

Роберт М. Гейзен
ІСТОРІЯ ЗЕМЛІ

МАНДРІВКА ДОВЖИНОЮ У 4,5 МЛРД РОКІВ
ВІД АВТОРА НАУКОВИХ БЕСТСЕЛЕРІВ

Жваво написана захоплива теорія походження Землі.
Kirkus Reviews

Чи завжди наша планета була такою, якою ми знаємо її сьогодні? Професор Гейзен влаштував своєрідний #million_years_challenge, щоб показати, якою була Земля мільйони років тому. Це історія глобальних і закономірних змін від ядра й аж до верхніх шарів атмосфери. Готові повернутися до того часу, коли наша планета була зоряним пилом? Виникнення Всесвіту, поява перших хімічних елементів, зірок, формування Сонячної системи, утворення Землі, зародження життя, мінералогічний вибух, рух цілих континентів, трансформація великих гірських хребтів, зміна ландшафтів під впливом метеоритів і вулканічних вивержень — дивовижна історія минулого нашої прекрасної блакитної планети.

Захоплює та яскраво... Гейзен — віртуозний оповідач, який підготував дивовижну розповідь... Колосальна запаморочлива історія фантастичного розміру, від зародження елементів у зірках до роздумів про світ у майбутньому.

А. Д. Енбар, Science

Гейзен висвітлює походження Землі та зародження життя в дуже легкій для сприйняття книжці.

Publishers Weekly



www.bookclub.ua

ISBN 978-617-12-6309-3



9 786171 263093

Роберт М. Гейзен

ІСТОРІЯ

ЗЕМЛІ

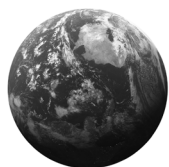


Роберт М. Гейзен



ІСТОРІЯ
ЗЕМЛІ

ВІД ЗІРКОВОГО ПИЛУ ДО ЖИВОЇ ПЛАНЕТИ



Robert M. Hazen

THE STORY OF EARTH:

THE FIRST 4.5 BILLION YEARS, FROM STARDUST
TO LIVING PLANET



PENGUIN BOOKS

Роберт М. Гейзен

ІСТОРІЯ ЗЕМЛІ

ВІД ЗІРКОВОГО ПИЛУ ДО ЖИВОЇ ПЛАНЕТИ

УДК 523.3 + 557.1
Г29

Жодну з частин цього видання
не можна копіювати або відтворювати в будь-якій формі
без письмового дозволу видавництва

Видавництво вдячне за допомогу в підготовці видання Дмитру Якубовському,
докторанту Інституту теоретичної фізики НАН України
та постдокторанту Інституту Нільса Бора (Данія)

Перекладено за виданням:

Hazen R. M. The Story of Earth. The First 4.5 Billion Years, from Stardust
to Living Planet / Robert M. Hazen. — New York: Penguin Books, 2012. — 306 p.

Переклад з англійської *Марії Кравцової*

Дизайнер обкладинки *Костянтин Кізуб*

ISBN 978-617-12-6309-3
ISBN 978-0-670-02355-4 (англ.)

© Robert M. Hazen, 2012
© Pixabay.com / MillieMopsStock /
8 hình ảnh, обкладинка, 2019
© Nemigo Ltd, видання українською
мовою, 2019
© Книжковий Клуб «Клуб Сімейно-
го Дозвілля», переклад і художнє
оформлення, 2019

ПОХВАЛА «ІСТОРІЇ ЗЕМЛІ»

За версією журналу *Kirkus Reviews* належить до ТОП-25 книг наукового змісту за 2012 рік.

Із притаманним йому заразливим ентузіазмом до своєї теми, Гейзен знайомить читача з визначальними моментами в історії Землі... [та] стверджує, що розуміння взаємозв'язку між геологічним та біологічним минулим Землі допоможе нам передбачити майбутнє життя на нашій планеті та підготуватися до нього.

Серон Їтберек, журнал «Discover»

Захоплива нова теорія про походження Землі, написана в блискучому стилі з додаванням численних особистих ноток... Гейзен пропонує нам приголомшливі докази одночасного еволюціонування «живої та неживої природи Землі» за останні чотири мільярди років.

Журнал «Kirkus Reviews» (серед найрейтинговіших книжок)

Лаконічно та колоритно... На підґрунті новітніх досліджень та під впливом досягнень в астробіології Гейзен займає радикальну позицію... щоб розповісти дивовижну історію про тісний взаємозв'язок живої та неживої природи нашої планети.

Біргер Шмітц, журнал «Nature»

Захопливо та яскраво... Гейзен — віртуозний оповідач, який підготував дивовижну розповідь... Колосальна, запаморочлива історія фантастичного розміру, від зародження елементів у зірках,

до роздумів про життєпридатність нашого світу в майбутньому...
Для необізнаного з історією землі робота Гейзена стане сенсацією.

А. Д. Енбар, журнал «Science»

Не в моїй компетенції оцінювати точність праці Роберта Гейзена про геологічну та біологічну історію, але можу стверджувати, що це дивовижна історія, набагато яскравіша, ніж ви могли би собі уявити, якби знали, що темою є старі непродуктивні породи.

*Білл МакКіббен,
автор книги «Земля: будуючи життя
на новій суворій планеті»*

Гейзен запрошує нас в один із найграндіозніших турів — 4,5 млрд років з історії нашої планети. Саме з атомів земної кори виникли наші тіла, весь живий світ і ця захоплива книжка. Прочитайте Гейзена і ви більше не зможете сприймати Землю і життя, як раніше.

*Ніл Шубін,
палеонтолог та автор книги
«Риба всередині нас»*

Напрочуд гарно написана [і] зручна в користуванні... Для людей, схиблених на науці, та читачів, зацікавлених у навколишньому середовищі, аргументи Гейзена видаватимуться вагомими, а його огляд бурхливої історії Землі — захопливим.

Карл Гейс, журнал «Booklist»

«Історія Землі» — це та рідкісна книга, яка може трансформувати ваше бачення світу. Синтезуючи величезний проміжок часу та знання у чіткій, захопливій прозі, Гейзен таки дійсно творить історію про нашу планету — переконливу історію. У мене склалося нове розуміння контексту щодо нашого місця в цьому галактичному домі.

*Чарльз Волфорт, автор книжок «Доля природи»
та «Кит і суперкомп'ютер»*

Захоплива історія з чудовою оповіддю... Живописні описи [Гейзена] про муки зародження ландшафтів приносять насолоду, а його розповідь в дусі Карла Сагана про невимовно великий вік нашого світу та нескінченність космосу — справжній подарунок. Це фантастичне, бентежне читиво.

Майкл Маршалл, журнал «New Scientist»

Умістити мільярди років геологічної еволюції в одну книгу — це зовсім не легке завдання, проте геофізик Гейзен впорався з ним неперевершено.

Сід Перкінс, журнал «Science News»

Гейзен висвітлює походження Землі та зародження життя [у] дуже легкій для сприйняття книзі, змішуючи різноманіття наукових дисциплін, щоб розповісти незабутню історію.

Журнал «Publishers Weekly»

Гейзен має хист до пояснення науки простою мовою, і навіть для читачів із мінімальним розумінням геології, хімії та фізики ця книга видатиметься захопливою.

Ненсі Р. Кьортіс, журнал «Library Journal»

ІСТОРІЯ ЗЕМЛІ

Роберт М. Гейзен є Кларенс Робінсон Професором¹ геонауки
Університету Джорджа Мейсона та старшим науковим
співробітником Геофізичної лабораторії Інституту Карнегі.

Автор численних книг, у тому числі бестселера «*Вагомість
наукових питань*» (*Science Matters*). Він живе зі своєю дружиною
в місті Глен-Еко, штат Меріленд.

¹ Кларенс Робінсон Професори — відомі науковці та журналісти, які за запрошенням Університету Джорджа Мейсона читають лекції для студентів. Назва походить від імені Кларенса Дж. Робінсона, який за заповітом залишив університету багатомільйонну суму за умови, що вона піде на пошук висококваліфікованих спеціалістів із різних галузей. (*Тут і далі прим. перекл., якщо не зазначено інше.*)

Присвячується Грегори:

*Зміни не за горами;
нехай тобі стане
мудрості та наснаги
приспосуватися
до них*

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

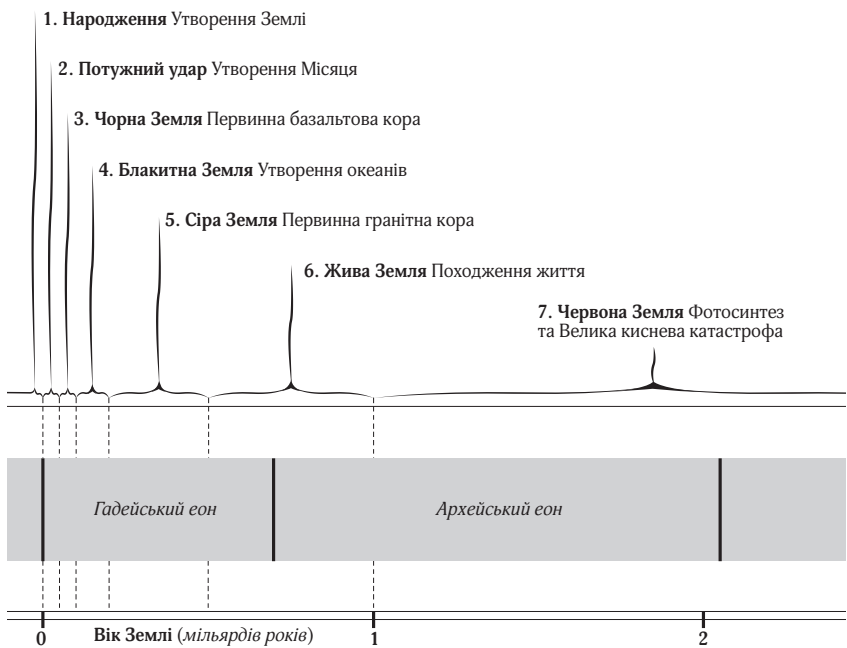
Розділ 9. Біла Земля 210

Розділ 10. Зелена Земля 234

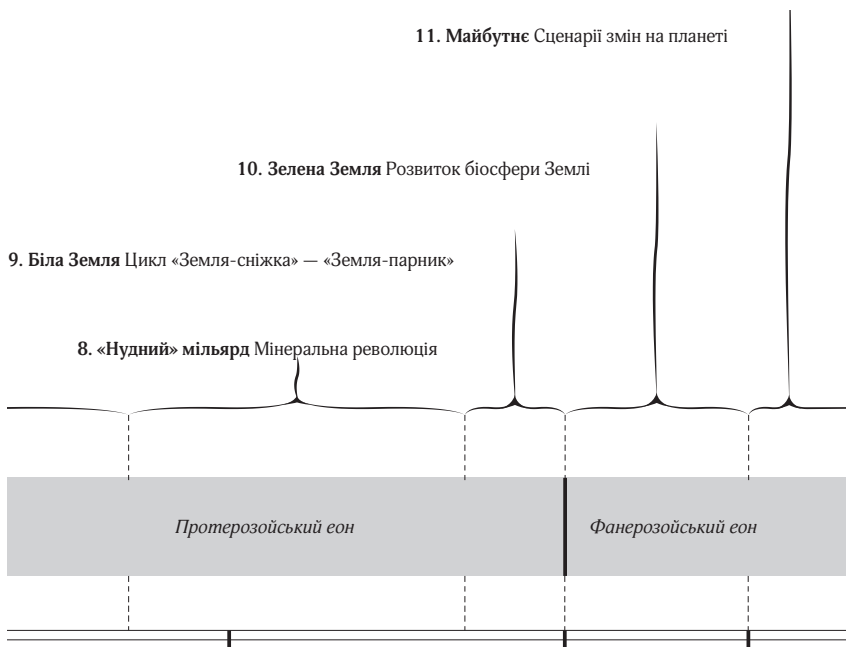
Розділ 11. Майбутнє 258

Епілог 281

Подяки 284



← Великий вибух, 13,7 млрд років тому



Кінець гри, ~ через 5 млрд років

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 різкого 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 тіннями. В єгипетському місті Сіена в день літнього сонцестояння він опівдні спостерігав за сонцем, яке в цей час було в зеніті. 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 прями́сінько 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 — навдивовижу 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 дня 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, загроможуючи 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 єретичного 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 переповненого великою кількістю елементів газу стали розширюватися та охолоджуватися, ущільнюючи перші крихтіні 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 різюча та багатоголоса розповідь про живу та неживу сфери Землі — одночасну еволюцію життя та гірських порід — є невимовно захоплююю. 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.

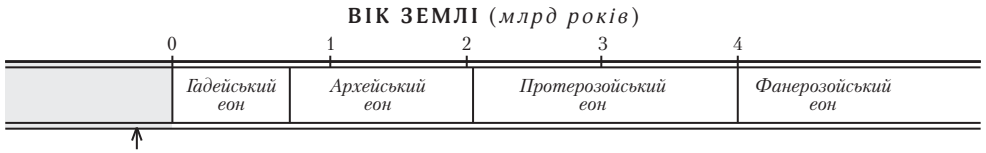
А ще нам треба почути цю сагу Землі й тому, що її океани та атмосфера зазнають змін із такою швидкістю, якої не було за всю попередню довгу історію. Підвищується рівень океанів, вони нагріваються та більше окислюються. Характер опадів змінюється на глобальному рівні, тоді як атмосфера стає все більш 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 обдумано 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 витіснювали 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 непізнаваної 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-

чі — до моменту Великого вибуху не існувало чогось, що могло би бути порожнім.

І згодом зненацька з'явилося не просто «щось», а все, що існуватиме відтоді завжди, усе одразу. Об'єм нашого всесвіту був менший за ядро атома. Цей ультрастиглий космос постав як чиста однорідна енергія, де не було частинок, що могли би зіпсувати цю ідеальну одноманітність. Усесвіт швидко розширився, проте не назовнічи у щось подібне (у всесвіту немає «назовні»). Весь розпечений об'єм чистої енергії розширювався і ріс. І, оскільки розширювався, він холонув. Перші субатомні частинки виникли через доли секунди після Великого вибуху — це були електрони і кварки, невидима сутність усіх твердих тіл, рідин і газів, із яких складається наш світ і які матеріалізувалися з чистої енергії. Незабаром після цього, все ще протягом цієї найпершої доли найпершої космічної секунди, кварки об'єдналися в пари та триплети, утворивши більші частинки, у тому числі протони і нейтрони, які є в ядрі кожного атома. Усе це залишалося невимовно гарячим ще десь наступних півмільйона років, доки невпинне розширення зрештою не охолодило всесвіт на декілька тисяч градусів — достатньо низької температури, щоб електрони зіпилися з ядрами й утворили перші атоми. Переважно цими першими атомами були атоми водню — понад 90 % — невеликий відсоток складав гелій і ще трохи літію. Саме ця суміш елементів і утворила перші зірки.

Перше світло

Гравітація — це могутній двигун космічного притягування. Один атом водню дуже маленький, але візьміть його та відтворіть 10^{60} разів (це становитиме трильйон трильйонів трильйонів трильйонів трильйонів атомів) і тоді всі вони матимуть разочу колективну силу тяжіння. Гравітація потягне їх до спільного центру, утворюючи зірку — гігантську газову кулю із неймовірним тиском у ядрі. Коли у процесі народження зірки величезна воднева хмара колапсує і стискається, кінетична енергія атомів, що рухаються, перетворюється на потенційну гравітаційну енергію зв'язаної системи, яка зі свого боку переходить у теплову енергію — такий самий процес відбувається, коли астероїд зіштовхується із Землею, проте енергії при зіркотворенні

виробляється значно більше. Зрештою температура в ядрі газової кулі сягає мільйонів градусів, а тиск — мільйонів атмосфер.

Такі температура й тиск спричиняють новий процес — реакцію ядерного синтезу. За цих екстремальних умов ядра двох атомів водню (у кожному є по одному протону) зіштовхуються з такою силою, що нейтрони переміщуються з одного ядра в інше, у такий спосіб роблячи одні атоми масивнішими за інші. Після низки таких зіткнень утворюються ядра гелію із двома протонами. Дивовижно, але маса створеного атома гелію менша за масу початкових атомів водню, з яких він утворився, десь на 1 %. Ця втрачена маса перетворюється безпосередньо на теплову енергію (так само, як це відбувається у водневій бомбі), що тільки посилює термоядерну реакцію. Зірка «запалюється», заливаючи все довкола світловою енергією, і отримує з водню більше і більше гелію.

Великі зірки, багато з них більші за Сонце, врешті вичерпують чималі запаси атомів водню у своїх ядрах. Проте надзвичайно високий внутрішній тиск і тепла енергія продовжують підтримувати ядерний синтез. Двопротонні атоми гелію, які утворилися в ядрі зірки, з'єднуються між собою, продукуючи атоми вуглецю з шістьма протонами, — це надзвичайно важливий елемент для життя. Реакція не припиняється і коли нові поштовхи ядерної енергії спричиняють синтез гелію у сферичному шарі, який оточує зіркове ядро. Згодом синтезується неон, із неону утворюються атоми кисню, далі — магній, кремній, сірка тощо. Поступово зірка за структурою стає схожа на цибулину, де на один шар накладається інший концентричний шар зі своїми реакціями синтезу. Все швидше і швидше відбуваються ці реакції аж доки менше ніж за день не завершається кінцева фаза, коли утворюються атоми заліза. Так, через багато мільйонів років після Великого вибуху протягом життєвого циклу перших зірок завдяки ядерному синтезу утворилася більшість перших двадцяти шести елементів періодичної системи.

І стосовно атомів заліза і процесу ядерного синтезу. Коли водень перетворюється на гелій, а гелій стає вуглецем, і впродовж усіх інших реакцій об'єднання вивільнюється дуже багато ядерної енергії. Однак ядро атома заліза має найменшу енергію порівняно з будь-якими атомними ядрами інших елементів. Енергія вичерпу-

ється так само, як паливо в полум'ї перетворюється на попіл. Залізо — це наче ядерний попіл; при зіткненні ядра атома заліза з будь-яким іншим ядром ядерна енергія не вивільняється. Тож, коли перша масивна зірка неминуче виробила своє залізне ядро, гра завершилася і результати були катастрофічні. До того моменту в зірці панувала стійка рівновага і баланс між двома великими внутрішніми силами: гравітацією, яка стягувала масу до центру, та ядерними реакціями, які виштовхували цю масу назовні. Проте, коли ядро наповнилося залізом, процес виштовхування з ядра просто зупинився і тоді з невимовним шаленством запанувала гравітація. Зірка настільки стрімко колапсувала, завалюючись досередини, що спружинила від самої себе і, вибухнувши, утворила першу наднову. Зірка розпалася, викинувши більшість своєї маси назовні.

Народження хімії

Читачам, які намагаються зрозуміти, як влаштований космос, варто почати з наднових зірок, які подібно до Великого вибуху є прекрасними вихідними точками. Ясна річ, що Великий вибух неминуче призвів до утворення атомів водню, а атоми водню так само невідворотно породили перші зірки. Проте взагалі не очевидно, як самі зірки можуть привести до нашого сучасного живого світу. Велика воднева куля, хай навіть в її ядрі накопичуються важкі елементи, в тому числі й залізо, наче не дуже просуває нашу справу в якомусь цікавому напрямку.

Проте, коли вибухнули перші великі зірки, виникло дещо нове. Зруйновані космічні тіла засіяли простір елементами, які вони ж і створили. Особливо багато було елементів життя — вуглецю, кисню, азоту, фосфору та сірки. Достатньо було і магнію, кремнію, заліза, алюмінію та кальцію, які переважають у хімічному складі більшості поширені гірських порід і значна частка яких формує планети, схожі на Землю. Втім, у середовищі з неосяжно великою енергією, що вивільнилася у вибуху наддової, ці елементи поєдналися у новий і химерний спосіб, утворивши *всю* періодичну таблицю, тобто значно більше двадцяти шести елементів. Так з'явилися перші сліди більшості рідкісних елементів: дорогоцінні срібло та

золото, неблагородні мідь та цинк, отруйні миш'як та ртуть, радіоактивні уран та плутоній. Ба більше, усі ці елементи вишпурнуло в космос, де вони могли «знайти» одне одного і об'єднатися в хімічних реакціях новим та цікавим способом.

Хімічна реакція відбувається, коли один звичайнісінький атом наштовхується на інший. Кожний атом має крихітне, проте масивне ядро з позитивним електричним зарядом, оточене одним чи кількома негативно зарядженими електронами у вигляді електронних хмарок. Окремі атомні ядра практично ніколи не взаємодіють, за винятком випадків, коли середовище нагадує скороварку в надрах зірки. Проте електрони одного атома постійно наштовхуються на електрони сусідніх атомів. Хімічна реакція відбувається, коли зустрічаються два або більше атомів і їхні електрони взаємодіють та перегруповуються. Таке перемішування та спільне користування електронами відбувається через певні комбінації електронів, зокрема найстійкішими є поєднання двох, десяти чи вісімнадцяти електронів.

У результаті перших хімічних реакцій, що відбулися після Великого вибуху, були спродуковані молекули — маленькі сполуки кількох атомів, що тісно пов'язані в одне ціле. Ще до того як атоми водню почали об'єднуватись у зірках, утворюючи гелій, у вакуумі глибокого космосу виникли молекули водню (H_2), хімічно поєднані між собою два атоми водню. Кожен атом водню містить лише один електрон, і це досить хитке становище для всесвіту, в якому саме два електрони — це магічне число. Отже, коли зустрічаються два атоми водню, вони об'єднують ресурси для формування молекули із двох (магічне число) спарених електронів. Беручи до уваги надмір водню, який виник після Великого вибуху, можна висувати, що молекули водню, безумовно, передували першим зіркам й існували в космосі з моменту виникнення атомів. Коли після вибуху першої наднової космос всіяло різноманіття елементів, сформувалося багато інших цікавих молекул. Одним із прикладів такої ранньої сполуки є вода (H_2O), де два атоми водню поєднані з атомом кисню. Існує вірогідність, що молекули азоту (N_2), аміаку (NH_3), метану (CH_4), оксиду вуглецю (CO) та діоксиду вуглецю (CO_2) також збагачували простір навколо наднових зірок. Усі ці молекулярні сполуки зіграють ключову роль в утворенні планет та в походженні життя.

Потім виникли мінерали — мікроскопічні тверді зразки хімічної довершеності та кристалічної впорядкованості. Перші мінерали сформувалися лише там, де щільність мінералоутворювальних елементів була досить високою, а температури — достатньо низькими, щоб атоми змогли впорядкуватися в маленькі кристали. Через якихось декілька мільйонів років після Великого вибуху оболонки перших зруйнованих зірок, що розширювалися та охолоджувалися, стали ідеальним середовищем для таких реакцій. Крихітні монокристали чистого вуглецю — алмаз і графіт — можливо, були першими мінералами у всесвіті. Ці первісні кристали були схожі на тонкий пил — непримітно маленькі окремі зерна, але водночас, певно, досить великі, щоб додати космосу алмазного блиску. До цих кристалічних форм вуглецю незабаром приєдналися інші високотемпературні тверді речовини, які склалися з простіших елементів — магнію, кальцію, кремнію, азоту та кисню. Серед них були знайомі нам мінерали, наприклад корунд — хімічна сполука алюмінію та кисню, різновидом якої є щедро забарвлені рубін і сапфір, що так високо ціняться. Також з'явилася дуже маленька кількість силікату магнію — олівін — напівкоштовного каменю-оберегу для народжених у серпні, а ще муассаніту — карбїду кремнію, який у наші дні часто продають як дешевий аналог діаманта. Загалом міжпланетний пил містить, імовірно, дюжину таких первинних, або ур-мінералів¹. Отже, після вибуху перших зірок справи у всесвіті пішли цікавіше.

У всесвіті немає нічого одиничного (можливо крім Великого вибуху). Розкидані в космосі уламки вибухлих зірок постійно зазнавали впорядковувальної сили гравітації. Отож рештки першого зоряного покоління безупинно породжували нові зоряні населення, утворюючи нові туманності — величезні міжзоряні хмари з газу та пилу — залишки багатьох зруйнованих зірок. Кожна нова туманність містила трохи більше заліза і дещо менше водню, ніж попередня. Цей цикл тривав 13,7 млрд років: старі зірки створювали нові і поступово змінювали структуру космосу. У незліченних мільярдах галактик виникли незліченні мільярди зірок.

¹ Ур-мінерали — вживаний в англійській літературі термін, що означає первинні мінерали, або протомінерали. Частина «ур» походить від назви стародавнього континенту Ур, який сформувався 3 млрд років тому на початку архейського еону.

Космічні підказки

Давним-давно, 5 млрд років тому, наша майбутня «земельна ділянка» на галактичній околиці розташувалася на півдорозі до осереддя Чумацького Шляху, в безлюдному куточку всипаного зорями спірального рукава. Мало що можна було знайти в цій скромній місцині, крім великої туманності газу та крижаного пилу, що простягалася на світові роки в темну порожнюву. Дев'ять десятих цієї хмари складала атоми водню; дев'ять десятих решти формували атоми гелію. Один відсоток, що залишився, то були крига та пил, багаті на малі органічні молекули та мікроскопічні зерна мінералів.

Хмара галактичної туманності може існувати багато мільйонів років, доки не запрацює якийсь спусковий механізм — скажімо, ударна хвиля від вибуху сусідньої зірки — і тоді розпочинається її колапс і стискання в нову зіркову систему. Майже 4,6 млрд років тому такий механізм запустив Сонячну систему, створивши її. Дуже повільно, упродовж мільйона років, вируючу суміш досонячного газу та пилу зтягувало до центру мас хмари. Подібно фігуристу, що обертається довкола своєї осі, велика хмара крутилася все швидше і швидше, тоді як сили гравітації притягали її пласкі краї до центру. Стискаючись та кружляючи все прудкіше, хмара стала щільніша і набула форми диска, у центрі якого зростала випуклість — Сонце, яке народжувалося. Усе більшою і більшою ставала ця жадібна насичена атомами водню центральна куля, зрештою вона поглинула 99,9 % маси хмари. Її внутрішній тиск та температура підвищилися до точки початку термоядерного синтезу, запаливши в такий спосіб зірку.

Підказки щодо подальших подій зберігаються в літописах Сонячної системи — в її планетах та супутниках, кометах та астероїдах, а також у чисельних та різноманітних метеоритах. Разючим фактом є те, що всі планети і супутники обертаються довкола Сонця в єдиній площині і в одному напрямку. Ба більше, Сонце і більшість планет обертаються коло власної осі приблизно в тій же площині та напрямку. Нічого в законах руху не вимагає цієї спільності обертань; планети і супутники могли би рухатися орбітами та обертатися навколо осі в будь-якому напрямку — з півночі на південь, із сходу на захід, згори донизу, знизу догори — і в будь-якому разі підпорядковуватися закону гравітації. Така хаотична мішанина могла бути,

якби планети і супутники були притягнуті з якихось віддалених і випадкових місць. Проте орбітальна майже-однорідність у Сонячній системі, яку ми спостерігаємо, підказує, що планети й супутники утворилися із плоского вируючого диску пилу та газу майже одночасно. Усі ці гігантські об'єкти зберігають єдиний принцип обертання — спільний момент імпульсу цілої Сонячної системи — від моменту існування першої вируючої хмари.

Другу підказку щодо походження Сонячної системи знайдемо в характерному розташуванні восьми великих планет. Чотири найближчі до Сонця планети — Меркурій, Венера, Земля та Марс — є відносно маленькими кам'янистими світами, що здебільшого складаються із кремнію, кисню, магнію та заліза. На їхніх поверхнях переважають щільні гірські породи, як-от чорний вулканічний базальт. На відміну від них, чотири зовнішні планети — Юпітер, Сатурн, Уран та Нептун — є газовими гігантами, що складаються в основному з водню та гелію. Ці велетенські кулі не мають твердої поверхні, лише атмосферу, яка ущільнюється ближче до центру. Це протиріччя світів підказує, що на початках історії Сонячної системи, впродовж декількох тисяч років після народження Сонця, сильний сонячний вітер звів залишки водню та гелію у далечінь до холодніших царств. Достатньо далеко від променистої зірки ці леткі гази охололи ущільнитися та створити свої власні сфери. Більші та збагачені мінералами частинки пилу, що залишився біля гарячої центральної зірки, змогли навпаки швидко об'єднатися й утворити скелясті внутрішні планети.

Деталі тих буремних процесів, що сформували Землю та інші внутрішні планети, прекрасно збережені у напрочуд багатому розмаїтті метеоритів. Яюсь навіть страшно уявити, що з неба на наш дім постійно падає каміння. Насправді, наукова спільнота зацікавилася цим лише десь двісті років тому, хоча анекдотів у фольклорі про різнобарвні метеорити було досхочу (в тому числі й історій про бідолашних французьких селян). Навіть коли науковці почали робити формальніший опис падіння метеоритів, мало які з наукових доказів вдалося зібрати для документування, а ще важче було пояснити походження каменів з неба. Томас Джефферсон, американський державний діяч та вчений-натураліст, читаючи технічний звіт Єльського університету щодо спостережуваного падіння метеоритів у місті Вестон, штат Коннектикут, вдало зауважив: «Мені

легше повірити, що ці два професори-янки брешуть, ніж що каміння падає з неба».

Два століття потому після десятків тисяч знахідок метеоритів, у правдивість слів свідків уже важко не повірити. Експерти з питань метеоритів охоплюють усе більше проблем, затяті колекціонери змагаються за найрідкісніші зразки, музейні та приватні колекції по всьому світу стають все багатшими. Якийсь час у цих сховищах переважали типові залізні метеорити, чия чорна кора химерні форми і нетипово висока щільність виділяли їх серед звичайного каміння. Проте все змінилось 1969 р., коли на незайманому льодовому щиті Антарктики виявили тисячі метеоритів.

Метеорити містять очевидні підказки щодо походження нашої планети. Найрозповсюдженіші та найдавніші з метеоритів — це хондрити, вік яких становить 4,566 млрд років і які сформувалися ще до планет і супутників Сонячної системи, коли вперше увімкнувся ядерний реактор Сонця і сильна промениста енергія запалила вируючу туманність. Своєрідний ефект доменної печі розтопив диск із міжзоряного пилу, і утворилися згустки маленьких в'язких мінеральних крапельок, так званих хондр — у перекладі з грецької це слово означає «зерно, крупинка». Розміром вони — щось середнє між дробинкою і маленькою горошиною, ці продукти очисного вогню Сонця переплавлялися багато разів під пульсуючим випромінюванням, яке трансформувало найближчі до Сонця ділянки космосу. Сполучення цих древніх хондр, міцно з'єднані між собою дрібними часточками досонячного пилу та фрагментами мінеральних речовин, складають примітивні хондрити, які мільйонами потрапили на Землю. Хондрити якнайкраще допомагають нам уявити короткий період, який тривав одразу після народження Сонця і до утворення планет.

Другий, молодший, клас метеоритів, відомий під назвою ахондрити, датується часом, коли матерія Сонячної системи зазнавала перетворень — плавилася, розщеплялася чи трансформувалася в якийсь інший спосіб. Різноманіття ахондритів приголомшливе — шматочки блискучих металів та уламки почорнілого каміння, деякі гладкі, як скло, а інші — з лискучими кристалами завширшки близько 2,5 см. У деяких найвіддаленіших куточках Землі досі знаходять нові різновиди.

Антарктида — це континент із неозорими рівнинами древнього блакитного льоду, де ніколи не сніжить. Прямісінько там лежить собі космічне каміння — темні і поки що недоступні предмети, які чекають, щоб їх віднайшли. Міжнародні угоди, які забороняють комерційне використання континенту, а також обмежений доступ до віддаленого льодовикового щита, забезпечують збереження цих позаземних ресурсів у наукових цілях. Команди тепло вдягнених і добре споряджених науковців на гвинтокрилах та снігоходах систематично обшуковують цю неприступну льодяну пустелю, один квадратний кілометр за іншим. Учені старанно реєструють та запаковують кожну знахідку, переконавшись, що жоден порух чи подих не забруднить її поверхню. Повернувшись до цивілізації після кожного антарктичного літнього сезону, ці мисливці за метеоритами передають свої скарби до колекцій, переважно до складів Смітсонівського інституту у місті Сьютленд, штат Меріленд, де у будівлях розміром із футбольне поле зберігаються тисячі зразків у стерильно чистих герметичних боксах.

Так само багаті на метеорити величні пустелі Австралії, Південно-Західної Америки, Аравійського півострова і Північної Африки, зокрема величезна пустеля Сахара, хоча спроби знайти їх тут не настільки систематичні і високоорганізовані, ніж антарктичні, а умови далеко не стерильні. До кочівників Сахари — туарегів, берберів, тубу — дійшли чутки, що метеорити є вартісними. Вважають, що унікальний місячний метеорит, знайдений на початку ХХ ст. десь у барханах Північної Африки, був проданий через приватну угоду за мільйон доларів. Для пустельного вершника надзвичайно просто злізти зі свого верблюда, підняти дивакуватий камінь і відвезти його до сусіднього селища, де якийсь посередник із неофіційної гільдії шукачів метеоритів, у якого є супутниковий телефон і дар красномовства, запропонує йому за це якусь щербату копійчину. Так мішки з метеоритами подорожують від одного посередника до іншого і кожного разу дорожчають, поки зрештою не дістануться Марракеша, Рабата чи Каїра, а звідти вже мандрують до покупців через *eBay* та великі міжнародні ярмарки каміння та мінералів.

Під час моїх геологічних експедицій до віддалених куточків Марокко мені не раз пропонували купити мішки з рядюги, набиті п'ятьма чи десятьма кілограмами каміння, начебто метеоритами, —

«без посередників, прямисінько з пустелі, щойно на минулому тижні знайшли». Такі «угоди» виключно за готівку зазвичай укладаються десь у задній частині жовтувато-брунатних будинків із глинобитної цегли, далеко від пекучого пустельного сонця, у тьмяних брудних та безвіконних кімнатках, де майже неможливо побачити, що саме тобі пропонують. Одразу ж після обміну люб'язностями та традиційної філіжанки м'ятного чаю продавець викидає вміст мішка на килим. Дещо з цього — звичайне каміння. Баласт. Такий собі тест, чи ви знавець своєї справи. Знайдеться там і кілька найзвичайнісінських видів хондриту розміром з оливку чи яйце, деякі мають гарну оплавлену кірку — результат стрімкого проходження крізь атмосферу. Початкова ціна є завжди надто високою. Якщо ви скажете, що ці метеорити не варті особливої уваги, через секунду може з'явитися менший мішечок, де ви, можливо, побачите залізний метеорит або ж навіть щось більш екзотичне.

Пригадую одну угоду, яку намагався укласти наш гід Абдулла десь на узбіччі запиленої дороги в декількох кілометрах на схід від міста Скура. Продавець, його неблизький знайомий сумнівної репутації, зателефонував на мобільний і вимагав конфіденційності. «Напевно це з Марса, — сказав він Абдуллі. — Дев'ятсот грамів. Лише за двадцять тисяч дирхамів». Близько 2400 доларів — якби він був справжнім, якби його можна було б приєднати до пари дюжини метеоритів, що прилетіли з Марса, — це справді була б вигідна покупка. Вони назначили час та місце. Дві машини без особливих ознак загальмували одна біля одної; ми втрьох встали у вузьке коло. Предмет нашої угоди з любов'ю витягнули з оксамитового мішечка. Однак він скидався на звичайний камінь (як і всі марсіанські метеорити). Ціна впала до п'ятнадцяти тисяч дирхамів. Далі до дванадцяти тисяч. Проте тут не можна було бути певним, тож ми розійшлись. Пізніше Абдулла признався мені, що його тоді долала спокуса придбати той метеорит. Але ж завжди можна знайти ще. Краще не бути дуже жадібним, коли випадає великий куш; брешуть усі, а укладену угоду важко розірвати.

Екваторіальні пустелі, так само, як Антарктида, містять усі види метеоритів, надаючи чудові підказки щодо характеру новонародженої Сонячної системи і, отже, походження нашої планети. Сумно, але на відміну від метеоритів з Антарктиди, більшість цих зраз-

Науково-популярне видання

ГЕЙЗЕН Роберт М.

Історія Землі. Від зіркового пилу до живої планети

Керівник проекту *С. І. Мозгова*
Відповідальний за випуск *А. В. Альошичева*
Редактор *К. В. Новак*
Художній редактор *А. О. Попова*
Технічний редактор *В. Г. Євлахов*
Коректор *Л. І. Колісник*

Підписано до друку 12.04.2019. Формат 60х90/16. Друк офсетний.
Гарнітура «Adonis». Ум. друк. арк. 18.
Наклад 3000 пр. Зам. № .

Книжковий Клуб «Клуб Сімейного Дозвілля»
Св. № ДК65 від 26.05.2000
61140, Харків-140, просп. Гагаріна, 20а
E-mail: corp@bookclub.ua

Віддруковано у ПРАТ «Харківська книжкова фабрика «Глобус»»
61052, м. Харків, вул. Різдяна, 11.
Свідоцтво ДК № 3985 від 22.02.2011 р.
www.globus-book.com

**Видавництво «Клуб Сімейного Дозвілля»
пропонує розміщення реклами
на нашій книжковій продукції :
логотипи, закладки, флаєри, листівки,
буклети тощо.**

Наші конкурентні переваги:

- вашу рекламу буде представлено в найбільшій дистрибуційній мережі України (у 70 книжкових магазинах видавництва «КСД»);
- також на полицях понад 400 бізнес-партнерів (українські книгарні, продуктові та будівельні маркети);
- ви отримаєте доступ до широкої цільової аудиторії (читачі віком від 20 до 40 років, серед них основна частина — від 25 до 35 років; 55—60 % наших покупців становлять жінки);
- ми видаємо бестселери художньої та нон-фікшн літератури, які перебувають у топі вітчизняних книгарень.

**З пропозиціями звертайтеся за адресою:
trade@ksd.ua**