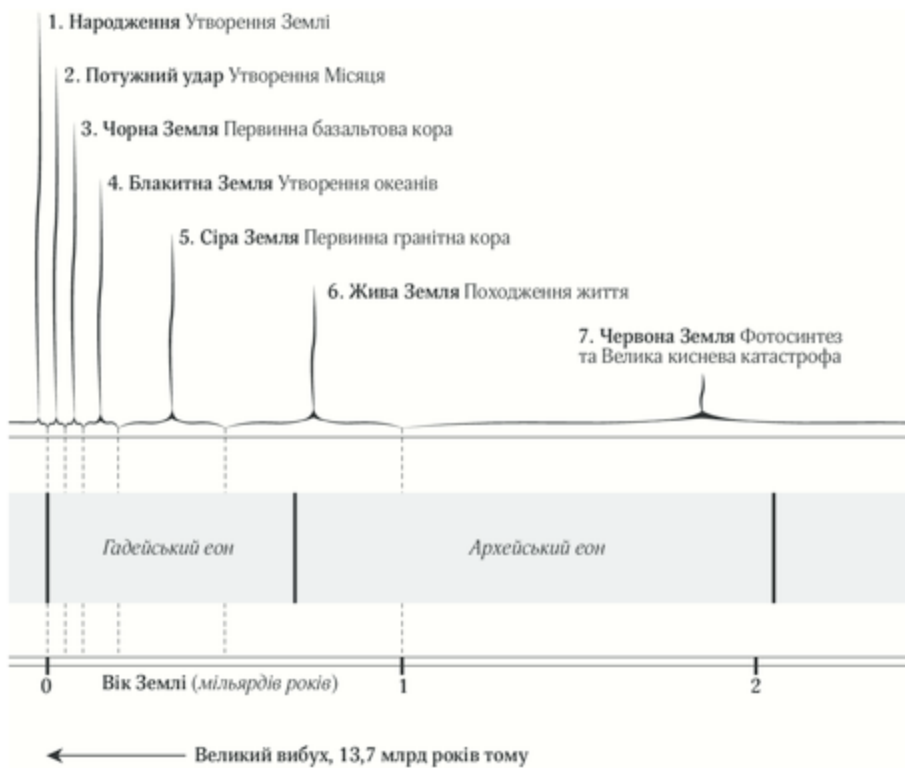
Розділ 9. Біла Земля 210

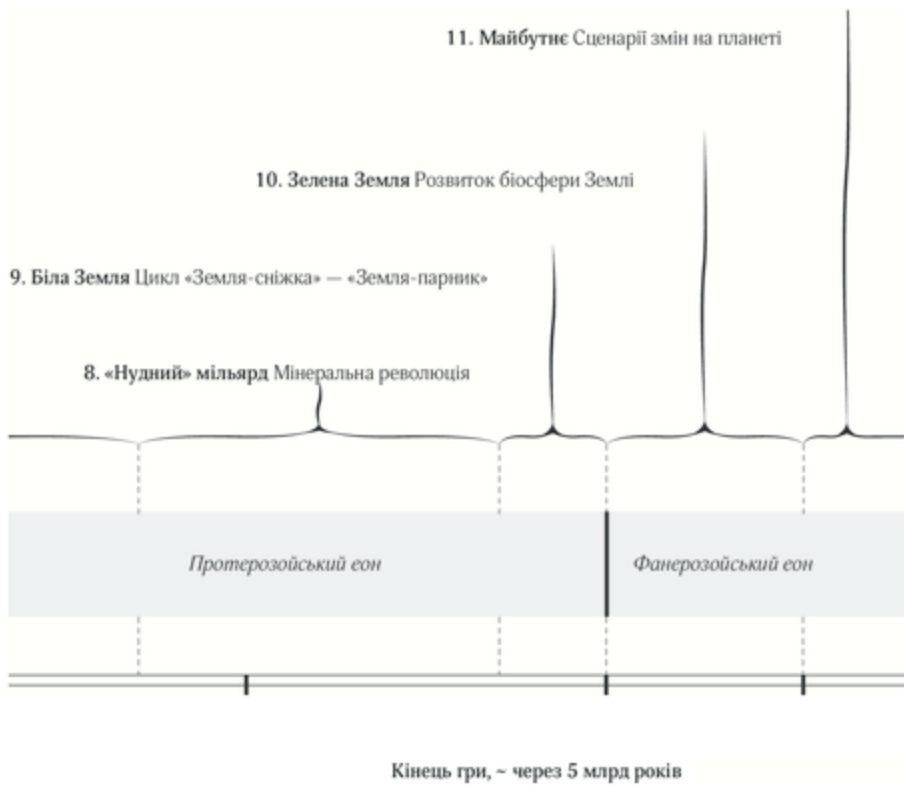
Розділ 10. Зелена Земля 234

Розділ 11. Майбутнє 258

Епілог 281

Подяки 284





ВСТУП

Фотографія сходу Землі, зроблена 1968 р. астронавтом із місячної орбіти, є однією з найзахопливіших світлин ХХ ст. Здавна відомо, наскільки цінним є наш надзвичайний світ: Земля — це єдина відома нам планета, де існують океани, збагачена киснем атмосфера та життя. Проте багато хто з нас виявився неготовим до настільки приголомшливого і разючого контрасту між ворожим місячним ландшафтом, безживною темрявою космічної безодні та нашим принадним мармуроподібним домом на блакитно-білому тлі. З тієї далечини Земля видається самотньою, маленькою та вразливою, але водночас набагато красивішою, ніж будь-яке інше небесне тіло.

Ми небезпідставно зачаровуємося нашою домівкою у Всесвіті. За понад два століття до народження Христа грецький філософ та енциклопедист Ератосфен Кіренський провів перше документально зафіксоване дослідження Землі. Щоб виміряти її обвід, він винахідливо взяв за основу просте спостереження за тінями. В єгипетському місті Сіена в день літнього сонцестояння він опівдні спостерігав за сонцем, яке в цей час було в zenіті. Вертикальна стійка взагалі не відкидала тіні. Заразом у той самий день та час у прибережному місті Александрія, у 789 км на північ, схожа вертикальна стійка відкидала коротку тінь, тим самим указуючи, що в цій місцевості сонце перебувало не прямісінько над головою. Застосувавши геометричні теореми свого грецького попередника Евкліда, Ератосфен зробив висновок, що Земля має форму кулі, і підрахував, що її обвід складає близько 40 234 км — надивовижу близька цифра до встановленого сьогодні значення довжини в районі екватора в 40 0076 км.

Упродовж століть тисячі інших науковців, серед них і знані люди, проте імена більшості поглинув час, досліджували рідну планету та розмірковували про неї. Вони намагалися відповісти на запитання, як утворилася Земля, як вона рухається у небесній сфері,

з чого складається і як влаштована. І понад усе ці вчені чоловіки та жінки бажали дізнатися, як еволюціонувала наша динамічна планета, як тут утворилося життя. Сьогодні завдяки нагромадженим нами дивовижним знанням, а також дивам технології, нам відомо про Землю набагато більше, ніж могли собі уявити філософи в давнину. Звісно, ми не знаємо всього, втім, маємо глибокі та багаті знання про Землю.

І хоча наші знання про планету, яке ми примножуємо з моменту зародження людської цивілізації, за тисячоліття стали більш упорядкованими, значна частина цього прогресу показала, що вивчення Землі — це вивчення змін.

Більшість емпіричних наукових даних указують на те, що Земля змінюється рік за роком, епоха за епохою. Періодичні напластування осаду або стрічкові глини деяких льодовикових озер Скандинавії є свідченням процесу нашарувань великозернистих та тонкозернистих часточок, що відбувався протягом понад 13 тис. років у результаті пришвидшеної ерозії в час щорічної весняної відлиги. Льодовикові керни з Антарктиди та Гренландії вказують на понад 800 тис. років сезонного відкладання льоду. А утворення осадових шарів завтовшки з аркуш паперу у сланцях, знайдених у місті Грін-Рівер, штат Вайомінг, зберегли в собі свідчення того, що відбувалося протягом понад мільйона років. Усі ці відкладення сформувалися над набагато старішими породами, які самі собою зокола вказують на грандіозні цикли змін.

Дослідження поступових геологічних процесів указують на ще масштабніші події в історії Землі. Утворення величезних Гавайських островів потребувало повільної та сталої вулканічної активності, коли протягом понад десятків мільйонів років шари лави послідовно накладалися один на одного. Округла форма Аппалачів та інших древніх гірських хребтів утворилася внаслідок поступової ерозії, що відбувалася протягом сотень мільйонів років і періодично переривалася великими зсувами ґрунту. Упродовж геологічної історії зсуви тектонічних плит, подекуди такі ж раптові, як-от грім серед ясного неба, переміщали цілі континенти, зводили гори та створювали океани.

Земля завжди була неспокійною планетою з невпинним процесом еволюції. Вона безперервно змінюється від ядра до кори. Навіть

у наші дні атмосфера, океани та суходіл зазнають видозмін, хоча, вірогідно, і не з такою швидкістю, як упродовж нещодавнього минулого. Нерозумно було б не турбуватися через ці буремні глобальні зміни, і для багатьох із нас це просто не можливо: наші допитливість та турбота про рідний дім такі ж природні, які були і в Ератосфена. Проте так само нерозумно було би розглядати ситуацію, що склалася на Землі, повною мірою не скориставшись усіма перевагами, які вона дала нам, розповівши про своє дивовижне минуле, непередбачуване мінливе сьогодення, а також нас та наш світ у майбутньому.

Більшість свого життя я провів намагаючись дослідити нашу живу, складну та мінливу планету. Ще хлопчиком колекціонував каміння та мінерали, загромаджуючи кімнату скам'янілостями та кристалами, які стояли поряд із якимись жучками та кістками. Ця Землецентрична тема тягнеться червоною ниткою крізь усю мою професійну кар'єру. Почав я з експериментів над об'єктами розміром із атом, які навіть важко розгледіти в мікроскоп, вивчаючи молекулярну структуру породотвірних мінералів, нагріваючи та стискаючи крихітні зерна мінералів, аби задокументувати реакції, що відбуваються у надрах Землі і за умовами нагадують роботу скороварки.

З часом мій інтерес поширився на грандіозні просторові та часові аспекти геологічного гобелену. Природні бібліотеки Землі розкривають нам довжелезну — на мільйони років — історію одночасної еволюції елементів, мінералів, гірських порід та самого життя — від пустель Північної Африки до льодяного покриву Гренландії, від узбереж Гаваїв до вершин Скелястих гір, від Великого бар'єрного рифу в Австралії до древніх скам'янілих коралових рифів, знайдених у безлічі країн. Тоді як акцент у моїй науково-дослідницькій програмі змістився на вивчення вірогідної ролі мінералів у геохімічній передісторії походження життя, я відкрив для себе, що одночасна еволюція життя та мінералів упродовж історії Землі є ще разючішою, ніж ми собі уявляли, і що певні гірські породи не тільки виникли в результаті життєдіяльності організмів, — про що свідчать вапнякові печери по всьому континенту, — але й що саме життя, можливо, виникло з гірських порід.

Протягом чотирьох мільярдів років історії Землі еволюційний розвиток мінералів та життя — геологія і біологія — переплелися настільки в дивовижний спосіб, що це починає прояснюватися тільки зараз. Кульмінацією цих ідей стала публікація 2008 р. роботи під назвою «Еволюція мінералів» — із контроверсійними новими думками, які дехто з науковців зустрів радо, можливо, як першу зміну парадигми в мінералогії за останні два століття, тоді як інші поставилися до них з обережністю — як до еретичного переосмислення нашої науки в контексті геологічного часу.

Древня наука мінералогія, хоча вона й відіграє першорядну роль у всьому, що ми знаємо про Землю та її минуле, є навдивовижу статичною та відокремленою від концептуальних непередбачуваних змін часу. Протягом понад двохсот років хлібом насущним у житті мінералога є вимірювання хімічного складу, щільності, твердості, оптичних властивостей та кристалічної структури. Завітайте до будь-якого природничого музею і ви зрозумієте, що я маю на увазі: у зашкленних шафах дбайливо виставлені розкішні зразки кристалів, на ярликах яких зазначені назва, хімічна формула, кристалічна система та місцезнаходження. Ці коштовні фрагменти Землі мають багатий історичний контекст, проте, найімовірніше, намарно буде шукати якісь підказки щодо віку їхнього утворення чи їхніх наступних геологічних трансформацій. Традиційний підхід фактично розлучає мінерали із захопливими історіями їхнього існування.

Така традиція потребує змін. Чим докладніше ми вивчаємо вичерпний літопис скам'янілостей Землі, тим краще усвідомлюємо, як знову і знову відбуваються трансформації у природному світі як живої, так і неживої природи. Поглиблення нашого розуміння двох планетарних реалій — часу та еволюційних змін — дозволило припустити не тільки те, як уперше виникли мінерали, але й коли це сталося. А нещодавні відкриття живих організмів у місцях, які традиційно вважалися непридатними для існування — у розпечених вулканічних жерлах, кислотних озерах, арктичних льодах та стратосферному пилі — перетворило мінералогію на ключову дисципліну в пошуку відповідей про походження та збереження життя на планеті. У листопадовому випуску провідного журналу *American Mineralogist* за 2008 р. ми з колегою запропонували новий підхід

до вивчення мінералогічної царини та її неймовірних трансформацій упродовж невивчених проміжків часу. Ми наголосили, що багато мільярдів років тому в космосі взагалі не існувало мінералів. Жодні кристалічні сполуки не могли утворитися, тим більше зберегтися в розпеченому вихорі Великого вибуху. Півмільйона років пішло на те, щоб у казанку світобудови утворилися хоча б перші атоми — водень, гелій та дрібка літію. Мільйони років потому сили гравітації таки вмовили ці первісні газоподібні елементи перетворитися на перші туманності, а згодом змусили ці туманності розпастися на перші гарячі, щільні, розпечені зірки. І лише коли ці перші світила вибухнули, ставши надновими сяючими зірками, коли згустки переповного великою кількістю елементів газу стали розширюватися та охолоджуватися, ущільнюючи перші крихітні кристали алмазу, тоді й розпочалася космічна сага мінералів.

Ось так перетворився я на завзятого читача свідчень гірських порід — приголомшливих, подекуди фрагментарних та неясних, історій про народження та смерть, спокій та рух, походження та еволюцію. Ця неоповідна разюча та багатоголоса розповідь про живу та неживу сфери Землі — одночасну еволюцію життя та гірських порід — є невимовно захопливою. Вона обов'язково має бути почута, адже Земля — це і є ми. Усе, що дає нам прихисток та засоби для існування, усі речі, які нам належать, фактично кожен атом та молекула нашої тілесної оболонки — усе це із Землі постало і в Землю повернеться. Пізнати наш дім — це те ж саме, що пізнати себе.

А ще нам треба почути цю сагу Землі й тому, що її океани та атмосфера зазнають змін із такою швидкістю, якої не було за всю попередню довгу історію. Підвищується рівень океанів, вони нагріваються та більше окислюються. Характер опадів змінюється на глобальному рівні, тоді як атмосфера стає все більш бурхливою. Зникають полярні льоди, починає танути тундра, змінюються звичні середовища проживання живих організмів. Як ми дізнаємося з наступних сторінок, історія Землі є сагою змін. Проте за рідкісних обставин тривожно стрімких змін, що відбувалися в минулому, життя зазнавало неабияких втрат. Для того, щоб діяти обдуманно та своєчасно, і для власного ж блага

ми мусимо потоваришувати із планетою та пізнати її історію. Адже напрочуд очевидним із тієї прекрасної світлини, зробленої за 384 633 км від нас, зі світу, у якому немає життя, стає той факт, що домівка у нас лише одна.

Услід за Ератосфеном та тисячами допитливих умів, що продовжили його справу, у цій книжці я розповім довгу історію змін на Землі. Хай планета і здається нам близькою та зрозумілою, проте її бурхлива історія охоплює низку трансформацій, які навіть важко собі уявити. Для того щоб добре пізнати Землю, досягнути еони, що сформували її, ви маєте зрозуміти сім базових істин.

1. Земля складається з атомів, які неодноразово були в рециклінгу і продовжують брати участь у цьому процесі.
2. Земля надзвичайно стара в порівнянні з часовими рамками людини.
3. Земля є тривимірною, і більшість процесів приховані від наших очей.
4. Гірські породи — це архіваріуси історії Землі.
5. Системи Землі — гірські породи, океани, атмосфера та життя, поєднані складним взаємозв'язком.
6. Історія Землі охоплює довгі періоди застою, які час від часу переривалися раптовими катаклізмами з невідворотними наслідками.
7. Життя змінювало і продовжує змінювати поверхню Землі.

Ці уявлення про буття Землі лежать в основі хитросплетених історій про атоми, мінерали, гірські породи та життя, утворюючи епопею простору та часу; вони з'являтимуться на подальших сторінках книги в розповідях про фази вогняного зародження Всесвіту та довготривалої еволюції на Землі. Одночасна еволюція Землі та життя — нова парадигма, що лягла в основу цієї книги, — є частиною безповоротних послідовностей еволюційних стадій, що сягають Великого вибуху. Для кожної зі стадій характерні свої процеси та феномени, які зрештою по-своєму витісували поверхню нашої планети, знову і знову, невпинно прокладаючи шлях у чудесний світ, в якому ми сьогодні живемо. Ось вона — історія Землі.



Розділ 1

НАРОДЖЕННЯ

УТВОРЕННЯ ЗЕМЛІ

ОХОПЛЮЮЧИ МІЛЬЯРДИ РОКІВ ДО УТВОРЕННЯ ЗЕМЛІ

Спочатку не було Землі й не було Сонця, яке б її зігріло. Сонячна система з палаючою центральною зіркою, розмаїттям планет та супутників є порівняно новоприбулою: їй усього лише 4,567 млрд років. Багато чого мало статися, перш ніж наш світ постав з порожняви.

Місце народження нашої планети було підготоване набагато раніше, ще на початку всього — у момент Великого вибуху — за останніми підрахунками 13,7 млрд років тому. В історії всесвіту цей визначальний момент створення залишається найбільш розпливчастим і незрозумілим. Це був стан сингулярності — трансформації з нічого у щось, що залишається поза рамками сучасної науки чи математичної логіки. Якщо ви шукатимете в космосі ознаки існування Бога-Творця, то варто почати з Великого вибуху.

На початку буття простір, енергія та матерія виникли з невідомої порожнечі. Нічого. А тоді — щось. І ця концепція поза нашою здатністю створювати метафори. Наш всесвіт не виник раптово з вакууму, адже до Великого вибуху не існувало ні простору, ні часу. Наше розуміння «нічого» не передбачає порожне-