

І, навпаки, граніти нормальні й сублужні, в яких інтенсивно проявлені метасоматичні й низькотемпературні гідротермальні зміни, явища катаклазу, наступної перекристалізації, посиленого тріщиноутворення, є мало придатними для ізоляції РАВ. Серед текстур і структур таких порід переважають гнейсуватість, смугастість, спричинені орієнтованим розташуванням мінеральних індивідів та їх скупчень, а також деформаціями різного спрямування. За величиною зерен – це, як правило, нерівномірностерних (від дрібно-середньозернистих до крупнозернистих) породи з порфіробластовими утвореннями.

Різняться гранітоїди і контрастністю типів геодинамічних обстановок свого формування. Якщо перспективні петротипи утворилися виключно в режимі стиску, то їх антиподи (тобто, не придатні для ізоляції РАВ) – розтягу.

Аналізуючи отримані результати комплексного дослідження гранітоїдних порід Волинського мегаблоку УЩ за їх петрофізичними і текстурно-структурними ознаками слід констатувати, що серед 29 провідних петротипів найбільш придатними для утилізації РАВ є **діорити рокитнянські, гранодіорити ясногірські осницького та граніти рапаківіподібні ігнатпільські коростенського комплексів.**

Відсутність суттєвих кореляційних залежностей між теплофізичними параметрами і тріщинуватістю досліджених петротипів дозволяє говорити про їх однорідність у механізмах теплопереносу і теплопередачі, що є важливим для захоронених радіоактивних речовин та їх тепловіддачі.

Припускається, що на ділянках "Вереснянська" і "Товстий ліс" є прямі глибинні аналоги обраних перспективних петротипів. Не виключено, що гранітоїди "Товстого лісу", які попередньо діагностуються як пержанські

[1], насправді є осницькими утвореннями. Можливо, з економічної і екологічної точок зору ділянки, в межах яких поширені виділені нами петротипи гранітоїдних порід, є менш перспективними для створення радіоактивних могильників, ніж виділені в [1], через їх віддаленість від Чорнобильської АЕС. Але використання їх як еталонних для проведення експериментальних робіт при вивченні порід зони відчуження з метою визначення впливу техногенних процесів на фізичні властивості гранітоїдів та їх мінімізації безумовно має сенс.

Усі інші петротипи породної групи "Б" і частково "В", зокрема, ті, фігуративні точки яких знаходяться в лівій частині факторної діаграми, можна віднести до числа резервних.

1. Изоляция радиоактивных отходов в недрах Украины (проблемы и возможные решения) / Отв. ред. В.М. Шестопалов. – К., 2006. 2. Магматические горные породы. Классификация. Номенклатура. Петрография // Е.Д. Андреева, В.А. Баскина, О.А. Богатиков и др. – М., 1985. 3. Петрогеохимия і петрофізика гранітоїдів Українського щита та деякі аспекти їх практичного використання (довідник-навчальний посібник) / М.І. Толстой, Ю.Л. Гасанов, Н.В. Костенко, А.П. Гожик, О.В. Шабатура – К., 2003. 4. Петрография, акцесорна мінералогія гранітоїдів Українського щита та їх речовинно-петрофізична оцінка / М.І. Толстой, Н.В. Костенко, В.М. Кадурін та ін. – К., 2008. 5. Петрофізика гранітоїдів Українського щита / М.І. Толстой, А.В. Чекунов, І.Б. Щербаків та др. – К., 1987. 6. Толстой М., Кузіє Л., Костенко Н. Петрофізична характеристика гранітоїдів з метою вибору об'єктів для захоронення радіоактивних відходів у межах Волинського мегаблоку Українського щита (УЩ) // Вісн. Київ. ун-ту. Геологія. – 2009. – № 47. – С. 28-31. 7. Шестопалов В.М., Шибельський Ю.О. Методологія дослідження ізолюючих властивостей гранітоїдів Українського щита при захороненні радіоактивних відходів // Еволюція докембрійських гранітоїдів і пов'язаних з ними корисних копалин у зв'язку з енергетикою Землі і етапами її тектоно-магматичної активізації. Зб. наук. праць УкрДГПІ. – К., 2008. – С. 201-207.

Надійшла до редколегії 13.05.09

ГІДРОГЕОЛОГІЯ, ІНЖЕНЕРНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

УДК 55.502.6

М. Коржнев, д-р геол.-мінералог. наук, проф.,
І. Малахов, канд.техн. наук

ТЕХНОГЕННІ ЗМІНИ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ТА ПОРУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГЕОХІМІЧНОГО БАЛАНСУ У ГІРНИЧОДОБУВНИХ РЕГІОНАХ НА ПРИКЛАДІ КРИВБАСУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол.-мінералог. наук, проф. О.І.Лукіємком)

Техногенез при видобутку залізних руд в Кривбасі досяг масштабів природних геологічних процесів. Спостерігається різниця порядків енергетичних його характеристик з характеристиками фотосинтезу. Це різко змінює еколого-геохімічні умови існування біоти і людини на території цього гірничодобувного регіону.

A technogenesis at iron ore mining in Krivy Rig Basin run up the scale of natural geological processes. There is an orders' equality of energy of technogenesis with . Because it sharply the environment geochemistry live conditions for biota and mankind this mining region.

Геологічна історія Землі як зміна умов для існування біоти. Все живе (біота) знаходиться в стані рухомої рівноваги з навколишнім природним середовищем. Останнє виконує по відношенню до живих організмів, включно людину, дві головних функції: 1 – обумовлює існування в певних його зонах умов для існування живих організмів; 2 – виступає як джерело хімічних елементів і сполук, необхідних для побудови організмів та численних біохімічних реакцій в них для забезпечення життя.

Кожна територія, разом з рівноважною кількістю рослинної маси, може утримувати певну кількість тваринної маси. Здатність території підтримувати життєдіяльність певної маси біоти (рослинності і тварин) можна назвати репродуктивним потенціалом території.

Репродуктивний потенціал території до певного моменту історії був визначальним у розселенні людей.

Окрема територія могла "нагодувати" тільки певну кількість людей. З часом люди навчилися збільшувати репродуктивний потенціал територій шляхом штучних змін природних умов: зрошуванням засушливих земель, збільшенням родючості ґрунтів, розведенням рослин і тварин та ін. Але перетворення територій з економічної точки зору не завжди виправдано тому, що порушується їх природна рівновага. Раніше чи пізніше це приводить до екологічних наслідків, які нівелюють усі економічні прибутки від цього перетворення. Простіше, якщо враховувати кінцевий ефект, пристосовуватись до природних умов територій – планувати на них діяльність, яка суттєво не змінює їх і дає найбільший економічний ефект. При цьому дуже важливо щоб кількість населення на цих територіях не перевищувала критичну межу.

Якщо розглядати людину як біологічний вид, то вся її діяльність протягом всієї історії цивілізації є прикладом інвазії – завоювання життєвого простору і витіснення всіх інших біологічних видів.

Всі фактори антропогенного впливу на біорізноманіття можна представити як єдину систему [5]. Слід відмітити, що в кінцевому рахунку всі ці фактори тим чи іншим чином обумовлюють: 1 – зменшення життєвого простору біоценозів; 2 – зміни умов їх існування. Останні можуть бути несприятливими чи катастрофічними, і важливо оцінити характеристики техногенезу, які визначають порушення еколого-геохімічного стану території.

Глобальна геоекосистема постійно еволюціонує. Тривалі еволюційні періоди розвитку перериваються відносно короткочасними епохами діастрофізму. Останні характеризуються інтенсивними тектонічними рухами з утворенням гірсько-складчастих систем, широко проявленим вулканізмом та кардинальною зміною складу атмосфери за рахунок масових викидів вулканічних газів. З епохами діастрофізму корелюються глобальні зледеніння, у які на значний період практично "замирають" поверхневий стік і процеси гіпергенезу. Зрозуміло, що такі катастрофічні зміни умов існування біоти для абсолютної більшості біологічних видів є фатальними. Після епох діастрофізму органічний світ планети починає відновлюватись з окремих видів, що вижили в ці епохи. Він вступає у новий виток еволюції з новим набором біологічних видів. На цій закономірності – присутності різного набору решток біоти у відкладеннях різного геологічного часу, ґрунтується стратиграфічне розчленування осадових товщ.

Будь-яку епоху діастрофізму можна вважати точкою біфуркації розвитку глобальної геоекосистеми, в яку кардинальним чином порушуються баланси фізико-хімічних умов, потоки речовини і енергії, що склалися у попередній геологічний період. Наступний геологічний період – це час існування вже нової глобальної геоекосистеми зі своїми підсистемами, коли всі баланси у геологічному середовищі і на його поверхні починають еволюційно відновлюватись з різною швидкістю.

Прикладом таких балансів є баланс між мінералогічним і хімічним складом верхньої частини літосфери та атмосферою і поверхневою гідросферою.

У спокійні періоди геологічного розвитку, після танення льодовикового покриву в епохи глобальних потеплень, породи, підняті на поверхню в епохи діастрофізму, поступово починають приходити у фізико-хімічну рівновагу з гідросферою і атмосферою. Формуються кори вивітрювання, які є мінеральним скелетом ґрунту. Але мінеральний скелет ґрунту стає ґрунтом, на якому може зростати рослинність, коли до нього потрапляє органічна речовина. Справа у ступені підготовленості геологічного середовища як джерела живлення рослин хімічними елементами і їх сполуками. Роль біоти у підготовці речовини літосфери до її "споживання" рослинністю і включення до біохімічних процесів є великою. Агентами, які переводять до "їстівної" (рухомої) форми хімічні елементи мінералів і гірських порід, являються високомолекулярні органічні кислоти (гумінові і фульвокислоти), біогенні сода, луґи, гази, продукти життєдіяльності мікроорганізмів, низькомолекулярні органічні кислоти типу мурашиної, оцтової, олійної, молочної, щавелевої, винної та ін. [14]. Рухомість, наприклад, металів у ґрунтах і їх кількість у рослинах напряму пов'язана з кількістю у них органічного вуглецю та гранулометричним складом ґрунтів, меншою мірою, із вмістом карбонатів кальцію.

В епохи діастрофізму геологічної історії корінним чином змінюється структура потоків речовини в літосфері,

насамперед вод. Першою причиною є наступне похолодання клімату й формування льодовикових покривів, що призупиняє поверхневий стік, а другою – формування розломів різного масштабу. При розкритті розлому різко падає літостатичний тиск, за рахунок чого всі води (поверхневі і підземні), що знаходяться поблизу зони розлому, всмоктуються до нього. Це відноситься навіть до розчинів у газово-рідких включеннях, які можуть руйнуватись при падінні тиску. У так звані регматичні розломи можуть всмоктуватись й води світового океану [8].

Будь-який етнос пристосований до природних еколого-геохімічних умов території, на якій він мешкає, тому що їх зміна відбувається дуже повільно, значно повільніше ніж зміна його поколінь. Якщо на створення кори вивітрювання порід, а на ній ґрунту, на якому активно зростати рослинність, витрачаються тисячі років, на ховання осадових порід на глибині і перетворення їх у метаморфічні – сотні тисяч і мільйони років, то частота змін поколінь людей дорівнює всього 25 рокам. Організм людини при такій частоті змін поколінь встигає пристосуватись до змін еколого-геохімічних умов території на генетичному рівні.

В епоху техногенезу (останні 200 р історії людства) діяльність людини призвела до того, що на поверхню Землі у зону вивітрювання порід підняті величезні маси гірських порід з різким порушенням геохімічного балансу верхньої частини літосфери з атмосферою і гідросферою. До цього додаються неприродні відходи життєдіяльності людини у верхній частині літосфери (синтезовані у великій кількості хімічні сполуки, радіоактивні елементи, вилучені у чистому вигляді метали та ін.). Порушується природна циркуляція вод, різко змінюються еколого-геохімічні умови територій, до яких органічний світ, у тому числі і людина, за відносно короткий час пристосуватись не може. Особливо чітко це проявлялося у місцях масового видобутку і переробки мінеральної сировини.

Порушення природних геохімічних балансів на поверхні геологічного середовища при видобутку корисних копалин. Довготривале інтенсивне використання надр в Україні призвело до накопичення негативного впливу на навколишнє природне середовище і людину. Найбільш наглядно це можна спостерігати в гірничодобувних районах України, де екологічна ситуація досягла критичної межі, що має прояв у різкому збільшенні надзвичайних геологічних ситуацій. Техногенні зміни геологічного середовища (ГС) призвели до порушення його наступних параметрів [9]: інженерно-геологічних (екзо-геодинамічних); геохімічних (ландшафтно-геохімічних); гідрогеологічних; геофізичних (сейсмо-геофізичних); медико-геологічних.

Сучасні техногенні зміни геологічного середовища порушують його природний рівноважний стан та баланс з біосферою. Цей баланс має певну структуру, в яку включені певні чинники їх взаємовпливу та суміжні середовища – поверхнева гідросфера і атмосфера.

На території України геологічне середовище має два рівні техногенних змін його параметрів та їх впливу на біоту:

1) власні техногенні зміни за рахунок видобутку корисних копалин з вилученням значних обсягів мінеральних мас та деформаціями денної поверхні;

2) поверхневе (приповерхневе) накопичення повітряних викидів, твердих відходів, скидів у водне середовище, залишків нафтохімічних сполук і засобів хімізації земель з наступним забрудненням ландшафтів, поверхневих водоймищ і ін.

При цьому порушуються природні геохімічний і гідродинамічний баланси та здійснюється структурна пе-

ребудова потоків речовини і енергії. Фактично йдуть швидкі техногенні зміни геологічного середовища, схожі зі змінами в епохи діастрофізму геологічної історії.

Геологічне середовище представляє тип відкритої підсистеми, активно взаємодіючої з іншими складовими на поверхні Землі. У гірничодобувних регіонах на характер взаємодії підсистем значно впливає техногенез у геологічному середовищі у відповідності з теорією відкритих нерівноважних систем. Такі системи обмінюються між собою інформацією, енергією і (або) речовиною. Підсистеми, що входять у таку систему, безупинно флюктуують. Флюктуація, або їхня сукупність, може виводити систему зі стану, близького до стійкої рівноваги. Вона переходить у хиткий, нерівноважний стан. Руйнуються морфологічні структури, зв'язки між морфологічними елементами. У результаті, випадкова мала флюктуація навколо *точки біфуркації*, приводить до корінних змін структури і функцій системи. Біля точки біфуркації прогнозування подальшої еволюції системи принципово неможливо. Вона може розпастися на прості складові, що мають більш низький рівень організації. Але більш важлива, здатність до самоорганізації системи, ускладнення, переходу на більш високий рівень організації. Такий розвиток подій супроводжується виникненням так званих *дисипативних структур*. Виникаючи вони розсіюють енергію, отже генерують ентропію, і для підтримки свого існування вимагають підведення з зовні інформації, енергії, речовини. Дисипативні структури представляють собою розвиток флюктуацій у рівноважній відкритій системі після *необоротного* переходу в новий стан, у якому дисипативні структури мають рівень організації більш високий, ніж елементи в системі до біфуркації.

Для твердження необоротності трансформації природної екосистеми у техногенну, достатньо лише порушити симетрію між минулим і сьогоденням, сьогоденням і майбутнім. І. Пригожиним і І. Стенгерс [11] показано, що лише умови необоротності не достатні для моделей, що описують еволюцію відкритих систем. Змістовні моделі еволюції повинні містити докази відкритості систем, наявності точок біфуркації і дисипативних структур, якщо розглядати варіант самоорганізації. Необоротність є той механізм, що створює порядок з хаосу. Геологічне середовище у місцях видобутку корисних копалин має усі визначені вище ознаки:

- ✓ *відкритість* – геологічне середовище, у якому відбувається техногенез, є відкритою системою (техногенна трансформація геологічного середовища приводить до ланцюжка змін в інших природних середовищах);
- ✓ наявність *біфуркації* (геологічне середовище зазнало зворотних змін, що дали поштовх ланцюжку техногенних процесів у навколишньому природному середовищі);
- ✓ існування *дисипативних структур* (гірничі виробки, антропогенні морфоструктури).
- ✓ Необхідні умови:
- ✓ *фактор необоротності* (обумовлений необоротними змінами у геологічному середовищі);
- ✓ *наявність події* (точка біфуркації на кожному родовищі визначається умовами і масштабами видобутку);
- ✓ *нестабільність природної екосистеми* (порушення балансу масових швидкостей нагромадження та вилучення порід, і мінералів у надрах стає відправним пунктом нового порядку з більш високим рівнем організації).

З огляду на дану обставину критерій стану геологічного середовища як відкритої, істотно нерівноважної внаслідок техногенезу системи повинне характеризувати віддаленість системи від стану рівноваги. Таким критерієм виступає ентропія.

Такий підхід дозволяє інакше розглядати необоротну трансформацію природного середовища. *Гірничодобувні регіони й урбанізовані території, відзначені необоротною трансформацією природних екосистем, виглядають не тільки територіями, де відбувається деградація природних екосистем, а й місцями виникнення нового порядку в біосфері.*

У свій час В.І. Вернадським було введено поняття геохімічного циклу як сукупності явищ і процесів, що приводять до кругообігу хімічних елементів у земній корі. Зробимо деякі зауваження стосовно геохімічного циклу заліза тому, що далі порушення природних геохімічних балансів на поверхні геологічного середовища буде розглянуто на прикладі розробки родовищ Криворізького залізорудного басейну.

Якщо розглядати залізисто-кремневі формації докембрію криворізького типу, то природний геохімічний цикл заліза почався з вивітрювання порід суші, переносу і накопиченні його у двоцвалентному розчиненому стані у водах світового океану та закінчився переводом його у трьохвалентний стан і осадженням у нижньопротерозойських басейнах седиментації з появою в атмосфері кисню за рахунок діяльності сине-зелених водоростей. Залізисто-кремневі формації, що сформувалися внаслідок наступних процесів діагенезу і метаморфізму, тектонічними рухами виводились на рівень ерозії. При їх окисненні і вивітрюванні залізо знову могло вступати у природний геохімічний цикл, але це інший цикл в окисному середовищі й зовсім інших умовах. Накопичення великих мас заліза у ньому не характерно, хоча відомі родовища залізних руд у фанерозої, близькі до залізисто-кремневих формацій докембрію криворізького типу, джерелом заліза для них були вулканічні ексгаляції, а не породи суші, що вивітрювались.

Внаслідок розробки залізорудних родовищ залізо вилучається із природних геохімічних циклів й вступає в техногенні цикли. Прикладом такого циклу може бути видобуток і переробка залізних руд, виплавка чавуна і сталі, вироблення з них машин і устаткування, його експлуатація, перевід на металобрухт і знову виплавка з нього сталі. Залізо може повертатися до природних циклів через окиснення та іржу.

У Криворізькому залізорудному басейні оцінки масштабів техногенезу як штучного геохімічного процесу вилучення мінералів заліза з геологічного середовища вказують на те, щонайменше 14 км³ надр утягнуто у ці процеси внаслідок підземного видобутку залізної руди.

Для регіонів з підземним видобутком сировини законним є те, що в межах шахтних полів земна кора пронизана вертикальними і горизонтальними виробками.

За 120 років підземної розробки за різними оцінками в надрах було пройдено від 10 до 12 тис км виробок. Більша частина їх знаходиться у рудних тілах. Стовбури, квершлагги, вентиляційні й навколостовбурні виробки слугують десятиліттями. Найчастіше, навіть після повного відпрацювання родовища виробки залишаються. Мережа виробок і зона обвалення та зсуву інтенсифікують водообмін між водонесними горизонтами. Г.М. Малахов навів факти розчинення піритів шахтними водами і подальшої реакції з вапняками. Наслідком цього штучного геохімічного процесу було виділення у виробках шахти "Батьківщина" вуглекислого газу. Зафіксовано самозаймання сульфідів під час проходки стовбура шахти № 3 у районі кар'єру "Кочубей" (нині шахтоуправління "Міттал Стіл"). Порожнини, заповнені розпущеними породами, а також виробки в товщі порід створюють умови для інтенсивної взаємодії гірських порід з атмосферним повітрям, чого у природних умовах не відбувається.

Отже, підземний видобуток залізних руд супроводжується істотними змінами геологічного середовища. Виникають нові умови формування елементів його складових, нові геохімічні ефекти, дію яких ще не вивчено. Масштаби механічних змін у надрах можна зіставити з процесами гороутворення.

Геохімічні зміни мінерального і хімічного складу геологічного середовища з поверхні і до глибини 2500–3000 м зумовлені самим фактом вилучення з надр, переробки і переміщення більше 6 млрд т залізної руди. До цього слід додати ще 7 млрд т шлаків, окиснених кварцитів та порід розкриття, розміщених в антропогенних морфоструктурах.

Загалом, з вузької меридіональної смуги завширшки 0,5–3,0 км і завдовжки 90–100 км протягом понад 100 р вилучено 1,6–2,8 млрд т хімічно чистого заліза.

М.Ф. Глазовський [3] пропонує для оцінки потужності техногенних геохімічних потоків речовини в біосфері використовувати низку показників, серед яких є й "спеціальна техногенність", U .

$$U = M_1 + I_1 / n_n \quad (1)$$

де M_1 – кількість видобутого елемента з площі родовища за рік, т; I_1 – кількість елемента, переведена до техногенних потоків з площі родовища за рік, т; n_n – кларк елемента в ноосфері.

Скористаємося цим показником для оцінки потужності техногенних геохімічних потоків у процесі добування залізної руди в Кривбасі. Зазначимо, що нижче йдеться лише про один хімічний елемент – Fe. Площу Криворізького басейну приймаємо за 500 км². Час видобутку руди – 100 р. Вірніше обчислювати щільність потоку, враховуючи річну динаміку добування, але маємо на увазі лише оцінку порядку ефекту техногенного геохімічного потоку: $n_n = 2,2$, за даними М.Ф. Глазовського, тому $U = 110 \div 200$ кг/м² за рік.

Щільність техногенного геохімічного потоку в Кривбасі, оцінена у такий спосіб становить 12–20 % світового штучного геохімічного потоку заліза (500–1000 кг/(м²·рік)) [3]. Хоча щільність потоку Fe на поверхні земної кулі далека від рівномірної (у більшості зосереджена у невеликій кількості гірничодобувних регіонів), навіть нижня межа у 12 %, вражає. Підкреслимо, що розглянуто геохімічний потік лише одного елемента – заліза. Загальний техногенний геохімічний потік хімічних елементів у регіоні значно більший.

Нескладні розрахунки дають змогу оцінити сумарну кількість солі (хлориди, сульфати, карбонати), що надходить у навколишнє середовище з надр. Річні обсяги шахтної води, яку закачують у шахту, а потім видають на поверхню, тривалий час знаходяться у межах 11–14 млн м³. За час роботи кар'єрів гірничо-збагачувальних комбінатів (40–45 рр) відкачано близько 250 млн м³. Рівень мінералізації не перевищує 6,0 г/дм³. Виходячи з наведених цифр, ми оцінили загальну кількість солі, яка потрапила на поверхню за період розробки залізрудних родовищ Кривбасу в $\sim(11-12) 10^6$ т. Близько 85 % загальної кількості солі складають хлориди натрію.

Навіть тільки два факти: вилучення залізної руди та наявність високо мінералізованої води, що потрапляє на поверхню з надр, досить переконливо вказують, що внаслідок добування залізних руд відбулися техногенні зміни у геологічному середовищі в обсягах, які не можна вважати локальними змінами. За межами дослідження залишаються інші чинники, що формують техногенне середовище. Передусім йдеться про вилучення і вивітрювання порід, з яких складені антропогенні геологічні морфоструктури. Досить активними останнім часом стають гравітаційні процеси в антропогенних морфоструктурах (флювіальні зрушення, обвалення, зсув та просадка

поверхні). Існують також процеси окиснення надр унаслідок інтенсивної вентиляції виробок та депресії вентиляційного струменю через зону обвалення.

Вилучення мільярдів тонн заліза і переміщення десятків кубічних кілометрів порід у надрах має впливати на електричні, гравітаційні та магнітні поля у Криворізькому залізрудному басейну. Сукупність механічних, фізичних і хімічних змін у верхній частині земної кори, просторові масштаби літосфери, охоплені техногенезом, та об'єми добутої мінеральної сировини дають змогу констатувати, що у Криворізькому залізрудному басейні виникло техногенне геологічне середовище, яке має тенденції розвитку, відмінні від закономірностей природного середовища, та порушення природного геохімічного балансу верхньої частини літосфери, східне за масштабами з порушеннями геохімічного балансу епох діастрофізму геологічної історії.

Криворізький залізрудний басейн тут наведений як приклад. Крім нього на території України існує Донецький вугільний басейн, райони видобутку сірки і солей у Передкарпатті та ін. [4]. Всі ці місця видобутку корисних копалин можна вважати дисипативними структурами геологічного середовища, де вже здійснюється перехід від природної до нової відносно стабільної природно-техногенної геоекосистеми з новими геохімічними умовами території, до яких людина разом з іншими біологічними видами не може швидко пристосуватися. Якщо брати до уваги, що такі самі зміни геологічного середовища в межах нашої держави йдуть на інших територіях господарської діяльності людини, то можна прийти до висновку, що все геологічне середовище України знаходиться в стані переходу до нової природно-техногенної геоекосистеми з новими геохімічними умовами, що порушують баланс біосфери з іншими геосферами Землі. Такі трансформації геологічного середовища відбуваються в багатьох інших центрах видобутку мінеральних ресурсів у світі, що обумовлює сучасний природно-техногенний виток еволюції глобальної геоекосистеми. Виникає питання: як далеко ми зайшли на шляху трансформації екосистем?

Аналіз даних, наведений у Британській енциклопедії, Великій радянській енциклопедії, довідниках Гірничого бюро США, а також узагальнення проведені М. Неймайером, А.Е. Ферсманом указує, що з початку XIX ст щорічний видобуток мінеральних ресурсів зростає у першому наближенні за експонентою (рис. 1, крива 1) з параметрами:

$$L = 0,0334 \times e^{0,76t} \quad (2)$$

де, L – загальна маса видобутих мінеральних ресурсів, т/рік, t – час в роках.

Обсяги порід верхньої частини земної кори, що охоплені техногенезом внаслідок видобутку мінеральних ресурсів (P), також зростають за експонентою, значно, приблизно на порядок, випереджаючи щорічний видобуток (крива 2 на рис. 1).

$$P = 0,0236 \times e^{0,72t} \quad (3)$$

За А.Б. Роновим [12], маса осадової оболонки сучасного з урахуванням платформних утворень складає $G = 0,51 \times 10^{18}$ т. Якщо підставити цю цифру замість P у рівняння 2, то, відрізок часу, за який річна маса порід літосфери утягнутих до техногенезу сягне маси осадової оболонки Землі складатиме близько 50 років.

Отриману цифру ніякою мірою не слід розглядати, як ще один апокаліптичний прогноз. Сама по собі маса осадової оболонки, а також динаміка техногенного переміщення порід літосфери визначені за даними різної вірогідності, а тому вельми приблизно, з точністю до 1–2 порядків. Тому, скоріше можна інтерпретувати

отриману величину як аргумент на користь того, що техногенез у геологічному середовищі за масштабами дії зрівнявся з природними геологічними силами на планеті. Відносно самої кількісної оцінки інтервалу часу, то з деякими застереженнями можна припустити, що уже у найближче сторіччя очікуватиметься зменшення темпів видобутку мінеральних ресурсів через набли-

ження маси техногенно-переміщуваних гірських порід до мас геологічних тіл у літосфері та економічне і фізичне виснаження мінеральної сировини. У будь-якому разі уже найближчим часом слід очікувати стабілізації обсягів видобутку, й задовго до повного фізичного виснаження не відновлюваних мінеральних ресурсів загостриться проблема контролю за їх розподілом.

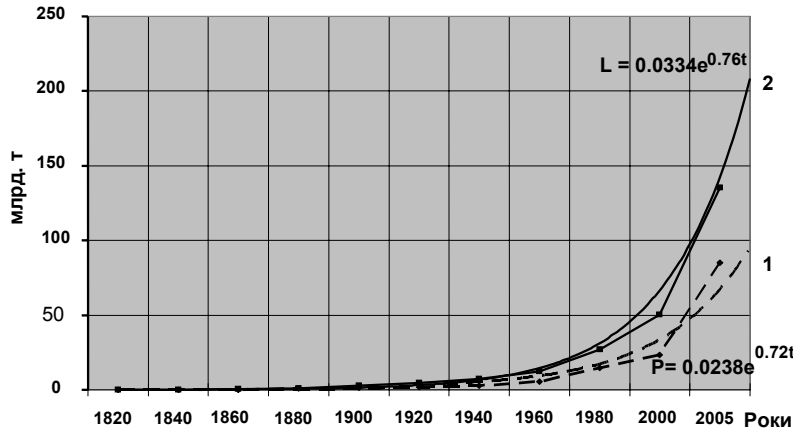


Рис. 1. Тенденції зростання обсягів видобутку мінеральних ресурсів та порід літосфери, що утягнуті до переміщення внаслідок процесів видобутку:
1 – щорічний видобуток мінеральних ресурсів, 2 – щорічна маса порід верхньої частини земної кори, охоплених техногенезом внаслідок видобутку мінеральних ресурсів

За 125 років промислових розробок у Кривому Розі було видобуто близько 7×10^9 т залізної руди. Середня масова швидкість вилучення залізної руди за цей період склала величину $\approx 6 \times 10^7$ т/рік ($\approx 2 \times 10^7$ т/рік Fe). Водночас із видобутком залізної руди з надр вилучалося й переміщувалося в середньому трохи більше, як 5×10^8 т/рік гірничих порід з різних геологічних структур залізисто-кремневої формації. В умовах докембрію за такий проміжок часу осаджувалося до $5,0 \times 10^6$ т речовини цієї формації, що уміщувала $\sim 10^6$ т Fe. Випадково чи ні це порівнюється зі швидкістю повернення заліза до його природного геохімічного кругообігу (циклу) за рахунок корозії металу. За Г. Улігом [15], в світі щорічні безповоротні втрати чорних металів від корозії складають 10% від усього виплавленого заліза, близько $(1,5-1,7) \times 10^7$ т/рік, що відповідає трохи більше ніж 10^6 т/рік Fe. Із залізної руди, видобутої у Кривбасі, виплавлено трохи більше 10^9 т сталі й чавуну. За час промислових розробок в середньому виплавлялось $(7-8) \times 10^6$ т/рік виробів чорних металів. Можна очікувати, що з корозією у природні цикли повертається до 7×10^5 т Fe. Ця цифра на порядок менше, ніж масова швидкість накопичення заліза у залізисто-кремневої формації Кривого Рогу в докембрії.

Спираючись на ці оцінки, точку "неповернення" спробуємо віднайти, виходячи з умов балансу між накопиченням заліза й утягнення його у техногенні переміщення мас цієї геологічної структури в процесі видобутку. Якщо прийняти запропонований підхід, то критична точка була перейдена, тоді, коли річний видобуток остаточно перевищив межу $\sim 0^6 \div 10^7$ т/рік ($\approx 10^5$ т/рік Fe).

Такий рубіж у минулому було перевищено в останні роки XIX ст. Після падіння добичі до нуля у період 1914-1921 рр, мільйонний рубіж було перейдено вдруге наприкінці 20-х років XX ст. Припинення добичі з середини 1941 р до середини 1944 р дозволило досягти рівня 1940 р лише у 1951 р [6]. Загалом, за 70 років (1881-1951 рр), середня масова швидкість вилучення залізних руд з родовища склала $4,8 \times 10^6$ т/рік. До середини 50-х років видобувалися природно багаті гематит-мартитові залізні руди, тому вилучення заліза відбувалося більш

інтенсивно, ніж у подальшому, коли розпочалася розробка покладів магнетитових кварцитів. При річному видобутку $\approx 5 \times 10^6$ т/рік, вилучалося, більш як $2,5 \times 10^6$ т/рік Fe. Тому найвірогідніше, у Кривбасі початок необоротної трансформації геологічного середовища слід віднести до першої половини 50-х років. На користь такого припущення говорить й те, що до цього часу приурочене різке збільшення площ зон обвалення й зрушення і відповідне зростання обсягів порід літосфери, утягнутих до переміщення.

Словом, відносно малопомітна подія – порушення балансу масових швидкостей накопичення заліза у літосфері та вилучення його з надр, викликала до життя новий порядок в екосистемі, про що згадувалося вище. Більше детально ланцюг змін викладено в [10].

Наведені кількісні оцінки техногенного переміщення порід літосфери свідчать, що масштаби його можуть бути прирівняні до природних геологічних явищ. Природно, виникає інтерес до порівняння енергетичних характеристик техногенезу у геологічному середовищі з певними геологічними процесами.

Обмежимося лише механічним переміщенням порід літосфери у гравітаційному полі Землі під час видобутку залізних руд. Сенс обмеження в тому, що в термінах класичної механіки Ньютона робота геологічних сил, за допомогою чого відбувається механічне переміщення речовини верхньої частини літосфери у гравітаційному полі Землі, дорівнює зміні енергії маси речовини, що переміщується незалежно від походження й об'єкту прикладання сил.

Зосередившись лише на механічному переміщенні гірських порід, ми свідомо залишаємо за дужками дію інших геофізичних полів, а також геохімічні фактори. Проте, саме техногенними є процеси вилучення з надр й переміщення по поверхні Землі гірських порід при видобутку мінеральних ресурсів. Усе різноманіття наступних геохімічних і геофізичних явищ можна розглядати як наслідок. Тому їх можна віднести до технопланетних процесів [11]. Результат їх дії часто може значно перебільшувати власне техногенні процеси.

Звуження кола сил до діючих в рамках механіки Ньютона дозволяє не враховувати природу сил під час оцінки. Техногенні сили ми можемо порівнювати з біосферними й геологічними силами. Отже у подальшому говоримо лише про енергію, роботу і сили в рамках Ньютонівської механіки: *енергетичний підхід до порівняльного аналізу процесів, що відбуваються у суспільстві та природі застосовували уже наприкінці XIX ст. Варто послатися на С. Подолінського, пізніше Е. Шредінгера. Термодинамічний підхід до аналізу біосферних еволюційних процесів, розробляли Л. Больцман і М.О. Умов. У 30-і роки минулого сторіччя М.М. Федоровским було розроблено енергетичну класифікацію корисних копалин. Цінність мінерального ресурсу визначалася виходячи з енергоємності їх добучі й переробки, що дозволило відійти від вартісної оцінки родовищ [16].* Точніше про енергію механічного переміщення мас гірничих порід в процесі техногенезу в геологічному середовищі внаслідок видобутку мінеральних ресурсів.

Енергія, що визначає техногенні перетворення у геологічному середовищі в процесі добучі мінеральних ресурсів (E), трансформується в енергію руйнування й подрібнення масиву гірських порід літосфери (E_p), та переміщення подрібненої частини з надр на поверхню (E_T).

$$E = E_p + E_T \quad (4)$$

Витрати енергії на відокремлення гірських порід від масиву й подрібнення будуть визначатися природними, властивостями міцності порід: на стискання, розтягування, зсув, ударну міцність, в'язкість, тріщинуватість, шаруватість і т.п. Транспортування визначається кількістю енергії, необхідної для подолання сил гравітації й сил тертя при підйомі та горизонтальному переміщенні. Сумарна енергія, обрахована таким чином, визначає нижню межу оцінки. Фактична кількість витраченої енергії буде більше на величину, що знаходиться у зворотній залеж-

ності до коефіцієнту корисної дії машин, механізмів, обладнання, що приймають участь у технологічних процесах добучі. Енергоємність видобутку мінеральних ресурсів відкритим і підземним способом визначається спеціальними методиками. Пошлемося тут лише на дві з багатьох [1, 13]. Зазначимо, що обрахування за такими методиками надає можливість оцінити ефективність виробництва мінеральної сировини. Запропонований підхід виводить оцінку енергії за межі технологічного способу виробництва і має на меті визначення техногенної сили, що діє у геологічному середовищі.

Таким чином, оцінки кількості енергії необхідної для утворення відвалів, розбудови кар'єрів, заповнення шламосховищ, видобутку руди, розглядаються лише фізичні процеси переміщення порід на поверхню й розміщення їх на поверхні.

Фактологічною базою для оцінки енергії створення антропогенних морфоструктур у Кривбасі є дані статистичної звітності держкомстату СРСР, УРСР, збірки НДГРІ, що охоплює період з 1954 до 2004 рр. Результати оцінки зведені у табл. 1. Окрім абсолютних значень, наведені питомі оцінки, щільність потоку енергії та потужність процесів техногенезу. У стовбці 2, наведена оцінка кількості енергії витраченої на створення антропогенних морфоструктур за останні 50 років, а у третьому – середні річні витрати (чисельник); у знаменнику витрати енергії при максимальній добучі (перша половина вісімдесятих років). Питома енергія у стовбці 4 відбиває оцінки віднесені до площі поверхні Землі на якій розміщені антропогенні морфоструктури. У чисельнику питомо величина всієї енергії техногенезу за п'ятдесят років. У знаменнику середні річні витрати, віднесені до тієї ж площі. Числа у стовпчику 6 ілюструють потужність процесу техногенезу, а стовпчик 7 щільність потоку енергії.

Таблиця 1

Енергетичні характеристики техногенних геодинамічних процесів та деяких показників природного фотосинтезу у Кривбасі

Процес	Енергія, Дж	Середня річна енергія, Дж/рік	Питома поверхнева енергія, Дж/м ²	Питома масова енергія, Дж/т	Потужність, Дж/с	Щільність потоку, Дж/с.км ²
Техногенез	5,5×10 ¹⁷	$\frac{1,1 \times 10^{16}}{4,3 \times 10^{16}}$	$\frac{2,4 \times 10^9}{0,5 \times 10^8}$	$\frac{104 \times 10^6}{20,06 \times 10^6}$	3,5×10 ⁸	1,5×10 ⁰
Фотосинтез		~10 ¹⁶			3,0×10 ⁸	1,3×10 ⁰

Таблиця досить наочно дає уявлення про масштаби біосферних та техногенних процесів. Порівняння оцінок сонячної та техногенної енергії на поверхні Землі показує, що щільність потоку сонячної енергії на три порядки більше, ніж щільність техногенної енергії.

Якщо середня площа, яку займають антропогенні морфоструктури 2,3×10⁸ м², то на кожний квадратний метр площі, за п'ятдесят років було перенесено 2, ×10⁹ Дж/м². Щільність потоку енергії складе 1,5 Дж/с.км².

Виходимо з того, що поверхня Землі отримує від Сонця близько 1,0×10³ Дж/с.км². Потужність потоку сонячної енергії у світловому діапазоні складає приблизно 5,1×10¹⁹ Дж/с. Його щільність на широті Кривого Рогу (47°-49° пн. ш.) у середньому дорівнює 0,8×10³ Дж/с.км². Таким чином, земна поверхня під антропогенними морфоструктурами могла б отримати за рік ≈5,8×10¹⁸ Дж/рік, а за п'ятдесят років – 2,9 ×10²⁰ Дж.

М.М. Камшилов наводить цифру 44×10¹⁶ ккал/рік (1,8×10²¹ Дж/рік), яка характеризує фотосинтез у біосфері [7; с. 79]. Енергія фотосинтезу віднесена до площ, на яких розташовані антропогенні морфоструктури в Кривбасі, указує на ту кількість енергії, яка могла б бути засвоєна живою речовиною на цих площах. Така

оціночна величина дорівнює 1,0×10¹⁶ Дж/рік. Потужність та щільність потоку складає відповідно, 0,3×10⁹ Дж/с, 1,3×10⁰ Дж/с.км².

Наведені дані досить наочно ілюструють, що енергетичні показники техногенезу в Кривбасі, одного порядку з аналогічними енергетичними характеристиками фотосинтезу.

Висновки. Будь-який етнос пристосований до природних еколого-геохімічних умов території, на якій він мешкає тому, що їх зміна відбуваються дуже повільно, значно повільніше ніж зміна його поколінь. Техногенез швидко змінює природні та створює нові, несприятливі для людини еколого-геохімічні умови на поверхні геологічного середовища.

Гірничодобувні регіони й урбанізовані території, відзначені необоротною трансформацією природних екосистем, виглядають не тільки територіями, де відбувається деградація природних екосистем, а й місцями виникнення нового порядку в біосфері.

У Криворізькому залізорудному басейні виникло техногенне геологічне середовище, яке має тенденції розвитку, відмінні від закономірностей природного середовища, та порушення природного геохімічного балансу верхньої частин літосфери, подібне за масшта-

бами з порушеннями геохімічного балансу епох діастрофізму геологічної історії.

Техногенез у геологічному середовищі набуває масштабу геологічного процесу, який може бути порівняний з масштабами природних геологічних явищ. Маса техногенно-переміщуваних гірських порід, що стрімко наближається до мас геологічних тіл у літосфері, дозволяє висловити припущення, що упродовж найближчого сторіччя слід очікувати зменшення темпів видобутку мінеральних ресурсів.

Попередні, оціночні розрахунки показують, що вірогідною датою початку необоротної трансформації геологічного середовища слід віднести до першої половини 50-х років. Ключовим фактором необоротності у геологічному середовищі, що викликали ланцюг необоротних змін у довкіллі є порушення балансу масових швидкостей накопичення заліза у літосфері та вилучення його з надр.

Фактом особливої уваги постає рівність порядків енергетичних характеристик фотосинтезу й техногенезу в Кривбасі, $\sim 10^{16}$ Дж/рік; потужність $\sim 10^8$ Дж/с.

Таким чином визначено три характеристики техногенезу (маса переміщуваних порід літосфери, масові швидкості вилучення заліза з родовища, енергія техногенезу), що вказують на цей процес, як на рівнопотужний за масштабами з природними біосферними проце-

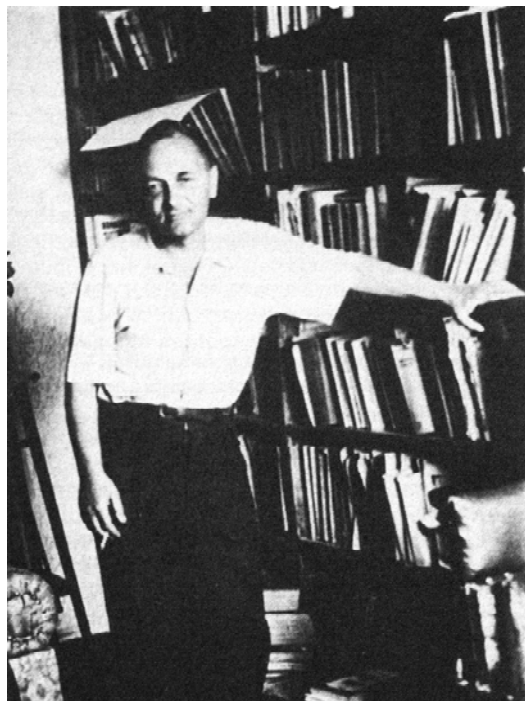
сами. Внаслідок техногенезу різко порушуються еколого-геохімічні умови територій. Зазначене є певним аргументом, що указує на наближення біосфери до певної критичної межі, яку визначає техногенна діяльність соціального людства.

1. *Анистратов Ю.И.* Технологические потоки на карьерах (Энергетическая теория открытых горных работ). – М., 2005.
2. *Высоцкий Б.П.* Проблемы истории и методологии геологических наук. – М., 1977.
3. *Глазовский Н.Ф.* Техногенные потоки вещества в биосфере // Добыча природных ископаемых и геохимия природных экосистем. – М., 1982.
4. *Довгтий С.О., Шестопалов В.М., Коржнев М.М. та ін.* Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. – К., 2007.
5. *Дудкін О.В., Єна А.В., Коржнев М.М. та ін.* Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України. – Л., 2003.
6. *Єлатко Ю.М., Малахов І.М.* Періоди техногенезу гірничого Кривбасу // Геологічний журнал. – 2004. – № 1. – С.62-69.
7. *Камшилов М.М.* Еволюція біосфери. – М., 1979.
8. *Коржнев М.М., Байсарович І.М.* Вода як фактор тектогенезу // Геолог України. – 2007. – № 1. – С. 83-85.
9. *Коржнев М.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Яковлев Є.О.* Чинники впливу антропогенних змін геологічного середовища України на біорізноманіття і людину // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності. – 2003. – № 1. – С. 59-69.
10. *Малахов І.М.* Техногенез у геологічному середовищі. – Кривий Ріг, 2003.
11. *Пригожин И., Стенгерс И.* Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. – М., 2000.
12. *Ронов А.Б.* Осадочная оболочка Земли. – М., 1980.
13. *Тангаев И.А.* Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. – М., 1986.
14. *Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г.* Экологическая геология: Учебник. – М., 2002.
15. *Улиг Г.* Коррозия и борьба с ней – М., 1989.
16. *Федоровский Н.М.* Классификация полезных ископаемых по энергетическим показателям. – М.-Л., 1935.

Надійшла до редколегії 17.09.09

ЮВІЛЕЇ

М. Толстой, д-р геол.-мінералог. наук, проф.

**НАУКОВО-ПЕДАГОГІЧНА ДІЯЛЬНІСТЬ БОРИСА ОЛЕКСАНДРОВИЧА ГАВРУСЕВИЧА
(ДО 100-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)**

Борис Олександрович народився 21 грудня 1908 року в Житомирі у сім'ї вчителя гімназії. У 18-річному віці він закінчив середню школу і відомий у Житомирі професор Бельський взяв його на роботу у Волинський музей, призначивши на геологічну зйомку, яку проводив на Волині. У той же час Борис Олександрович вступив до Волинського індустріального політехнікуму, який успішно закінчив 1928 р. Ще учнем політехнікуму Борис Олександрович встиг попрацювати не тільки на геологічній зйомці на Волині, але й у Радєвській експедиції АН СРСР, де познайомився з академіком Олександром Євгеновичем Ферсманом. У 1927 р Борис Олександрович пише лист академіку В.І. Вернадському, де повідомляє, що дуже цікавиться та захоплюється геохімією, "яка відкриває широкі обрії у пізнанні земної кори". У листі він пише про те, що його знають академік О.Є. Ферсман та професор Є.С. Бурксер, з яким він "влітку цього року їздив по Волині для дослідження радіоактивності вод джерел".

Перша наукова публікація Бориса Олександровича, яку було присвячено дослідженню пеліканітів, вийшла з друку у 1928 р. Тоді автору було лише 20 років.

Після закінчення політехнікуму Б.О. Гаврусевича направили на роботу до Українського відділення Геолкому. Спочатку він працював у Нікопольській марганцевій партії, а 1929 р уже виконував спеціальне завдання Геолкому щодо вивчення сульфідних руд габрових масивів Волині.

1929 року академік О.Є. Ферсман, який слідкував за успіхами молодого геолога, запрошує його у Тяньшанську експедицію АН СРСР на посаду наукового співробітника. Борис Олександрович вирушає до Середньої Азії.

Не дивлячись на те, що Борис Олександрович не мав вищої освіти, академік О.Є. Ферсман 1930 р запропонував йому вступити до "підвищеної" аспірантури при Інституті мінералогії та геохімії і став його керівником. Навчаючись у аспірантурі, Б.О. Гаврусевич проводив дослідження пегматитів та радіоактивних мінералів України, був мінералогом Таджики-Памірської експедиції АН СРСР. У 1931 р працював начальником відділу Південно-Уральської та Байкальської геохімічних експедицій Інституту мінералогії та геохімії АН СРСР.

1932 року навесні Б.О. Гаврусевич достроково та успішно закінчив аспірантуру та отримав звання "вченого-спеціаліста-професора" і був призначений тимчасово на посаду в.о. директора Хібінської гірничої станції АН СРСР, де досліджував пегматити Хібінської та Ловозерської тундр. У тому ж році Борис Олександрович вивчав на Волині топазові пегматити і поставив питання про дослідження кварців з цих пегматитів як п'езосировини. У 1933 р він був призначений начальником Волинської п'езокварцової експедиції, залишаючись у той самий час начальником При-