

Перетворювальні можливості геологічних процесів

Сергій Горайнов

к. геол.-мін. н., доцент, кафедра фундаментальної та прикладної геології,
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, Харків, Україна,

e-mail: gorjajnov@karazin.ua

Геологічні процеси створюють динамічну структуру Землі. Вона складається ієрархічною системою геологічних тіл. У статті аналізується взаємини геологічних процесів з ієрархічною системою геологічних тіл, що включає ранги мінеральних індивідів, породних тіл, формаційних покладів, планетарних оболонок і сегментів. В аналіз залучені молекулярний і атомарний ранги об'єктів, бо вони теж беруть участь у геологічних процесах. Використане групування геологічних процесів в 5 відомих типів – теригенні, органогенні, магматичні, метаморфічні, хемогенно-метасоматичні. Усі геологічні процеси зводяться до перетворень одних геологічних тіл в інші по стадіях: 1) руйнування вихідного субстрату; 2) рекомбінації утворених фрагментів; 3) конструювання нових тіл шляхом з'єднання фрагментів структурними зв'язками. Комбінації тіл різних рангів на різних стадіях процесу зображувалися у вигляді схеми – матриці. У ній показане, тіла яких рангів беруть участь на тій або іншій стадії. Після розгляду перетворювальних можливостей геологічних процесів окремо, було проаналізовано їх різноманітність в цілому. Матриці процесів дозволили на єдиному підґрунті проаналізувати перетворювальні можливості процесів кожного генетичного типу й виявити спільні риси процесів даного типу. Єдиний підхід дозволив зіставити генетичні типи процесів. Порівняння матриць різних груп процесів одного генетичного типу показало, що а) існують ранги об'єктів, які обов'язково руйнуються, рекомбінуються (переносяться) і створюються даними однотипними процесами; б) існують ранги об'єктів, які доступні для переробки й утворення тільки деяким групам процесів цього типу. У зведених характеристиках процесів перші групи рангів становлять "ядро" генетичного типу процесів, а другі – його "периферію". Масштабність проявлення процесу обумовлюють ті ранги геологічних тіл, які доступні йому при перетвореннях. Нові мінеральні індивіди здатні утворюватися в ході всіх процесів, крім теригенних (у них переносяться, руйнуються й сортуються тільки реліктові зерна). Нові породні тіла формуються у всіх процесах. Нові формаційні поклади утворюються також у всіх процесах, крім деяких органогенних. Нові оболонки й сегменти планети можуть формуватися тільки магматичними й деякими метаморфічними процесами. Теригенні, органогенні й хемогенно-метасоматичні процеси формують оболонки планети тільки спільно. Дана робота являє собою емпіричне узагальнення. Таке узагальнення може послужити підґрунтям вдосконалювання теорії рудоутворення.

Ключові слова: геологічні тіла; геологічні процеси; наукові системи; встановлення залежності між науковими фактами.

Як цитувати: Горайнов Сергій. Перетворювальні можливості геологічних процесів / Сергій Горайнов // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2024. – Вип. 61. – С. 39-54. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-03>

In cites: Goryainov Sergey (2024). Transformative capabilities of geological processes. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (61), 39-54. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2024-61-03> [in Ukrainian]

Постановка загальної проблеми. Геологічні процеси змінюють поверхню й надра Землі, створюючи її динамічну структуру, стали протягом мільярдів років. Ця структура складається ієрархічно організованою системою геологічних тіл [4]. Але взаємини геологічних процесів із цією системою геологічних тіл дотепер не проаналізовані.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Будь-які природні процеси, у тому числі й геологічні, протікають у певних умовах навколишнього середовища. Зміни цих умов можуть зупинити процес або зробити його неможливим. Базовими для геологічних процесів є наступні умови.

1. Існування планети як природного тіла обмежене певним інтервалом мас, що викликає появу також цілком певних інтервалів інтенсивності поля гравітації. За цими межами або планета стає зіркою, або геологічні процеси на ній неможливі, і вона в підсумку не еволюціонує [1].

© Горайнов Сергій, 2024

Наявність *поля тяжіння* (у певних межах напруженості!) є першою й необхідною передумовою для виникнення й протікання всіх геологічних процесів.

2. Оскільки деякі геологічні процеси відбуваються на твердій поверхні планети, а інші – під нею, остільки необхідною умовою стає саме існування "*кам'яного ядра*" планети, обмеженого цією "твердою поверхнею". Дана умова разом з полем тяжіння створює в надрах літостатичний тиск, що зростає з глибиною [1-3, 6, 10, 14].

3. Щоб поле тяжіння здійснювало якусь геологічну роботу, необхідний *градієнт* поля тяжіння (просторова різниця його потенціалів). Якщо, наприклад, поверхня планети в кожній точці має той самий потенціал (тобто не має ніякого *рельєфу*), то протікання багатьох геологічних процесів неможливо.

4. Багато геологічних процесів вимагають *змін температури* – як ззовні планети, так і усе-

редині. Ззовні Земля нагрівається Сонцем. Звичайна зміна температури поверхні планети забезпечується її обертанням навколо своєї осі (що дає чергування дня й ночі), і обертанням її навколо центрального світила зірково-планетної системи (що зумовлює зміну пір року). Зміни температури усередині планети обумовлені гравітаційною диференціацією її надр, розпадом радіоактивних ізотопів і "приливним тертям" при наявності масивного супутника (або супутників). Зміна температури може змінювати фазовий стан речовин (тверде, рідке, газоподібне) на поверхні й у надрах планети.

5. Деякі геологічні процеси вимагають існування атмосфери у планети, тобто *існування речовин у газовій фазі*. Ця умова не завжди виконується, тому у безатмосферних планет та супутників багато знайомих нам природних процесів неможливі (наприклад, вітер) [17].

6. Багато геологічних процесів вимагають *існування речовин у рідкій фазі*. Найпоширеніша на поверхні Землі рідина – вода. Вона працює і як механічно діючий агент (течії, хвилі та ін.), і як розчинник. Різниця хімічних потенціалів між рідкими й твердими тілами запускає процеси хемогенного типу.

7. Особливістю протікання геологічних процесів на Землі є *наявність життя*. Це приводить до появи різноманітних взаємодій між живими організмами, їх відмерлими залишками й геологічними тілами [7-9]. Завдяки цьому розмаїття й геологічних процесів, і їх результатів зростає.

8. Важливою умовою протікання геологічних процесів є наявність *достатнього часу* для організації самого геологічного процесу й формування його результатів. Ця умова завжди мається на увазі, але не завжди усвідомлюється й формулюється [14].

Звичайно геологічні процеси поділяють на дві великі групи за областями їх проявлення – *екзогенні* (відбуваються на поверхні планети й використовують енергію Сонця) і *ендогенні* (відбуваються в надрах планети й використовують її внутрішні джерела енергії) [2, 6, 10]. Цей поділ не є строгим. Деякі екзогенні процеси, почавшись на поверхні, продовжуються на глибині (наприклад, просочування поверхневих вод під землю). Деякі ендогенні процеси мають "поверхнєве закінчення" (наприклад, вилив лави).

Типізація геологічних процесів була проведена автором на основі аналізу результатів цих процесів – складів, структур і форм геологічних тіл [4]. Структури породних тіл і формаційних покладів виявилися генетичними – неповторними в тілах різного генезису, й тому – індикаторними. Тому надалі буде використовуватися гру-

пування в 5 відомих типів геологічних процесів – *теригенні, органогенні, магматичні, метаморфічні, хемогенно-метасоматичні*. Вони стосуються утворення тіл усіх геологічних рангів.

Ще в XIX ст. встановлено, що геологічні процеси при всій їхній різноманітності мають спільні риси. По визначенню геологічні процеси зводяться до перетворень одних геологічних тіл в інші. Будь-яке таке перетворення включає наступні стадії [12]:

- 1) *руйнування* вихідного субстрату;
- 2) *перегрупування (рекомбінації)* утворених фрагментів;
- 3) *конструювання* з них нових об'єктів (геологічних тіл) шляхом з'єднання розрізнених фрагментів новими структурними зв'язками.

Ці три стадії зручно використовувати для опису самих процесів, порівняння їх між собою, виявлення їх відмінностей і подібності.

Множина геологічних тіл, що приймає участь у геологічних процесах, аналізувалося автором [4]. Була виявлена ієрархічна структура цієї множини, що складається із чотирьох рангів природних (різкісних) геологічних тіл, що послідовно ускладнюються. Показано, що кожний геологічний процес народжує на кожному з рангів тіла двох типів – новостворені й реліктові. Ці особливості також є спільними для всіх геологічних процесів, що зручно для їхнього опису й порівняння між собою.

Невирішена частина загальної проблеми.

Геологічні тіла належать до якого-небудь рангу загальної ієрархічної схеми – мінерального, породного, формаційного або оболонкового [4]. Тому й ті тіла, які руйнуються в ході процесу, і ті тіла, які утворюються у результаті руйнування – також відносяться до тих або інших рангів. Рангові можливості перетворень геологічних тіл геологічними процесами дотепер не аналізувалися.

Мета статті – проаналізувати перетворювальні можливості геологічних процесів з погляду тих об'єктів, які надходять у той або інший геологічний процес, перетворюються в ньому й формують кінцевий результат даного процесу.

Методи дослідження. Робота проведена методом порівняльного аналізу. Підґрунтям аналізу були ранги геологічних тіл – мінеральних індивідів, породних тіл, формаційних покладів, планетарних оболонок і сегментів. В аналіз включені також негеологічні ранги об'єктів (молекулярний і атомарний), оскільки вони теж беруть участь у геологічних процесах.

Усе різноманіття геологічних процесів групувалося в типи по механізмах їх протікання й за одержуваними результатами [5]:

- теригенні процеси відбуваються під впли-

вом рельєфу й клімату місцевості, утворюючи шари й уламки;

- органогенні процеси відбуваються завдяки життєдіяльності організмів і утворюють різноманітні органогенні й біореліктові тіла;

- метаморфічні процеси відбуваються в результаті твердотільних деформацій і утворюють тіла метаморфітів і реліктові блоки й лінзи;

- магматичні й криогенні процеси відбуваються завдяки плавленню й наступної кристалізації розплавів, утворюючи тіла із кристалізаційними структурами й тугоплавкі реліктові ксеноліти;

- хемогенні й метасоматичні процеси відбуваються завдяки взаємодії розчинів з навколишніми твердими тілами; вони утворюють різні апосомі й релікти заміщення/розчинення (резистери) [11].

Геологічні процеси мають стадійність і різноманітність проявів, а їх результати – зональність. Тому одиничні процеси об'єднані в *групи* за умовами прояву. Наприклад, усі елементарні процеси наміву річкових кіс, ерозії берегів, перекочування валунів були об'єднані в групу алювіальних процесів – по спільності природних умов прояву (діяльність ріки). До складу кожного типу процесів включалися кілька груп подібних, але різних процесів, що відрізняються місцем, умовами протікання й результатами своєї дії.

Комбінації тіл різних рангів на різних стадіях процесу зображувалися у вигляді схеми, що є своєрідною *матрицею процесу* (рис. 1). Хрестиками позначена рангова приналежність тіл, які:

- руйнуються в ході процесу (у даному прикладі – вихідні формаційні поклади, породні тіла й мінеральні індивіди);

- рекомбінуються в ході процесу (мінеральні індивіди й породні тіла; молекули й радикали не зачіпаються);

- створюються нові породні тіла й формаційні поклади.

На стадії руйнування утворюються реліктові тіла, які й беруть участь у процесі на стадії рекомбінації. З них на стадії створення формуються новостворені тіла різних рангів.

Складання матриць окремих процесів дозволяє перейти до аналізу їх сукупності в межах типу. Після цього порівнюються перетворювальні можливості типів процесів між собою. Такий аналіз дозволить робити висновки про їхні можливості – зокрема, можливості рудоутворення.

З одержанням порівняльної характеристики перетворювальних можливостей геологічних тіл різними типами геологічних процесів ціль статті вважається досягнутою.

Основні результати дослідження. Спочатку розглядалися перетворювальні можливості

кожного геологічного процесу окремо.

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный	+		+
Породный	+	+	+
Минеральный	+	+	
Молекулярный			
Атомарный			

Рис. 1. Приклад матриці геологічного процесу / Fig. 1. Example of the matrix of the geological process

Теригенні процеси на поверхні Землі досить різноманітні. Усі вони протікають на тих або інших формах рельєфу в тому або іншому кліматі. Їхня геологічна діяльність додатково обумовлюється комбінаціями граничних умов, які описані раніше. Матриці теригенних процесів представлені на рис. 2.

Процес фізичного вивітрювання. *Руйнування* зазнають більш давні породні тіла й складені ними формаційні поклади будь-якого походження – шаруваті, магматичні та ін. Це породжує гострокутні породні *уламки* різного розміру (брили, щебені, жорству). Можуть викришуватися окремі мінеральні індивіди вихідних порід, що утворюють теригенні *зерна*. *Рекомбінація* уламків і зерен відбувається провалюванням більш дрібних уламків у проміжки між більшими без обкочування й сортування. *Створюється* елювіальний формаційний поклад, складений необкатаними й несорттованими уламками, між якими розташовуються гнізда піску, складені мінеральними зернами. Нові мінерали тут не утворюються – руйнуються й рекомбінуються вже ті, що існували раніше.

Кріотурбаційні процеси *руйнують* формаційні поклади й породні тіла більш давнього віку. Можуть також дробитися мінеральні індивіди. *Рекомбінація* уламкового матеріалу відбувається локально, під дією виморожування й кріотурбацій. У цьому беруть участь породні тіла (шари й уламки), а також утворені зерна. *Створюється* поверхневий формаційний поклад товщиною в перші метри, складений теригенними породами й уламками зі структурою морозних (криогенних) внутрішньшарових деформацій і виморожування (уламки частково відокремлюються від дрібнозему). Нові мінеральні види тут не синтезуються – тільки руйнуються мінеральні індивіди, що утворювалися раніше.

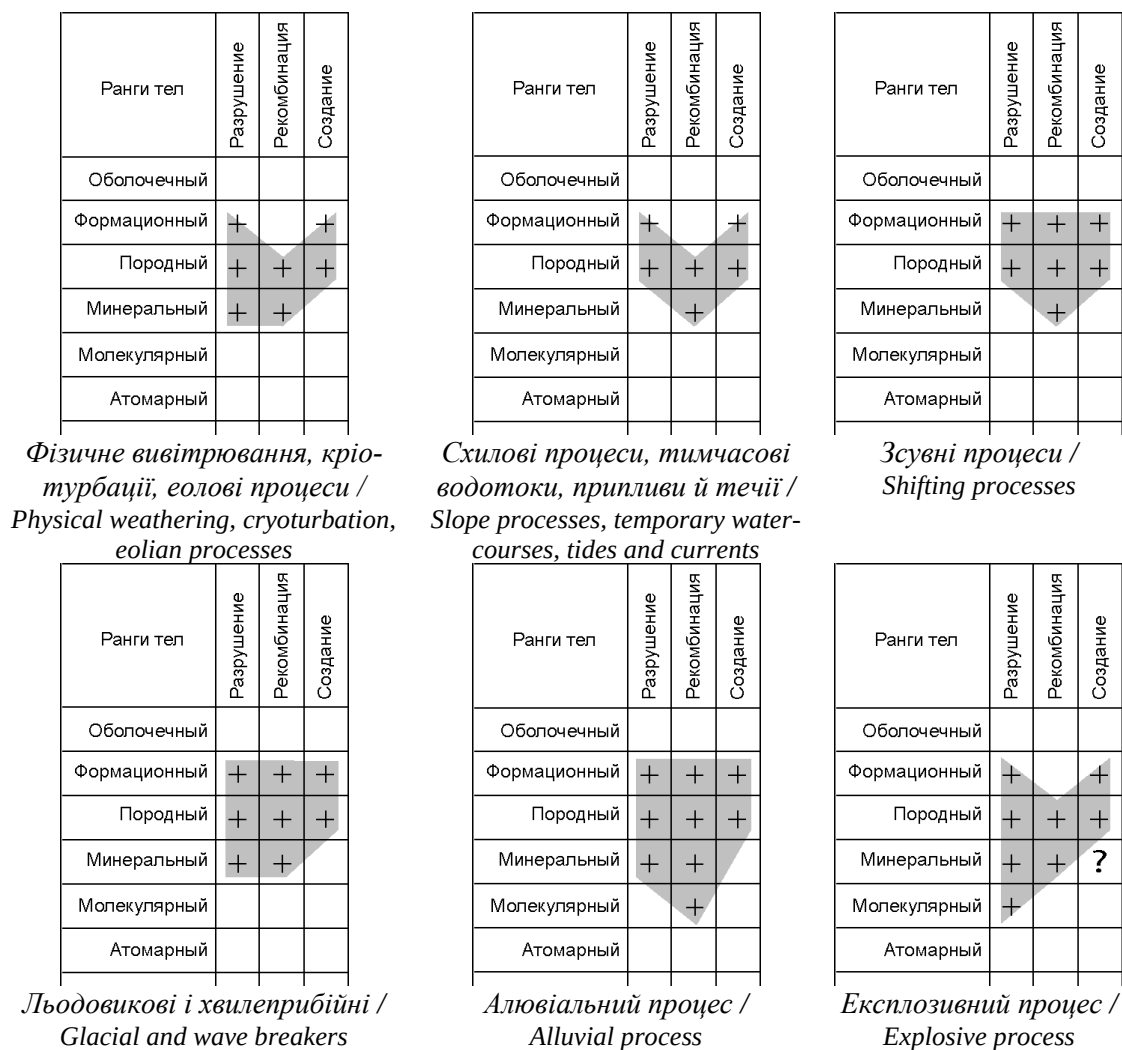


Рис. 2. Зіставлення матриць теригенних процесів / Fig. 2. Comparison of matrices of terrigenous processes

Еолові процеси. Тут руйнування вихідних породних тіл, формаційних покладів і частково мінеральних індивідів, *рекомбінація* уламків і зерен (перенос й сортування) і їх *відкладання* проявляються одночасно, але в різних місцях. Нові формаційні поклади мають зональність будови в напрямку переносу зерен. Кам'янисті пустелі – це область дефляції, джерело еолового матеріалу. По напрямку дефляції вони змінюються піщаними морями, а лесові покриви завершують загальну зональність еолового формаційного покладу. Зміна вітрів зумовлює слойчастість еолових породних тіл – барханів, дюн, лесових покривів.

Вулканогенно-уламковий процес трохи відрізняється від еолового. *Руйнуванню* в ході процесу газами, що розширюються, в основному зазнає тіло розплаву. У ньому можуть бути присутніми або відсутніми кристалокласти. Виверження руйнує більш давні породні тіла й формаційні поклади з утворенням літокластів. Їхня *рекомбінація* (перенесення, сортування) відбувається в повітрі під час польоту. *Створюються*

верстви туфів, які разом з уламками лави й літокластами утворюють новий формаційний поклад. Цей поклад виражений в рельєфі як вулканічна сопка (шлаковий конус). Чи вважати вітрокласти новоствореними мінеральними індивідами – питання поки що відкрите.

Колювіальний процес руйнує більш давні формаційні поклади й породні тіла, формуючи уламки й у незначній кількості – мінеральні зерна. *Рекомбінація* отриманого теригенного матеріалу відбувається швидко – у ході обвалювання або осипання. Сортування або обкочування уламкового матеріалу в ході процесу не відбувається через малий час його протікання. У результаті *створюється* новий колювіальний формаційний поклад, що має форму неправильного одиничного конуса або призми з таких об'єднаних конусів у основі схилу. Поклад має неясну, положисто нахилу (до підшви схилу) шаруватість, зональну будову, і досягає товщини в десятки метрів.

Процеси схилового крипу. Цими процесами *руйнуються* вихідні породні тіла й формаційні поклади з утворенням реліктових тіл – уламків і

мінеральних зерен. При сповзанні по схилу вони *рекомбінуються* (переносяться, частково сортується, поєднуючись із утворенням нових породних текстур). В основі схилів *створюються* нові породні тіла, поєднані в новостворені формаційні поклади (десерпцію, дефлюксію, соліфлюксію), що складаються із новостворених зернистих шарів і реліктових уламків. Через редукованість хемогенного впливу води в ході даних процесів нові мінеральні індивіди не утворюються.

Зсувні процеси провадять *руйнування* вихідних породних тіл і формаційних покладів з утворенням реліктових тіл – ерозійних відокремлень, уламків і мінеральних зерен. У ході оповзання по схилу вони *рекомбінуються* (переносяться, деформуються, дробляться, перемішуються). У основі схилів *формуються* новостворені формаційні поклади (деляпсія на суші й флишевої формації в морських умовах). Деляпсії складається переважно з реліктових уламків породних тіл, сформованих з формаційних покладів, які руйнуються. Новостворені породні тіла оточують і цементують їх. У флишевій формації, навпаки, реліктові уламки займають підлегле положення, основний об'єм формації складений новоствореними зональними породними тілами – ритмами.

Екзарацийно-моренні процеси охоплюють трохи більший інтервал рангів, ніж попередні. Це пов'язане з великою масою льодовика, здатного руйнувати великі скелі. Льодовикова екзарация *руйнує* давні формаційні поклади й породні тіла з утворенням ерозійних відокремлень, породних уламків і мінеральних зерен. *Рекомбінація* цих фрагментів відбувається в рухомих моренах. У ході руху уламки обкочуються, дряпаються й дробляться до окремих мінеральних зерен. Сортування уламків за розміром не відбувається. *Відкладення* мореного матеріалу пов'язане з таненням льодовика. Відсутність сортування успадковується й на етапі відкладення морен – це не сортовані суміші уламків різного розміру. Мінеральні індивіди в даному формаційному покладі рідко утворюють самостійні шари, частіше цементуючи більші уламки й розсіюючись між ними.

Флювіогляціальний процес. *Руйнування* й розмиву зазнають більш давні породні тіла (льодовикові валуни й інші уламки) і складені ними льодовикові (моренні) формаційні поклади. Обкочування уламків супроводжується їхнім стиранням у потоках і відщипленням мінеральних зерен. *Рекомбінація* утворених уламків і зерен відбувається у водних потоках. Це супроводжується сортуванням їх по розмірах. Глинистий матеріал виноситься за межі льодовикової області – як мінімум у прильодовикові підпрудні озера, а у випадку зандрових полів – за їхні межі.

Відкладання уламкового матеріалу формує нові породні тіла шарів (пісків, алевритів та ін.). Спільно вони утворюють нові шаруваті формаційні поклади – озові, озово-зандрові, озерно-льодовикові.

Делювіальний процес *руйнує* більш давні формаційні поклади й породні тіла – до окремих мінеральних зерен. Мінеральні індивіди вихідних порід у ході обмеженого схилом процесу зруйнуватися не встигають. *Рекомбінація* зерен відбувається в ході недалекого переносу вниз по схилу. Тому сортування матеріалу незначне, а обкочування уламків практично не спостерігається. *Відкладення* уламкового матеріалу формує делювіальний шлейф – самостійний делювіальний формаційний поклад грубо призматичної форми й невеликої товщини. Він складений шарами зернистих порід із включеннями породних уламків (жорстви, щебенів), і закриває підніжжя делювіальних схилів.

Пролювіальний процес у ході глибинної й назадної ерозії *руйнує* більш давні формаційні поклади й породні тіла, але це майже не зачіпає мінеральні індивіди. Для їхнього руйнування енергії потоків недостатньо. *Переносяться* уламки гірських порід (до брил і валунів) і мінеральні зерна. *Створення* нових геологічних об'єктів відбувається в конусах виносу ("сухих дельтах"). Із зерен утворюються нові породні тіла (шари), які разом з уламками складають новий формаційний поклад – або одиничний пролювіальний конус виносу, або серію конусів, що злилися воедино, з утворенням нової моласової формації.

Алювіальний процес *руйнує* більш давні формаційні поклади, породні тіла й мінеральні індивіди. *Рекомбінація* фрагментів відбувається в ході їх потокового переносу у вигляді ерозійних відокремлень формаційних покладів (великих валунів), породних уламків (валунів, гальки, гравію та ін.) і мінеральних зерен. Слід урахувати й перенос речовин у розчиненому (молекулярно-іонному) стані. *Створюються* нові шари і нові формаційні поклади (алювіальні), що мають фаціальну зональність (руслів, заплавні, старичні й ін. фації). Утворення нових мінеральних індивідів з розчинів – це вже не алювіальний, а хемогенний процес, для якого діяльність рік створює вихідні передумови.

Хвилеприбійними процесами *руйнуються* формаційні поклади корінних порід, більш давні породні тіла з утворенням уламків. Руйнування й уламків, і мінеральних індивідів відбувається в зоні прибережної абразії (обкочування, стирання). Енергії хвилеприбійної діяльності досить для часткового руйнування й обкочування мінеральних зерен. *Рекомбінація* мінеральних інди-

відів, породних тіл (зокрема, органічних залишків) і ерозійних відокремлень відбувається в ході їх перенесення (уздовж і впоперек берега) і сортування за розміром. Створення нових об'єктів представлено відкладанням нових шарів, які в сукупності з уламками утворюють шаруваті зональні формаційні поклади.

Ваттові (припливно-відпливні) процеси впливають на перерозподіл морських осадків на літоралі, у затоках і на вершинах підводних підняттях. Руйнуванню завдяки припливам і відливам зазнають формаційні поклади корінних порід і хвилеприбійних наносів, а також більш давні породні тіла з утворенням уламків і зерен. Руйнування мінеральних індивідів під дією припливно-відпливних течій малоімовірно через їхню низьку енергійність. *Рекомбінація* мінеральних індивідів (зерен) і породних тіл (звичайно дрібного гравію й органічних залишків) відбувається в каналах міграції при переносі й сортуванні за розміром. Створення нових об'єктів представлено новими шарами й шаруватими формаційними покладами, що відкладаються у прибережних літоральних умовах. Нові мінеральні індивіди тут не утворюються.

Глибоководно-намівні процеси відбуваються під дією придонних течій на тих глибинах

Світового океану, де хвилеприбійна або припливно-відпливна діяльність уже не впливає на донні осадки. Руйнуванню в ході діяльності течій можуть зазнати формаційні поклади корінних порід, більш давні породні тіла (зокрема, шари або органігенні залишки). Руйнування мінеральних індивідів у ході донної абразії тут малоімовірно через низьку енергійність донних течій. *Рекомбінація* мінеральних індивідів і породних тіл (частіше органічних залишків, а також продуктів льодового розносу) відбувається шляхом їхнього переносу течіями й попутним сортуванням уламкового матеріалу за розміром. Створення нових об'єктів презентовано новими шарами й шаруватими формаційними покладами, що мають поширення на значних площах Світового океану. Вони можуть формувати підводно-намівні хребти й височини товщиною в сотні метрів - перші кілометри й довжиною в тисячі кілометрів. Таких великих намівів на суші не спостерігається.

Органогенні процеси можливі тільки за умови існування живих організмів. Ці процеси відбуваються в полі тяжіння планети, при обов'язковій участі атмосфери й води, а також під регулюючим впливом змін температури. Матриці органогенних процесів представлені на рис. 3.

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный			
Породный	+		+
Минеральный	+	+	+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Діяльність
грунтових організмів /
Activity soil organisms

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный			+
Породный	+		+
Минеральный	+		+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Діяльність боліт /
Activity of bogs

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный			
Породный			+
Минеральный			+
Молекулярный		+	+
Атомарный		+	

Діяльність
планктону і нектону /
Activity of plankton
and nekton

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			+
Формационный	+		+
Породный	+		+
Минеральный	+	+	+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Діяльність бентосу /
Benthos activity

Рис. 3. Матриці органогенних процесів / Fig. 3. Matrices of organogenic processes

Процеси ґрунтоутворення руйнують материнські породи й деякі мінеральні індивіди, частково розчиняючи деякі з них (біогенне вивітрювання). *Рекомбінація* матеріалу відбувається в іонній і молекулярній розчинній формі й часто усередині організмів. Біотурбаціями можуть переміщатися й мінеральні індивіди. Створюються нові сполуки (органічні й неорганічні), з яких складається полікомпонентне тіло гумусу. Воно просочує теригенну матрицю материнської породи, охоплюючи усе нижчі горизонти. Гумус,

власне, і є органогенним утворенням – результатом діяльності бактерій. Для ґрунтів також характерний широкий розвиток супутніх хемогенних процесів.

Геологічна діяльність боліт. Наземні організми до поховання в болотах руйнують гірські породи, мінеральні індивіди й навіть розчиняють деякі з них біогенним вивітрюванням. Після відмирання й поховання організмів відбувається *рекомбінація* утвореного матеріалу під дією біохімічних процесів в іонній і молекулярній формі.

Створюються нові сполуки (органічні й неорганічні), синтезуються тіла мінералоїдів типу гумусу. Виникають породні тіла торфів або сапропелів, які можуть вважатися формаційними покладами органогенного походження завдяки бактеріальним процесам, хоча самі ці тіла складені лише відходами їхньої життєдіяльності.

Органогенно-уламкові процеси – результат життєдіяльності кістякових морських організмів (бентосу, планктону і нектону). На відміну від багатьох інших процесів, *руйнівна діяльність* планктонних і нектонних організмів практично відсутня. *Рекомбінація* продуктів зводиться до вилучення з вод готових розчинених і зважених речовин і побудові з них своїх тіл і, зокрема, кістяків. Створюються нові сполуки (органічні й неорганічні), своєрідні біогенні мінеральні індивіди й з них – нові породні тіла (раковини, кістяки), нехай і мікроскопічні. Подальша доля цих породних тіл після смерті організмів визначається або теригенними процесами осадконакопичення, або хомогенними процесами діагенезу. Органогенні уламки кістяків та раковин склада-

ють формаційні поклади вже теригенного походження.

Рифоутворюючі процеси – результат життєдіяльності бентосних кістякових морських організмів. *Руйнівна* роль бентосу в цілому невелика, обмежуючись невеликим горизонтом біотурбації й поверхневим висвердлюванням ходів у твердих предметах. *Рекомбінація* ж матеріалу не обмежується переміщенням піщин, а охоплює молекулярний і атомно-іонний рівні. З розчинених речовин бентосні організми *створюють* усі типи геологічних тіл – від мінеральних індивідів до планетарних сегментів (органогенних смуг), причому впродовж всієї геологічної історії Землі.

Метаморфічні процеси Землі настільки поширені, що можуть вважатися домінуючими. Майже вся мантія Землі, що займає більш 83 % її об'єму – це метаморфічна оболонка. І земна кора більш ніж на 2/3 складається з метаморфічних утворень. Матриці метаморфічних процесів відбивають їхню різну поширеність, енергетику й особливості проявлення в умовах сучасної Землі (рис. 4).

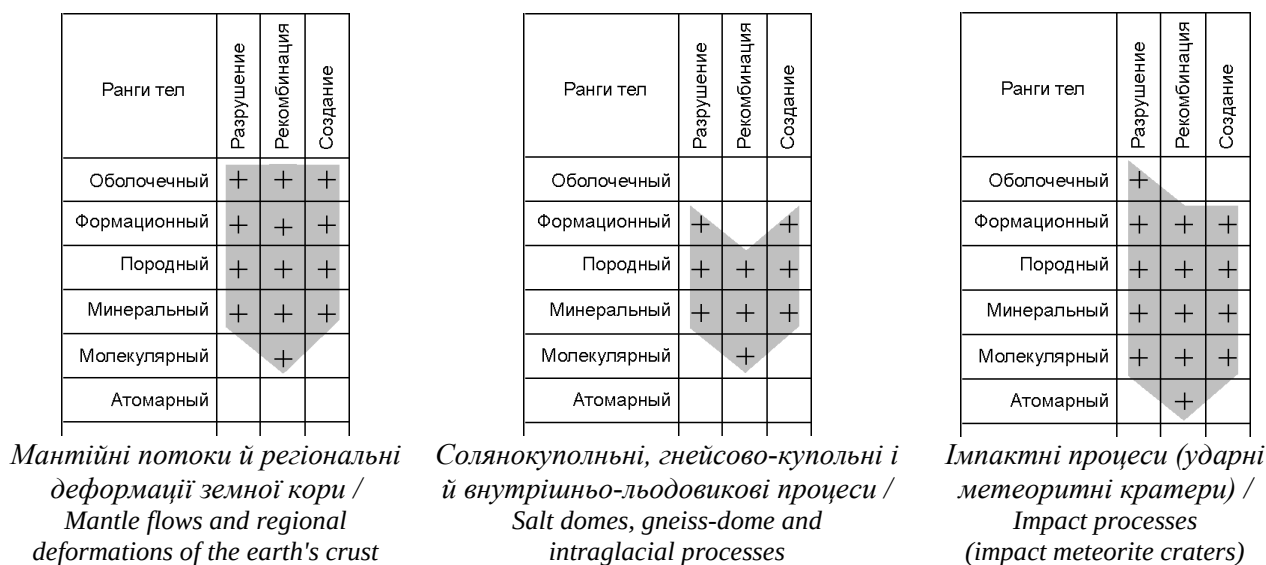


Рис. 4. Зіставлення матриць метаморфічних процесів /

Fig. 4. Comparison of matrices of metamorphic processes

Метаморфічні процеси є теплогенераторами – глобальними, регіональними або локальними. Температурний режим накладає обмеження на метаморфічні процеси. Вони можливі тільки в тих температурних межах, у яких природне середовище *залишається у твердому стані* – не плавиться. Зрозуміло, для різних природних речовин ці температурні обмеження будуть різними.

Мантіїні потоки глобальні по своїх масштабах, вони охоплюють глибини від поверхні планети до поверхні земного ядра. *Руйнування* мантійними потоками зазнають цілі оболонки й

сегменти планети – континентальні фундаменти, осадовий чохол і океанічні плити. Основа руху – твердотільні потоки, що відбуваються шляхом стресової перекристалізації мінеральних індивідів, тобто шляхом розриву й відновлення зв'язків їхніх кристалічних ґраток. *Рекомбінація* утворених фрагментів відбувається як на мікрорівні радикалів і іонів, так і на рівні планетарних сегментів. У результаті *створюється* широкий спектр геологічних новостворених тіл – від мінеральних індивідів до нових мантійних метаморфічних формаційних покладів, що потребують подальшого вивчення.

Регіональні динамометаморфічні процеси також є глобальними. *Руйнування* регіональними деформаціями земної кори зазнають як цілі оболонки й сегменти планети (континентальні фундаменти, осадовий чохол, острівні дуги, океанічні плити), так і окремі мінеральні індивіди (при стресовій перекристалізації з розривом зв'язків їх кристалічних ґраток). *Рекомбінація* утворених фрагментів відбувається як на мікрорівні радикалів і іонів, так і на рівні великих серединних масивів – реліктових тіл більш давніх складчастих областей. *Створюється* широкий спектр геологічних нових тіл – від мінеральних індивідів (кристалобластів) до формаційних покладів складчастих областей і кристалічних фундаментів континентів (планетарних сегментів).

Солянокупольні процеси локальні. У ході формування діапіру *руйнуються* вихідні осадові формаційні поклади – групи соленосних шарів. Породні тіла (шари) починають текти, стаючи більш молодими метаморфічними породами. Вихідні зерна руйнуються до рівня радикалів, перекристалізуючись у новостворені кристалоласти. *Рекомбінуються* як мінеральні індивіди, так і породні тіла. *Створюються* нові мінеральні індивіди, метаморфічні соляні породні тіла й у цілому – новостворений формаційний поклад – соляний діапір. По структурних співвідношеннях з навколишніми тілами такі соляні породи є набагато молодшими за віком метаморфічними утвореннями (аж до сучасних).

Гнейсово-купольні процеси *руйнують* вихідні осадові, метаморфічні й більш давні магматичні формаційні поклади. Їхні породні тіла пластично деформуються при спливанні, стаючи молодшими метаморфічними породами. Вихідні зерна руйнуються з утворенням новостворених кристалобластів. *Рекомбінуються* як мінеральні індивіди, так і породні тіла (тектонічні лінзи). *Створюються* нові мінеральні індивіди, метаморфічні тіла гнейсів і сланців і в цілому – гнейсовий купол, новостворений формаційний поклад. По структурних співвідношеннях з навколишніми синкліналями гнейси є метаморфічними утвореннями, синхронними за віком із зеленими сланцями.

Внутрішньольодовикові процеси відбуваються в льодових породах при негативних температурах. При формуванні льодовиків *руйнуються* вихідні парагенезиси шарів снігу, фірну, фірнового льоду. Їхні породні тіла пластично деформуються під тиском, стаючи більш молодим метаморфічним глетчерним льодом. Вихідні кристали руйнуються з утворенням новостворених кристалобластів. *Рекомбінуються* як окремі молекули води, так і мінеральні індивіди й породні тіла (льоду й уламків гірських порід). *Ство-*

рюються нові кристалоласти, метаморфічні тіла глетчерного льоду й у цілому – новостворені формаційні поклади (льодовики). Їхні розміри можуть досягати розмірів материка. Глетчерний лід є сучасною метаморфічною гірською породою по всіх своїх властивостях.

Імпактні процеси також локальні, але високо енергійні, оскільки протікають на космічних швидкостях [16]. Вони є основним процесом утворення планет. При цьому *руйнування* зазнають не тільки великі формаційні поклади й породні тіла. Можливо й часткове руйнування осадового чохла. При вибуху розриваються також хімічні зв'язки молекул з утворенням перегрітої плазми. *Рекомбінація* матеріалу відбувається шляхом миттєвої витрати плазми на синтез нових високобаричних, у тому числі рідкісних мінералів, і виникненням значних об'ємів розплавів. Відбувається масове перемішування уламків, у тому числі великих тектонічних блоків формаційного складу. Впродовж секунд *створюються* нові мінеральні індивіди, скло, новостворені й реліктові породні тіла (уламки) і новий ударно-метаморфічний формаційний поклад.

Магматичні й криогенні процеси – результат впливу теплового поля Землі на тверді гірські породи, при якому вони починають плавитися, а згодом, при втраті тепла – кристалізуватися. Тому ці процеси можна назвати *кристалізаційними*. Процеси плавлення відбуваються в межах "кам'яних ядер" Землі й інших планет. Саме "кам'яне ядро" планети, будучи твердим тілом, у принципі здатне до плавлення – переходу в рідку фазу. Руйнування вихідного субстрату (до стану рідин) відбите в матрицях кристалізаційних процесів (рис. 5).

Вулкано-плутонічні процеси здатні *руйнувати* плавленням до появи рідин не тільки мінеральні індивіди, але й цілі сегменти планети (океанічні плити). В ході міграції розплавів до поверхні *рекомбінуються* як окремі атоми й іони, так і ксеногенні мінеральні індивіди й породні тіла ксенолітів. *Створюються* з розплавів нові склуваті тіла, мінеральні індивіди (магматогенні кристали), новостворені породні тіла (магматоліти – дайки, продукти диференціації в інтрузивах та ін.), формаційні поклади (вулкано-плутонічні споруди) і нові магматогенні сегменти планети (океанічні плити, вулканічні пояси й ареали, вогненні траси). Вулкано-плутонічні процеси глобальні й створюють нові тіла всіх рангів.

Криогенні процеси відбуваються в криолітозоні планети. У ході криогенних процесів *руйнуються* формаційні поклади (льодовики) і більш дрібні тіла льоду аж до формування потах вод – молекулярних рідин. *Рекомбінація* (пе-

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный	+		+
Формационный	+		+
Породный	+	+	+
Минеральный	+	+	+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Вулкано-плутонічні процеси / Volcanic-plutonic processes

Ранги тел	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			+
Формационный	+		+
Породный	+	+	+
Минеральный	+	+	+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Криогенні процеси / Cryogenic processes

Рис. 5. Зіставлення матриць кристалізаційних процесів /
Fig. 5. Comparison of matrices of crystallization processes

ренос) матеріалу відбувається водою з іонами, що знаходяться у ній, а також і скупченнями кристалів, і уламками льоду. У результаті криогенних процесів *формуються* нові мінеральні індивіди, породні тіла, формаційні поклади (крижані поля, багаторічні наледі, повторно-жилінні льоди та ін.). Криогенними процесами в умовах Землі формуються також особливі криогенні сегменти (парагенезиси льодових формаційних покладів), що займають обидві приполярні області. Відбувається обмін речовиною криогенних сегментів і навколишніх оболонок. Формування льодів зв'язує воду, танення знову її звільняє; води надходять у криолітозону, циркулюють у ній і частково залишають її. Процеси, що відбуваються в криолітозоні – сезонні, а тому швидкі й наочні.

Хемогенно-метасоматичні процеси формують результати взаємодії глобально розповсюджених підземних вод з навколишніми породами. Ця взаємодія відбувається шляхом розчинення, переносу розчиненого речовини і його відкладання [11]. Універсальною причиною відкладання є перенасичення розчину відносно даного компонента. Тому розділення хемогенних і метасоматичних процесів – просто данина традиції.

Різниця у температурах плавлення льодових і силікатних порід обумовлює співіснування в певному інтервалі температур льоду, що вже розплавився, і ще не розплавлених силікатів. Цьому температурному інтервалу й відповідають умови хемогенно-метасоматичних процесів (рис. 6).

Хімічне вивітрювання відбувається під дією ґрунтових вод. *Руйнування* ґрунтовими водами зазнають мінеральні індивіди, породні тіла й формаційні поклади вихідного субстрату. Руйнування доходить до формування нових радика-

лів і іонів, у формі яких і відбувається перенесення і *рекомбінація* отриманих продуктів. З них *створюються* нові колоїдні (аморфні) утворення, мінерали, гірські породи й формаційні поклади кір вивітрювання.

Карстові процеси відбуваються в місцевостях, складених карбонатними, сульфатними й іншими розчинними породами. Формування карсту відбувається під дією тих же факторів, що й кір вивітрювання. *Руйнування* карстовими водами зазнають вихідні мінеральні індивіди, породні тіла й формаційні поклади. Руйнування доходить до формування нових радикалів і іонів, у формі яких і відбувається перенос і *рекомбінація* отриманих продуктів розчинення. З них *створюються* нові аморфні утворення, мінеральні індивіди, новостворені й реліктові породні тіла, а також і формаційні поклади натічних печерних утворів.

Евапоритові процеси починаються з *руйнівної* роботи хімічного вивітрювання в басейнах водойм кінцевого стоку. З вихідного субстрату виносяться розчинні компоненти, що супроводжується розкладанням не тільки мінеральних індивідів, але й окремих радикалів. *Рекомбінація* й перенос продуктів розчинення відбувається у формі радикалів (в основному аніонів) і іонів (частіше це – катіони). З них при випаровуванні *створюються* нові розчинні сполуки, мінеральні індивіди, апосоми й резистери, які в сукупності утворюють хемогенні формаційні поклади.

Діагенетичні процеси є результатом хімічної взаємодії вод, похованих в осадах, з самими осадами. Це перетворює пухккі теригенні осади в щільні зцементовані гірські породи. Поховані в осадах води виносять розчинні компоненти, *руйнуючи* тією чи іншою мірою вихідні зерна, породні тіла й формаційні поклади, утворюючи нові сполуки. *Рекомбінація* й перерозподіл про-

дуктів розчинення відбувається у формі радикалів (в основному аніонів), іонів (катіонів) і молекул (частіше газів). З них у сприятливих умовах *створюються* нові нерозчинні колоїдні частки,

хемогенні мінеральні індивіди, апосоми й резистери, які в сукупності утворюють діагенетичні стратиформні формаційні поклади, що просочують осадовий чохол.

Ранги теп	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный	+		+
Породный	+		+
Минеральный	+		+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Екзогенні процеси (хімічне вивітрювання, карст, евапоритові процеси, діагенез / Exogenous processes (chemical weathering, karst, evaporite processes, diagenesis)

Ранги теп	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный	+		+
Породный	+		+
Минеральный	+		+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Перехідні процеси (катагенез) / Transitional processes (catagenesis)

Ранги теп	Разрушение	Рекомбинация	Создание
Оболочечный			
Формационный	+		+
Породный	+		+
Минеральный	+		+
Молекулярный	+	+	+
Атомарный		+	

Ендогенні процеси (гідротермальні – тектоногенні, плутоногенні і вулканогенні) / Endogenous processes (hydrothermal - tectonogenic, plutonogenic and volcanogenic)

Рис. 6. Зіставлення матриць хемогенно-метасоматичних процесів / Fig. 6. Comparison of matrices of chemogenic and metasomatic processes

Катагенетичні процеси охоплюють глибокі горизонти осадового чохла й розвинені глобально. В умовах підвищених температур і тисків напірні води частково *руйнують* теригенні шаруваті формаційні поклади й поховані в них органічні рештки, перетворюючи їх у релікти розчинення й заміщення. *Рекомбінація* й міграція речовин у ході катагенезу відбувається переважно у водорозчиненому стані – у вигляді молекул, радикалів і іонів. *Створюються* різнорангові новотвори – від аморфних компонентів вугілля і бітумів до повного заміщення глинистих формацій з утворенням стратиформних формаційних покладів.

Тектоногенні гідротермальні процеси охоплюють усю товщину земної кори в складчастих областях. Термальні води частково *руйнують* більш давні формаційні поклади, змінюючи їх породні й мінеральні тіла. *Рекомбінація* й міграція речовин у ході гідротермального процесу відбувається у водорозчиненому стані – у вигляді молекул, радикалів і іонів. *Створюються* різнорангові новотвори – приповерхні аморфні й колоїдні напливи, парагенезиси гідротермальних мінералів, які утворюють метасоматичні породні тіла, зонально побудовані вертикально-протяжні формаційні поклади (від мігматитових полів на нижніх горизонтах до відкладів термальних джерел на поверхні).

Плутоногенні гідротермальні процеси розвиваються в оточенні інтрузивних масивів. Відбувається часткове *руйнування* більш давніх фо-

рмаційних покладів із заміщенням і розчиненням їх породних і мінеральних тіл до окремих молекул, іонів і радикалів. Саме в такій формі й відбувається міграція й *рекомбінація* розчинених речовин у гідротермальних потоках. У результаті *створюються* різнорангові новотвори – мінеральні індивіди різних розмірів (від мікроскопічних у роговиках до гігантських у пегматитах), зонально побудовані метасоматичні породні тіла, великі формаційні поклади вертикального розвитку.

Вулканогенні гідротермальні процеси розвиваються в оточенні вулканоплутонічних споруд. Вони частково *руйнують* більш давні формаційні поклади із заміщенням деяких породних і мінеральних тіл і вилуговуванням з них окремих компонентів, які у вигляді молекул, іонів і радикалів переносяться й *рекомбінують* у гідротермальних потоках. На їхніх висхідних гілках *створюються* нові хімічні сполуки у вигляді колоїдів, мінеральних індивідів, гідротермальних породних тіл і великих зональних формаційних покладів.

Загальний характер хемогенно-метасоматичних процесів як процесів розчинення й перевідкладення розчиненого матеріалу робить їх уніфікованими. Порівняння їх матриць (рис. 6) показує, що вони однотипні. Це відноситься як до екзогенних процесів (хімічного вивітрювання, формування карсту й евапоритів), так і до ендогенних (гідротермальних).

Аналіз показує, що процеси катагенезу не

можуть бути віднесені повністю до екзогенних або ендегенних. Вони хімічно перетворюють результати екзогенного осадконакопичення, використовуючи ендегенне тепло й тиск. Катагенез є сполучною ланкою між екзогенними ("хемогенними") і ендегенними ("метасоматичними") процесами, маючи з ними всі поступові

переходи й поєднуючи їх у єдину систему. Матриця процесів катагенезу ідентична матрицям і екзогенних, і ендегенних процесів.

Порівняння перетворювальних можливостей процесів. Розглянувши їхні можливості окремо, ми можемо проаналізувати все їх різноманіття в цілому (таблиця 1).

Таблиця 1 / Table 1

Загальна типізація геологічних процесів / General typification of geological processes

Типи процесів	Загальні діючі фактори	Групи процесів
ТЕРИГЕННІ	зміни температури	фізичне вивітрювання
		кріотурбаційні
	вітер	еолові
		експлозивні
	схили рельєфу	колювіальні
		крипові
		зсувні
	льодовикове виорювання	екзараційно-моренні
	текучі води на суші	флювіогляціальні
		делювіальні
		пролювіальні
		алювіальні
хвилі акваторій	хвилеприбійні	
припливи й відливи	ваттові	
морські течії	глибоководно-намивні	
ОРГАНОГЕННІ	наземна рослинність	грунтоутворюючі
	заболочування	болотоутворюючі
	відмирання кістякових організмів	органогенно-уламкові
	утворення бентосних колоній	рифоутворюючі
МЕТАМОРФІЧНІ	мантійні потоки	мантійно-потокові (геодинамічні)
	регіональні деформації кори	регіональні динамометаморфічні
	локальні щільнісні інверсії	солянокупольні
		гнейсово-купольні
	льодовикові потоки	внутрішньо льодовикові
падіння метеоритів	кратерні (імпактні)	
КРИСТАЛІЗАЦІЙНІ	плавлення силікатних порід	вулканоплутонічні
	плавлення льоду	криогенні
ХЕМОГЕННО-МЕТАСОМАТИЧНІ	просочування атмосферних вод під землю	хімічне вивітрювання
		карстові
	випаровування вод	евапоритові
	поховання придонних вод	діагенетичні
	занурення водоносних товщ	катагенетичні
	деформації водоносних товщ	тектоногенно-гідротермальні
	інтрузії магми у водоносні товщі	плутоні-, вулканогенно-гідротермальні

Практично кожній групі процесів відповідає певний діючий фактор природного середовища. Наприклад, припливно-відпливні течії породжують ватти; діяльність колоніального бентосу – зростання рифів; падіння метеоритів – імпакті кратери, і т.п. Деякі фактори породжують кілька груп процесів – наприклад, вітер, схили рельєфу, поверхневі й ґрунтові води, та ін. Деякі групи

процесів, у свою чергу, вимагають декількох факторів одночасно (наприклад, вулканогенно-уламкові процеси – дії й вітру, і вулканічного виверження; глибоководно-навивні процеси вимагають і морських течій, і діяльності планктону, та ін.).

Теригенні процеси руйнують переважно формаційні поклади й породні тіла до уламків і

зерен. Деякі процеси здатні руйнувати тією чи іншою мірою й мінеральні зерна обкатуванням і стиранням. Руйнування вихідного субстрату до окремих молекул під силу тільки експлозивним процесам, але це пов'язане з їхнім магматичним початком.

Переміщення уламкового матеріалу відбувається переважно саме у вигляді уламків і зерен. Не усім теригенним процесам доступне переміщення великих ерозійних відокремлень – не вистачає енергії.

Незалежно від здатності теригенних процесів до руйнування й транспортування уламкового матеріалу, усі вони формують шари й шаруваті формації. Жоден з теригенних процесів не здатний самотійно утворити планетарну оболонку. Тільки усі разом вони формують стратисферу.

Загальним для всіх теригенних процесів є те, що при їхньому протіканні не утворюються нові мінеральні індивіди. Тільки руйнуються, переносяться, обкочуються й сортуються зерна із кристалів, сформованих ще при утворенні вихідних порід. Деяким виключенням виглядає алювіальний процес, оскільки в річковому переносі беруть участь і розчинені речовини. Але відкладання їх – це вже хомогенні процеси. Також особняком стоїть група експлозивних процесів, оскільки в ній руйнування вихідного субстрату доходить до молекулярного й навіть іонного рівня (до плавлення). Але в цьому випадку це руйнування відноситься не до теригенного, а до магматичного процесу. Експлозія є його побічним результатом, що формує шаруватий формаційний поклад (туфів). Приклади алювіального й експлозивного процесів указують нам на можливі й навіть обов'язкові *взаємодії процесів різного походження*.

Органогенні процеси можуть руйнувати або не руйнувати вихідний твердий субстрат. Це залежить від умов проживання організмів. Механічного руйнування й розчинення в ході біогенного вивітрювання зазнають породи під дією організмів-грунтоутворювачів, які зариваються, й свердлячого бентосу.

Переміщення утвореного пухкого мінерального матеріалу відбувається в процесі біотурбацій. Але більшість речовин у біосфері циркулює в розчиненому виді – у вигляді іонів і радикалів. Це свідчить про інтенсивність біогеохімічних процесів. Таку глибину перетворення забезпечує обов'язкова участь вод (розчинів) у біогенних процесах.

У результаті життєдіяльності організмів в обов'язковому порядку утворюються нові речовини (органічні й неорганічні). На суші з них утворюються не мінеральні індивіди, а аморфні тіла мінералоїдів (зокрема, гумусові). Їхні пара-

генезиси можуть формувати породні тіла аморфного складу (грунти) і навіть формаційні поклади торфовищ. Але слід особливо підкреслити, що ці сухопутні органогенні утворення формуються тільки *після смерті* вихідних рослинних організмів за рахунок життєдіяльності (в остаточному підсумку) бактерій. І для самих бактерій ці тіла мінералоїдів є "відходами" життєдіяльності, а не складовими частинами їх організмів. Біогенний круговорот викидає їх у навколишнє геологічне середовище, де вони стають субстратом для подальших інтенсивних хомогенних процесів (зокрема, формування вугілля).

У товщі води й на морському дні характер утворювальної діяльності організмів інший. У них утворюються справжні біогенні мінеральні індивіди – нехай дрібні, але утворюючі парагенези; формуються породні тіла (кістякові залишки, "органомінеральні агрегати", по [7]). На цьому процес ускладнення біогенних геологічних об'єктів може й завершуватися, як у планктоні. Але бентосні організми можуть формувати й набагато більш складні геологічні об'єкти – аж до планетарних сегментів (біогенні смуги, складені зрослими органогенними спорудами). Жоден теригенний процес на це не здатний. Таким чином, глибина переробки вихідного субстрату, швидкість круговороту речовин і рангові результати органогенних процесів у цілому перевершують теригенні.

Щодо результатів органогенних процесів слід також зазначити наступне. Неважко бачити, що, наприклад, діяльність бентосу по створенню геологічних об'єктів можлива тоді й тільки тоді, коли самі *організми живі*. Після їхньої смерті починається руйнування і їх кістяків, і навіть великих органогенних споруд. Тому ті геологічні результати, які ми отримуємо від органогенних процесів, автоматично діляться на:

- *утвори смерті*, які формуються на суші й частково в морі; вони утворюються по органічних залишках якими-небудь більш пізніми "накладеними" процесами – найчастіше не органогенними;

- *утвори життя*, винятково морського походження; вони утворюються самим організмами в ході їхньої життєдіяльності.

У морі планктонне породоутворення, при всьому його найширшому розповсюдженні й інтенсивності біогенного кругообігу, має настільки дрібні результати (мінеральні кістяки мікроорганізмів), що їх майже не видно неозброєним оком. І тільки *після їхньої смерті* відбувається накопичення цих реліктів на морському дні у вигляді органогенно-уламкових формаційних покладів – але вже теригенного генезису. Це ж стосується й усіх вапняків-черепашників, на-

митих хвилями. Так мінеральна речовина, створена біосферою, з неї виходить і відкладається в стратисфері – і зараз, і в минулому.

Тому до *утворів життя*, тобто властиво до органогенних ("організмом народжених"), можна віднести тільки органогенні споруди (на рівні формаційних покладів) і біогенні смуги (на рівні планетарних оболонок і сегментів).

Метаморфічні процеси здатні руйнувати вихідні формаційні поклади, породні тіла й мінеральні індивіди. Імпактні процеси також здатні викликати появу недовговічних розплавів, руйнуючи тверді тіла до іонів і радикалів.

Рекомбінація фрагментів субстрату відбувається на рівні швидкоплинної виникаючої "твердотільної плазми" з роз'єднаних радикалів і молекул [13, 15]. Це породжує численні механохімічні реакції. Переміщення матеріалу охоплює також кристалокласти й тектонічні лінзи, а також в окремих випадках тектонічні блоки й навіть цілі планетарні сегменти (мантійні потоки). Перегрупування зруйнованих фрагментів відбувається в різних масштабах часу. Практично миттєво (за частки секунди) перегрупуються активізовані радикали. Рухи мантійних потоків тривають десятками - сотнями мільйонів років.

Утворювальна робота метаморфічних процесів масштабна. Утворюються тіла від кристалобластів до формаційних покладів. Мантійні потоки й регіональні деформації кори здатні формувати також планетарні оболонки й сегменти.

Метаморфічні процеси виявляються визначальними для виникнення й еволюції планет. Завдяки метеоритному бомбардуванню планета утворюється й росте, завдяки метаморфічним потокам вона розділяється на оболонки й сегменти. Їхнє формування генерує основний тепловий потік Землі й структурує надра планети. Інші геологічні процеси запускаються, використовуючи результати метаморфічних процесів – тепло, що генерується, формування рельєфу, дегазацію, відділення води від "кам'яного ядра" і ін. Генерація тепла метаморфічними процесами в багатьох випадках є настільки надлишковою, що породжує плавлення порід, тобто магматизм.

Кристалізаційні (магматичні та криогенні) процеси в силу своєї специфіки фазових переходів досить однорідні. Вони в ході плавлення руйнують вихідний субстрат – від мінеральних індивідів та утворених при цьому молекул аж до цілих планетарних оболонок і сегментів. Значно деструктуються й плавляться океанічні плити, що поринають у мантію; можливе також повне руйнування криолітозон.

Переміщення розплавів можуть захоплювати ксенокристали, ксеноліти й ксенолітні блоки, переносючи їх із глибин до поверхні. Можливі й

переміщення залізистих нижньомантійних розплавів униз, до земного ядра, що виводить такі магматичні процеси за межі сьогоденних можливостей спостереження.

Кристалізація розплавів може породжувати нові аморфні речовини, магматогенні й льодові кристали, магматоліти й льодові жили, вулканоплутонічні споруди й гідролаколіти. У сукупності вони можуть утворювати нові планетарні сегменти – вулканоплутонічні пояси, океанічні плити, криолітозони. Можливо, що і ядро Землі сформоване цими ж процесами.

Кристалізаційні процеси переробляють вихідний субстрат глибше, чим метаморфічні – аж до рівня атомів і іонів. По цьому параметру з метаморфічних процесів з ними може зрівнятися тільки утворення ударних кратерів, оскільки в них також ненадовго виникають розплави (з утворенням тагамітів). Перенос матеріалу в процесах плавлення здійснюється переважно у вигляді рідин і рідше – окремими кристалами й/або у вигляді породних тіл (магматичних ксенолітів і їх криогенних аналогів).

Матриці вулканоплутонічних і криогенних процесів досить подібні, незважаючи на вкрай різні умови їх прояву. Відмінності зводяться до неможливості криогенних процесів руйнувати цілі сегменти планети. Але це – тільки особливість *сучасної* геологічної епохи Землі, що переживає льодовиковий період. На Землі були цілі геологічні періоди (наприклад, з юри по палеоген), коли льодів на Землі зовсім або майже зовсім не було – криолітозони руйнувалися.

Хемогенно-метасоматичні процеси при всій їхній різноманітності мають однорідну рангову характеристику. Це пов'язане зі специфікою міжфазної хімічної взаємодії. Масштаби прояву хімічних процесів у надрах дозволяють руйнувати (з повним або частковим розчиненням) мінеральні індивіди, породні тіла й формаційні поклади.

Перенесення матеріалу здійснюється тільки в розчиненому стані – в іонно-радикальній (атомно-молекулярній) формі. Хемогенно-метасоматичні процеси зв'язують між собою екзогенні й ендегенні процеси, продовжуючись як з поверхні на глибину, так і із глибин до поверхні. Вони також беруть участь у регулюванні теплового балансу Землі.

З розчинів утворюються нові мінеральні індивіди, породні тіла (апосомі) і формаційні поклади. Матриці показують, що жоден з хемогенно-метасоматичних процесів не може *самостійно* утворити оболонку або сегмент Землі. Але у сукупності регіональні формаційні поклади, сформовані окремими хемогенно-метасоматичними процесами за 4 млрд. років, утворили гло-

бальну ажурну хемогенно-метасоматичну оболонку ("метасомосферу" [4]). Вона має сітководну (губчасту) форму, просочуючи інші земні оболонки й сегменти.

Інтенсивність і масштабність проявлення процесів того чи іншого типу обумовлюють ранги геологічних тіл, які доступні їм при перетвореннях. Порівняння матриць різних груп процесів одного генетичного типу показало наступне:

- існують ранги об'єктів, які *обов'язково* руйнуються, рекомбінуються (переносяться) і створюються даними однотипними процесами;

- існують ранги об'єктів, які доступні для переробки й новостворення тільки *деяким* групам процесів цього типу.

У зведених характеристиках процесів перші групи рангів становлять "ядро" генетичного типу процесів, а другі – його "периферію" (рис. 7).

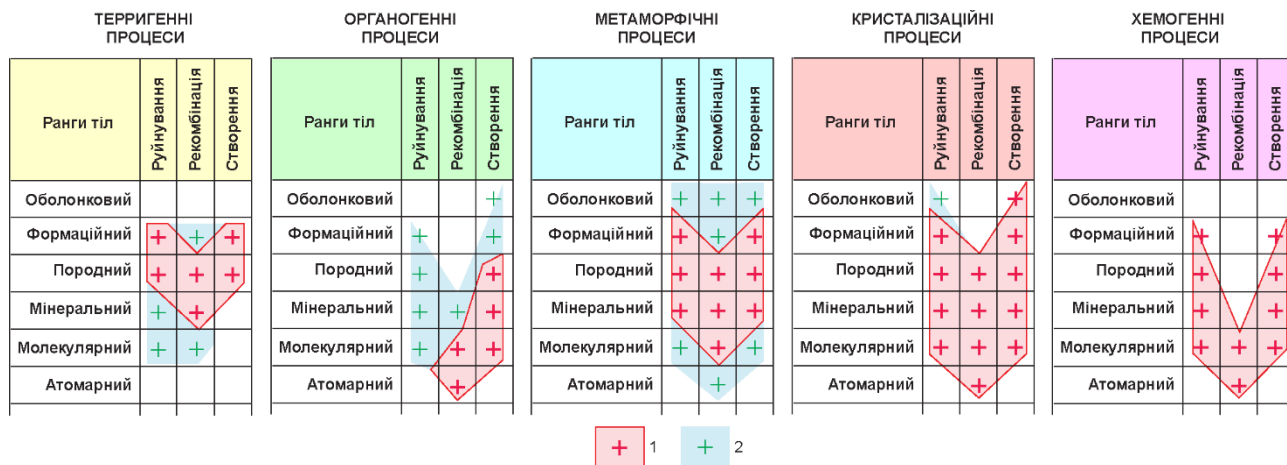


Рис. 7. Зіставлення матриць генетичних типів процесів.

Геологічні тіла, що приймають участь в процесах даного типу:

1 – обов'язково ("ядро типу процесів"); 2 – тільки в деяких процесах ("периферія типу") /

Fig. 7. Comparison of matrices of genetic types of processes.

Geological bodies participating in the processes of this type:

1 – mandatory ("the core of the process type"); 2 – only in some processes ("periphery type")

Наукова новизна. На основі аналізу механізмів протікання геологічних процесів проведено їхню типізацію – об'єднання в п'ять непересічних генетичних типів. На підставі теорії будови геологічних тіл розроблені матриці перетворень таких тіл у ході геологічних процесів. Для кожного геологічного процесу складена своя матриця. Матриці процесів дозволили на єдиній основі проаналізувати перетворювальні можливості процесів кожного генетичного типу й виявити те

загальне, що властиве процесам даного типу. Єдиний підхід також дозволив зіставити різні генетичні типи між собою.

Висновки. Перетворювальні можливості геологічних процесів і їх типів різняться. Зокрема, це стосується можливостей утворення нових мінералів, необхідних промисловості. Таке емпіричне узагальнення може послужити основою вдосконалювання теорії рудоутворення.

Список використаної літератури

1. Александров Ю.В. Введение в физику планет. – Київ : Вища школа, 1982. – 304 с.
2. Аллісон А., Палмер Л. Геологія. – М.: Світ, 1984. – 450 с.
3. Аглонов С.В. Геодинаміка. – Вид. С-П. ун-ту, 2001. – 345 с.
4. Горайнов С.В. Ієрархія різних геологічних тіл. – Харків, 2001. – 564 с.
5. Горайнов С.В. Формалізація та підтвердження закону зміни силової організації новостворених природних тіл // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія», 2010. – Вип. 32. – С. 18-26.
6. Іванік О.М., Менасова А.Ш., Крочак М.Д. Загальна геологія. – Київ. – 2020. – 205 с.
7. Кораго А.А. Введення у біомінералогію. – С-П.: Надра, 1992. – 280 с.
8. Марков О.В. Народження складності. Еволюційна біологія сьогодні: несподівані відкриття та нові питання. – Litres (LimPec) – 2018.
9. Островський В.Є., Кадишевський Є.А. Узагальнена гіпотеза походження найпростіших елементів живої матерії, трансформація первинної атмосфери та утворення покладів гідрату метану // Успіхи фізичних наук, 2007. – Т. 177, №2. – С. 183-206.
10. Паранько І.С., Сіворонов А.О., Євтехов В.Д. Загальна геологія. – Кривий Ріг: Мінерал. – 2003. – 464 с.
11. Поспелов Г.Л. Парадокси, геолого-фізична сутність та механізми метасоматозу. – Н.: Наука, 1973. – 355 с.

12. Розенбуш Р. Описова петрографія. – Л.: Горгеонафтіздат, 1934. – 720 с.
13. Слензак О.И. Локальні структури зон напруг докембрія. – Київ.: Наукова думка. – 1984. – 104 с.
14. Сорохтін О.Г., Ушаков С.А. Розвиток Землі. Ред. В.А. Садовничий. – Вид. МДУ, 2002. – 560 с.
15. Чиков Б.М. Зсувне стрес-структурування в літосфері: різновиди, механізми, умови (огляд проблеми) // Геологія та геофізика, 1992. – №9. – С. 3-39.
16. Aadland T., Sadler P.M., Helland-Hansen W. Geometric interpretation of time-scale dependent sedimentation rates // *Sedimentary Geology*, V. 371, 2018. – Pp. 32-4. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.04.003>
17. Gingerich Philip D. Rates of geological processes. – *Earth-Science Reviews*, V. 220, 2021, 103723. <https://doi.org/10.1016/J.Earscirev.2021.103723>
18. Ingebritsen St. E., Sanford W. E., Neuzil Ch. E. Groundwater in Geologic Processes. – Cambridge University Press, 2006. <https://doi.org/10.1017/9780511807855>
19. Melosh H.J. Impact cratering: a geologic process. – Oxford University Press, NY., 1989. – 245 p.
20. Електронний ресурс. URL: <https://v-kosmose.com/fotografii-kosmosa/fotografii-obektov-solnechnoy-sistemyi/>

Transformative capabilities of geological processes

Sergey Goryainov

PhD (Geology and Mineralogy),

Associate Professor, Department of Fundamental and Applied Geology,

V. N. Karazin Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine

ABSTRACT

Statement of a general problem. Geological processes create the dynamic structure of the Earth. This structure is composed of a hierarchical system of geological bodies. But the relationship of geological processes with this system of geological bodies has not yet been analyzed.

Analysis of the latest research and publications. Back in the 19th century it has been established that geological processes come down to the transformation of some geological bodies into others in stages: 1) destruction of the original substrate; 2) recombination of fragments; 3) constructing new geological bodies from them. A hierarchical structure of many geological bodies has been revealed, including successive ranks: 1) mineral, 2) rock, 3) formational and 4) Earth shells. The entire variety of geological processes is grouped into 5 types according to the mechanisms of their occurrence and the results obtained: 1) terrigenous, 2) organogenic, 3) metamorphic, 4) crystallization (magmatic and cryogenic), 5) chemogenic and metasomatic.

An unresolved part of the overall problem. Bodies that are destroyed and formed as a result of the process necessarily belong to one or another rank. The rank possibilities of transformation of geological bodies by geological processes have not yet been analyzed.

The purpose of the article is to analyze the transformative capabilities of geological processes in the aspect of those objects that enter the geological process, are transformed in it and form the final result.

Research methods. The basis of the comparative analysis was the ranks of geological bodies and non-geological ranks of objects (molecular and atomic), since they also participate in geological processes. Combinations of bodies of different ranks at different stages of the process were depicted in the form of a diagram - a matrix. Matrices of individual processes allowed us to move on to the analysis of this type of process. After this, the conversion capabilities of different types were compared.

Main results of the study. First, the transformative capabilities of each process were considered separately, then the processes of a given genetic type were compared, then the types were compared with each other. Terrigenous processes do not form new mineral individuals and are capable of forming a planetary shell (stratisphere) only together. Organogenic processes form new minerals and rock bodies, but only benthos can form segments of the planet (biogenic bands). Metamorphic processes form new minerals, rocks and formations, and mantle flows and folding processes form planetary shells. Magmatic and cryogenic processes can not only form new minerals, but also form planetary shells. Chemogenic and metasomatic processes, forming new minerals, rocks and formations, form a planetary metasomatic shell only together, and not separately.

Scientific novelty. Based on the theory of the structure of geological bodies, matrices of their transformations in geological processes have been developed. Each geological process has its own matrix. The matrices made it possible to compare the transformative capabilities of individual processes and all five genetic types of processes with each other.

Conclusions. The transformative capabilities of geological processes and their types differ. In particular, this concerns the possibilities for the formation of new minerals needed by industry. Such an empirical generalization can serve as the basis for improving the theory of ore formation.

Keywords: geological bodies; geological processes; scientific systems; establishing relationships between scientific facts.

References

1. Aleksandrov Yu.V. (1982). *Introduction to planetary physics*. Kyiv, Higher School, 304.

2. Allison A., Palmer L. (1984). *Geology*. M., Mir, 450.
3. Aplonov S.V. (2001). *Geodynamics*. Ed. St.-Pt. University, 345.
4. Goryainov S.V. (2001). *Hierarchy of natural geological bodies*. Kharkiv, 564.
5. Goryainov S.V. (2010). *Formalization and confirmation of the law of change in the force organization of newly formed natural bodies*. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, series "Geology. Geography. Ecology", (32), 18-26.
6. Ivanik O.M., Menasova A.Sh., Krochak M.D. (2020). *General geology. Tutorial*. Kyiv, 205 [in Ukrainian].
7. Korago A.A. *Introduction to biomineralogy* (1992). St.-Pt., Nedra, 280.
8. Markov A.V. (2018). *The birth of complexity. Evolutionary biology today: unexpected discoveries and new questions*. Litres (LitRes).
9. Ostrovsky V.E., Kadyshovich E.A. (2007). *A generalized hypothesis of the origin of the simplest elements of living matter, the transformation of the primary atmosphere and the formation of methane hydrate deposits*. Uspekhi fizicheskikh nauk, 177, 2, 183-206.
10. Paranko I.S., Sivoronov A.O., Yevtekhov V.D. (2003). *General geology. Tutorial*. Kryvyi Rih, Mineral, 464 [in Ukrainian].
11. Pospelov G.L. (1973). *Paradoxes, geological-physical essence and mechanisms of metasomatism*. Novosib., Nauka, 355.
12. Rosenbush G. *Descriptive petrography* (1934). L., Gorgeoneftizdat, 720.
13. Slenzak O.I. (1984). *Local structures of Precambrian tension zones*. Kiev, Scientific opinion, 104.
14. Sorokhtyn O.G., Ushakov S.A. (2002). *Development of the Earth. Textbook*. Ed. V.A. Sadovnychy. M., MSU Publishing House, 560.
15. Chikov B.M. (1999). *Shear stress-structure formation in the lithosphere: variations, mechanisms, conditions (overview of problems)*. *Geology and geophysics*, 9, 3-39.
16. Aadland T., Sadler P.M., Helland-Hansen W. (2018). *Geometric interpretation of time-scale dependent sedimentation rates*. *Sedimentary Geology*, 371, 32-4. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2018.04.003>
17. Gingerich Philip D. *Rates of geological processes* (2021). *Earth-Science Reviews*, 220. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2021.103723>
18. Ingebritsen St. E., Sanford W. E., Neuzil Ch. E. (2006). *Groundwater in Geologic Processes*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9780511807855>
19. Melosh H.J. *Impact cratering: a geologic process* (1989). Oxford University Press, NY, 245.
20. Electronic resource. URL <https://v-kosmose.com/fotografii-kosmosa/fotografii-obektov-solnechnoy-sistemy/>

Received 26 June 2024
Accepted 21 November 2024