**Київський національний університет
імені Тараса Шевченка**

І.М.Байсарович, М.М.Коржнев, В.М.Шестопалов

БАЗОВІ ПОНЯТТЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ГЕОЛОГІЇ

Київ – 2008

УДК 55; 504; 574
ББК

Рецензенти:
д. біол. н., акад. НАН України, проф. Ю.Р. Шеляг-Сосонко,
д. т. н. Є.О.Яковлєв

Науковий редактор:
д. г.-м. н., акад. НАН України, проф. В.М.Шестопалов

Рекомендовано до друку вченою радою геологічного факультету
(протокол № … від …… року)

Байсарович І.М.. Коржнев М.М., Шестопалов В.М.
Базові поняття екологічної геології /. – Київ: Видавництво географічної літератури „Обрії". – 2008. – 124 с.

У навчальному посібникові, який розраховано на геологічні факультети вищих навчальних закладів, узагальнено досвід російських, українських і інших вчених-дослідників у вивченні екологічних проблем геологічного середовища та надені основні поняття екологічної геології.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
Лист № …… від ……..р.

ISBN

© І.М.Байсарович, М.М.Коржнев, В.М.Шестопалов

Зміст

Стор.

ВСТУП .....
1. БІОСФЕРА ТА ЕКОЛОГІЯ ……
2. ЕТНОС ТА ЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ЙОГО ІСНУВАННЯ
3. ТЕХНОСФЕРА І НООСФЕРА .....
4. ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ ЯК НАУКА .....
5. РЕСУРСИ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА .....
6. НЕБЕЗПЕЧНІ ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ .....
6.1. Катастрофічні процеси .....
6.2. Небезпечні процеси ……
6.3. Несприятливі процеси .....
6.4. Вплив діяльності людини на геолого-динамічні умови територій .....
6.5. Геодинамічні та інженерно-геологічні критерії оцінки екологічного стану територій .....
7. ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ ГЕОХІМІЧНІ ПОЛЯ
7.1. Природні геохімічні поля і аномалії .....
7.2. Техногенні геохімічні поля і аномалії .....
7.3. Вплив геохімічних полів на живі організми і людину .....
8. ПРИРОДНІ ТА ТЕХНОГЕННІ ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ …….
8.1. Природні геофізичні поля та їх аномалії .....
8.2. Техногенні геофізичні поля .....
8.3. Вплив геофізичних полів на живі організми і людину .....
8.4. Геофізичні критерії оцінки еколого–геологічних умов .....
9. МЕТОДОЛОГІЯ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ .....
9.1. Оцінка екологічного стану систем .....
9.2.Спеціальні методи екологічної геології .....
9.3. Складові та рівні еколого-геологічного моніторингу .....
9.4. Екологічні небезпека, ризик та збитки .....
Л і т е р а т у р а .....

ВСТУП

Спочатку екологія виникла в лоні біології, як наука, що вивчає взаємозв'язки між організмами (тваринами і рослинами) і середовищем їх мешкання. Це досить вузька і традиційна наукова дисципліна. Але у зв'язку зі швидкими негативними масштабними змінами навколишнього природного середовища під впливом техногенезу у другій половині минулого століття стало зрозумілим, що виникла реальна загроза для існування не тільки окремих біологічних видів, але й всього живого на нашій планеті (у тому числі і людини як біологічного виду). Поняття «екологія» поступово набуває більш широкого значення, яке більш відповідає назві „геоекологія", теоретичні основи якої були закладені ще В.І.Вернадським.

У 50-70-х роках минулого століття рівень забруднення довкілля у багатьох промислових центрах розвинутих країн досягав критичної межі. У подальшому, розуміння екологічних загроз як широкими колами громадськості, так і на державному рівні, призвело до значного покращення якості довкілля в найбільш розвинутих країнах. До цього періоду відноситься і початок теоретичного осмислення екологічних питань і формування основних положень сучасної геоекології. Об'єктом її вивчення являється оточуюче середовище у широкому розумінні цього терміну – як генетично єдині оболонки Землі: надра (літосфера), гідросфера, атмосфера. Але при розгляді екологічних проблем домінували питання забруднення земель, води і повітря. Літосфера до цього переліку була додана пізніше, значною мірою завдяки загостренню екологічної ситуації у регіонах інтенсивного і довготривалого використання надр. Все це обумовило появу нової наукової дисципліни - екологічної геології, об'єктом вивчення якої стала верхня частина літосфери, що піддається антропогенному впливу. Цю частину літосфери часто також називають геологічним середовищем.

Екологічна геологія як наука почала формуватись на початку 90-х років минулого століття багато у чому завдяки дослідженням російських і українських вчених. Основи екологічної геології викладені у підручниках Московського державного університету ім. М.В.Ломоносова (2002 р.) і Київського національного університету ім. Т.Г.Шевченка (2006 р.). Навчальний посібник сформовано на базі цих двох підручників з наданням деяких додаткових матеріалів.

1. БІОСФЕРА І ЕКОЛОГІЯ

Як відомо, слово «екологія» складається з двох грецьких слів (ойкос – дім і логос – наука, слово).

Отже екологія – це наука (слово) про взаємовідношення живих організмів з середовищем свого існування, інакше кажучи, екологія – це наука про умови, закономірності проживання всього живого в нашому загальному домі – на планеті Земля. Планета, як і більшість домів, має декілька кімнат – сфер, в яких і проживає все різноманіття живого. В зв'язку з цим дослідники, звичайно, виділяють такі основи сфери Землі: атмосферу, гідросферу, педосферу, літосферу.

Завдяки роботам П.Тейяра де Шардена, Е.Зюсса, В.Вернадського було сформульовано нове наукове поняття – біосфера – сфера життя на планеті Земля. Оскільки все різноманіття живого не існує самостійно, а частково або повністю насичує, пронизує різні сфери Землі, то біосфера накладається на згадані вище сфери і разом з ними утворює єдину сферу життя. Таким чином біосфера складається з двох основних компонентів – біотичної (всього живого) і абіотичної (не живої).

Вперше згадку про екологію ми знаходимо у німецького біолога Ернста Геккеля в роботі «загальна морфологія організмів» (1866 р.). Пізніше він писав, що «екологія – це наука … про взаємозв'язки взаємовідношення, які існують між середовищем (органічним і неорганічним) і живими істотами». За Е.Геккелем середовище – сукупність умов, які утворюють органічні і неорганічні компоненти природи. В цю сукупність він включає фізичні і хімічні особливості місць проживання організмів – клімат, склад води і грунту, атмосферу, мінерали і хімічні сполуки, тощо. За минулі більш ніж 100 років популярними стала не тільки екологія в розумінні Е.Геккеля, але і багато інших екологічних напрямів, які розвивались в рамках інших наук. З урахуванням підрахунків Н.Реймерса (1990) екологія зараз може мати більш ніж 30 наукових відгалужень, які розвивались в зв'язку з іншими науковими напрямами.

В сучасному розумінні екологія – це комплекс наук, який вивчає взаємовідносини живих організмів, надорганізменних біологічних утворень, біокосних систем з оточуючим середовищем, що складається в свою чергу з декількох важливих системних утворень.

Для кращого розуміння предмету нашого викладання розглянемо деякі споріднені напрями екології, які мають важливе значення для загального уявлення про його місце і взаємозв'язки. Перш за все відмітимо, що в зв'язку з розширенням змісту екології як біологічної науки до цілого комплексу екологічних напрямків, суто біологічні аспекти екології виділені в окремий науковий напрям – біологічну екологію (біоекологію). Цей

напрям досліджує існування окремого біологічного виду чи їх сукупності у взаємодії в рамках тої чи іншої природної системи.

Ще в 1935 р. А.Тенслі ввів поняття «екосистема» як термін для відображення функціональної єдності між сукупністю абіотичних умов і функціонуючим в їх межах комплексом живих організмів. Пізніше були введені також поняття – *біотоп* (тобто сукупність абіотичних умов) і *біоценоз* (сукупність організмів, які існують в умовах конкретного біотопу), а також термін *біота*, який охоплює біооб'єкти і території більші ніж біоценоз.

Знайшов визнання (особливо серед екологів-біологів) термін *біогеоценоз,* який в значній мірі співпадає з терміном екосистема.

Н.Реймерс (1994) виділив в складі біоекології системну біоекологію, яка складається з ендобіоекології і екзобіоекології, біоекологію систематичних груп, еволюційну екологію і палеоекологію. Відмітимо, що еволюційна екологія і особливо палеоекологія можуть мати відношення не тільки до біоекології, а й для інших напрямів екологічного комплексу наук. Необхідно відзначити виключну важливість біоекологічнх досліджень як в умовах активних антропогенних впливів, так і, перш за все, в умовах суто природного середовища, яке змінюється за природними законами. Останні дослідження необхідні для:

- виявлення процесів і закономірностей формування і відмирання екологічних біоценозів в стабільних і природно еволюціонуючих біотопах;
- порівняльного аналізу формування і деградації біоценозів в природних і антропогенно змінених біотопах з метою виявлення антропогенної компоненти змін біоценозів.

Важливими проблемами біології і, тим більше, біоекології є виявлення умов і закономірностей утримання стабільності біосфери, її здатності реагувати на зовнішні збудження в діапазоні її квазірівноваги. Виявлення границь цієї квазірівноваги для різних умов є дуже важливою науково-практичною проблемою. Адже за межами цих границь починається деградація біосфери, яка може поступово стати незворотною. Умови незворотності деградації біосфери при різноманітних її станах також важливо дослідити з метою розробки і впровадження управлінських рішень щодо її реабілітації (подальшого відновлення). Отже завданням біоекології є науковий опис еволюції біосфери в природних і техногенно змінених умовах, виявлення основних закономірностей, а також крайові умови початку її деградації, а це грандіозна по складності проблема. Адже біосфера – це суперскладна нелінійна система, що постійно розвивається, деформується, змінюється.

Ці зміни і поступові ускладнення біосфери відбуваються завдяки безлічі позитивних і від'ємних зворотних взаємозв'язків. При цьому позитив-

ні зворотні взаємозв'язки є умовою ускладнення біосистем, збільшення різноманітності її елементів, тобто є основою розвитку біосфери в умовах підтримання її цілісності.

Від'ємні, зворотні зв'язки підтримують (в умовах розвитку системи) стабільність (гомеостаз) її складових і сприяють збереженню існуючої квазірівноваги. За даними, отриманими академіком АН СРСР М.Моісєєвим, суттєва перебудова біосфери не обов'язково потребує таких великомасштабних потрясінь, як ядерна війна чи падіння на Землю великого метеорита. За результатами моделювання перетин границі стійкості біосистеми і перехід її в якісно новий стан може відбуватися внаслідок досить незначних, але постійно діючих збурень. А це особливо небезпечно, враховуючи постійно зростаючий техногенний прес. Отже майбутня теорія біосфери і біоекології повинна бути не просто сукупністю механізмів існування окремих елементів біоти і абіотичних складових, а інтегрально багатофакторною і мультипроцесорною динамікою біосистем в нелінійній постановці з чітким описом структури.

Тепер стисло розглянемо відомі закономірності формування і існування живих організмів і окремих екосистем. Перш за все декілька законів, виведених екологами.

1. *Потреби організму повинні знаходитись у відповідності з можливостями оточуючого середовища.* Отже якщо ці можливості змінюються, то і потреби повинні відповідним чином змінюватись, а це призводить до менших, або більших змін в екосистемі аж до її повного розвалу і зменшення. Цей закон у формі ствердження сформулював у 1946 р. харківський еколог Микола Калабухов.

2.Частота переходів організмів з одного стану в інший визначає процес резервування енергії, а не знаходження її в одному із всієї можливої сукупності станів. Це положення сформульовано Віталієм Межжеріним, відомим екологом, членом-кореспондентом НАН України. Відповідно до цього положення в біосфері існує якісна і кількісна ієрархія енергій. Наведемо пояснювальний приклад. Рослиноїдна тварина в середньому одиницю своєї енергії створює за рахунок десяти одиниць енергії рослинності, яку вона вживає. В свою чергу між енергією рослиноядної тварини і хижаком існує, в середньому також десятикратне співвідношення. В зв'язку з таким співвідношенням енергій їстівного ланцюжка піраміда енергій не може налічувати більше п'яти рівней. А це, за думкою В.Межжеріна, означає, що конкретний біоценоз поступово по мірі його еволюції (ускладнення) вичерпує свої можливості не більше ніж до п'ятого рівня отримання енергії. Цей процес розвитку екосистеми, зміни одних груп організмів іншими називається *сукцесією.* Одиницю сукцесії (розвитку) екологи назвали «ряд» (sere), а завершальний етап розвитку названо «клімакс». Отже перехід від одного «ряду» (ступені) до іншого

означає і перехід до більш високої якості біоенергії. А це призводить до відповідного збільшення кількості екологічних комірок (ніш) і відповідно до збагачення новими біологічними видами. Адже кожен біологічний вид має свою спеціалізацію щодо конкретних джерел енергетичних ресурсів: одні рослинноядні вживають лише траву, другі листя кущів, треті – гілля, тощо. Стан клімаксу відповідає найбільшому різномаїттю біологічних видів в конкретних кліматичних умовах, найбільшій загальній біомасі і найбільшій стійкості щодо зовнішніх негативних впливів.

Але максимальне зростання кількості продукції відповідно додаткової енергії відбувається на ранніх стадіях сукцесії, що забезпечує найбільші можливості створення все нових екологічних комірок і заселення її новими видами.

Наведемо деякі приклади. Тундра, не зважаючи на досить суворі кліматичні умови, має чітку ієрархію енергій, яка забезпечується різноманіттям біологічних видів. Уявімо, що в зв'язку з потеплінням почне рости ліс. Це призведе, як не дивно на перший погляд, до зниження чистої продукції в їстивному ланцюжку. В результаті стадні види тварин почнуть покидати цю місцевість. А за ними потягнуться і інші, зв'язані єдиним їстівним ланцюжком. Щодо потенційної продуктивності тундри є свідчення археологів і палеозоологів, які вивчали стоянки древньої людини. Так біля стоянки Солютре (Франція) знайдено кісткові останки біля 100000 коней, на десятках стоянках в Україні кістки мамонтів використовували як будівельний матеріал у великій кількості. Тобто можна стверджувати, що біоценоз в той час був значно потужнішим, ніж сучасної тундри.

Тропічні ліси в зоні гумідного клімату вже біля 20 млн. років знаходяться в стадії клімаксу. Все, що породжує цей ліс, витрачається на підтримку своєї життєдіяльності. Тут всі екологічні комірки зайняті і подальший розвиток сукцесії не відбувається.

На сторожі існуючої сукцесії африканських саван стоять всі копитні тварини (антилопи, зебри, тощо) на чолі зі слонами, котрі витоптують парости майбутніх дерев і кущів, об'їдають листя кущів, заважаючи їм перетворитись на ліс, який витісняє травоїдних тварин.

Отже населення будь якого біоценозу поділяється на *автотрофів* – тобто організмів, які отримують живу продукцію із неорганічних сполук, витрачаючи на це сонячну енергію, яку засвоюють з допомогою хлорофіла.

Другу групу складають *гетеротрофи,* які збільшують свою масу і підтримують життєдіяльність за рахунок автотрофів.

Автотрофи починають розвиток і постійно (при відповідних умовах) нарощують продукцію. Гетеротрофи знижують об'єм продукції, але підвищують якість енергії. Зміна природних умов, перш за все, призводить до загибелі, або еміграції гетеротрофів, які знаходились в попередніх

умовах сукцесії на вершині піраміди енергії. Шістдесят мільйонів років тому це були динозаври. Десять тисяч років тому це були мамонти. Вилучення головних гетеротрофів призводить до досить швидкого розвалу даного біоценозу. В результаті починається розвиток нового біоценозу стійкого в нових кліматичних, і, можливо, ландшафтних умовах.

Отже за даними В Межжеріна біоценотична криза може зароджуватись при наявності благополуччя, яке призводить до клімаксу. Адже при стані клімаксу існує максимальна кількість видів, що найбільш потужно використовують сукупну продукцію біоценозу, яка б знаходилась при деякому погіршенні умов. Досить часті і відчутно більші ніж звичайні (але не катастрофічні) тиски зовнішніх факторів (зміни температур, водності, тощо) призводять до руйнації біоценозів. Тому саме біоценози у стані зрілого клімаксу найбільш чутливі до змін зовнішніх умов і найбільше беззахисні.

Чим більша руйнація біоценозу відбувається, тим більше часу потрібно для початку нової сукцесії. Причому, в залежності від потужності змін клімату і ландшафту нова сукцесія може кардинально відрізняться від докризисної. Отже і результати моделювання біосфери в цілому (див. вище) і аналіз умов розвитку і стійкості біоценозів свідчать про уразливість біосфери щодо зовнішніх збурень і змін біотопів, які можуть призвести до значних екологічних катастроф.

Все це необхідно враховувати людині, яка нарощує постійний тиск на природу і деформує природні геоценози, які в природних умовах знаходились на різних етапах розвитку і тому по різному реагують на людський зовнішній прес.

2. ЕТНОС ТА ЕКОЛОГІЧНІ УМОВИ ЙОГО ІСНУВАННЯ

Відомо, що наша планета є складною природною системою. Будь-який зовнішній вплив на Землю спричиняє ланцюгові взаємодії між окремими її елементами. Такими зовнішніми факторами є: гравітаційний вплив обертання Місяця навколо Землі, зміни сонячної активності, положення Землі відносно Сонця та Сонячної системи відносно центру Галактики, які впливають на клімат Землі тощо.

Органічний світ нашої планети швидко розвивався в періоди потепління (інтерстадіали) і деградував в періоди великих зледенінь (стадіалів). Під час останніх виживали найбільш пристосовані до екстремальних змін навколишнього середовища види рослин і тварин. Наша цивілізація розквітла в період потепління між двома зледеніннями – минулим – близько 10 тис. років тому, і майбутнім, який за різними оцінками слід очікувати через ~10-20 тис. років (за даними палеоботаніків вже через ~5 тис. років).

Таким чином, *основні параметри середовища нашого існування формуються в першу чергу за рахунок постійних змін клімату та викликаних ними (або змінами клімату близького геологічного минулого) різноманітних природних процесів.*

Тривалість природних циклів і ритмів кліматичних змін зазвичай значно перевищує термін існування окремих індивідів органічного світу (флори і фауни), у тому числі й життя людини. Лише за півперіод найменшого циклу глобального зледеніння (відрізок часу між піком потепління і піком попереднього зледеніння) змінюється біля 150 поколінь людей. В той же, час основні параметри довкілля (рельєф, ландшафт, річкова сітка, хімічний склад ґрунтів і підземних вод, середньорічна температура повітря та ін.) змінюються зі швидкістю, яка відповідає природній кліматичній циклічності. Відносно "висока" швидкість змін поколінь людства, яку не можна порівняти з "низькою" швидкістю глобальних кліматичних змін, забезпечує адаптацію людського організму до умов навколишнього середовища на генетичному рівні. Можна зробити висновок, що *головною умовою сталого розвитку етносу (за відсутності значних техногенних змін навколишнього природного середовища) є відповідність його адаптивної здатності, на генетичному і соціально-культурному рівнях, швидкості змін природних умов в яких відбувається етногенез.* В свою чергу, *природні умови, за яких забезпечується сталий розвиток етносу, мають перебувати у стані рухомої рівноваги, тобто* ***гомеостазу****.*

Людина, на відміну від інших представників тваринного світу, можливості впливу яких на параметри довкілля різко обмежені, в сучасний історичний період здатна досить швидко змінювати навколишнє природне середовище у масштабах, які можна порівнювати з масштабами геологічних явищ. Загалом, значення самої появи людини для історії земної кулі можна порівняти з найбільш потужними катаклізмами. За час розвитку цивілізації людина неодноразово спричиняла порушення біологічної рівноваги, тому свою історію нам слід розглядати як суцільну боротьбу з навколишнім середовищем, як безперервний процес неусвідомленого руйнування природи. На думку визначного фахівця в цій галузі французького зоолога Жана Дорста (1968), біологічна рівновага між людиною і природою була порушена досить швидко, можливо з того часу коли мисливець став скотарем, і безумовно - з того часу, коли він перетворився на землероба. Деякі райони світу, які здавна були населені людьми і стали колискою прадавньої культури, прийшли до занепаду задовго до виникнення «сучасної цивілізації».

Щоб осягнути яких масштабів може досягти вплив на рівноваги в природі навіть найпримітивніших людських суспільств, достатньо згадати практику підпалювання лісу для полегшення полювання на тварин, до якої вдавалися деякі африканські племена та індіанці. Лісові пожежі в

Африці завдали величезної шкоди автохтонним рослинним угрупованням, повністю їх видозмінивши, що призвело до прискорення процесів ерозії ґрунтів і зміни ландшафтів, а на Північноамериканському континенті – до розширення зони прерій. При цьому вплив первісних мисливців на природні ландшафти є найменшим, причиною чого слугує не тільки низька щільність заселення територій, а й неможливість тривалого зберігання впольованої дичини, що не дозволяло їм вести полювання у масштабах, які б загрожували порушенням природної рівноваги.

Вплив первісних скотарів на навколишнє природне середовище був, безперечно, набагато суттєвішим, ніж мисливців, а прямим наслідком цього стало зменшення залісених та розширення відкритих площ, тобто савани і степів. Коли йдеться про віддалені епохи історії людства, фахівці не можуть впевнено визначити хто ж саме є винуватцем лісових пожеж – скотар чи землероб? Обидва займалися випалюванням лісових масивів для своїх потреб. Однак подальша деградація «освоєних» в такий спосіб територій достатньо уніфікована:

1) загибель дерев, кущів і всіх багатолітніх трав в результаті пожеж;
2) формування в межах постраждалих територій фітоценозів з домінуванням однорічних трав;
3) розвиток явищ прискореної ерозії ґрунту (територія колишнього лісу стала відкритим простором, де через порушення рослинного покриву є ділянки незадернованого ґрунту – потенційні зони надмірного зволоження (живлення приповерхневих горизонтів підземних вод) та надмірного випаровування (джерело пилу);
4) порушення водного режиму (іноді мікрокліматичні зміни);
5) зміна ландшафту.

Небезпідставно вважають, що деградація значної кількості земель у Середземномор'ї та на Близькому Сході, яка мала місце задовго до виникнення промислової цивілізації, була спричинена не тільки змінами клімату, але й скотарством (спустелювання у зв`язку з масовим знищенням трав`яного покриву внаслідок випасання худоби).

Наступна форма господарської діяльності людини – землеробство – викликала ще більш глибокі зміни первинних ландшафтів. Розширення площ орних земель в Месопотамії, на Близькому Сході і Середземномор'ї призвело до глибоких змін в навколишньому середовищі, що з часом проявлялося у стійкому процесі деградації ґрунтового шару, наслідком якого була втрата родючості. Власне Євразію можна вважати першим континентом, який постраждав від зростання чисельності людства в античний період.

Найтяжчим наслідком впливу людини на природу було винищення лісів, які займали більшу частину континенту. В Середземномор'ї цей процес розпочався набагато раніше, ніж в інших частинах Європи. Атти-

ка була повністю позбавлена лісових угідь вже в V ст. до н.е. За свідченнями авторів античних часів, ліси на той час утворювали щільну, майже безперервну лісову зону за межами узбережжя Середземного моря. Широкомасштабне знищення лісу тут почалося в середні віки. Ліс ототожнювали з "варварством" і вважали за необхідне змусити його відступити в ім'я цивілізації. А під цивілізацією тоді розуміли землеробство і освоєні людиною місця поселення. Такі тенденції у соціальному мислені є віддзеркаленням процесу розселення та осідання народів на нових європейських територіях і, безперечно, мали як економічне, так і соціальне підґрунтя.

На теренах сучасної Європи ще існують значні лісові масиви, однак у порівнянні з площами поширення лісів у минулому, вочевидь, сучасні ліси є розрізненими острівцями з сильно зміненою екологією (Ж.Дорст,, 1968). Систематичне знищення лісового покриву, і, натомість, розширення площ орних земель, неминуче призводило до зміни природних **біотопів** Європи і з давніх часів супроводжувалося меліоративними заходами (зокрема осушенням заболочених зон). Як це позначалося на природній флорі і фауні? Завдяки відносно повільним темпам процесів зміни біотопів у Європі, певна кількість видів поступово пристосувалася до нових умов і знайшла притулок в зонах, віддалених від прямого впливу людини, незважаючи на обмеженість та розпорошеність цих місць. Невеликі тварини збереглися в цих зонах і до нашого часу, хоча їх чисельність і невпинно скорочувалася. Однак, ссавці великих розмірів постраждали набагато сильніше: екологічні умови виживання таких видів виявилися несумісними з процесами перетворення та розчленуванням біотопів.

До початку епохи великих географічних відкриттів левова частка суходолу була в непорушеному стані. На цей момент дуже видозміненими людиною виявилися Середземноморський басейн, райони Близького Сходу, Південної та Південно-Східної Азії та деякі території Нового Світу, оскільки саме тут зародилися давні цивілізації.

Роки стрімкої експансії європейських народів ознаменовані безпрецедентним пограбуванням природних багатств інших континентів та варварським винищенням **біоти**. Не менш небезпечними виявилися завезені інфекційні хвороби та інтродукція чужорідних рослин і тварин. Як відомо, першою ареною експансії була Північна Америка, заселена білими людьми в XVIII ст., потім Австралія і, насамкінець, Африка та Південна Америка. Ці три континенти за оцінками біологів постраждали найбільше, оскільки саме тут зникла або передчасно вимерла найбільша кількість видів тварин і рослин.

Північна Америка напередодні масового вторгнення європейців (приблизно на початку XVII ст.) залишалася ще "незайманою", майже первіс-

ною землею. Життя корінного населення, розпорошеного по всьому континенту, протікало у гармонії з навколишнім середовищем. Зміни природних умов цього континенту розпочалися і посилювалися зі зростанням кількості населення та розселенням поселенців зі сходу на захід. В Північній Америці набув розвитку процес, подібний до того, який мав місце і в Європі, але пов'язані з ним зміни були набагато сильнішими внаслідок швидкої експансії цивілізованої людини, яка мала в своєму розпорядженні вже більш ефективні заходи "приборкання" природи. Якщо в Європі для цього процесу знадобилися багато сторіч, то для Нового Світу виявилось достатнім близько 200 років, а масштаби перетворень були набагато більшими. Цікавою є оцінка цього періоду історії США Фейрфілдом Осборном: "... історія нації ... з точки зору нестримного хижацького використання природних багатств ... не має прикладів у всій довготривалій історії цивілізації. Стрімкість плину подій не має собі рівних. Фактично це історія людської енергії, енергії бездумної і безконтрольної".

Вторгнення людини суттєво змінило первинні ландшафти континенту Східна частина втратила лісовий покрив, а прерії в центральній частині Північної Америки були перетворені на зону екстенсивного землеробства. Лише найпосушливіші райони на заході континенту, завдяки своїм безплідним ґрунтам, зберегли більш-менш первісний вигляд. Наслідком цих процесів було стрімке зменшення числа видів флори і фауни. Біологи вважають, що Північна Америка є одним із найтрагічніших прикладів руйнування природного комплексу так званою "цивілізованою" людиною.

Діяльність людини негативно позначилася на природі Африканського континенту ще задовго до європейської колонізації, однак між природним середовищем і корінним населенням ще зберігалася відносна рівновага. Кількість африканського населення суттєво скоротилася внаслідок работоргівлі і багатьох хвороб. Коли ж почалася масова експансія білої людини материк було фактично спустошено, а щільність населення впала до найнижчого, порівняно з іншими регіонами світу, рівня. А от кількість диких тварин просто вражала уяву європейців. Однак більша частина африканської фауни виявилася надзвичайно чутливою до змін екологічних умов. Хижацьке винищення фауни почалося у XVIII ст. після того, як голландці, спочатку освоївши площі в південній частині Африки, розпочали просуватися на північ. Менш ніж за сто років, в результаті масового винищення фауни, перетворення природних біоценозів (випалювання лісів) і завезення чужорідних рослин і тварин, зникла унікальна природна екосистема, яка формувала первинне біорозмаїття Африки.

Підсумовуючи наведене, можна дійти висновку, що ще *на зорі свого існування людство вже несло в собі деструктивне начало, навіть механізми самознищення, які набули драматичних рис на подальших етапах історичного розвитку. Проблеми охорони природи і раціонального*

використання її ресурсів виникли по суті з моменту появи людини на Землі.

Але з початком науково-технічної революції ситуація докорінно змінилася. Висока, часто надмірна, ступінь використання природних ресурсів (мінерально-сировинних, земельних, водних, лісових та ін.), здатність змінювати рельєф та створювати великі штучні водоймища і канали, масштабне забруднення ґрунтів, гідросфери і атмосфери вже призводить до швидких "техногенних", фізико-географічних та кліматичних змін. Крім того, в зону взаємодії людини з біосферою, атмосферою, гідросферою і літосферою у значній кількості вносяться такі хімічні сполуки, які не існували в природних умовах або існували у невеликій кількості у розпорошеному стані. З початку XX століття таких речовин було синтезовано близько 10 млн. З них 1 % виробляється в промислових масштабах. Ці сполуки включаються в біогеохімічні ланцюжки і змінюють характер біогеохімічних реакцій з непередбачуваними для розвитку живих організмів наслідками. За таких умов *техногенний вплив етносу на природні умови збільшує швидкість їх змін до значень, за яких адаптивна здатність етносу втрачається спочатку на соціально-екологічному, а потім і на психологічному та біохімічному рівнях.* Останнє проявляється, наприклад, як імунний дисбаланс. Без сумнівів, такі зрушення зачіпають складові стабілізаційного відбору, що надалі має прояв вже на генетичному рівні. Наостанок настає фаза деградації етносу.

У другій половині минулого століття світова цивілізація втупила в новий етап свого розвитку, характерною рисою якого стала втрата екологічного балансу – балансу біосфери, що виявилося в шести глобальних екологічних кризах, а саме: потепління клімату; озонові дірки в стратосферному озоновому шарі; кислотні дощі; спустошливість; накопичення в ґрунтах токсичних відходів і. нарешті, знищення біорізноманіття – енергетичної, біогенетичної та інформаційної основ функціонування біосфери. Сьогодні людина як складова частина живої (за В.І.Вернадським) речовини є головним чинником техногенного перетворення біосфери та погіршення показників біорізноманіття. На черзі щонайменше три глобальні екологічні кризи: дефіцит чистої прісної води, погіршення екологічного стану світового океану та забруднення планети промисловими, побутовими, радіоактивними, хімічними та іншими відходами.

Наша планета є рівноважною системою, здатною до саморегуляції. Коли щось змінюється в будь-якій сфері природного середовища, починають діяти ланцюжки взаємодій з іншими сферами, щоб зберегти рівновагу системи. У більшості випадків це відбувається на регіональному рівні, але деякі ланцюжки взаємодій виходять на глобальний рівень. На регіональному рівні (візьмемо, наприклад Україну), у випадку коли людина починає використовувати якийсь ресурс з одночасним формуван-

ням значних обсягів відходів, включаються ланцюжки взаємодій складових навколишнього середовища, внаслідок чого змінюються параметри довкілля – природні умови етносу. Чим більше використовується природних ресурсів, тим більше і швидше відхиляються ці параметри від природних. Це і є результатом **антропогенного**, у більшості випадків **техногенного впливу** на довкілля, з перетворенням природних або формуванням техногенних потоків енергії, хімічних елементів і сполук.

Постає ряд питань. Наскільки етнос або держава може експлуатувати (використовувати) певний наявний природний ресурс? Яким чином слід оцінювати обмежуючі фактори розвитку на якісному і кількісному рівнях?

До певної межі використання природного ресурсу практично не змінює регіональні параметри довкілля, які мають безпосередній вплив на людину (цю межу можна визначити як адаптивну ємність ресурсу).

На жаль для більшості природних ресурсів на території України, внаслідок забруднення вод, земель, повітря, формування значних обсягів небезпечних рідких, твердих та радіоактивних відходів, людина переступила цю межу. Сьогодні, на фоні все більш зростаючого використання природних ресурсів, країна не в змозі зупинити інерцію процесу, який визначається формулою: *чим більше береться від природи, тим швидше змінюються параметри довкілля, а з ними - природні умови збалансованого і адаптованого (сталого) розвитку етносу.*

Тривалий економічний розвиток будь-якої країни, що ґрунтується на інтенсивній експлуатації надр, окрім безсумнівних переваг, має й негативні наслідки, а саме: 1 – поступове виснаження надр з погіршенням гірничо-геологічних умов розробки родовищ і спадом конкурентоспроможності мінеральної сировини на світовому ринку; 2 – формування структури економіки з переважанням ресурсномістких і енергоємних важких галузей виробництва; 3 – накопичення масштабних негативних екологічних наслідків довготривалого, а частіше практично незворотного характеру.

Тут слід коротко зупинитися на причинах неблагополучної екологічної ситуації, характерної для України загалом. Головна причина полягає в інтенсивному освоєнні її території за Радянської доби. Переобтяжена об’єктами важкої промисловості, надмірними обсягами використання надр, застарілими технологіями видобутку корисних копалин та збагачення сировини, Україна стала ареною надмірного техногенного пресу впродовж багатьох десятиріч. При виборі місця розташування об’єктів підвищеного екологічного ризику, зокрема і стратегічних, не бралися до уваги екологічні міркування та не оцінювалися наслідки від можливих аварій та форсмажорних обставин. Відтак рівень забруднення навколишнього середовища набув загрозливих масштабів. Безумовно це не могло не вплинути на демографічну ситуацію. Впродовж останніх десяти

років нація у своєму розвитку перетнула дуже небезпечну межу – коли смертність почала перевищувати народжуваність. Цей феномен одразу ж отримав назву «Хрест слов'янських народів». Існує й інша тенденція – підвищена смертність чоловіків працездатного віку. У нас смертність чоловіків у найбільш продуктивному віці (20-60 років) у три-п'ять разів перевищує середньоєвропейські показники. Введено в ужиток термін «надсмертність» слов'янських чоловіків (Г.Апанасенко 2007).

Для більш змістовного розгляду змін природних умов розвитку етносу доцільно ввести наступні поняття:

- адаптивна ємність ресурсу – кількість використаного природного ресурсу того чи іншого виду, за якої ресурс втрачає свої якісні характеристики або довкілля виявляється вже неспроможним до адаптації без суттєвих змін своїх параметрів;
- адаптивна ємність довкілля щодо використання природних ресурсів – інтегральний показник ступеню використання природних ресурсів (їх кількості), при якому різко зростає швидкість негативних змін природних умов;
- адаптивна ємність організму людини щодо антропогенних (техногенних) змін природних умов – інтегральний показник, який враховує ступінь і швидкість відхилення параметрів довкілля від природних під впливом діяльності людини, при якому втрачається здатність організму до адаптації на фізичному і генетичному рівнях.

Останнім часом в наукових колах дискутується питання щодо так званої "*загальної адаптивної ємності довкілля або асиміляційного потенціалу навколишнього середовища*" – інтегрального показника здатності довкілля витримувати антропогенний вплив.

Загальна адаптивна ємність довкілля для різних регіонів України визначається рельєфом, фізико-географічними і кліматичними умовами місцевості, її лісистістю, типом ґрунтів, геологічною будовою території, гідрогеологічним режимом підземних вод, тощо. Неврахування природної захищеності територій при плануванні і здійсненні на них господарської діяльності в деяких випадках призводять до перевищення зазначеної ємності. Це вже широко відомі приклади активізації повеневих, зсувних процесів та селів у Закарпатті внаслідок вирубки лісів й підрізки схилів; підтоплення в південних регіонах України внаслідок водогосподарської діяльності людини і порушення природного дренування території тощо. Значними техногенними змінами довкілля і втратою його здатності щодо відновлення відзначаються гірничо-промислові регіони, в межах яких через значні обсяги гірничих робіт порушена рівновага надр та їх природна взаємодія з біосферою, гідросферою та атмосферою. Реальним шляхом гарантування безпечного рівня загальної адаптивної ємності довкілля окремих територій може бути визначення і

встановлення для них регіональних екологічних нормативів ведення господарської діяльності, виходячи з їх природних особливостей і екологічного стану. Необхідно на законодавчому рівні закріпити існування системи таких регіональних нормативів і суворий контроль за їх додержанням.

Мінеральна сировина, як частина надр, є найпотужнішим за використанням природним ресурсом (за вагою, глибиною вилучення та незворотністю змін верхньої зони літосфери). Результатом цього сьогодні є *нова геохімічна (біогеохімічна, атмохімічна, гідрохімічна) ситуація верхньої зони геологічного середовища в ряді регіонів України*, внаслідок виносу на поверхню хімічних елементів та сполук, які були стабілізовані на глибині, а на поверхні – знаходяться у не рівноважному стані і через ґрунти, воду і повітря включаються до ланцюжків біохімічного обміну біоти.

При розробці родовищ корисних копалин в Україні формуються зони техногенних ландшафтно-геохімічних систем, в межах яких суттєво порушуються біогеохімічні кругообіги і формуються нові біогеоценози, які являють собою відносно стійки довготривалі сукупності видів флори і фауни, девастованих ландшафтів і пов'язаних з ними фізико-географічних умов. На таких територіях змінюється топографія рельєфу, його енергетика, балансовий розподіл опадів на поверхневий і підземний стік, випаровування і, загалом, кругообіги енергії, речовин та інформації. Сутністю таких ландшафтів є втрата природного різноманіття, а отже спрощення структури, різке з наближенням до первинного хаосу збільшення ентропії, вульгаризація біоти і погіршення умов існування людини. В кінцевому наслідку відбувається консервація дії факторів техногенезу, внаслідок сомо відтворення стає неможливим.

3. ТЕХНОГЕНЕЗ І НООСФЕРА

Україна зараз знаходиться на вістрі екологічної кризи і тому потребує оперативних протикризових заходів. Їх мета – вийти на рівень розвинених країн світу не тільки за економічним благополуччям населення, а і за екологічними параметрами . На першому етапі важлива частина основних заходів по зменшенню техногенних тисків на довкілля в відчутній мірі співпадає з потребами економічного відродження країни. Це перш за все суттєве (в декілька разів) зменшення енергоємності, матеріалоємності, шкідливості, водоємності виробництва, активне використання вторинних ресурсів, так званих «техногенних родовищ». Це також реальне впровадження комплексу природоохоронних заходів, притаманних розвиненим країнам. Але по великому рахунку ці заходи відносяться не до стратегічних, а до оперативних, направлених на скорішу ліквідацію, або, принаймі, мінімізацію відставання України від передових країн. Оскільки Україна

є лише невеликою часткою людської спільноти, стратегічні засади її стану доцільно розглядати в контексті розвитку людства.

Наростаюча діяльність людської цивілізації все більше і більше охоплює біотичні і абіотичні ланки природного оточення, поступово переробляючи і деформуючи його під свої потреби. Видатний радянський геохімік О.Ферсман цей вплив людини на довкілля названо техногенезом.

Основні техногенні впливи на оточуюче середовище пов'язані з такими процесами як :

- забруднення елементів довкілля супутними продуктами, або відходами виробництва;
- підняття з надр на поверхню Землі великої маси порід і мінералів, солоних вод і розсолів в тому числі і тих, які є не типовими для поверхні землі, ворожими до біоти і людини;
- створення в результаті гірничо-видобувної діяльності і відбору підземних вод різноманітних порожнин в надрах і депресійних воронок в підземних водах, які призводять до осідання поверхні землі, суфозійних процесів, карстоутворення, підвищення сейсмічності території, пригнічення і зміни біоценозів на більш прості кризисні, тощо;
- деформація ґрунтів в результаті їх механічної руйнації і забруднення ядохімікатами і добривами під час сільськогосподарських робіт;
- засолення, або підтоплення при виконанні науково необґрунтованих меліоративних робіт (зрошення, або осушення земель);
- тотальне знищення біоценозів і багатьох біологічних видів,
- негативний електромагнітний і шумовий вплив промислової діяльності на біоту і людину, тощо.

За пропозицією О.Ферсмана та частина біосфери, атмосфери, гідросфери і літосфери яка знаходиться під техногенним впливом людської цивілізації названа «*техносферою».*

Розміри техносфери поступово розширюються. Від початку освоєння навколоземного космосу вони досягли декількох сотень кілометрів над поверхнею Землі. Поступово збільшуються і глибини пошукової діяльності людини в надрах і в океанських западинах.

Отже техногенне освоєння значної частини планети Земля поряд з угамуванням потреб людської цивілізації (освоєння нових ресурсів, створення нових комунікацій, джерел енергії, засобів швидкого пересування і комфортного стилю життя, тощо) все більше:

- деформує, пригнічує, руйнує і винищує її біоту;
- забруднює атмосферу і гідросферу;
- призводить до деградації її ґрунтів, які є важливішою поєднуючою ланкою між біотичною і абіотичною частинами біосфери;
- порушує природну цілісність і геохімічну природність земної кори.

Все це вступає в протиріччя з природними законами розвитку біосфери і наближає людство до глобальної екологічної катастрофи. При умові активних змін клімату, які ми відчуваємо зараз, негативні техногенні екологічні кризисні прояви будуть підсилюватись і розростатись в першу чергу.

Взагалі біосфера характеризується високою пластичністю пристосування до умов, що змінюються. Але при стрімкому виникненні суттєво негативних змін це пристосування може відбуватись відносно надто повільно і в напрямку, не прийнятому для людини. Слід мати на увазі, що для пристосування і корінної зміни біоценозів природа має скільки завгодно часу в своєму розпорядженні. Людське суспільство існує в значно, стислішому часі ніж природа. Врахування цієї відмінності дуже важливе. Адже те, що для природи в цілому є просто важкими часами, які можуть нараховувати десятки і сотні тисяч років, і їх кінець-кінцем вона переживе і відтвориться в новому, можливо, в ще багатшому наповнені (згадаймо вимирання минулих геологічних епох), то для людства, незважаючи на всю потужність нашої цивілізації, може стати смертельною катастрофою, як і для багатьох звичайних біологічних видів

Не можна стверджувати, що передові представники людства не розуміють згубність такого способу життя. В більшості країн прийнято закони щодо зберігання навколишнього середовища. В передових країнах ці закони в основному впроваджені в дію. Правда, ці закони не враховують в достатній мірі основні глибинні закони біосфери і повну небезпеку екологічної кризи, яку створює сучасна техногенна діяльність людини. В зв'язку з цим слід згадати, що ще в 1927 р. французький вчений Едуард Леруа застосував термін «ноосфера», який підтримав французький біолог П.Тейяр де Шарден, а пізніше наш великий співвітчизник академік В.Вернадський. Термін «ноосфера» - означає «сфера розуму». В.Вернадський підкреслював, що людина вже стала активною геологічною силою, яка здатна створити нову сферу на планеті Земля. Така сфера вже дійсно створена – це техносфера, але це не сфера «розуму». Це сфера техногенної стихії, яка з точки зору стратегії і перспектив подальшого розвитку планети, її біосфери і самого людства не є «розумною», більше того в перспективі вона є згубною. Тому ствердження в багатьох публікаціях про те, що ми вже вступили в епоху існування ноосфери, є конче помилковим.

Людству необхідно в досить короткий відрізок часу сконцентрувати гігантські зусилля щоб не підійти до прірви екологічної катастрофи, а направити свій розвиток в бік створення ноосфери. Людство вже пережило найбільшу в його історії неолітичну кризу. Вимирання в той час (13-10 тисяч років тому) було загрожуючим. Але завдяки винаходу землеробства і скотарства, створенню штучного біохімічного обігу речовин в природі

людство ще тоді поклало початок цивілізації, щедротами якої ми користуємось і зараз, але в якій ще тоді були закладені ті протиріччя між природою і людиною, що привели нас до нової кризи.

Тепер ми зіткнулись з принципово новим характером труднощів, не подолавши які, ми ризикуємо викреслити себе з подальшої історії планети. Справа в тому, що неолітична криза була пов'язана з суттєвою перебудовою ландшафтно-кліматичних умов на планеті, пов'язаних з закінченням зледеніння. Людство в той час мало чим відрізнялось від будь-якого біологічного виду і повністю залежало від стабільності умов, що існували в екологічній комірці, яку воно займало. Тоді смертельної загрози вдалось уникнути, створивши штучні технології життєзабезпечення. Але стрімке подальше нарощування штучних технологій і виробництв особливо в останні два століття і активне збільшення чисельності людства призводило де-факто до відчуження людини від природи, агресивного відношення до природи (згадаємо відомий вислів Мічуріна: «нам не можна чекати милостині від природи, взяти їх - наше завдання», наголос робиться на словах взяти їх, взяти за будь-яку ціну).

Агресивність людини закладалась ще під час існування її в стадах, подібно до деяких інших біологічних видів хижаків, а потім в палеолітичний період вона продовжувала існувати на рівні відносин з тваринами, на які велось полювання, або від яких необхідно було захищатись, з представниками сусідніх племен за звужені простори для полювання, а також з самою природою. Далі ця агресивність підтримувалась і нарощувалась в історичний час в безлічі воєн племен, князівств, королівств, імперіалістичних по суті держав, а також в хижацьких засобах експлуатації природи не тільки з метою виживання, а і для молоху збагачення.

Зрозуміло, що розвиток технологій, суттєве підвищення ефективності і екологічної безпеки виробництва, створення і впровадження в життя природоохоронного законодавства, підсилення заповідної справи, розвиток екомережі, екологічної реабілітації і відродження гірничо видобувних і депресивних регіонів, нарешті повномасштабне застосування принципів оцінки впливу на навколишнє середовище при будівництві і розвитку споруд, їх масивів і районів, впровадження міжнародних рішень Ріо-де-Женейро, Іоганосбургу тощо є, безумовно, корисними і потрібними. Але вони, пом'якшуючи гостроту сучасного стану, по суті, не торкаються глибинних основ проблеми. Навіть при виконанні всіх перелічених вище і інших заходів деструктивна основа нашої цивілізації по відношенню до природи залишається внаслідок недотримання законів біосфери, їх в значній мірі незнання і тому постійного порушення. В разі зміни кліматичних умов, а це судячи з наявності загального температурного тренду, багатьох аномалій погоди, що нарощуються в останні чотири десятиліття, суттєвого зменшення арктичного льодового панциру і багатьох

льодовиків на суші, а також з небезпечної зміни деяких параметрів течії Гольфстрім – важливої кухні клімату Європи і Північної Америки, техногенно-природний прес на біосферу і на людину буде ще збільшуватись в наростаючому темпі.

Тому на відміну від стихійного виходу з неолітичної кризи, коли перш ніж знайти протидію людство вимушено було пожертвувати в муках і боротьбі більшістю своїх соплемінників, до наступних кризових викликів, які породжені сукупністю техногенних і майбутніх природних змін, людству необхідно свідомо підготуватись і вийти з іспитів достойно.

Але для цього потрібна низка взаємо узгоджених зусиль від міжнародних координуючих організацій і урядів більшості країн до кожного селищного осередку управління, церковного приходу, шкільного закладу, вчителя.

Що ж потрібно робити?

Ідеологія. Не зважаючи на багатобарвистість партій політичних, економічних і інших ідеологій необхідно створити єдину прийнятну в кожній країні і всім людством ідеологію щодо необхідності сумісного розвитку біосфери і людської цивілізації. Це повинно стати загальною основою існування і цілеспрямованого розвитку людства на майбутню перспективу. Саме в такому ракурсі і слід розглядати декларацію «сталого розвитку» (sustainable development – англійською), запропоновану на міжнародній конференції в Ріо-де-Женейро. Переклад цього англійського терміну є не дуже вдалим. Адже сталого нічого в світі не існує Краще перекласти як «узгоджений», «урівноважений», «підтриманий», «допустимий» розвиток, тобто той, що узгоджує розвиток людства і його біологічного оточення, екосистеми планети Земля.

Зрозуміло, що реалізація цієї мети вимагатиме гігантських узгоджених зусиль. Адже необхідно поступово позбутися або зробити корисними для загальної справи такі людські риси, як користолюбство, агресивність, прерогативу приватної власності над громадською, невміння, за винятком окремих випадків, діяти на перспективу, а не тільки на сьогодення, культу насолоджень, комфорту, тощо, які пронизують громадське, державне і часто густо особисте життя в розвинених країнах. На заваді реалізації цієї мети стоять також абсолютна і відносна наростаюча бідність, хвороби і смертність більшості людства в Африко-Азіатському і Південноамериканському континентах.

Протиріччя цивілізаційні міждержавні, конфесійні, міжнаціональні поступово будуть зніматися глобалізацією економічного, політичного і культурного життя. В цьому сенсі, не зважаючи на всі втрати, які викликає цей процес (економічні, національні, мовні, тощо) його слід вважати і розвивати як позитивний з позицій можливостей народження, поширення і підтримки нових ідей щодо подальшої екологізації життя людства.

Але це процес стихійний, викликаний перш за все економічними інтересами ринку, надпотужних корпорацій і держав. Сам по собі процес глобалізації не привносить значних екологічних змін. Він тільки може при відповідних зусиллях, допомогти зняти окремі протиріччя міждержавного і національного життя, які заважають суттєвій екологізації суспільства.

Інший важливий чинник активізації екологічних дій людства і все більшого об'єднання – це диктат страху щодо можливих катастрофічних природно-техногенних подій типу знищення озонового шару, виникнення парникових ефектів, глобальних змін клімату, загроз бомбардування Землі астероїдами тощо. По мірі дійсного чи уявного наростання цих загроз страх буде штовхати світову громадскість не тільки до створення міжнародних документів на кшталт Монреальського протоколу про озоновий шар, чи Кіотського протоколу про парникові гази, а до все більш системних комплексних висновків і все більш обов'язкового виконання узгоджених рішень всіма державами. Поряд з цими процесами і незважаючи на них продовжить свій прискорений поступ розвиток науки: молекулярної біології, досліджень ДНК, розшифровки шифрів полігенних, хронічних, генетичних хвороб і порушень з допомогою нанотехнологій в медицині, біології тощо, а отже і знаходження засобів їх знешкодження. Біогенетики, розширюючи фронт ДНК-знань, кінець-кінцем зможуть змінювати біологічні характеристики існуючих видів організмів, *створювати нові їх типи, нові* форми життя. Їх наукове прогнозування, планування, створення корегування і відбір, не зважаючи на безліч нових небезпек, дозволить кінець кінцем розпочати керовану еволюцію біосфери і людини, побудовану на все більшій гармонії.

Зрозуміло, що шлях у напрямку опанування важелями управління еволюцією людини і біосфери усіяний багатьма дуже небезпечними загрозами. Необхідно завчасно навчитись їх безпомилково виявляти і нейтралізувати. Це потребує надпотужного розвитку науки, яка б поставляла не тільки нові інноваційні знання і технології, але і знання, що попереджають і забороняють рухатись в тому чи іншому напрямі. Потужним зняттям пресу людства на біосферу може стати прогнозований В.Вернадським перехід людства на автотрофний спосіб споживання.

Перефразуючи вдалий вислів американського фізика Мічіо Кайку, можна спрогнозувати, що з пасивних споглядачів і супротивників Природи ми можемо перетворитися на її активних хореографів і співучасників в єдиному танцювальному ансамблі. В такому розумінні термін коеволюція (сумісний розвиток) людства і біосфери, використаний академіком РАН М.Моісеєвим, отримує зовсім інше наповнення.

Отже базовою ідеологією подальшого співіснування людства і біосфери слід прийняти принцип **керованої коеволюції**. Він також повинен будуватися на глибоких знаннях законів, факторів і процесів екологічної

біології, молекулярної біології, генетики, біоінженерії, наук геологічного і географічного напрямів. Цей принцип передбачає збереження і збільшення активної ролі людства в цьому процесі. Але ця активність має поступово становитись все більш відповідною до можливостей і потреб еволюції біосфери, а не фактором її поступового знищення. Наголос на керованості має відношення і до людини і до природи. Адже принцип керованої коеволюції, по суті, відноситься до єдиної системи «людство-природа». Керованість також буде означати і прискорення еволюції природи у відповідності з темпами розвитку людства. *Саме сумісний керований розвиток природи і людини є головною основою поступової перебудови стихійно створеної техносфери в ноосферу.*

Стратегія. Такий грандіозний багатофакторний, повний протиріч, в значній мірі стихійний процес в разі глибокого аналізу і керівництва буде відбуватися більш ефективно, з меншими втратами і ризиками для людства і природи.

Отже людству потрібна не тільки екологічна конституція, яку запропонував представник України А.Яценюк на засіданні Генеральної Асамблеї ООН в 2007 році, але і розробка міжнародної цілеспрямованої комплексної стратегії подолання глобальної екологічної кризи на засадах керованого співіснування і розвитку людини і природи. Зрозуміло, що це повинен бути принципово новий документ, ніж декларація Ріо-де-Женейро, заключні матеріали Йогансбурга, Кіото, тощо.

Комплексна стратегія повинна сформулювати нові принципи розвитку всіх основних сфер життя людства:

- міждержавних і державних принципів екологізації політичного і управлінського життя в світі;
- організації, комплексування і розвитку природничих і гуманітарних наук на основі парадигми все більш активного прискорення пізнання законів біосфери і людини, постійної екологізації гуманітарних наук;
- суттєве розширення площ природних ландшафтів і зокрема лісів, скорочення орних площ за рахунок впровадження ефективних агро технологій, нових сортів і гібридів високопродуктивних рослин і тварин, розробка автотрофного способу споживання, тощо;
- створення потужної системи продукування знань і технологій щодо управління процесом еволюції людини і біосфери і щодо попереджень або заборон в зв'язку з небезпеками використання окремих з них;
- засобами політичних і владних дій екологізації основних ланок і аспектів освіти, культури, використання всіх засобів інформації, виховувати людину екологічно *високоморальну*, високоосвічену і розуміючу; адже тільки *розуміюча* людина (за М.Моісеєвим, В.Межжеріним, іншими) здатна творчо і в екологічно вірному напрямку розбудову-

вати екологічний, ноосферний спосіб розвитку, змінити шкалу цінностей сучасної цивілізації на нову більш адекватну життєво важливим завданням людства, потребам його виживання і подальшого ефективного поступу вперед;

- створення кращих умов для подальшого пріоритетного прискорення розвитку і максимально широкого впровадження технологій, здатних мінімізувати негативний багатосторонній техногенний вплив на довкілля;
- поступового переходу від оцінки впливів будівництва на оточуюче середовище (ОВНС) і деякої мінімізації їх до обов'язкового покращення екологічного стану техногенно зміненої території засобами екологічно обґрунтованої реабілітації;
- введення економічних важелів для поступового розвитку системи ноосферного менеджменту з метою комплексного переходу всіх ланок життя на екологічні ноосферні засади;
- створення спеціалізованих комплексних еколого-ноосферних наукових центрів глобального і регіонального характеру для всестороннього аналізу стану природи, взаємодії людської цивілізації з природою, вивчення наслідків цієї взаємодії, моделювання подальших тенденцій, ризиків і прогнозів майбутніх змін.

На основі комплексних досліджень в цих центрах повинні розроблятись початкові багато сценарні варіанти ризиків з одного боку і оптимальні варіанти розвитку системи «людство-природа» з другого боку. Однак будь-які скрупульозні дослідження не можуть дати «істину в останній інстанції» в принципі, а тільки деяку схему, вірну при визначених умовах. Їх зміна потребує розробки нових сценаріїв. Ці центри, відповідні пошуки, прогнози і перевірки повинні бути постійно-діючими по схемі прогноз-рекомендація-перевірка модельною і реальною практикою – новий прогноз і уточнення рекомендацій … і так далі.

Зародки окремих частин таких центрів періодично виникають як разові, або періодично діючи утворення комплексного або відносно вузького цільового призначення. Згадаймо хоча б Римський клуб, Центр математичного моделювання АН СРСР на чолі з академіком М.Моісєєвим, Всесвітню федерацію вивчення майбутнього, Американський національний центр з дослідження геному людини, тощо.

В останні роки на базі моделюючих суперсистем виконуються багато сценарні дослідження в різних країнах змін клімату і його наслідків. Важливим компонентом майбутніх мозкових центрів можуть стати програми, що розпочинаються зараз, такі як GEOSS, GMS і інші, засновані на використанні новітніх космічних технологій дистанційного моніторингу і багатокомпонентного комплексного моделювання природно-техногенних процесів і змін з застосуванням надпотужних комп'ютерів і грід-систем.

З іншого боку такими центрами стають лабораторії з проблем вивчення ДНК, біоінженерії, тощо. В перспективі відбудеться поєднання зусиль цих двох напрямів з метою розвитку керованої еволюції компонентів біосфери.

Реалізація згаданих і інших завдань потребує ефективної координації і управління процесом екологізації загальної діяльності людства і ноосферізації зусиль щодо відродження і вдосконалення нашого спільного для людства і природи дому. Спочатку це можуть бути координаційні ради, комісії на кшталт Європейської комісії в Європейському союзі при виділенні і підпорядкуванні окремих ланок суверенітету для колективного управління. Але кінець кінцем реалізація стратегії потребує створення єдиного Представницького і Керівного Органу, який повинен формуватись з найбільш науково підготовлених, маючих успішний практичний професіональний досвід, високоморальних, широко освічених, культурних і розуміючих людей. Вибори і призначення на важливі керівні посади повинні відбуватися з урахуванням обґрунтованих уявлень передової екологічно досвідченої перевіреної практикою розуміючої частини громадськості, що виділена на основі об'єктивних показників, тобто еліти в справжньому не спотвореному, як зараз, розумінні цього слова.

Зрозуміло, що це тільки окремі нотатки до стратегії дій. Кожне з викладених і багатьох ще не згаданих положень потребує критичного аналізу, наукового обґрунтування і конкретизації, поглиблення і суттєвого розширення. Процес створення такої стратегії і програми дій повинен постійно оновлюватись і де в чому змінюватись. Але основна ідея – поступового досягнення все більш гармонійного керованого сумісного розвитку людини і біосфери, при активній ролі людини – повинна залишатись як основа майбутнього розвитку всього людства. Підготовка такої стратегії, її поступова, але наростаюча за інтенсивністю зусиль реалізація, безумовно, є завданням для людства. В процесі її здійснення в наміченому напрямку будуть змінюватись і люди цих поколінь. Можна передбачити, що складність виконання окремих положень цієї стратегії буде збільшуватись і множитись по мірі просування вперед. На цьому шляху нас чекатимуть не тільки перепони, пов'язані із згубною дією техногенезу, але і природні надзвичайні події, як то небажані зміни клімату, обезводнення земель, надзвичайні аномалії погоди, виверження вулканів і землетруси, багато інших невідомих ризиків і несподіванок. Та тільки подолавши їх наслідки і не спинивши руху вперед, ми зможемо перейти від передісторії нашої квазіцивілізації до справжньої історії повноцінної цивілізації людства, яке стане колективним розумом ноосфери! Вважаю, що саме про такий розвиток людства мріяв В.Вернадський, розвиваючи ідею щодо ноосфери.

4. ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ ЯК НАУКА

Більшість геологічних процесів за тривалістю і своїми масштабами значно перевищують як вік існування людства, так і можливості впливу на них господарської діяльності людини. Але протягом останнього століття вплив людини на навколишнє природне середовище, у тому числі і на надра зріс.

Коли зазначений вплив почав перевищувати адаптивні можливості природного середовища і незворотність екологічної кризи в регіонах інтенсивного надрокористування стала очевидною, у фахівців геологічної галузі знань виникло розуміння неможливості виконання адекватних оцінок в межах традиційної геології. Наслідки цього і стимулювали появу екологічної геології як науки.

Слід зазначити, що вперше поняття «екологічна геологія» з'явилося у спеціальній літературі лише у 1984 році завдяки колективу авторів (Є.А. Козловський, А.І. Жамойда, В.Б. Кушев). В подальшому зміст цього терміну суттєво видозмінювався [ ] протягом наступних 10 років до набуття сучасного розуміння.

В системі геологічних наук екологічна геологія розглядає весь комплекс зв'язків між людиною і літосферою, тим самим виходячи за межі традиційного предмету геологічних досліджень, що і є ознакою самостійності. Життя спонукає нас сьогодні ставитися до літосферного простору як до ресурсно-енергетичної основи, яка робить можливим існування всього живого на планеті, а це потребує створення нових підходів до вивчення навколишнього середовища з огляду взаємовпливів живого та неживого. Науковий метод екологічної геології повинен включати як загальні так і вузькоспеціалізовані методи пізнання, що використовуються в галузі геологічних наук, в суміжних природничих науках, біології і медицині.

Екологічна геологія розглядає ті геологічні процеси, явища і об'єкти, на які людина безпосередньо чи опосередковано може впливати (викликати, підсилювати, уповільнювати, ослаблювати), результатом чого є виникнення загрози життю, здоров'ю людини і умовам її життєдіяльності, виведення зі стану рівноваги природних екосистем і скорочення біорізноманіття. Крім того, екологічна геологія розглядає і ті геологічні процеси, на які людина суттєво вплинути не може, але які несуть аналогічні загрози щодо людини і біосфери.

Об'єктом екологічної геології згідно Є.Ф.Шнюкову (1993), є верхня частина земної кори, включно з антропогенними морфоструктурами і підземною гідросферою, тобто ті складові геологічного середовища, що в той чи інший спосіб зазнають впливу господарської діяльності людини.

Значний внесок в розвиток базових ідей екологічної геології зробили В.Т. Трофимов та Д.Г. Зілинг - вчені Московського державного університету ім. М.В.Ломоносова. Зокрема, були визначені екологічні функції літосфери, сформульовані три типи задач, запропонована структура екологічної геології.

Об'єкт дослідження екологічної геології - традиційний для наук геологічного циклу: теоретично - це літосфера зі всіма її компонентами, в прикладному плані - її приповерхнева частина, розташована переважно в зоні можливого природного і техногенного впливу, яка в екологічній геології отримала назву ***геологічне середовище***. Це багатокомпонентна динамічна система, що включає породи, підземні води і гази, і впливає на існування і розвиток біоти, у тому числі і людського співтовариства. При такому визначенні об'єкту екологічна геологія досліджує системи "літосфера - біота", "техногенно змінена літосфера - біота", або "літосфера - інженерна споруда - біота", прямі і зворотні зв'язки між **абіотичними** і **біотичними** підсистемами, але частіше за все вплив "неживого" на "живе", хоча, якщо говорити ширше, - взаємодію літосфери і живого. Всі ці названі системи із змістовної точки зору є системами еколого-геологічними. Тобто, згідно Г.О.Голодковської, відкритими динамічними системами основними компонентами яких є джерело впливів (техногенне та/або природне), геологічна складова довкілля та екологічна мішень. Всі ці компоненти тісно пов'язані прямими і зворотніми зв'язками, які й забезпечують структурно-функціональну єдність еколого-геологічних систем. Біота знаходиться і функціонує в літосфері або безпосередньо на її поверхні (В.Т.Трофимов, 2002).

Певні проблеми виникають при визначенні просторових меж геологічного середовища (ГС). При постановці та вирішенні конкретних еколого-геологічних задач нижня межа буде, безперечно, варіативною.

Для природно-техногенних еколого-геологічних систем вона більшістю дослідників проводиться на глибинах від перших сотень метрів до 10-12 км і відповідає глибині розповсюдження в літосфері техногенної дії. Для природної еколого-геологічної системи положення нижньої межі варіює в ще більшому діапазоні - від глибини залягання ґрунтових вод до мантійного рівня, якщо оцінюються причини неоднорідностей геофізичних полів в літосфері. Отже, у кожному конкретному випадку глибина залягання нижньої межі системи повинна визначатися і обґрунтовуватися індивідуально, залежно від поставлених екологічних задач і специфіки геологічної будови літосферного блоку. З верхньою межею об'єкту дослідження питання не менш складне, оскільки в поняття геологічне середовище, багато дослідників включають не тільки породи, але також ґрунти, поверхневі води і біоту. Річ у тому, що до педосфери як об'єкту дослідження можна підходити з різних позицій. Якщо розглядати ґрунт як мінерально-органогенну породу, яка виконує роль першого геохімічного бар'єру на шляху міграції техногенних за-

бруднень, або як середовище розвитку екзогенних процесів, то ґрунт повинен входити до об'єкту екологічної геології. Поверхневі води і атмосфера з позицій екологічної геології розглядаються в ранзі суміжних середовищ, інформація по яких використовується при вирішенні функціональних еколого-геологічних задач.

Предмет дослідження екологічної геології - знання (система даних) про екологічні функції (властивості) літосфери. При цьому розглядаються функціональні зв'язки в системі "літосфера - біота" або "природно-техногенна система - біота".

Екологічна геологія досліджує задачі трьох типів: морфологічні, ретроспективні і прогнозні (В.Т.Трофимов, 2002).

Морфологічні задачі - це задачі, пов'язані з вивченням складу, стану, будови і властивостей системи, що аналізується та її еколого-геологічних умов в цілому. По суті, це фіксація сучасних еколого-геологічних умов, тобто їх стану на певну тимчасову дату.

Ретроспективні задачі - задачі, звернуті в минуле і зв'язані з вивченням (точніше, відновленням) історії формування об'єкту дослідження, формування його сучасної якості. Рішення ретроспективних задач спирається на дані, які отримані при дослідженні морфометричних показників) Саме ця інформація використовується при відновленні послідовності і характеру подій у часі (історичні аспекти), і розкритті причинно-наслідкових зв'язків (генетичні аспекти). Ці задачі розв'язуються в системі геологічного часу, але заключні етапи розглядаються у часі з точкою відліку від початку ери техногенезу, тобто початку XVIII ст.

Прогнозні задачі - задачі, пов'язані з вивченням поведінки, тенденцій розвитку досліджуваної системи в майбутньому під впливом різних причин природного і техногенного походження.. Методологія рішення прогнозних задач розроблена значно слабкіше, ніж морфологічних і ретроспективних.

Екологічні функції літосфери, як поняття, було введено в 1994 р. В.Т.Трофимовим і Д.Г.Зілингом. Останніми роками з'явилася необхідність оцінити літосферу як речовинну і енергетичну основу існування біоти і, в першу чергу людського співтовариства. Виникла необхідність розглянути в нерозривному зв'язку атрибутивні екологічні властивості літосфери та їх сучасний стан з екологічним станом біоти і умовами розвитку людського суспільства. На думку цих дослідників, теоретичною і методичною основою такого дослідження і є вчення про екологічні функції літосфери. З другого боку, останнім часом все гостріше відчувається недолік інформації про екологічну роль літосфери при розгляді екосистем різних рівнів організації, включаючи і екосферу Землі. Отже, настав той момент коли до літосфери з екологічних позицій вже не можна відноситися тільки як до літогенної основи для розселення біоти. Прийшов час оцінити роль літосфери як одного з провідних чинників в становленні екосистем, що забезпечують

існування життя на Землі. Поставлена задача потребує більш детального розгляду природних і техногенно обумовлених властивостей літосфери, що впливають на функціонування біоти.

Літосфера являється одним із джерел енергії, додатковий до сонячної радіації і космічного випромінювання, вона виступає як її перетворювач, накопичувач, поглинач і як передаюче середовище. Значна частина цієї енергії витрачається на підтримку геологічних процесів, а також на створення умов, придатних для життєдіяльності представників рослинного і тваринного світу, які населяють нашу планету. Ці якості літосфери виникають з особливостей її будови, стану і геологічних процесів, що відбуваються всередині і на поверхні літосфери та реалізуються через її екологічні функції.

Поняття екологічних функцій літосфери формулюється наступним чином (В.Т.Трофимов, 2002): *під екологічними функціями літосфери розуміється все різноманіття функцій, що визначають і відображають роль і значення літосфери, включаючи підземні води, нафту, гази, геофізичні поля і геологічні процеси, які в ній здійснюються, в життєзабезпеченні біоти і, головним чином, людського співтовариства*. Пріоритетне виділення в екосистемі людської популяції обумовлено її активною дією на середовище, причому на глибини, значно перевищуючі вплив решти біоти. В такій якості літосфера не вивчалася і не вивчається в рамках традиційної біоекології, біогеографії і екологічного ґрунтознавства.

Основне з екологічних позицій "призначення" літосфери - ресурсне і енергетичне життєзабезпечення біоти - реалізується через ресурсну, геодинамічну, геофізичну і геохімічну функції.

Все різноманіття функціональної залежності між природною і техногенно перетвореною літосферою та біотою і людиною (як біологічним видом, так і суспільною соціальною структурою) зводиться до чотирьох екологічних функцій - ресурсної, геодинамічної, геофізичної і геохімічної. Визначимо їх зміст.

Ресурсна екологічна функція літосфери визначає роль мінеральних, органічних і органомінеральних ресурсів і геологічного простору літосфери для життя і діяльності біоти як біогеоценозу, так і соціальної структури;

Геодинамічна екологічна функція літосфери відображає властивості літосфери впливати на стан біоти, безпеку і комфортність мешкання людини через природні і антропогенні процеси і явища;

Геохімічна екологічна функція літосфери відображає властивості геохімічних полів (неоднорідностей) літосфери природного і техногенного походження впливати на стан біоти в цілому, включаючи людину, зокрема;

геофізична екологічна функція літосфери відображає властивості геофізичних полів (неоднорідностей) літосфери природного і техногенного походження впливати на стан біоти, включаючи людину.

На фоні еволюції природних середовищ в геологічній історії Землі можна виділити два основних тимчасових етапи. Перший етап - суто природний, охоплює часовий період від зародження життя на Землі (близько 3,5 млрд. років тому) до появи людської цивілізації і другий етап - природно-техногенний, якій охоплює часовий інтервал біля 200 років і є, головним чином, породженням техногенезу.

Матеріальним носієм прояву екологічних функцій літосфери, який можна зміряти і відобразити на картографічних моделях є екологічні властивості літосфери. Визначимо зміст цього поняття таким чином: *екологічна властивість літосфери - одна із сторін літосфери, її специфічний, екологічно значущий атрибут, обумовлений природою її речовинного складу, геодинамічних, геохімічних і геофізичних полів і органічно пов'язаний з життєзабезпеченням біоти, умовами її існування і еволюції.*

Екологічні властивості літосфери слід розглядати як результат її еволюційного розвитку і техногенного перетворення, з яким пов'язане існування біоти і її подальше функціонування. Це екологічна складова (грань) літосфери що вивчається екологічною геологією. Для кращого розуміння сутності екологічних властивостей літосфери інформація про них приведена в табл. 1, яка не претендує на повноту переліку всіх властивостей. Аналіз змісту цієї таблиці дозволяє стверджувати, що екологічні функції літосфери є конкретним, реально відчутним проявом (виразом) її екологічних властивостей.

Еколого-геологічні умови і їх стан, як поняття, є логічним розвитком уявлень про екологічні функції літосфери. Вони дозволяють перейти від вивчення і аналізу взаємозв'язків і залежності в системі "літосфера - біота" до оцінки конкретних матеріальних носіїв цієї інформації. *Під еколого-геологічними умовами (обстановкою) слід розуміти сукупність конкретних екологічних властивостей (функцій) літосфери, які відображають сучасний або палеостан умов життєдіяльності живих організмів в даному об'ємі літосфери як середовищі їх мешкання.* Ця обстановка може змінюватися як від місця до місця, так і в часі. В умовах техногенезу і унаслідок розвитку природних катастрофічних процесів такі зміни відбуваються дуже швидко, нерідко практично миттєво, навіть з історичної точки зору. У формуванні еколого-геологічних умов ведуча роль може належати як всім екологічним функціям, діючим одночасно, так і, по суті, якій-небудь одній функції, наприклад, геодинамічній, яка в даний період за своєю інтенсивністю або масштабом оказує найбільшу дію на біоту і як би пригнічує роль інших функцій. В останньому випадку слід говорити про еколого-геологічні умови, особливості яких обумовлені геодинамічними характеристиками літосфери. Якщо такою є геохімічна функція, то оперуємо словосполученням еколого-геологічні умови, особливості яких обумовлені геохімічними особливостями літосферного блоку.

Зміни еколого-геологічних умов можуть відбуватися, як вже відмічалось, достатньо швидко. Етапні особливості даного об'єкту - еколого-геологічної системи слід назвати станом еколого-геологічної обстановки (умов), нерідко зване геологами екологічним станом літосфери. Зміст цього поняття визначають так: *стан еколого-геологічної обстановки (умов) - часовий її стан, оцінюваний специфікою прояви одного, декількох або сукупністю екологічних властивостей (функцій) літосфери в даний момент часу, визначаючих ступінь (рівень) сприятливості і можливості мешкання живих організмів*. Стан еколого-геологічної обстановки оцінюється через часовий стан певних властивостей літосфери і характеризує рівень дії цих властивостей на живі організми. Згідно цьому визначенню, оцінка екологічного стану літосфери повинна включати, з одного боку, визначення рівня ресурсної і енергетичної дій літосфери на живі організми і, з другого боку, вказівку на специфічні реакції на цю дію живої матерії. Цей критерій придатний для живих організмів всіх рівнів організації екосистеми.

Якщо найбільш сильно діють на біоту особливості, наприклад, геофізичної функції, то доводиться говорити про стан еколого-геологічних умов, обумовлених проявом геофізичної функції (властивостей). Часто геологи використовують для позначення цього більш коротке словосполучення: еколого-геофізичний стан літосфери. В цьому ж значенні використовуються і такі поняття, як еколого-ресурсний стан літосфери, еколого-геодинамічний стан літосфери, еколого-геохімічний стан літосфери.

Таким чином, стан еколого-геологічних умов, визначуваний для конкретної території або літосферного блоку відображається на індивідуальній фактологічній оцінці і забезпечується чіткою часовою прив'язкою або часовим інтервалом - сучасний стан, стан на конкретну дату. Обидва введені поняття - еколого-геологічні умови і стан еколого-геологічних умов є матеріальним атрибутом об'єкту вивчення, і характеризуючи їх параметри можна виміряти, оцінювати, класифікувати і моделювати що забезпечує не тільки рішення теоретичних еколого-геологічних проблем, але і практичних задач.

При оцінці стану еколого-геологічних умов використовуються показники різних типів. Вони можуть бути тематичними, площинними (просторовими) і динамічними (мал. 6). Перші - *тематичні* - представляють змістовні показники, які характеризують стан еколого-геологічної системи, біоти або їх окремих компонент. *Просторові показники* оцінюють площу чи об'єм порушень або змін за перерахованими вище тематичними показниками. *Динамічні показники* характеризують швидкість наростання несприятливих або сприятливих змін, виявлених по тематичних показниках.

Із змістовної точки зору всі ці показники достатньо різноманітні: біотичні, геологічні, медико-санітарні, соціально-економічні, причому всі вони

включають по декілька показників. Серед них можуть бути як *прямі* так і *індикаторні показники*. Перші регламентуються нормативно-директивними документами і виражаються по відношенню до ГДК, ГДВ, ГДС, ГДН або фону і кларку. Вони загальноприйняті і використовуються як при еколого-геологічних так і інженерно-екологічних дослідженнях.

Індикаторні (індикаційні) показники більш специфічні. В ресурсній групі вони включають залишкові запаси з урахуванням досягнутого рівня споживання (кількість років); для ресурсів, необхідних для життя біоти і ресурсів геологічного простору критерії оцінки поки взагалі не розроблені. В геодинамічній групі вони включають, крім площинних, об`ємних (енергетичних) і динамічних, ще і медико-санітарні (для оцінки впливу катастрофічних процесів), ботанічні і зоологічні. В геохімічній групі показників - це оцінка ступеня елементного насичення окремих частин літосфери природними або техногенними елементами, оцінюється через окремі геохімічні і біохімічні показники (*Zc* - сумарний показник хімічного забруднення; *Ак* - відношення вмісту елемента в золі рослин до його вмісту в гірській породі), коефіцієнт техногенного навантаження, надлишок, недостаток або дисбаланс елементів в породах ґрунтах і рослинності. В геофізичній групі показники оцінки розроблені украй слабо, за винятком оцінки рівня радіаційного випромінювання.

Структура екологічної геології як науки включає визначені за об'ємом частини поля логічної структури різних геологічних наук і свою «власну частину» логічної основи, той стрижень який дозволяє цілеспрямовано використовувати теорії, що привертаються, ідеї і закони окремих геологічних наук.

Найбільший об'єм інформації і методів дослідження для екологічної геології "поставляють" інженерна геологія, геокріологія, гідрогеологія, геохімія, геофізика, геологія корисних копалин, геодинаміка. Інші науки геологічного циклу і їх логічні структури грають меншу роль.

До важливіших елементів власної частини логічної структури екологічної геології можна віднести наступні:

- положення про те, що структура, властивості і просторові закономірності в будові приповерхневої частини літосфери (геологічного середовища) і її екологічні функції є результат історико-геологічного розвитку у взаємодії із зовнішніми природними середовищами і техносферою;
- положення про те, що еволюція і зміни екологічних функцій літосфери обумовлені активністю і характером її змін в цілому, або окремих її компонентів, а також характером і інтенсивністю взаємодії із зовнішніми, у тому числі техногенними, середовищами;
- закон відповідності взаємодії організмів з навколишнім середовищем;

- закон відповідності характеру розвитку суспільства і стану природного середовища.

Саме ці положення формують екологічний стрижень, об'єднуючий наукові основи інших наук геологічного циклу, і складають власну частину логічної основи екологічної геології.

Ще однією основоположною проблемою є питання про рівні організації і таксономії об'єктів. Для екологічної геології можна прийняти наступні рівні організації літосфери:

елементарний, якій включає геофізичний (фізичні поля і частинки), атомно-молекулярний (елементи, з'єднання), мінералогічно-петрографічний (мінерали, гірські породи);

локальний геологічний (масиви гірських порід, стратиграфо-генетичні комплекси гірських порід);

регіональний (геологічні формації, структурні поверхи, регіональні геосистеми);

планетарний (мегагеоблоки).

Неважко помітити, що кожний з виділених таксономічних рівнів організації літосфери вивчається певним комплексом геологічних дисциплін, кожна з яких спирається на свої теорії і ідеї. Так, для планетарного рівня, головним чином використовуються наукові основи тектоніки, структурної геології, геофізики і регіональної геології, для локального рівня - інженерної геології, гідрогеології, літології, геохімії і геофізики, для елементарного рівня - геохімії, інженерної геології для дослідження фізичних полів - тільки геофізики.

Ресурсна екологічна функція літосфери вивчається переважно методами геології корисних копалин і гідрогеології. Причому це відноситься тільки до планетарного рівня організації літосфери. На регіональному рівні до них підключаються інженерна геологія і геокріологія. На локальному рівні пріоритет переходить до мінералогії, петрографії і гідрогеології, інженерної геології і кріолітології.

При вивченні геодинамічної екологічної функції літосфери на всіх рівнях її організації домінують інженерна геологія, геокріологія, геохімія, геофізика, геодинаміка, геологія корисних копалин. Решта наук геологічного циклу грає дещо меншу роль. При вивченні геофізичної і геохімічної функцій літосфери домінують геохімія, гідрогеологія і геофізика.

У складі екологічної геології виділяються декілька наукових розділів, відповідальних за вивчення певних екологічних функцій літосфери. Такими розділами є: екологічне ресурсоведення, екологічна геодинаміка, екологічна геохімія і екологічна геофізика.

Екологічне ресурсоведення досліджує весь спектр морфологічних, ретроспективних і прогнозних питань і проблем, пов'язаних із забезпеченням біоти і, в першу чергу, людського співтовариства мінерально-сировинними

ресурсами літосфери і ресурсами геологічного простору з позицій використовування його для потреб людства в епоху активного техногенезу. Акцент в дослідженнях робиться не на пошуки і підрахунок запасів корисних копалин, а на оцінку їх відповідності сучасному рівню споживання і раціонального використовування з урахуванням екологічних наслідків. По суті повинне розв'язуватися питання про регламентацію споживання мінерально-сировинних ресурсів літосфери з урахуванням збереження і нормального функціонування екосистем високого рівня організації. З екологічних позицій оцінюються і ресурси геологічного простору.

Екологічна геодинаміка досліджує морфологічні, ретроспективні і прогнозні задачі, пов'язані з вивченням дії природних і антропогенних геологічних процесів на біоту, включаючи людину, як з позицій оцінки можливих катастроф, так і комфортності її мешкання. Останнє відноситься, як правило, до людського співтовариства. До основних задач відносяться: розробка методів оцінки стійкості приповерхневої частини літосфери до зміни її геодинамічних параметрів під впливом природних чинників і техногенезу з урахуванням екологічних наслідків; еколого-геологічне обґрунтовування інженерного захисту від небезпечних і катастрофічних геологічних процесів (природних і антропогенних), що впливають на існування і комфортність життєдіяльності біоти і людського співтовариства. *Екологічна геохімія* досліджує морфологічні, ретроспективні і прогнозні задачі, пов'язані з вивченням впливу геохімічних полів природного і техногенного походження на біоту. Серед цих полів виділяються літогеохімічні, гідрогеохімічні, сноугеохімічні, біогеохімічні і атмогеохімічні. Об'єктом дослідження є речовинний (мінеральний) склад літосфери, міграція рухомих з'єднань хімічних елементів, їх аномальних концентрацій і характер дії на біоту з використанням методів геохімії, мінералогії, петрографії, гідрогеології і даних медико-біологічних оцінок стану біоти. В практичному аспекті такі дослідження мають на увазі тісну співпрацю екологів-геологів з медиками і санітарною службою, оскільки оцінка аномалій повинна проводитися з медико-санітарних позицій.

Екологічна геофізика досліджує морфологічні, ретроспективні і прогнозні задачі, пов'язані з вивченням геофізичних полів природного і техногенного походження, їх відхиленням від норми і дією на біоту. Зокрема, сучасним напрямком стали дослідження геопатогенних аномалій (неоднорідностей земної кори) в їх впливі на людину і біоту. Для цього використовуються методи геофізики, геотектоніки, сейсмотектоніки і дані медико-біологічних дисциплін. Тут також необхідна тісна співпраця з представниками медико-санітарної служби.

Таким чином, екологічна геологія і її наукові розділи тісно пов'язана з проблемою геологічного забезпечення сталого функціонування екосистем, включаючи людське співтовариство. При цьому вона спирається на теорії і

методи багатьох геологічних наук, таких як інженерна геологія, геокрінологія, гідрогеологія, геохімія, геофізика і геологія корисних копалин. Решта наук геологічного циклу - геотектоніка, петрографія, мінералогія і інші - грають дещо меншу роль, і їх теорії і методи залучаються з урахуванням характеру вирішуваної еколого-геологічної проблеми. Крім того еколого-геологічні дослідження передбачають широке використовування інформації медико-біологічного і соціально-економічного характеру.

5. РЕСУРСИ ГЕОЛОГІЧНО СЕРЕДОВИЩА

Ресурси літосфери досить багатогранні і включають наступні основні категорії [50]: мінеральні ресурси літосфери, необхідні для життя біоти; мінеральні ресурси, необхідні для людського співтовариства як соціальної структури; ресурси геологічного простору - площинні і об'ємні ресурси літосфери, необхідні для розселення і існування біоти, включаючи людину як біологічний вигляд і людства як соціальну структуру.

Ресурси, необхідні для життя біоти. Біосфера – складна зовнішня оболонка Землі, населена живими організмами, які у сукупності складають живу речовину нашої планети. Маса останньої в біосфері наближається до $n \cdot 10^{14}$ - $2 \cdot 10^{16}$ т. Біосфера повністю або частково охоплює інші геосфери: нижню частину атмосфери – тропосферу, гідросферу і верхню частину літосфери (до глибини 2-3 км). Жива і нежива природа мають спільну основу. Їх починають розрізняти десь з молекулярного рівня, а потім вони мають свої рівні організації.

Значна частина живих організмів „населяють” геоморфологічні елементи поверхні нашої планети. Жива матерія існує в певних межах фізичних умов. Для неї потрібен певний інтервал температур і тиску, певний набір елементів (сполук) і енергія, які вона може споживати із оточуючого середовища. Окремий ландшафтний структурний елемент приповерхневої частини Землі, разом з біотою, яка його населяє, з притаманними для нього кліматичними умовами, геологічною будовою, ґрунтами, тектонічним гідрологічним і гідрогеологічними режимами отримав назву *„біогеоценоз”.*

Сполучення природних фізичних умов визначають для кожної території можливість забезпечувати життєдіяльність певної маси рослинності. Справа не тільки у тому, що ці умови не завжди є комфортними для розвитку останньої, а у значній мірі у ступеню підготовленості геологічного середовища як джерела живлення рослин хімічними елементами і їх сполуками.

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.

Ресурси літосфери, необхідні для життя біоти, включаючи людину як біологічний вид, представлені чотирма складовими: 1 – гірськими породами, що включають елементи біофільного ряду - розчинні елементи, життєво необхідні організмам, які називають біогенними елементами; 2 – кудюритами - мінеральною речовиною кудюрів, які є мінеральною їжею тварин - літофагів; 3 – куховарською сіллю (NaCl); 4 – підземними водами.

Біофільні елементи літосфери. Характеристика цих елементів і їх роль в забезпеченні життя і існування біоти детально розглянута Г.А.Богдановським (1994), В.В.Івановим (1994-1997) і іншими дослідниками. Перелік елементів, що становлять основу біофільного ряду, виходить з даних, приведених в табл. 1 і 2.

Таблиця 1.

Середній хімічний склад білків, жирів і вуглеводів %
(за Г.А.Богдановським)

Елемент	Білки	Жири	Вуглеводи
Вуглець	51,30	69,05	44,44
Кисень	23,40	17,90	49,38
Азот	17,80	0,61	-
Водень	4,90	10,00	-
Фосфор	0,70	2,13	6,18
Сірка	0,80	0,31	-
Залізо	0,10	-	-

Таблиця 2.

Середній хімічний склад рослини і людини % сухої речовини
(за Г.А.Богдановським)

Елемент	Людина	Люцерна
Вуглець	48,30	45,37
Кисень	23,70	41,04
Азот	12,85	3,80
Водень	6,05	5,54
Кальцій	3,45	2,31
Сірка	1,60	0,44
Фосфор	1,58	0,28
Натрій	0,65	0,16
Калій	0,55	0,91
Хлор	0,45	0,28
Магній	0,10	0,33

Елементи і їх з'єднання, потрібні біоті у великих кількостях, називають *макробіогенними* (вуглець, кисень, азот, водень, кальцій, фосфор, сірка), а в малих кількостях - *мікробіогенними.* Для рослин - це Fe, Mg, Cu, Zn, B, Si, Mo, Cl, V, Ca, які забезпечують функції фотосинтезу, азотного обміну і метаболічну функцію. Для тварин потрібні як перераховані елементи (окрім бору), так і додатково селен, хром, нікель, фтор, йод і олово. Не дивлячись на малі кількості, всі ці елементи необхідні для життєдіяльності біосистем, для реалізації біогеохімічних функцій живою речовиною.

Для нормального розвитку і функціонування живих організмів потрібно біля 27 хімічних елементів. З них 11 відносяться до макроелементів (C, H, O, N, Ca, S, P, Na, K, Mg, Cl) і 16 до мікроелементів і важких металів, або, як їх ще називають, до біогенних компонентів (I, Cu, Zn, Mn, Co, Ni, Mo, As, B, Se, Cr, Fe, V, Si). В організмі людини набір цих елементів зростає до 30, хоча форми їх з'єднань, а головне - їх фізіологічна роль, ще мало вивчені.

З екологічних позицій деякі різночитання в обліковому складі макро- і мікроелементів не мають принципового значення. Важливо інше - розвиток біологічних форм життя неможливий без споживання макро- і мікроелементів, резервуаром яких є, головним чином, літосфера.

Ще одним загальним аспектом, зв'язаним з розумінням життєдіяльності біоти, є біогеохімічні цикли. Це в більшому або меншому ступені замкнуті шляхи циркуляції хімічних елементів, що входять до складу клітинної протоплазми, із зовнішнього середовища в організми і знову в зовнішнє середовище. В такому круговороті речовини розрізняються два фонди - резервний і обмінний Перший, як правило, представлений небі-

ологічним компонентом, в якому знаходиться велика маса речовин, що рухаються повільно, другий – фонд швидкого обміну між організмами і їх оточенням. На цій основі виділяються два типи біогеохімічних циклів: круговорот речовин з резервним фондом в атмосфері і океані і осадовий цикл з резервним фондом в земній корі, який і є предметом вивчення геологічних наук. Він включає такі елементи, як фосфор, залізо, сірка, натрій і ін. Не важко помітити, що ці питання тісно пов'язані і з геохімічною функцією літосфери, але тут вони розглядаються з ресурсних позицій. Зі всіх елементів фосфор - один з найбільш рідкісніших з точки зору його наявності у достатній кількості в доступних резервуарах літосфери і його можна розглядати як один з лімітуючих чинників середовища.

Мінеральні біогенні комплекси - кудюрити. Їх ще називають „нетрадиційними джерелами" мінеральної сировини, стимуляторами зростання рослин і тварин. Вони - неодмінна складова живлення літофагів.

Літофагія, або вживання в їжу каменів, відома давно. В тваринному світі це явище таке ж звичайне, як і традиційне живлення, але воно ще не знайшло поки відповідну однозначну наукову оцінку. Окрім харчових і лікувальних солей в природі існує велика група алюмосилікатних і силікатних мінералів, які їдять птахи, звіри і люди, проте знають про них лише небагато мандрівників, геологи і мисливці. Прикладами можуть служити регіони Сибіру і Далекого Сходу із звірячими "солонцями", причому вельми різноманітного мінерального складу (туфи, опал, монтморилоніт, вивітрені сланці, продукти вивітрювання серпентинізованих гіпербазитів та ін).

Природа літофагії поки не має однозначної і загальноприйнятої відповіді. Більшість дослідників схиляється до думки, що вона пов'язана з позитивним впливом мінеральних мас солонцевих порід на життєдіяльність тварин. Це природна потреба диких тварин щодо збалансування сольового складу організму, особливо в періоди сезонної зміни їжі або перед гоном.

Висока „екологічна цінність" кудюритів як мінерального ресурсу забезпечує нормальну життєдіяльність багатьох диких тварин. Глибоке вивчення цього природного феномену приводить до однозначного висновку: літофагія і енергетичне живлення є ланками єдиного механізму – обміну речовин живої і неживої складових навколишнього природного середовища.

Останніми роками кудюрити стали використовуватися як добавки в корм домашніх тварин, що істотно збільшило їх приріст і поліпшило фізичний стан. В районах відгінного тваринництва природні солонці охоче відвідуються домашніми тваринами (коровами, яками, кіньми, козами і вівцями), які стають активними конкурентами диких тварин і нерідко витісняють останніх з їх традиційних солонцевих ділянок.

Мільйони людей і раніше, і нині вживають в їжу багато мінеральних речовин. О.Є.Ферсман У „Цікавій мінералогії” відзначав, що в екваторіальній Америці живуть цілі народи геофагів, не страждаючих від браку харчових продуктів. В Сенегалі негри їдять глину, в Італії готують страву з суміші пшениці і мергелю. В багатьох районах Африки існують цілі виробництва по приготуванню мінеральної їжі.

Не менше значення мінеральні речовини літосфери мають і для рослинного світу. Розвиваючи свої уявлення про зону мінерального живлення рослин (зона аерації), В.І.Бгатов (1996 р.) приводить ряд прикладів, що представляють інтерес з еколого-геологічних позицій. Йдеться про роль підземного CO_2 в житті рослинних біоценозів. Так, в межах активних тектонічних розломів, на нафтогазоносних і вугленосних площах, де в процесі польових робіт були зафіксовані відносно інтенсивні його виділення з надр, рослинність істотно відрізняється від зональної. Вона більш „пишна” і більш „південна”. На території Західного Сибіру наймогутніші торф'яні поклади тяжіють до вуглеводневих родовищ і тут же місцями виростають масиви кедрових лісів з високою біомасою. В.І.Бгатов вважає, що для території Сибіру характерним є формування азональних (інтерзональних) біоценозів, життя і розвиток яких підлегле мінеральному живленню, пов'язаному з особливостями геологічної будови цієї території і, перш за все, з складом газової атмосфери зони аерації. Таким чином, умови мінерального живлення рослин, а, отже, і ресурси біофільних елементів, що лежать в його основі, визначають еволюцію біоти.

Немає сумнівів в екологічній значущості мінерального субстрату. Встановлено, що амінокислоти істотно впливають на активність бактерій, що виявляється в інтенсивності дихання, прирості кліток і біомаси. Амінокислоти адсорбуються у великих кількостях на глинистих мінералах, що приводить до сильної агрегації глинистих частинок. Внаслідок цього глинисті мінерали грають важливу роль в житті мікроорганізмів, але в даному випадку не як середовище живлення, а як мінеральний субстрат, необхідний для їх існування.

Куховарська сіль. Вона є типовим мінеральним утворенням, яке споживається біотою і, в першу чергу, людиною. По відношенню до неї всі люди - літофаги, оскільки жителі Землі вживають її в об'ємі 8-10 кг в рік на людину. З ресурсних позицій ця мінеральна речовина є виключенням із загального правила, оскільки в певному об'ємі відноситься до категорії відновлюваного ресурсу. Куховарську сіль одержують або з розсолів в зоні соляних покладів, або збирають в місцях природного випаровування солоної морської води. Поки природні запаси куховарської солі в ресурсному відношенні особливої тривоги не викликають.

Слід нагадати, що цей мінеральний ресурс необхідний людині як біологічному виду. Куховарська сіль активізує деякі ферменти, підтримує

кислотно-лужну рівновагу, вона необхідна для вироблення шлункового соку. Відсутність або недолік солі в організмі приводить до різних розладів: пониженню артеріального тиску, м'язовим судомам, почастішанню серцебиття і іншим негативним наслідкам.

Зазначимо також, що, не дивлячись на практично необмежені запаси куховарської солі, в кінці 80-х років потреба в ній населення Північної Євразії задовольнялася тільки на 90%. Таке ж положення збереглося і до теперішнього часу.

Підземні води. Жива речовина протягом 7-10 млн. років пропускає через себе таку кількість води, яка дорівнює за об'ємом Світовому океану. Підземні води, придатні для питного водопостачання, складають 14% від всіх прісних вод планети. Проте вони значно перевершують за якістю поверхневі води і на відміну від них набагато краще захищені від забруднення, містять мікро- і макроелементи, необхідні для організму людини, не вимагають очищення. Саме цим визначається їх значення як найважливішого джерела питного водопостачання, тобто забезпечення водою людини як біологічного виду.

Сказане добре узгоджується з даними Європейського економічного співтовариства, за оцінками якого на частку підземних вод доводиться в середньому до 60% у водопостачанні населення європейських країн. Так, в Австрії, Бельгії, Угорщині, Німеччині, Данії, Румунії, Швейцарії і країнах Балканського півострова питома вага підземних вод для водопостачання населення складає 70-100%, в Болгарії, Італії, Нідерландах, Португалії, Франції, Чехії і Словаччині - 50-70%.

У ряді європейських країн (Італії, Швейцарії, Австрії, Люксембурга) істотну частку в питному водопостачанні складає каптаж джерельних вод. Повністю або майже повністю підземними водами забезпечуються Будапешт, Відень, Гамбург, Копенгаген, Мюнхен, Рим, а для Амстердама, Брюсселя, Лісабона такі води покривають більше половини загальної потреби в прісній воді. В США підземними водами задовольняється потреба в господарсько-питній воді приблизно 50% населення. Значне залучення підземних вод у питне водопостачання спостерігається й в Україні.

Дефіцит в питній воді, в основному, обумовлений трьома головними чинниками: відсутністю достатніх ресурсів підземних вод у зв'язку з природними причинами; інтенсивною експлуатацією і відпрацюванням основних водоносних горизонтів; техногенним забрудненням водоносних горизонтів, що використовуються для питного водопостачання. Останній чинник часто пов'язаний з дефектами оцінки екологічних наслідків при затвердженні і реалізації крупних проектів використанням надр.

Самим вражаючим прикладом катастрофічного техногенного впливу на підземні води є рівнинно-кримська частина Причорноморського арте-

зіанського басейну. Інтенсивна експлуатація підземних вод для зрошування, а також будівництво і введення в дію Північно-Кримського каналу привели до засолення прісних підземних вод. За 30 років експлуатації водоносних горизонтів втрачені резерви найціннішої питної води з мінералізацією 0,5 г/л (більше 20 км^3) і близько 10 км^3 прісної води стало солонуватою. При цьому з надр було вилучено всього близько 5 км^3 підземних вод, велика частина яких була використана на зрошування.

Неможливість використання підземних вод для господарсько-питного водопостачання в результаті забруднення відмічається на ділянках складування твердих побутових відходів.

Розробка родовищ твердих корисних копалин приводить до виснаження експлуатаційних запасів підземних вод, що пов'язано не тільки з відбором відкачуваних вод на родовищах, що розробляються, але і з виходом з ладу діючих водозаборів підземних вод. Найбільші депресійні воронки формуються в тих випадках, коли в обводненні гірничих виробок беруть участь водоносні горизонти, що мають регіональне розповсюдження. Так, тривала робота системи водопониження навкруги родовищ Курської магнітної аномалії привела до зниження запасів підземних вод у прилеглій частині Дніпровського артезіанського басейну в Україні.

Загрози забруднення горизонтів підземних вод виникають при закритті вугільних шахт у Донбасі внаслідок підвищення рівнів високо мінералізованих шахтних вод при затопленні гірничих виробок і потраплянні цих вод до горизонтів питного водопостачання.

Вплив розробки нафтових і газових родовищ на ресурси і якість підземних вод, пов'язаний з нагнітанням води в продуктивний пласт з метою підтримки пластового тиску, може привести до забруднення прісних вод неглибоких горизонтів при фільтрації нафти і високомінералізованих вод по зонах тріщинуватості.

Питна вода – найцінніший ресурс. Бездумне і безконтрольне її витрачання і забруднення може привести, а місцями вже привело, до важких екологічних і соціальних наслідків для людства.

Мінеральні ресурси представлені сукупністю виявлених в надрах скупчень (родовищ) різних корисних копалин, в яких хімічні елементи і утворювані ними мінерали знаходяться в різко підвищеній концентрації в порівнянні з кларковим вмістом у земній корі, що забезпечує можливість їх промислового використання. Вони є складовою частиною природних ресурсів, що включають також агрокліматичні, водні, земельні і лісові ресурси. Всі вони (природні ресурси) представляють природні тіла і речовини (або їх сукупність), а також види енергії, які на конкретному етапі розвитку продуктивних сил використовуються або можуть бути технічно використаний для ефективного задоволення різноманітних потреб людського суспільства.

Структура мінеральних ресурсів визначається цільовим призначенням їх використання. Існує п'ять основних категорій мінеральних ресурсів: паливно-енергетичні, чорні і легуючі метали, кольорові метали, неметалічні корисні викопні, підземні води.

До *паливно-енергетичних* мінеральних ресурсів відносяться корисні копалини, що використовуються для виробництва енергії: нафта, конденсат, горючий газ, кам'яне і буре вугілля, уран, бітумінозні сланці, торф і ін. Світова енергетика XX сторіччя характеризувалася швидкими темпами споживання палива. В п'ятдесяті роки основним видом споживаного палива було тверде: кам'яне і буре вугілля, торф і горючі сланці, які в загальній структурі споживання складали близько 60%. В сімдесяті роки відбулися істотні зміни в структурі споживання палива: пріоритетного значення (45%) набуло рідке паливо (нафта і газовий конденсат), а питома вага твердого палива знизилася до 30% і залишається на цьому рівні до теперішнього часу.

Категорію *чорних і легуючих* металів складають руди заліза, марганцю, хрому, титана, ванадію, вольфраму і молібдену. Ця сировина необхідна для функціонування промисловості - виробництва сталі і чавуну.

Категорія кольорових металів представлена рудами міді, кобальту, свинцю, цинку, олова, алюмінію, сурми і ртуті. Вони використовуються як в цивільній, так і в оборонній і хімічній промисловості.

До категорії *неметалічних корисних копалин* відносяться різні види мінеральних солей, будівельні і інші матеріали (сірка, флюорит, каолін, барит, графить, хризотил-азбест, магнезит, вогнетривка глина). Мінеральні солі (фосфатні, калієві) є сировиною при виробництві добрив, що забезпечують родючість земель і високі урожаї зернових. Куховарська сіль (галіт) - сировина для харчової промисловості. Щебінь, граніт і пісок використовуються в дорожньому будівництві і як компоненти при виробництві цементу. Сірка і флюорит використовуються в хімічній промисловості для виробництва сірчаної і плавикової кислот, отрутохімікатів і емалей. Каолін необхідний в паперовому виробництві, де використовується 40-50% всієї його здобичі, він визначає якість паперу. Барит є обважнювачем розчинів при бурінні на нафту і газ, а також інертним заповнювачем в медицині при рентгеноскопії. Графіт необхідний в ливарній справі, при виробництві олівців, друкарських фарб, а також в атомних реакторах. Хризотил-азбест застосовується як вогнетривкий матеріал, використовується його стійкість до кислот і лугів.

Особливу категорію мінерально-сировинних ресурсів складають *підземні води*. За своїм призначенням вони підрозділяються на питні, технічні, що використовуються для зрошування земель, мінеральні лікувальні, геотермальні, що використовуються для бальнеологічних цілей і теп-

лопостачання, а також промислові, що використовуються для вилучення деяких корисних компонентів (йод, бром, літій, і ін.).

Таке положення мінеральних ресурсів дозволяє вважати їх найважливішим чинником розвитку людського суспільства, чим і визначається їх екологічне значення. Проблема задоволення потреб світового співтовариства в паливі і енергії, чорних, кольорових, рідкісних і благородних металах, алмазах, сировина для хімічної промисловості, сільського господарства, будівельної індустрії і т.п. стає з кожним роком все більш гострою.

Найбільш яскраві приклади впливу гірничих робіт на геологічне середовище пов`язані з видобутком залізних руд і вугілля. Наприклад, протягом XX століття цих корисних копалин було видобуто в Україні біля 14 млрд. т [22]. Враховуючи те, що разом з корисними копалинами вилучаються в великих обсягах вміщуючі і розкривні породи, то загальний обсяг цих видобутих корисних копалин і порід сягає 45 – 60 млрд. т.

Мінеральна сировина є основою матеріального виробництва і використовується у всіх галузях господарства: в паливно-енергетичному комплексі, промисловості і сільському господарстві, а також в технологічних циклах. Мінеральні ресурси лежать в основі піраміди, що відображає соціально-економічні і екологічні проблеми розвитку матеріальної основи сучасного суспільства. Вони досліджуються і аналізуються як ресурс літосфери, який лімітує соціально-економічний розвиток людського суспільства.

Багатство на природні ресурси, якщо ним розумно скористатися, є основою для економічного зростання держав. Мінерально-сировинні ресурси мають особливу роль. Їх використання відкриває можливості для науково-технічного прогресу – основи сучасного економічного розвитку. Стратегічне значення в сучасних умовах має володіння запасами основних видів корисних копалин, що дозволяє піднімати ціни значно вище рівня вартості їх виробництва. Так сталося з нафтою, а в майбутньому може статися з вольфрамом, виробництво якого контролює Китай (75% світових запасів), ртуттю - Іспанія (33%), фосфатними рудами – країни Північної Африки. Інтенсивне використання родовищ мінеральних ресурсів – найбільш швидкий і надійний засіб забезпечення економічного зростання. Саме воно було основою такого зростання США, Франції, Німеччини, Радянського Союзу та інших країн. Похідними від розвитку економіки є зростання могутності та політичного впливу цих держав. Це дуже важливий, але мабуть єдиний позитивний аспект використання надр.

Аналіз використання природних ресурсів розвинутими країнами за декілька останніх десятиріч дозволяє зробити висновок, що темпи цього використання є занадто великими. Попит на сиру нафту в 60-ті роки зріс

у 2 рази. Використання інших видів корисних копалин зростала в двічі в наступне десятиріччя. Економічна криза і наступний економічний спад в 70 роки привели до зниження попиту в Західних країнах на всі види палива та металу. Високі темпи використання корисних копалин вимагають безперервного відкриття нових родовищ. Якщо їх не відкривати, то розвіданих запасів більшості видів мінеральної сировини вистачить максимум до середини поточного століття. Але і потенційні (ще не відкриті і не підраховані) запаси мінерально-сировинних ресурсів є обмеженими. При теперішніх темпах використання цих запасів вистачить лише на декілька поколінь. Трапиться це скоріше чи пізніше - буде залежити від майбутнього стану світової економіки, появи нових сировинних джерел, їх географічного розміщення, економного використання наявних запасів сировини та повернення у виробництво вторинної сировини. В сучасний період історії природних ресурсів на всіх не вистачає. Тому всі держави світу умовно можна поділити на індустріально розвинуті, що споживають мінерально-сировинні ресурсі, і сировинні – ті, що їх добувають і постачають першим.

Україна належить до регіонів світу з високим рівнем геологічної вивченості території, насиченості мінеральними ресурсами та значними обсягами їх залучення у господарський обіг. На сьогодні в її надрах нараховується близько 20 000 родовищ і проявів 111 видів корисних копалин природного та техногенного походження. Промислове значення мають 96 видів корисних копалин, які враховуються Державним балансом запасів. У тому числі: родовищ нафти і газу – 984, метану вугільних родовищ – 127, вугілля - 766, торфу – 1568, сапропелю - 274, металічних корисних копалин – 358, неметалічних – 3907, підземних вод – 1067. Всього до числа розвіданих належать 7667 родовищ.

Кількісні показники багатства України на мінерально-сировинні ресурсі на жаль не зовсім відображають реальний стан мінерально-сировинної бази нашої держави. Запаси деяких видів корисних копалин (таких як нафта і газ) у значній мірі виснажені, і ми їх імпортуємо.

На економічний розвиток України, як і на розвиток будь-якої держави, оснований на інтенсивному довготривалому використанні мінерально-сировинних ресурсів впливали наступні головні фактори: 1 – поступове виснаження надр в межах економічно виправданих глибин видобування; 2 – формування структури економіки, зміщеної у бік важких галузей виробництва; 3 – накопичення негативних екологічних наслідків довготривалого характеру.

Поступове виснаження надр, як наслідок їх інтенсивного використання, здійснюється тому, що мінерально-сировинні ресурси є не поновлюваними, а їх запаси завжди обмеженими. Раніше чи пізніше кращі родовища відпрацьовуються, залучаються до розробки ті, що залишились,

гірничо-геологічні умови погіршуються, видобуток мінеральної сировини стає неприбутковим, чи потребує розвитку принципово нових ефективних технологій.

Формування структури економіки, зміщеної в бік важких галузей виробництва, якщо розвиток держави спирається на використання мінерально-сировинних ресурсів, є природним процесом. Воно здійснюється поступово. За тривалий період видобутку корисних копалин в місцях їх зосередження (гірничодобувних регіонах) і навколо них розвивається промислова інфраструктура і не тільки гірничодобувної і переробної промисловостей, а і суміжних с ними галузей виробництва – чорної і кольорової металургії, хімічної промисловості, машинобудування та інших. Разом з тим йде перерозподіл населення, будуються місця і селища.

Накопичення значних екологічних наслідків довготривалого характеру. Виснаження надр і формування структури промисловості, переобтяженої важкими галузями виробництва супроводжуються накопиченням значних екологічних наслідків довготривалого характеру [27]. Це обумовлено тим, що економія на екологічних витратах на перших етапах освоєння родовищ дає великий економічний прибуток. Але при цьому витрати на ліквідацію наслідків надзвичайних екологічних ситуацій і катастроф після їх відробки можуть перевищити загальний прибуток від продажу мінеральної сировини.

Мінеральні ресурси техногенних родовищ. Незаперечність положення про швидке вичерпання окремих видів природних мінеральних ресурсів і необхідність нових крупних капіталовкладень в освоєння нових родовищ ставлять питання про доцільність використовування сировини техногенних родовищ [50]. Під техногенною мінеральною сировиною розуміються відвали покривних і вміщуючих порід відпрацьованих родовищ, а також хвостосховища гірничо-збагачувальних комбінатів, де концентрація компонентів основного видобутку, а також супутніх корисних компонентів менше ніж в промислових скупченнях, що розробляються. Проте, ці компоненти можуть бути вилучені з застосуванням новітніх технологій. Щорічно на земній поверхні нагромаджується техногенна маса, що містить: заліза 350 млн. т, фосфору - 7,4, міді - 5,7, свинцю - 2,8, барію -2,5 млн. т, урану - 230 тис. т, миш'яку - 190, ртуті - 7,9 тис. т.

Обґрунтування необхідності використовування сировини техногенних родовищ - це ще один аспект екологічної геології. Утилізація відвалів покривних порід дозволяє скорочувати їх площі і тим самим економити ресурс геологічного простору, а вилучення корисних компонентів з хвостосховищ, окрім економічної вигоди, сприяє очищенню поверхневої частини літосфери від шкідливих для здоров'я біоти домішок; особливо це торкається важких металів і радіоактивних елементів.

За прогнозними оцінками, розробка техногенних родовищ дозволила б на 15-20% розширити сировинну базу гірничо-металургійної, вугільної і гірсько-хімічної галузей промисловості. Для виробництва різних будівельних матеріалів можлива утилізація до 30% вилучених з надр покривних і вміщуючих порід, а також відходів їх збагачення. Проте фактичне їх використання не перевищує 4%.

Як родовища техногенної сировини слід також розглядати полігони поховання радіоактивних відходів. При більш високому рівні розвитку технологій вони можуть служити джерелом для видобутку радіоактивних елементів.

З деяким наближенням як техногенні родовища можна розглядати полігони складування твердих побутових відходів з метою видобутку метану, свинцю, заліза, скла і інших компонентів. Особливо важливе значення при розробці техногенних родовищ набувають умови складування і тривалість зберігання сировини. Через сумісне складування різних за складом і властивостями порід і побутових відходів, зміни в часі їх якості, гравітаційної диференціації і сегментації (особливо на хвостосховищах) та їх перемішування первинна якість матеріалу істотно змінюється і ускладнюється вилучення корисних компонентів.

Важливою є проблема гідромінеральної сировини. З підземних шахтних вод можливо вилучати у промислових кількостях літій, бор, германій, інші хімічні елементи. Наприклад, підземні води південно-західного Донбасу (Красноармійський район) містять від 0,152 до 0,355 мг/л брому, що перевищують мінімальні промислові значення брому у 20-60 разів (вміст германію – у 5-8 разів, літію – у 2 рази). Необхідно вивчати розповсюдження корисних елементів і компонентів в шахтних водах і розробляти технології їх вилучення.

Ресурси геологічного простору. Під ресурсом геологічного простору розуміють геологічний простір, необхідний для розселення та проживання біоти, у тому числі й для життєдіяльності людини. В загальній систематиці екологічних функцій літосфери структура ресурсів геологічного простору включає житло біоти, місце розселення людини, середовище наземних і підземних споруд, місце поховання та складування різноманітних відходів тощо.

З погляду розселення біологічних видів. при помірному техногенному впливі, ресурсна роль літосфери відповідає закономірностям, що відносяться до області біології (при розселенні людини - до області історії). У випадку інтенсивного освоєння території внаслідок порушення природної рівноваги відбувається активний перерозподіл, а також кількісна й якісна зміна біоти. Саме в цьому аспекті найбільш виразно виявляється взаємозв'язок ресурсної функції літосфери з рештою екологічних функцій, оскільки в більшості випадків зміна геохімічних, геофізичних або геодинамічних

властивостей літосфери неминуче призводить до істотної зміни ресурсу геологічного простору. Іноді техногенне навантаження, особливо в аварійних ситуаціях, змінює ресурс території настільки, що навіть людина (один із найбільш пристосованих біологічних видів), яка через свою технічну оснащеність, має можливість знаходитись в надзвичайно різноманітних і дуже контрастних умовах, вимушена вилучати ці території з активного освоєння й обмежувати або зовсім виключати мешкання на них (наприклад, територія радіоактивного забруднення в результаті аварії на Чорнобильській АЕС).

Існуюче раніше уявлення про те, що території континентів невичерпні для розселення й життєзабезпечення біоти давно не відповідає дійсності. В епоху техногенезу поверхня Землі та підземний простір стали важливим природним й екологічним ресурсом. Інтенсивне господарське освоєння територій континентів істотно скорочує ресурс простору для розселення всіх видів тварин і рослин. Одночасно створюється і дефіцит площ під необхідні інженерні споруди на освоєних, особливо урбанізованих територіях, необхідних для створення комфортних умов мешкання людського суспільства. Так, наприклад, у процесі перетворення літосфери людина (за даними на початок 90-х рр.) видобула 125 млрд. т. вугілля, 32 млрд. т. нафти, більше 100 млрд. т. інших корисних копалин. Розорано більше 1500 млн. га земель, заболочено і засолено 20 млн. га. Ерозією за останні сто років знищено 2 млн. га, площа ярів перевищила 25 млн. га. Тільки кількість матеріалу, що механічно видобувається людиною в літосфері Землі при видобутку корисних копалин і будівництві перевищує 150 мільярдів тонн на рік, що приблизно в 6 раз більше маси матеріалу, що зноситься водами річок в океани в процесі денудації й розмиву суші. При цьому треба мати на увазі, що сумарна потужність виробництва у світі подвоюється кожні 14 - 15 років. Тобто антропогенна діяльність за своїми масштабах і інтенсивності стала не тільки сумірною з природними геологічними процесами, але істотно їх перевершує, на що указував В.І. Вернадський, не вважаючи, проте, що в цьому є якась загроза цивілізації.

Під час розгляду літосфери, як середовища інженерно-господарської діяльності людини, чітко відокремлюються два шляхи оцінки ресурсів геологічного простору - оцінка “площинного ресурсу” поверхні літосферного простору та оцінка ресурсу підземного геологічного простору (або об’єму) під різні види його освоєння. В кожному випадку може бути багато варіантів оцінки, стосовно різних видів інженерно-господарської діяльності (рис. 1).

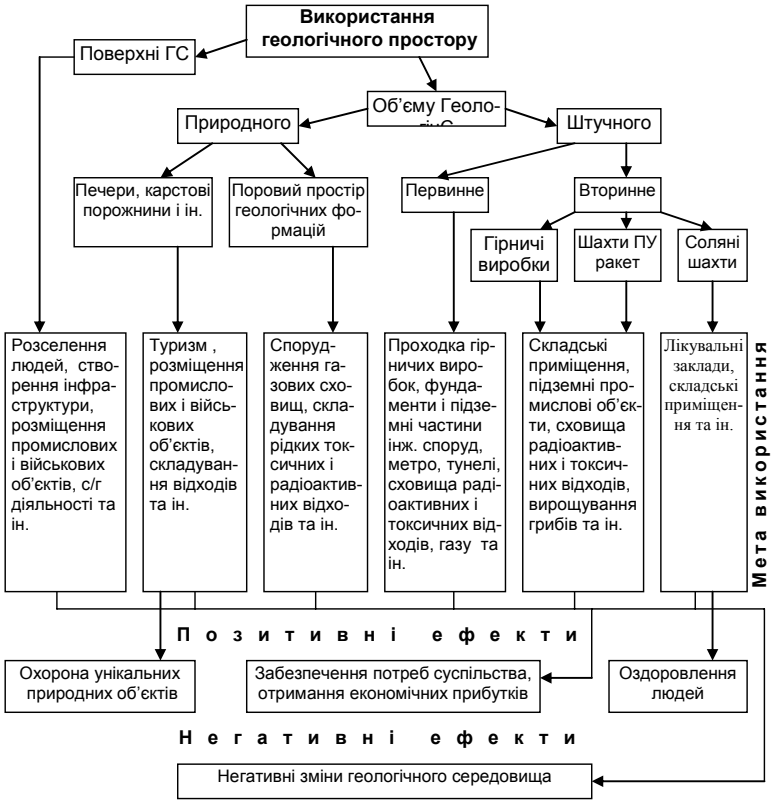

Рис. 1. Напрямки та ефекти використання геологічного простору

Перший з них - "площинні ресурси" геологічного простору вже стали величезним дефіцитом. На цей час людством освоєно біля 56 % поверхні суші з тенденцією до подальшого наростання цього процесу. І якщо для деяких країн із великими земельними ресурсами проблема розміщення інженерно-господарських об'єктів ще не стала гостро актуальною, то для невеликих за площею держав із великою чисельністю населення вона перетворилася на найважливіший екологічний фактор соціального розвитку, що відображається у вартості земельних ділянок. Найяскравішим прикладом є Японія, що вимушена для розміщення нових необхідних об'єктів засипати прибережні частини морських акваторій і здійснювати будівництво на насипних ґрунтах.

В Україні, загальна площа якої становить 605 тис. км^2, надзвичайно високий рівень освоєння площинних ресурсів геологічного простору, оскільки до господарського використання залучено більш як 92% її території. Тільки близько 50 тис. км^2, або 8 % від загальної площі, знаходиться у відносно природному стані (болота, озера, річки, а також гірські масиви). Значна частина ресурсів використовується для розміщення й експлуатації основних, підсобних та допоміжних будівель і споруд промислових, гірничодобувних, транспортних та інших підприємств і організацій, які використовують землю не як засіб виробництва, а як операційний (просторовий) базис, місце для об'єктів нерухомості. Аналіз використання земель у зазначених галузях показує, що, наприклад, підприємства промисловості, транспорту та енергетики мають високу питому землеємність, що пов'язано з існуючими нормативами відведення земельних ділянок для зазначених цілей, які в 2,5 - 2,7 раз перевищують аналогічні нормативи країн Західної Європи.

Ресурсні показники оцінки стану еколого-геологічних умов. Ресурсна група показників включає показники оцінки, що дозволяють встановити рівень виснаження екологічно значущих мінеральних, органомінеральних, органічних і водних ресурсів літосфери або тимчасову забезпеченість ними людського співтовариства. Слід відразу сказати, що вся ця проблема практично не розроблена в даному плані, особливо в частині літогеної складової (порід, які утворюють тверду компоненту літосфери) і донній осадків. Питання оцінки ресурсів підземної гідросфери спираються на солідну нормативну базу.

Оцінка ресурсів, необхідних для життя біоти (без людини). Це гірські породи, що містять елементи біофільного ряду (життєво необхідні організмам). Для них навіть немає оцінки розповсюдження за площею, не кажучи про "розвідані запаси". Вся інформація зводиться до епізодичного виявлення і опису місць, де ці породи виходять на денну поверхню і є доступними для травоїдних і всеїдних тварин. Поки єдиним можливим способом їх оцінки є дані про загальну наявність або відсутність їх у межах еколого-геологічної системи, яка розглядається.

Оцінка мінеральних ресурсів, необхідних для життя і діяльності людського співтовариства. Тут украй динамічним в часі, але в якійсь мірі науково обґрунтованим критерієм оцінки є кількість розвіданих запасів, віднесена до середньорічної потреби людського співтовариства з урахуванням досягнутого рівня цивілізації. Це часовий критерій, що відображає кількість років, в рамках яких конкретний мінеральний ресурс може витрачатися, не порушуючи умови існування людства як соціальної структури. Він може розглядатися як в планетарному аспекті, так і в національному (в межах суверенної держави). Зрозуміло, що він залежить від вживаних технологій, можливого використання замінників, зага-

льного рівня людської цивілізації і від об'єму розвіданих запасів і перспектив їх нарощування. Останнє і є задачею наук геологічного циклу, геологічної складової загального критерію оцінки. Якщо підходити до проблеми з позицій функціонування еколого-геологічної системи регіонального або локального рівнів, критерієм оцінки може стати віднесення певних мінеральних ресурсів конкретної території (об'єму літосфери) до певної категорії якості М.Б.Курінов [ ]пропонує виділяти чотири такі категорії за запасами конкретного мінерального ресурсу:

- мають світове значення і є унікальними;
- мають національне або регіональне значення;
- мають локальне значення;
- нерентабельні до розробки на сучасному технологічному рівні.

Ці якісні критерії оцінки можуть бути трансформований в кількісні через вартісну характеристику запасів (ресурсу), які залежать від кліматичних, технологічних і ряду інших чинників, що ускладнює можливість їх коректного використання. У публікаціях географів як критерій оцінки мінеральних ресурсів пропонується використовувати споживання конкретного ресурсу в тоннах на душу населення в рік. Тут в основі оцінки лежить фактичне споживання мінерального ресурсу для певної території на душу населення. Ця оцінка не дає уявлення про розвідані ресурси і можливі терміни їх експлуатації, вона говорить тільки про теперішній рівень споживання. Останніми роками для оцінки запасів став широко використовуватися показник (критерій) забезпеченості по окремих видах сировини і кратності запасів. У фізичному виразі він є величиною, яка визначається як відношення залишкових запасів до об'ємів поточного видобутку, що сформувалися, або по відношенню до загальних запасів, і показує на скільки років вистачить того або іншого природного мінерального або органомінерального ресурсу при рівні його видобутку, що склався. Цей показник найбільш зручний для зіставлення різноманітної і різночасної інформації оскільки приводиться в абсолютному літочисленні. Проте ранжирування по ньому територій по класах стану - проблема надзвичайно складна, багатофакторна і практично неопрацьована.

Сказане дозволяє констатувати, що проблема визначення показників оцінки мінеральних ресурсів з екологічних позицій (задоволення потреб суспільства) знаходиться в початковій стадії розробки і спирається майже виключне на знання про розвідані ресурси того або іншого виду мінеральної сировини і вимагає свого рішення.

Необхідне введення екологічних показників можливості використання мінеральних ресурсів, які повинні базуватись на економічній оцінці доцільності їх видобутку при умові збереження мінімізації негативних наслідків або навіть покращення екологічних умов для біоти і людини.

Ресурси геологічного простору як середовища життя і діяльності людини. Показників оцінки цього ресурсу літосфери поки в явному вигляді не існує. Проблема чекає свого рішення, шляхи якого бачаться в ранжируванні геологічного простору за якістю і потенціалом для визначення видів використання, включаючи поховання токсикантів і підземну урбанізацію. На цій основі можлива площинна або об'ємна оцінка відповідного ресурсу з його тимчасовою і просторовою прив'язкою або тенденцією його використовування. Така оцінка може бути проведена за екологічними, інженерно-геологічними, соціальними і економічними показниками. Приблизний перелік і загальне підпорядкування таких показників наведене на рис. 2.

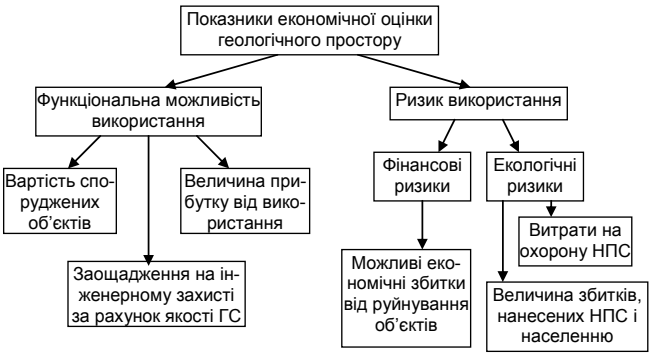

Рис. 2. Показники економічної оцінки геологічного простору

6. НЕБЕЗПЕЧНІ ГЕОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ

Типи небезпечних природних процесів. Існує велика кількість класифікацій природних, в тому числі й геологічних процесів: за генетичним принципом, екологічними наслідками їх прояву та екологічною спрямованістю, за числом можливих жертв чи можливою площею ураженості та ін.. Ми наведемо класифікацію Д.Г.Зілинга і М.А.Харькиної (1999), яка до певної міри синтезує основні положення цих класифікацій. Відповідно до неї виділяється три блоки (групи) процесів: катастрофічні, небезпечні і несприятливі.

До *катастрофічних* відносять процеси, які представляють безпосередню загрозу для життя людини і характеризуються невизначеністю моменту виникнення й інтенсивністю прояву - це атмосферні вихори, урагани та смерчі; пилові та соляні бури; повені; землетруси; виверження вулканів; снігопади; цунамі; зсуви, селі, снігові лавини, обвали; провали; падіння на Землю крупних метеоритів, астероїдів і комет.

Ознакою виділення групи *небезпечних процесів* є положення про те, що вони надають безпосередню дію (механічну, хімічну та ін.) на абіотичну складову екосистеми і лише опосередковано, через її зміну або руйнування, на флору, живі організми та людину. Така опосередкована дія може приводити до необхідності віднесення крупних територій до зони екологічного лиха або катастрофи. Представниками таких процесів є засухи; опустелювання; зміна рівня водоймищ; яриста й вітрова ерозія; ерозія ґрунтів; карст; абразія та діяльність льодовиків.

Несприятливі процеси включають велику групу природних і техногенних геологічних процесів, що не представляють безпосередньої загрози для життя людини й тварин та не приводять до руйнування (але викликають зміни) абіотичної складової екосистем, погіршують умови існування біоти і людини. Несприятливі процеси достатньо умовно (за можливою площею враження) розташовані в такий ряд: заболочування, бічна і донна ерозія, суфозія, поверхневий карст та ін..

В подальшому із всіх вищезгаданих процесів ми зупинімося тільки на природних геологічних процесах.

6.1. Катастрофічні процеси

Космічні катастрофи пов'язані з падінням на Землю крупних метеоритів, астероїдів і комет, які призводили до виникнення масштабних вторинних геологічних, геофізичних і геохімічних ефектів і спричиняли до масового вимирання біоти. Вони й досі недостатньо вивчені, отже найбільш небезпечні. Частота й передбачуваність виникнення космічних катастроф є дуже низькою, а уразливість й беззахисність біоти і людства щодо них – є максимальною.

Падіння небесних тіл зіграли важливу роль в історії Землі. За останні 600 млн. років відбулося приблизно 5 подій, внаслідок яких за порівняно стислий проміжок часу відбулися значні зміни клімату, фізичного та хімічного складу океану, атмосфери, що спричинило у свою чергу докорінні зміни флори й фауни Землі. Припущення, що межі геологічних епох пов'язані з падіннями на Землю небесних тіл, знайшло багато серйозних наукових підтверджень. Інтерес вчених до проблеми зіткнення астероїдів із Землею і можливих наслідків таких катаклізмів є стійким і навіть зростає на протязі останніх років.

В останні десятиріччя завдяки аеро- і космічному фотографуванню на поверхні Землі знайдено понад 100 кратерів ударного походження (астроблем) з розмірами до 200 км у діаметрі й з віком до 2 млрд. років.

Багато вчених наполягають на необхідності зосередження зусиль світового співтовариства на запобіганні можливому падінню на поверхню Землі об'єктів діаметром 1 км та більше. Енерговиділення у результаті такої події було б еквівалентно вибуху в 1 млн. Мт. вибухівки. При цьому

буде знищено приблизно чверть населення Землі. Викликає сумнів сам факт існування людини як біологічного виду. Проте середній інтервал часу між падіннями таких значних об'єктів - приблизно 500 тис. років, і таку подію можна передбачити за кілька десятків років, використовуючи дані астрономічних спостережень.

Землетруси. Це грізне явище є раптовим звільненням потенційної енергії земних надр у вигляді пружних подовжніх і поперечних хвиль, які розповсюджуються по всіх напрямках. Виникаючі коливання й деформації земної кори часто приводять до катастрофічних переміщень земної поверхні. Сила землетрусу залежить від кількості енергії, яка виділилася в області осередку землетрусу, і характеризується магнітудою (умовною енергетичною характеристикою) і глибиною залягання осередку землетрусу. Інтенсивність - якісний показник наслідків, що характеризує розмір збитку, кількість жертв і сприйняття людьми наслідків землетрусів.

Велика частина крупних землетрусів приурочена до зон альпійської складчастості, до яких відносяться Середземноморська і Трансгімалайська зони та Тихоокеанське кільце гірських споруд.

Землетрус - ця лихо з прямою і непрямою (вторинною) дією на природне середовище у вигляді обвалів, цунамі, пожежі, сніжних лавин тощо. Воно викликає величезне число жертв і великі матеріальні збитки. По числу жертв землетруси можуть поступатись тільки екстремальним повеням на крупних річках (рр. Янцзи, Хуанхе, Ганг, тощо) і ураганам. Усього в XX ст. в результаті землетрусів загинуло не менше 800 тис. чоловік. Екологічні наслідки від землетрусу залежать від сили сейсмічних хвиль, що досягають поверхні, частоти, типу й тривалості сейсмічних коливань, від конструктивних особливостей будівлі, типу і стану ґрунту основи.

Землетруси небезпечні тим, що вони відносяться до швидкодіючих геологічних процесів. Тривалість головного поштовху, що характеризується найбільшою магнітудою, рідко досягає хвилини, звичайно, це декілька секунд.

Виверження вулканів - це одне з найгрізніших і значних явищ природи. Виверження вулканів породжують стихійні лиха для всього живого, руйнують цілі міста, перетворять рельєф і річкову мережу, впливають на грунтово-рослинний покрив і змінюють ландшафт у цілому, а отже, і ресурс геологічного простору.

Прояв сучасного вулканізму приурочений до областей альпійської складчастості. Майже 80% діючих вулканів пов'язано із зоною, яка простежується по Тихоокеанському узбережжю Північної й Південної Америки, Алеутським островам, Камчатці, Японським островам, Індонезійському архіпелагу, Новій Зеландії. Решта вулканів приурочена до басейну Середземного моря і Північної Атлантики (Ісландія).

До чинників вулканічної діяльності, що мають руйнівну силу, відносять вибухову хвилю, лавові потоки, вулканічні аерозолі, пірокластичні потоки, пекучі хмари (хвилі) та попільні хмари. Залежно від форм виверження переважають ті або інші чинники. Види дії, які вони надають, підрозділяють на п'ять груп: механічні, термічні, хімічні, електромагнітні й психологічні.

Виверження вулканів за часом дії можуть бути швидкими, імпульсними, тривалістю до декількох днів, а можуть, епізодично повторюючись, продовжуватися протягом достатньо довгого часу. При цьому характер дії на оточуюче середовище може бути близьким, але екологічні наслідки, розмір матеріального збитку залежатимуть від того, на якому рівні вони виявляються: регіональному або локальному. При регіональних масштабах дії особливо гостро встають питання прогнозу виверження й вживання дієвих заходів по попередженню й порятунку людей і матеріальних цінностей.

Цунамі. Вони є довгоперіодичними морськими гравітаційними хвилями, що володіють великою руйнівною силою, виникнення яких частіше за все пов'язано із сильними підводними або прибережними землетрусами. Але можуть бути й інші причини виникнення цунамі, такі як підводні вулканічні виверження, великомасштабні підводні або берегові зсуви й обвали, скидання в океан великих мас порід або льоду, підводні вибухи ядерних зарядів, падіння в океан гігантських метеоритів.

Миттєві деформації ділянки дна океану викликають швидкий зсув стовпа води над ними, виникнення коливальних рухів, утворення хвиль цунамі. Спочатку вони мають невелику (до 5 м) висоту і значну швидкість (50-100 км/годину). В мілководній прибережній зоні швидкість зменшується, різко зростає висота хвилі (до 10 м і більш), крутизна переднього фронту, хвиля перекидається, здійснюючи колосальні руйнування на березі.

Близько 75% цунамі доводиться на Тихоокеанське побережжя, із районом Середземного моря пов'язано 12% випадків цунамі, з Атлантичним океаном - 9%, з Індійським океаном - 3%.

Руйнівна сила цунамі залежить від інтенсивності що породила її причини, відстані місця зародження від берега, початкової висоти хвилі, особливостей рельєфу дна на шляху цунамі й контурів берегової лінії. Особливо велика вона в умовах бухт і проток, що звужуються, при зменшенні їх глибини, коли істотно зростає висота хвилі. Небезпечні також гирла річок, по якім цунамі просувається на декілька кілометрів у глибину території.

Відомо близько 1000 випадків виникнення цунамі (понад 100 мали катастрофічні наслідки), які проявилися в повному руйнуванні й змиві інженерних споруд і рослинного покриву на побережжі.

В масштабі всієї Землі інтервал повторення найкрупніших цунамі, за даними Д.В.Ейджера, складає в середньому 10 років, хоча для окремих ділянок побережжя Світового океану він зростає до 100 років.

Зсуви – це зміщення на схилах гірських порід різного складу, будови й об'єму з переважанням механізму ковзання по наявній або той, що виникає в процесі руху поверхні або зоні, коли зсувні зусилля більше міцності порід. Еколого-геологічні наслідки зсувних процесів пов'язані або з похованням під ґрунтовою масою людей, тваринних, інженерних споруд, або порушенням ландшафту й деформацією споруд.

Зсуви широко розвинуті на берегах річок, морів і озер у платформних областях та повсюдно в гірсько-складчастих областях. Зустрічаються вони і на платформах.

Масштабність розвитку зсувів і еколого-геологічні наслідки їх дії на оточуюче середовище визначаються об'ємом ґрунтових мас, що переміщуються, і швидкістю зсуву. Вона особливо зростає в умовах високої енергії рельєфу, крутих і високих схилів, в першу чергу там, де вони субпаралельні крупним розломам. Найбільші зсуви, часто з катастрофічними наслідками, виникають у тих випадках, коли потужна товща міцних порід залягає на слаболітифікованих або пливунних породах з підвищенною вологістю, в яких виникають явища повзучості, видавлювання й випливання.

На побережжі морів зсувні процеси активізуються у зв'язку із штормами. Багато грандіозних зсувів спровоковано землетрусами. Різкій активізації зсувів сприяє добре зволоження порід, особливо рихлих глинистих і лесових, в результаті затяжних дощів, злив, сніготанення, інтенсивних поливів.

Зсуви не тільки загрожують всьому живому, спричинюють до загибелі людей, худоби, рослинності, але і викликають дискомфорт у мешканні, що пов'язано з деформаціями й руйнуванням житлових будинків, комунікацій, із порушенням структури сільськогосподарських земель і лісових масивів.

Зсуви можуть бути віднесені до катастрофічних процесів, оскільки у разі короткого етапу підготовки зсуву, вони утворюються раптово, сповзають з великою швидкістю (до 1 м/хвилину) і представляють пряму загрозу життя людини. Хоча при тривалому періоді підготовки зсуву, коли розвиток процесу йде поволі й нерівномірно, він звичайне не є несподіваним і не представляє безпосередньої небезпеки для людини, але і в цьому випадку може привести до порушення природного середовища і до значного матеріального збитку.

Селі - це тимчасові гірські руслові потоки, що характеризуються високим умістом твердого матеріалу (не менш ніж 100-150 кг на 1 $м^3$) і різким підйомом рівня. Відрізняються раптовим виникненням і швидким

рухом. Селі мають високі еродуючи та ударно-руйнівні властивості, які обумовлені великою насиченістю твердою фазою, значною крутизною переднього фронту селю та лавинним характером руху.

Селеві процеси поширені у всіх гірських районах. Екологічні наслідки дії селю залежать від його потужності, яка визначається сумарним об'ємом винесеного твердого матеріалу. При об'ємі 20-100 тис. $м^3$ сель вважається середньої потужності, 100-900 тис. $м^3$ - значної потужності і більше 1 млн. $м^3$ - катастрофічний. Масштабність розвитку селів зростає при великій кількості пухко-уламкового матеріалу на схилах; при зволоженні його за рахунок танення снігу або за рахунок прориву водоймищ; при відповідній будові руслової мережі селевого басейну, що забезпечує концентрацію великих витрат; за відсутності на схилах лісу і трав'яного покриву.

Селі відносяться до швидкодіючих (катастрофічних) процесів, які раптово виникають і швидко проходять. Тривалість селю від десятків хвилин до декількох годин. Звичайно, сель проходить за 1-3 години хвилями по 10-30 хвилин. Дія конкретного селю достатньо локальна, обмежена селевим басейном, тверда складова розвантажується в пониззі селевого русла, де зменшуються ухили й швидкість потоку.

Обвали. Під обвалом розуміють обвалення окремих брил, блоків і крупних об'ємів гірських порід із крутих і прямовисних схилів, що долають свій шлях до місця падіння по повітрю (це частіше всього вивалення) або шляхом скачування по схилу, перекидання й розколювання (власне обвали). Обвали утворюються при втраті стійкості гірських порід, переважно скельних і напівскельних, під дією сили тяжіння, гідростатичного тиску води або різних струсів. Готуються обвали часто під тривалою дією процесів вивітрювання. Еколого-геологічні наслідки обвалів пов'язані з ударною силою окремих брил і крупних блоків порід і з утворенням завалів.

Обвали поширені переважно в гірських областях, перш за все альпійської складчастості.

Обвали за часом утворення відносяться до швидкодіючих катастрофічних процесів, завжди є несподіваними, важкопередбаченими, тому вони є особливо небезпечними для людини. Кожний обвал у чистому вигляді відбувається локально на конкретній ділянці схилу і головною задачею є уникнення таких ділянок при господарському використанні території.

Провали. Вони пов'язані з обваленням покрівлі над карстовими печерами, суфозійними порожнинами в лесах або над гірськими виробками. За характером виникнення й наслідками дії провали можна віднести до катастрофічних процесів, оскільки підготовча й початкова стадії їх

розвитку малопомітні, а обвалення покрівлі відбувається раптово, головним чином, під дією гравітаційних сил.

Різку активізацію провальних процесів викликають землетруси, будівництво цивільних і промислових споруд, залізниць, особливо розробка родовищ. Провали представляють, перш за все, безпосередню загрозу для інженерних споруд.

В результаті провалів часто втрачаються цінні сільськогосподарські землі, утруднюється їх розорювання й ефективне використовування сільськогосподарських машин, відомі навіть випадки провалу останніх і загибель людей. Провали в закарстованих районах змінюють ландшафтні умови. Частково поглинаючи дощові води і води весняного сніготанення, провали обмежують поверхневий стік. При заповненні водою в провальних воронках утворюються озера.

6.2. Небезпечні процеси

Дефляція. Дефляційні процеси пов'язані з видуванням піщаних, пилуватих і соляних часток, їх перенесенням і накопиченням на суміжних територіях. Дефляційні процеси можуть реалізуватися або у вигляді пилових і соляних бурь, які відносяться до групи катастрофічних процесів, або у вигляді довготривалого вітрового рознесення - вітрової ерозії, яку можна кваліфікувати як небезпечний процес.

Розвиток дефляції залежить від швидкості й напрямку вітру, посилюється під час засухи, високих температурах, слабої в'язкості ґрунтів, які представлені тонкозернистими пісками, супіщаними і легко суглинними відкладами, лесами та якщо ґрунт незакріплений рослинністю.

Усі солончаки, особливо у верхньому шарі, небезпечні як джерела рознесення соляного пилу вітром. Критична швидкість вітру, що виносить солі, дорівнює 2,5-4,0 м/с.

Особливо небезпечні наслідки вітрової ерозії на територіях, де відбувається накладення процесів опустелювання і техногенних дій.

При наявності крутих схилів, вертикальних стінок з неоднорідною шаруватою будовою, дефляцій ні процеси можуть бути безпосередньою причиною обвалів.

Зміни рівня крупних водоймищ. Цей процес може бути короткочасним (приливно-відпливні явища в морі), сезонним і довготривалим. З погляду дії на екосистему найбільше значення мають довготривалі зміни, пов'язані з тектонічними, кліматичними або антропогенними чинниками.

Підйом рівня будь-якого водоймища приводить до підпору ґрунтових вод, підвищення їх рівня, водонасиченню ґрунтів і до підтоплення території, підтопленню основи будівель і споруд та відповідно до їх деформації, до затоплення підвалів, підземних комунікацій. Підтоплення тери-

торії в аридних областях приводить до засолення ґрунтів. Підйом рівня морів викликає посилення абразії, активізацію зсувних процесів із усіма наслідками для природного середовища, погіршенню екологічної ситуації у зв'язку із забрудненням підземних вод.

Коливання рівня водоймищ, що змінює умови життєдіяльності людини, відноситься до довготривалих процесів, що охоплюють декілька десятків і більше років, а за площею дії - до регіональних. Розглянутий процес із позицій оцінки ресурсу геологічного простору можна розглядати і як руйнівний і як перетворюючий, що спричиняє до зміни однієї якості ресурсу іншим.

Яружна ерозія найбільш широко поширена в південній частині лісової зони, в лісостеповій і степовій зонах України.

Велике значення має характер рельєфу, сприятлива для зростання ярів сильна його розчленованість, велика площа водозбору і значна його висота щодо місцевих базисів ерозії. При крутизні схилів від 4 до 8° площинна й лінійна ерозія виявляється інтенсивно й повсюдно. Дуже важливим є режим сніготанення, але найбільшу небезпеку представляють зливи, що ведуть до утворення бурхливих потоків із великими швидкостями. Сприяють утворенню ярів такі техногенні чинники, як розораність земель, вирубка лісу, підрізування схилів, масовий випас худоби.

Яружна ерозія чинить великий вплив на зміну навколишнього середовища. Розчленовувавши територію, яри роблять її незручною для господарської діяльності, будівництва і сільськогосподарських робіт. Вони руйнують дороги і збільшують їх протяжність за рахунок об'їздів, обмежують машинну обробку землі. Виноси рихлого матеріалу в результаті ерозії створюють певні незручності для господарської діяльності населення, перекриваючи луги, городи, сади, перегороджуючи дороги, канали, замулюючи водосховища й ставки. Яри змінюють ландшафтні умови, розкривають і дренують водоносні горизонти і тим самим сприяють їх виснаженню. У степах і лісостепах яри порушують режим вологості зони аерації, висушують ґрунти і знижують їх родючість. Збільшуючи ухили поверхні, яри сприяють інтенсивному змиву ґрунтового покриву з ріллі, тобто ерозії ґрунтів.

Проте найзначущім екологічним результатом прояву яружної ерозії є скорочення площі сільськогосподарських угідь, особливо ріллі й садів, і зниження родючості ґрунтів у зоні порушення їх режиму вологості. Яружна ерозія - типовий процес, що приводить до локальної втрати ресурсу геологічного простору зі всіма виникаючими екологічними наслідками.

Ерозія ґрунтів відбувається в результаті площинного змиву і приводить до руйнування (змиву) верхнього найродючішого гумусного горизонту ґрунтів. Найбільш широко ці процеси протікають в умовах степу й лісостепу. Ерозійний потенціал територій збільшується із зростанням

крутизни й довжини схилів, тісно пов'язаний з ерозійним індексом дощів. При зливовому стоці змив може зростати в 5-9 разів. На схилах крутизною 4-6° під час сніготанення змивається до 25-60 т ґрунтового дрібнозема з 1 га. Інтенсивність площинного змиву залежить також від складу порід. Найменш стійкі до нього покривні суглинки з великим умістом крупного пилу, найбільш стійкими є піски. Проміжне положення займають моренні суглинки й супіски. Протиерозійна стійкість ґрунтів збільшується із зростанням умісту гумусу, міцності структурних зв'язків, із зменшенням ступеня водопроникності. Вона зростає в ряді: дерново-підзолисті ґрунти - сірі лісові - чорноземи. Для дерново-підзолистих ґрунтів, розвинутих на легких покривних суглинках, при зменшенні вмісту гумусу в три рази коефіцієнт еродованості (і відповідно змив ґрунтів) зростає в півтора рази.

Змив ґрунту веде до деградації гумусного горизонту, до зменшення вмісту в ґрунті органічної речовини, азоту й інших мінеральних речовин, необхідних для живлення рослин. В результаті погіршується структура ґрунтів. Усе це веде до втрати найціннішого ресурсу - родючості ґрунтів із відповідною дією на біоту і людину.

Ерозійні процеси за часом дії відносяться до короткочасних епізодичних, які діють протягом сезону. В просторі ці процеси виявляються як на регіональному (у межах певної грунтово-рослинної зони), так і на локальному (конкретна ділянка схилу) рівнях. З масштабом розвитку ерозійних процесів пов'язана і значущість наслідків їх впливу на природне середовище, на зміну екологічної ситуації. Залежно від цього вони можуть відноситися до небезпечних або несприятливих процесів.

Карстовий процес полягає в розчиненні й вилуговуванні гірських порід підземними водами, що рухаються, з утворенням своєрідних форм рельєфу і підземних порожнин у вигляді порожнин, каналів, галерей, печер тощо. Карстові процеси часто супроводжуються провальними явищами.

Карст широко поширений у районах, де розвинуті товщі розчинних карбонатних і сульфатних порід, а також кам'яних і калієвих солей і простежується до глибин 2000-3000 м (в гірських карбонатних системах).

Швидкість і масштаб розвитку карстових процесів визначаються перш за все ступенем розчинності порід, зростаючи від карбонатних до сульфатних порід і потім до легкорозчинних солей, вони збільшуються із зростанням агресивності вод по відношенню до карстуючихся порід. Велике значення має дислокованість порід і порушення їх тріщинуватістю, що робить породи більш водопроникними і полегшує винесення продуктів розчинення водним потоком, збільшення швидкостей якого підвищує інтенсивність водообміну. Активізація карстових процесів пов'язана із збільшенням швидкостей руху підземних вод, з умовами водообміну, що

зумовило притаманність активних карстових процесів частіше за все до присхилових частин глибоко врізаних долин і зон тектонічних порушень.

Карстові процеси по своїх еколого-геологічних наслідках відносяться до розряду небезпечних, але не катастрофічних. Вони можуть істотно змінити ландшафт і тим самим умови життєдіяльності біоти, у тому числі людини. В тих районах, де розчинні породи залягають на поверхні або перекриті невеликим чохлом рихлих відкладів, при високій їх закарстованості створюється своєрідний карстовий рельєф з формами у вигляді воронок, ярів сліпих балок, замкнутих улоговин розміром до десятків і сотень квадратних кілометрів. Їх поява робить вплив і на інші компоненти ландшафту, змінюється характер рослинності, типи ґрунтів, гідрографія. Злиття воронок приводить до утворення улоговин, в яких формуються численні пов'язані з карстом озера. Річки на закарстованих ділянках зменшують свою витрату і можуть повністю зникати в залягаючих під руслом закарстованих породах.

При заляганні розчинних порід на глибині серед нерозчинних утворюється підземний карст у вигляді порожнин, каналів, печер та ін. В результаті змінюється структура й будова карстуючихся порід, режим поверхневих і підземних вод, формується особливий тип підземних вод - карстових, із якими пов'язано утворення потужних джерел із дебітом, що досягає десятків кубічних метрів у секунду.

Роль карстових процесів у формуванні хімічного складу вод, що живлять річки, озера, дуже велика. Істотно зростає мінералізація й жорсткість річкових вод за рахунок винесення карстовими водами розчинних солей, змінюється їх температурний режим. Такі зміни особливо відчутні в районах розвитку сульфатного і соляного карсту.

Карстові процеси приносять значний непрямий матеріальний збиток як на стадії проектування, так і експлуатації споруд. Це зв'язано з тим, що закарстовані породи не завжди є надійною основою й середовищем для розміщення інженерних споруд, можуть бути деформації і провали будівель, великі притоки води в підземні вироблення й котловани, що досягають декількох тисяч кубометрів у годину. Прориви карстових вод у шахти іноді приводять до людських жертв.

В важкорозчинних карбонатних породах карстові процеси розвиваються поволі протягом довгого геологічного часу, в середньорозчинних породах (сульфатний карст) швидкість цих процесів достатньо велика і майже збігається з термінами будівництва й експлуатації споруд. В легкорозчинних породах (соляний карст) ці процеси розвиваються ще швидше. За площею розвитку карстові процеси відносяться до регіональних, охоплюючи великі площі в межах території розвитку розчинних порід.

Абразія - це процес руйнування морських берегів під дією хвиль, течій, приливів і відливів, який приводить до зміни контурів берегової лінії і

до її переміщення вглиб суші. Руйнівна сила вітрової хвилі залежить від її висоти, тобто маси води і швидкості, із якою хвиля ударяється в берег.

Абразійні процеси широко розвинуті на узбережжі морів озер та великих водосховищ. Інтенсивність абразії обумовлюється в основному розміром і режимом водоймища, складом, будовою й станом порід, що складають узбережжя, морфологією берега. Висота хвиль, а значить і її руйнівна сила, зростає із збільшенням сили й тривалості вітру, довжини розгону хвилі, обумовленої розміром водоймища, глибиною басейну в прибережній зоні. Процеси абразії різко активуються під час шторму. Дуже нестійкі до руйнування райони узбережжя, складені легкорозчинними рихлими незв'язними або зв'язними ґрунтами. Скельні породи втрачають стійкість до абразії при сильній тріщинуватості або при падінні їх у бік водоймища. Темпи абразії зростають за наявності процесів, що знижують міцність порід берега, таких як старі і діючі зсуви, осипи, виходи підземних вод тощо. Найбільшою мірою схильні до абразії високі береги, орієнтовані перпендикулярно або під деяким кутом до напрямку пануючих вітрів, з вузьким пляжем. Для кожного району узбережжя характерні свої переважаючі чинники, що викликають активізацію абразії. Втручання людини шляхом споруджування портів, хвилеломів, гребель або бетонних стінок, а також вилучення для будівельної мети з берегової зони піску або галечнику приводить до порушення балансу рихлого матеріалу й активізації процесів абразії.

Як правило, абразія не представляє безпосередньої загрози для життя людини, але змінює ландшафт, робить вплив на умови його життєдіяльності. Перш за все абразія змінює профіль берега, утворюючи крутий або відносно крутий береговий обрив, а в його основі – хвилеприбійну нішу і вузький пляж. В тих випадках, коли на рівні хвилеприбою залягають слабкі породи, формується нависаючий карниз. Берег стає нестійким, розвиваються як обвально-осипні, так і обвальні процеси, на схилі вище за обривом виникають тріщини. В результаті абразії змінюються контури берегової лінії і відбувається її переміщення у бік суші.

За часом розвитку абразія є процесом тривалої дії. Наприклад, для Південного берега Криму швидкість абразії змінюється від декількох міліметрів у сторіччя до 3 м/рік залежно від порід, що складають кліф. Але епізодично під впливом сильних штормів швидкість може різко зростати. У просторовому плані абразія може носити регіональний характер, охоплюючи райони побережжя значної протяжності. В той же час ці процеси можуть виявлятися і на локальних ділянках, де створюються для цього сприятливі умови.

6.3. Несприятливі процеси

Заболочування розвивається в умовах вологого клімату, коли кількість опадів перевищує їх випаровування, рівнинного рельєфу та при близькому до поверхні землі заляганні підземних вод. Заболочування може відбуватися й унаслідок надмірного зволоження відкладів за рахунок періодичного затоплення або підтоплення річковими або морськими водами.

Розвиток природно заболочених земель і боліт підкоряється кліматичній зональності. Процеси заболочування істотно змінюють природне середовище й умови життєдіяльності людини. Відбувається повна зміна характеру рослинності.

Матеріальний збиток від заболочування пов'язаний і з додатковими витратами на проведення осушувальних заходів при підготовці територій до будівництва й захисту вже побудованих споруд, оскільки надмірне зволоження змінює фізико-механічні і фільтраційні властивості порід, знижує їх стійкість і несучу здатність, веде до затоплення підземних частин споруд. При цьому підземні води можуть проявляти агресивні властивості.

Процес заболочування відноситься до довготривалого, що надає людині можливість перервати його, а ще краще - запобігти, щоб уникнути негативних екологічних наслідків. Заболочування може відбуватися і локально в невеликих западинах і зниженнях і носити яскраво виражений регіональний характер.

Бічна і донна ерозія в тому або іншому ступені спостерігаються у всіх долинах річок і впливають на природне середовище як опосередковано, через зміну ландшафту в межах річкових долин, так прямою дією - руйнуванням заплавно-терасових комплексів. В залежності від переважання дії бічної або донної ерозії змінюється будова річкових долин. Переважання бічної ерозії приводить до меандрування річки, появі великих закрутів, долина характеризується широкими терасами, заливними лугами на заплаві, старицями й озерами зі значною потужністю алювіальних відкладів. Переважання донної ерозії приводить до вузького, каньйоноподібного характеру долини, яка має круті схили, вузькі останці терас, пороги й перекати в руслі, водоспади та невелику потужність алювіальних відкладів, звичайно більш грубого складу.

Інтенсивність руйнування берегів ерозійними процесами визначається складом і станом порід, що розмиваються, експозицією берегових схилів, конфігурацією русла річки й характером локальних (блокових) неотектонічних рухів. Особливо інтенсивно, іноді з високою швидкістю, руйнування берегів відбувається в період повені й паводків, коли швидкість розмиву місцями досягає декількох десятків метрів за сезон.

Велика швидкість розмиву терасових комплексів, території яких активно використовуються людиною, заважає нормальному життю і приводить до значного матеріального збитку. В зону руйнувань потрапляють траси шосейних і залізних доріг, лінії зв'язку й електропередач, газо- і нафтопроводи, промислові споруди і житлові будинки, сільськогосподарські угіддя, сади і городи.

Суфозія – це процес механічного винесення тонкодисперсної частини порід із ґрунтової товщі. Частіше за все ці процеси приурочені до тонко- і дрібнозернистих пісків і особливо до лесів, які мають низьку здатність чинити опір ерозійної дії підземних вод. Розвиток суфозії пов'язаний з інтенсивною інфільтрацією поверхневих вод або дією великих швидкостей руху потоку фільтрації в умовах розчленованого рельєфу, як правило уздовж терасових уступів річки та по бортах ярів. Це приводить до утворення каналів, порожнин і поверхневих провальних воронок.

Суфозія змінює водопроникність порід, тому може викликати великі притоки води в котловани, підземні виробки, може привести до втрат води з іригаційних споруд і водосховищ, створити критичні ситуації, пов'язані із стійкістю дамб у бічних примиканнях і в основі. Великий збиток від суфозії може бути пов'язаний із значними нерівномірними осіданнями будівель і споруд, їх, деформацією і навіть руйнуванням при утворенні підземних порожнин.

Процеси суфозії розвиваються поволі протягом декількох або десятків літ. Вони частіше мають локальний, рідше регіональний розвиток.

6.4. Вплив діяльності людини на геолого-динамічні умови територій

Під впливом господарської діяльності людини в літосфері відбуваються сучасні геологічні процеси, які безпосередньо впливають на умови розвитку живих організмів і людського суспільства. В сучасній літературі вони отримали назву *техногенні екологічні процеси.* До них відносяться хімічне, теплове, радіаційне й біологічне забруднення геологічних об’єктів, техногенна активізація ендогенних і екзогенних геологічних процесів, зміни геофізичних і геохімічних полів, формування техногенних відкладів тощо.

Техногенні екологічні процеси (ТЕП) перш за все наносять екологічний та економічний збиток самому людському суспільству наприклад, руйнують інженерні споруди, забруднюють повітря, поверхневі й підземні води тощо. Зростаючи масштаби господарської діяльності та поява все нових видів техногенного впливу викликає потужній вплив на всі компоненти природного середовища. Це проявляється в глобальної зміні клімату, порушенню кругообігів води в природі, скороченні площ лісових

насаджень, зміні складу атмосферного повітря, забрудненні суши й Світового океану, посиленні стихійних лих тощо. Під зростаючим впливом цих потужних факторів змінюється характер усіх природних процесів і формуються нові техногенні процеси, загальна сукупність яких отримала назву *техногенез*.

Під впливом діяльності людини відбувається зміна гравітаційного, геотермічного, магнітного, електричного та інших фізичних полів Землі. Змінюються гідрогеологічні умови, підсилюється хімічне й бактеріологічне забруднення поверхневих і підземних вод, відбуваються процеси опустелювання, засолення й забруднення ґрунтів рослинного шару, зникає велика кількість різноманітних видів флори й фауни, скорочується генетичний фонд планети. Усе це призводить до активізації й підсилення природних геологічних небезпек як ендогенних (землетруси, вулканізм тощо), так і екзогенних – зсуви, обвалення, селі, карст тощо. Крім того, виникають нові, раніше не відомі процеси, наприклад, такі як синтез важких елементів тощо.

В останній час помічено різке посилення впливу сучасних природних геологічних небезпек на життя та діяльність людини. Було встановлено, що більше 10 % населення землі мешкає на потенційно небезпечних територіях.

Для території України, яка характеризується інтенсивною господарською діяльністю, характерним є прояв процесів техногенного рельєфоутворення – наприклад, глибина кар'єрів у Криворізькому залізорудному басейні вже перевищила відмітку 300 м, висота відвалів складає 60-70 м і вже проектуються відвали висотою до 120 м.

В результаті законтурного водозниження, шахтного і кар'єрного водовідливу, істотного збитку ресурсному потенціалу територій завдає й зміна гідрогеологічних умов. Формування крупних депресивних воронок площею до 300 км^2 може не тільки порушувати прийняту систему водопостачання території і призвести до осідання земної поверхні, але й викликати активізацію карстових, суфозійних і провальних процесів. Провальні воронки можуть досягати значних розмірів. Наприклад, в районі Артемівського родовища Донбасу утворилася мульда осідання, внаслідок цього частина будинків, яка розташована в її межах, була серйозно деформована, а згодом й знесена.

На урбанізованих територіях із розвинутою мережею підземних виробок спостерігається значне осідання земної поверхні, деформування будівель і споруд, відбуваються розриви мереж водопроводів і каналізації, руйнується шляхове покриття. Суттєвим є загальне техногенне навантаження від будівель і споруд на ґрунти основи в містах-мегаполісах, збільшується динамічний вплив міського транспорту на масиви гірських порід.

Під впливом техногенезу суттєво змінюють свій характер процеси осадконакопичення і літогенез. Створюються техногенні ґрунти, які можна умовно поділити на три основні групи – змінені, що залишаються на місці свого первинного утворення; переміщені в процесі техногенезу; новоутворені. Змінені техногенні ґрунти можна співставити з природними, що підпали під вплив вивітрювання або інших природних процесів. Розвиток будівельної техніки дозволив різко підвищити об'єми переміщених техногенних ґрунтів. Наприклад, на окремих ділянках будівництва їх об'єм може досягати десятків мільйонів м^3. Дуже різноманітними є новоутворені ґрунти, наприклад, у районах звалищ побутових і промислових відходів, відвалів рудників і хвостосховищ – це шлаки й золи, полімери й синтетичні смоли, відходи хімічного виробництва, металічний лом, господарське й побутове сміття тощо.

Вплив людини на геологічне середовище викликає формування у верхніх частинах літосфери техногенно-геохімічних систем – зон, де породи набувають відмінний від первинного склад, фізико-механічні, фільтраційні та ін. властивості. Це у свою чергу призводить до змін напруженого стану масивів порід, гідродинамічного та геотермічного режимів. Тому можна говорити про техногенний катагенез гірських порід, що отримує все більше розповсюдження.

Під техногенним катагенезом слід розуміти не тільки перетворення будови гірських порід під впливом розчинення, цементації, ущільнення тощо, але й накопичення багатьох забруднюючих речовин, наприклад, нафтопродуктів, формування нових геохімічних бар'єрів і навіть нових мінералів і техногенних родовищ шляхом накопичення металургійних шлаків, відходів збагачувальних підприємств тощо. Все це призводить до негативних наслідків для розвитку біоти.

6.5. Геодинамічні та інженерно-геологічні показники оцінки екологічного стану територій

Оцінка дії геологічних та інших природних і техногенних процесів на екосистему в цілому й людину, зокрема, як й оцінка стану еколого-геологічних умов можуть здійснюватися по комплексу показників, які можна розбити на 4 основні групи:

геодинамічні та інженерно-геологічні, за якими оцінюють масштаб і інтенсивність розвитку геологічних процесів;

показники, що характеризують можливі екологічно несприятливі зміни абіотичних компонентів ландшафту та його літогенної основи в результаті активно діючих геологічних процесів;

біологічні, що характеризують зміну різних представників біоти та їх комплексу в цілому;

соціально-економічні.

Біологічним, економічним і соціальним показникам необхідно надавати перевагу при використанні з метою оцінки дії катастрофічних процесів на промислово розвинутих територіях і територіях міських агломерацій, специфіка яких визначається високою щільністю населення й концентрацією матеріальних цінностей людського суспільства. *Ботанічні і ґрунтові показники* є найбільш інформативними поза зоною територій інтенсивного промислового використання, де природа ще знаходиться в більш-менш природному стані. *Геодинамічні та інженерно-геологічні показники* оцінки придатні для територій будь-якого типу освоєння, тому їх необхідно розглянути більш детально.

Усі нижче перераховані показники оцінки є договірними, часто не мають строгого наукового обґрунтовування і часто не підтверджені нормативними документами. За своєю суттю вони є близькими до експертних оцінок.

Площинні показники оцінки. Для рельєфу і підземного простору у якості показників зміни їх стану можна запропонувати: площу й глибину порушення. Ранжирування цих показників за класами станів приведено в табл. 3.

Таблиця 3.

Оцінка стану еколого-геологічних умов
по особливостях рельєфу і підземного простору

Показники оцінювання	Стан еколого-геологічних умов			
	задовільний	умовно задовільний	незадовільний	катастрофічний
Відношення площі техногенного рельєфу до площі ділянки, %	до 10	10-25	25-50	> 50
Розмах порушеного рельєфу, м	до 10	10-25	20-50	---
Площі підроблених територій, %	до 10	10-25	25-50	---

Оцінка ураженості поверхні літосфери природними й антропогенними геологічними процесами висловлена в багатьох методичних рекомендаціях та інструкціях. На підґрунті їх врахування та останніх розробок ВСЕГІНГЕО запропонована така шкала оцінок (табл. 4). Реалізовуючи на практиці запропоновані показники оцінки необхідно враховувати, що ключовим моментом є виділення для кожної конкретної території провідних, самих небезпечних в екологічному відношенні геологічних процесів

й їх парагенезів. Критерієм виділення є оцінка їх екологічного й економічного збитку.

Таблиця 4

Оцінка стану поверхні літосфери за розвитком геологічних процесів

Показники оцінювання	Стан еколого-геологічних умов			
	задовільний	умовно задовільний	незадовільний	катастрофічний
Площинна враженість поверхні геологічними процесами (катастрофічними й небезпечними), %	до 5	5-25	25-50	> 50
Інтенсивність розвитку геологічних процесів (об'єми, швидкості та енергетика)	Градації не розроблені			
Складність інженерно-геологічних умов	Нескладні, локальні заходи по захисту від природних геологічних	Складні, інженерний захист є необхідним на обмежених площах	Дуже складні, інженерний захист є необхідним повсюди	Систематичний прояв катастрофічних процесів, заходи інженерного захисту не гарантують безпеку мешкання людей

Динамічні показники *оцінки.* Важливість і актуальність використання динамічних показників оцінки разом із статистичними (площі, об'єми тощо) обґрунтована вище. Проте в даному випадку доводиться констатувати, що розроблених динамічних показників оцінки для обліку (оцінки) розвитку геологічних процесів і техногенних перетворень рельєфу, а точніше їх екологічної значущості, поки не існує навіть у постановочному плані. Використовуючи динамічні показники стану екосистем, можна як приклад для обговорення запропонувати їх градації по класах станів геологічного середовища (табл. 5).

Таблиця 5

Динамічні показники стану геологічного середовища за швидкістю зміни площ порушення

Критерій оцінювання	Стан еколого-геологічних умов			
	задовільний	умовно задовільний	незадовільний	катастрофічний
Збільшення площі порушення за рік, %	до 1	1-2	2-5	> 5

Можливий і інший підхід до оцінки динаміки порушення геологічного середовища через ступінь забруднення компонентів літосфери, який витікає з робіт Ю.Саєту. У цьому випадку, показником рівня аномальності вмісту елементів (на поверхні землі, у ґрунтах, у снігу, в підземних і поверхневих водах) є коефіцієнт концентрації K_0, який розраховується для різних тимчасових інтервалів як відношення вмісту елемента в досліджуваному об'єкті C до середнього фонового його вмісту $C_ф$.

1.7. ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ ГЕОХІМІЧНІ ПОЛЯ

Екологічна геохімія вивчає абіогенні, біогенні, біокосні та техногенні системи на атомарному рівні. Природні системи відрізняються різко нерівномірною поширеністю хімічно близьких елементів (Ca - Ra, S - Se, Cl - I тощо), у зв'язку з чим чисто «хімічне мислення» є недостатнім при аналізі природних процесів - необхідне «геохімічне мислення», що враховує поширеність елементів в системах. Екологічна геохімія, яка вивчає взаємовідносини організмів і їх систем з геохімічним середовищем, а також геохімічні відносини самих живих організмів, на сьогодні є одним з найбільш ефективно функціонуючих розділів прикладної екології.

7.1. Природні геохімічні поля і аномалії

Поведінка хімічного елементу в будь-якій геохімічній системі значним чином визначається формами його знаходження, кожну з яких вирізняє специфічний стан атомів. Домінуючим, безумовно, є мінеральний вид знаходження. Окремо виділяється біогенний стан хімічних елементів, який передбачає знаходження їх в живих організмах - як у вигляді складних органічних сполук, так і у вигляді неорганічних сполук. При мінеральному виді знаходження елементу його здатність до міграції визначається не лише хімічними властивостями елементу а й стійкістю мінералу в умовах системи.

Не менш різноманітним за формами реалізації є безмінеральний (розсіяний) вид знаходження елементів, який охоплює всі агрегатні стани речовини. Дуже важливе геохімічне значення має те, що розсіяні елементи не беруть участі в побудові кристалічних решіток. Відтак, при будь-яких впливах розсіяні елементи значно легше виносяться з мінералів, оскільки для їх мобілізації не потрібно витрачати енергію на руйнацію зв'язків в решітці.

Ступінь захоплення речовиною якого–завгодно елементу зручно характеризувати з використанням коефіцієнтів розподілу (k), який визначається як відношення масової концентрації елементу в речовині (мінералі, організмі) до вмісту цього елементу в середовищі (ландшафті, атмосфері) чи агенті переносу (повітрі, водному розчині, магмі тощо).

Порівняння розподілу хімічних елементів, особливо рідкісних, в різних системах зручно здійснювати за допомогою геохімічних спектрів, які будуються за кларками концентрації елементів в аналізованих компонентах.

Інтенсивність міграції елементу в системі (P_X) оцінюють за співвідношенням тієї кількості елементу що переходить в рухомий стан (db) за одиницю часу (dt) до загальної кількості елементів в системі (b).

Фактична сукупність відомостей щодо процесів міграції утворює окремий особливий розділ геохімії - геохімію процесів міграції, окремими напрямками якого є: геохімія магматичних, гідротермальних, гіпергенних, техногенних процесів тощо. Види міграції традиційно поділяють за видами руху матерії, виділяючи: механічну, фізико-хімічну, біогенну і техногенну міграцію.

Механічна міграція обумовлена транспортуючою і руйнівною діяльністю водних та атмосферних потоків, льоду, вулканів, тектонічних сил, сил кристалізації тощо. Механічна міграція залежить переважно від розміру часток мінералів і порід, їх густини, швидкості руху вод, вітру. Хімічні властивості елементів практично не мають значення. Характерними рисами механічних ореолів розсіяння є зростання дисперсності часток і накопичення стійких в умовах зони гіпергенезу мінеральних форм. В стані завису переноситься понад 90% маси Al, Ti, Ga, Th, Sc, Pb, Si, Fe, Mn, P, Ba, Zt, Rb, Cr, Co, Ni, а також значні кількості всіх інших елементів з низькими коефіцієнтами водної міграції.

Фізико-хімічна міграція здійснюється завдяки процесам в верхній частині літосфери, якими є: гідроліз, окислення та відновлення, іонний обмін, утворення та руйнування колоїдів, карбонатизація, гідратація і дегідратація, комплексоутворення, кристалізація і просте хімічне розчинення тощо. Для кожної групи мінералів є свій, провідний, тип хімічної реакції: гідроліз, гідратація і дегідратація - для породоутворюючих силікатів; окислення та відновлення - для сульфідів та залізовмісних силікатів; розчинення - для солей тощо. Найкраще вивчена міграція речовин у водних розчинах у вигляді іонів (*іонна міграція*), яка залежить від розчинності солей, pH, окислювально-відновного потенціалу.

У земній корі багато елементів можуть бути присутніми в різних ступенях окислення. Стійкість даного ступеню окислення елементу залежить від зміни енергії, що супроводжує приєднання або видалення електрону. Кількісною мірою цієї зміни є окислювально-відновний потенціал (редокс-потенціал, Eh)[1]. Окислення завжди супроводжується відновлен-

---

[1] Окисний потенціал будь-якої реакції - величина відносна. За стандартну прийнята реакція відділення електронів від атому водню в молекулі H_2 в кислому розчині (pH=0) через який пропускається під тиском 1 атм газоподібний водень (температура - 25

ням, тому окислювально-відновні процеси характеризуються різницею потенціалів у ланцюзі окислювач-відновник. Окислення в природі, а тим більше в верхній частині літосфери, здійснюється головним чином киснем.

Характер окислювально-відновних умов у природних процесах нерідко визначають за мінералами заліза, які слугують своєрідними реперами "відновного" чи "окислювального" середовища - присутність закисних з'єднань заліза (сидерит, вівіаніт) свідчить про відновні умови середовища, а окисних (лімоніт, ярозит тощо) - про окислювальні.

Комплексоутворення має виключне значення в геохімії, *яке* полягає в різкій зміні рухливості катіонів багатьох елементів (Fe, Zr, U, Sn, Sc, Ag, Au тощо) у випадку утворення комплексних з'єднань. Комлексоутворюючими агентами в природних умовах найчастіше є органічні з'єднання з кільцевою структурою. Вони широко поширені в області вивітрювання і концентруються в гумусі, гної та тваринних фекаліях. Такими агентами можуть бути: амінокислоти, лимонна, винна, яблучна та інші кислоти, гемоглобін, хлорофіл та інші металоорганічні комплексні з'єднання живих клітин. Реакції комплексоутворення у своєму метаболізмі інтенсивно використовують рослини. Вважають, що особливо енергійно засвоює таким шляхом елементи безпосередньо з мінералів примітивна мікрофлора (протрофи). Це й зрозуміло, оскільки на етапі зародження життя на Землі такий шлях отримання необхідних компонент був ледь не єдино можливим.

Колоїдні системи зароджуються в зоні взаємодії літо-, гідро- атмо і біосфери. Вони утворюються внаслідок постійної руйнації мінералів, порід та органічної речовини, а також в результаті агрегації іонів. З колоїдними процесами пов'язано багато геохімічних явищ, найважливішими з яких є: а) утворення мінералів (неорганічних, органічних та мінерально-органічних з'єднань) як кристалічної так і аморфної будови; б) явища сорбції та десорбції, а також спільне осадження хімічних елементів; в) міграція елементів в водному середовищі в колоїдних системах; г) акумуляція багатьох рідкісних елементів (аж до досягнення рудних концент-

---

градусів Цельсія), тобто окислення водню до іонів H^+: $\mathbf{H_2 \rightarrow 2H^+ + 2e^-}$. Окисний потенціал цієї реакції при активностях речовин, що реагують, рівних 1 (активність - функція концентрації, що враховує відхилення від законів ідеальних розчинів), умовно приймається за 0.

У геохімічній практиці крім Eh іноді використовують значення $rH_2 = -lgP_{H2}$ (негативний десятковий логарифм рівноважного тиску газоподібного водню в досліджуваній системі), яке було введене в практику вимірювань окислювально-відновного потенціалу в 1923 г. Ф. Кларком як аналогічне до поняття pH. При Eh, що вимірюється в мВ, $rH_2 = (Eh/30) + 2$ pH.

рацій).

Величезна, порівняно з грубо дисперсними системами, сумарна поверхнева енергія колоїдних розчинів сприяє інтенсивному поглинанню міцелами з ненасичених розчинів недисоційованих молекул та чужорідних іонів протилежного знаку. Сорбція залежить від розміру міцел та іонів, розчинності адсорбату і адсорбенту, концентрації, валентності і поляризованості іонів, pH середовища тощо. Слід враховувати відмінність енергій поглинання іонів одної і тієї ж валентності різними сорбентами.

Надзвичайно важливим для формування геохімічних аномалій є *взаємне осадження* колоїдів, яке відбувається при зустрічі різнозаряджених міцел.

Величезний вплив на поведінку багатьох рудних та рідкісних елементів мають органічні колоїди, в першу чергу гумінові (гумус).

Кларки - числові значення вмістів елементів в земній корі. За пропозицією О.Е.Ферсмана одержали таку назву (на честь Ф.У.Кларка, який першим достатньо повно і точно оцінив хімічний склад земної кори). Значне розмаїття типів порід, відмінність геологічного положення, існуючі флуктуації складу створюють труднощі для отримання надійних оцінок середнього складу кори.

Поширеність елементів у земній корі дуже різна, їх вміст змінюється від менш як 10^{-6}% маси (Re, Os, Ir, Ru, Rh, Ti, Pt, He, Au, Pd), до понад 1% маси - O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K. На частку останніх 8 елементів припадає понад 98% маси земної кори і вони є *типоморфними*[2]. Найпоширенішим елементом є кисень, атоми якого складають до 47% маси земної кори і близько 90% об'єму.

В.І. Вернадський назвав *розсіяними* ті елементи, що, знаходячись у земній корі в значних кількостях, не дають високих концентрацій - наприклад, величезні маси Rb розсіяні в польових шпатах, Ga - в алюмінієвих мінералах, Sc - у силікатах, Li - у слюдах тощо. На відміну від розсіяних, *рідкісні* (кларк < 0,01-0,001% маси) елементи хоча й знаходяться в земній корі в невеликих кількостях, але утворюють власні мінерали.

Доступність того або іншого елементу насамперед визначається його спроможністю досягати високих *кларків концентрації (КК)*[3]. Так, кларк кадмію в континентальній земній корі складає $0{,}2 \cdot 10^{-4}$% маси, а $КК_{Cd}$ в сфалериті - 2700. Елементи, які мають і низькі кларки і малу спроможність до концентрації, розсіяні в земній корі, тож у всіх породах, ґрунтах

---

[2] Типоморфними називають найбільш розповсюджені хімічні елементи (та іони), що визначають істотні і характерні риси даної системи (процесу)

[3] Кларк концентрації визначається як відношення вмісту елементу в мінералі, породі, родовищі до величини кларку

та мінералах зустрічаються в незначних кількостях. Такі елементи називаються рідкісними розсіяними.

Певним узагальненням знань в області геохімії є *основний геохімічний закон* Ферсмана-Гольдшмідта: *геохімія елементу в земній корі визначається як його хімічними властивостями, так і величиною кларку*.

Для визначення особливостей міграції елементів з різними кларками при геохімічних дослідженнях вмісти елементів часто наводяться не в % маси чи об'єму, і не в атомних кількостях, а в кларках концентрації. При вивченні міграції рідкісних елементів та радіоактивних ізотопів часто застосовують нормування до складу хондритів, що дозволяє виключити вплив різної поширеності елементів з парними і непарними номерами.

Геохімічні особливості ґрунтів. Дуже своєрідним, малопотужним, але надзвичайно важливим, самим верхнім горизонтом літосфери є *грунт.* Одна з основних сучасних концепцій ґрунтознавства полягає в тому, що ґрунт є необхідним компонентом біосфери, що виник і розвився одночасно з виникненням і розвитком життя на Землі. За визначенням В.І. Вернадського, ґрунти є областю найбільшої геохімічної діяльності хімічної речовини.

В ґрунтах накопичуються P, S, N, Si, C, J, Br, B. Na та рідкісні луги, Ca і Sr, Cu і Co виносяться з ґрунтів в помітних кількостях. Склад ґрунтів залежить від складу материнських порід, життєдіяльності мікроорганізмів (бактерій, актиноміцетів, грибів, ґрунтових водоростей та найпростіших) і вищих рослин. Саме мікроорганізми, переважно, забезпечують утворення рухомих форм хімічних елементів в ґрунтах.

Так само, як мінеральні компоненти ґрунтів містять у тих або інших кількостях практично всі елементи Періодичної системи, так і серед органічних речовин, що містяться в ґрунті, можна знайти органічні сполуки практично всіх класів. Ґрунтовий гумус складається з гумінових кислот, фульвокислот, гумінів і ряду інших з'єднань. Крім того, до складу органічної речовини ґрунту входить великий набір ароматичних з'єднань, ліпідів, амінокислот, органічних кислот і їх похідних.

Оскільки інтенсивність гіпергенних геохімічних процесів зменшується від поверхні вглиб літосфери, ґрунти є найкращим їх виразником. Характер міграції елементів у системі ґрунт - гірська порода може бути ілюстрований величиною відносного *елювіально-акумулятивного коефіцієнту*, який є відношенням вмісту того або іншого елементу в ґрунті (горизонті ґрунту) до вмісту цього елемента в ґрунтоутворюючій породі. З геохімічних позицій розрізняють *елювіальні* і *супераквальні* ґрунти. Перші утворюються при глибокому заляганні грунтових вод, а другі – при неглибокому.

Атмосферні осадки, які просочуються через ґрунт, переносять розчинні з'єднання з верхніх ґрунтових горизонтів в нижні. З цими нисхідни-

ми розчинами мігрують гумусова речовина і мінеральні солі, в тому числі з'єднання важких і рідкісних металів. Частина цих з'єднань випадає з розчину в нижній частині ґрунтів, створюючи горизонт накопичення (вмивання), або ілювіальний горизонт. Тут відбувається акумуляція широкого переліку хімічних елементів (Si, Al, Fe, Cu, Ni, Mo, Co, Zn, V, Ba, Sr тощо) та мінералізованої органічної речовини. Глибина вмивання залежить від розчинності сполук, а тому в межах цього горизонту розрізняють підгоризонти вмивання колоїдів, карбонатів, гіпсу та легкорозчинних сполук.

Найбільш характерними геохімічними ознаками ґрунтів є - біогенне накопичення хімічних елементів у верхніх горизонтах, а також різка диференціація концентрацій елементів і фізико-хімічних умов по вертикалі.

Роль води в геохімічній міграції. Без участі води важко уявити собі які-небудь механічні, хімічні і біологічні процеси, що протікають у ландшафтах і викликають у гігантських масштабах міграцію, перевідкладення і новоутворення речовини в зоні гіпергенезу. У результаті цих процесів в одних випадках відбувається гідрогеохімічне розсіювання атомів і елементів, а в інших - їхня концентрація.

Інтенсивність водної міграції хімічних елементів багато в чому визначається розчинністю їх природних хімічних сполук, що у свою чергу залежать як від внутрішніх чинників міграції, так і від зовнішніх умов, типу геохімічного ландшафту, pH розчину, його окислювально-відновних властивостей тощо. Це дозволяє виділяти зони сірчанокислого, кислого, нейтрального, слабко лужного і содового вилуговування. Зони вилуговування найбільш характерні для ґрунтів і кори вивітрювання, але зустрічаються вони й у водоносних горизонтах і континентальних відкладах. "Катіоногенні" елементи (так і як Ca, Sr, Ba, Ra, Cu, Zn, Cd тощо) є найбільш рухливими в кислих середовищах, а V^{5+}, As^{5+}, Se, Mo, Si, Ge та інші елементи, що входять до складу комплексних аніонів, - у лужних середовищах. І ті й інші менш рухливі в нейтральних водах, в яких максимальною стійкістю характеризуються металоорганічні комплекси.

Природні води є сполученням справжніх розчинів (іонних і молекулярних) із колоїдними розчинами і суспензіями.

Типоморфними іонами морської води за стандартної хлорності (19‰) і солоності (35‰) є Cl^-, Na^+, SO_4^{2-}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+, HCO_3^-, Br^-, Sr^{2+}, F^- (в порядку зменшення концентрацій). У морській воді завжди розчинена більша або менша кількість газів - при 0°C океанічна вода містить, у середньому, 14,4 мл/л азоту і 8,1 мл/л кисню. З глибиною вміст O_2 спадає до 0,5 мл/л, а в місцях, заражених H_2S, доходить до нуля. Вміст CO_2, навпроти, росте з глибиною і досягає максимуму в найбільш глибоких, холодних прошарках. Від вмісту розчинених газів залежить спроможність природних вод розчиняти мінеральні компоненти порід.

Для континентальних вод характерне переваження у водах шести іо-

нів (так званий шестикомпонентний склад води): трьох катіонів - Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+} і трьох аніонів - HCO_3^-,SO_4^{2-}, Cl^-. У водах більшості ландшафтів гумідної зони витримується співвідношення $Ca^{2+}>Mg^{2+}>Na^{+}$ і $HCO_3^->SO_4^{2-}>Cl^-$, однак можливі і інші варіанти складу. Зокрема в аридній зоні переважають співвідношення Na>Mg>Ca, Na>Ca>Mg, $SO_4>HCO_3>Cl$, $SO_4>Cl>HCO_3$,, $Cl>SO_4>HCO_3$. Склад континентальних вод формується в результаті сукупної дії фізико-географічних та гідрогеологічних умов, а для грунтових та напірних вод – ще й геолого-структурних чинників. Ступінь впливу окремих факторів залежить від типу вод: атмосферні осадки, поверхневі води, підземні води зон активного і утрудненого водообміну, підземні застійні води, плівкові води, порові розчини, тощо.

Рівень впливу тих чи інших чинників на склад вод може змінюватись в часі і просторі.

Глибинні води нерідко утворюють гідрохімічні ореоли і провінції, збагачені рідкісними і радіоактивними елементами (Li, U, Ra, F). Відомі вуглекислі, азотні, радонові й інші геохімічні типи вод. Гарячі води, що виходять на поверхню в районах сучасного вулканізму, містять підвищені концентрації Na, Mg, F, Cl та інших елементів. Місцями виходять на поверхню нафтові води, що супроводжують нафту в нафтоносних і газоносних горизонтах. Для них характерні підвищені вмісти I, Br, Ba, Fe, Sr, Ra. Зокрема вміст Br досягає іноді 0,5 г/л, йоду - 0,005-0,050 г/л і вище.

Формування складу вод залежить також від окислювально-відновного потенціалу. Глейові води з низькими значеннями Eh часто містять підвищені концентрації Fe^{2+}, Mn^{2+}, NH_4. При зростанні окислювально-відновного потенціалу зростають концентрації ряду елементів із змінною валентністю - цинку, міді, свинцю, селену, кадмію тощо.

Атмосфера є своєрідною колоїдною системою, а точніше - аерозолем, яка, крім азоту, кисню, аргону і вуглекислого газу, включає значну кількість водяних парів (до 4%), іноді рідку і тверду воду, пил, мікроорганізми, леткі органічні речовини (фітонциди), деякі мікрокомпоненти (озон, йод, радон тощо). Якщо вміст O_2 і N_2 у тропосфері загалом однаковий у всіх ландшафтах, то вмісти інших компонентів суттєво коливаються.

Велике значення має атмосферний переніс солей. В результаті фізичного випаровування солей, а також розбризкування при хвилюванні морське повітря збагачене елементами морської води, а вітри, що дують із моря, приносять на сушу морські солі. З атмосферними опадами на території України щороку випадає від 9,5 т/км^2 (степова зона) до 29,9 т/км^2 (Гірські Карпати) розчинених солей, серед яких домінують SO_4^{2-} (від 4,3 до 15 т/км^2), HCO_3^- (від 1,6 до 4,1 т/км^2),Cl^-, Na^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}. Вважається [13] що значна частина Cl, Li, Na, Rb, Ca, B, I у річкових водах має морське походження (від 20% до 85%). Привнесення солей з атмосферними осадками є прикладом негативного зворотного зв'язку, який

стабілізує сольовий баланс ландшафту.

Хімічний склад підземної атмосфери коливається в значних межах і суттєво відрізняється від надземної. В ній, як правило, більше CO_2, вища вологість, інший вміст мікрокомпонентів.

Вуглекислий газ утворюється в ґрунтовому повітрі за рахунок процесів дихання коренів, тварин, мікроорганізмів; його вміст коливається від 0,15% до 0,65%, а часом може досягати 2% і більше. У деяких ландшафтах у підземній атмосфері підвищений вміст метану, сірководню тощо. Ландшафти, що сформувалися на різних гірських породах, також мають різний склад повітря. Так, ґрунтове повітря на ділянках розвитку гранітоїдів і радіоактивних руд звичайно збагачене радоном, на ділянках розвитку нафтоносних порід і вугілля - вуглеводнями (головним чином метаном), над деякими рудними родовищами - парами ртуті.

Будучи продуктами різноманітних геохімічних і біогеохімічних процесів і реакцій, що протікають у земній корі, гази знаходяться в постійній взаємодії з гірськими породами, природними водами і живими організмами, беруть участь у формуванні їхнього складу і різноманітних фізико-хімічних властивостей. Ця взаємодія здійснюється за допомогою їхньої активної міграції, обумовленої багатьма чинниками: здатністю до фільтрації та дифузії, летючістю, зміною пружності, характером розчинності і тощо.

Біогенна міграція, яка не може аналізуватися тільки на основі загальних законів фізики і хімії, є найскладнішою для опису. Такі константи елементів, як радіуси іонів, валентність, недостатні для аналізу біогенної міграції. Організми існують в особливому інформаційному полі, для них характерні процеси керування, переробки інформації, які відсутні в неживій природі. Характерною рисою біогенної міграції є наявність двох протилежних і взаємозалежних процесів: утворення живої речовини з елементів навколишнього середовища та розкладання органічних речовин. У сукупності зазначені процеси утворюють *біологічний кругообіг атомів* (*бік*).

Утворення живої речовини з неорганічної речовини забезпечується організмами-продуцентами як за рахунок сонячної енергії (автотрофи), так і за рахунок енергії хімічних реакцій (хемотрофи). Саме вони виробляють первинну продукцію - сумарну продукцію фотосинтезу та хемосинтезу за одиницю часу (П), та створюють основну кількість біомаси (Б). Важливим для характеристики геохімічних ландшафтів є співвідношення lgП/lgБ, яке пояснює подібність процесів біогенної міграції навіть у випадках різкої відмінності ландшафтів за величинами біомаси та первинної продукції.

Живі організми в основному складаються з елементів які утворюють газоподібні (повітряні мігранти) і розчинні (водні мігранти) з’єднання. То-

му нема прямої пропорційності між складом живої речовини та земної кори в цілому. Головну масу живої речовини (понад 98%) складають повітряні мігранти - O, C, H, N. Жива речовина - це в першу чергу «киснева речовина», тому що вміст кисню сягає в ній 70%. Велика частина кисню зв'язана з воднем і утворює воду, кількість якої звичайно перевищує 50% - 70%. Особливо багато її у водних організмах - понад 90% і тільки спори та насіння рослин містить звичайно не більш 15% води. Менша частина O і H живої речовини входить до складу білків, жирів, вуглеводнів та інших органічних сполук.

З водних мігрантів в організмах переважають найбільш рухливі елементи: кальцію більше, ніж алюмінію і заліза, калію більше, ніж кремнію тощо. У живій речовині в цілому мало отруйних елементів (урану, ртуті, селену тощо), хоча вони й утворюють розчинні з'єднання. Невисокі також концентрації цирконію, титану, танталу та інших малорухливих елементів.

Кларки концентрації елементів у живій речовині називають *біофільністю.*

Вплив живої речовини на перебіг геохімічних процесів важко переоцінити – вона виступає каталізатором хімічних реакцій (саме завдяки діяльності силікатних бактерій значно прискорюється гідроліз породоутворюючих силікатів), формує умови середовища (утворення сильних відновників в результаті метанового бродіння, наприклад), сприяє концентрації хімічних елементів (нагромадження покладів вугілля, органогенних вапняків), є потужним чинником таких процесів перетворення речовини, які відбуваються наперекір термодинамічній обстановці (зокрема редукція сульфатів бактеріями з утворенням сірководню) тощо. Отримувана при застосуванні сучасних методів досліджень інформація часто спричиняє перегляд усталених уявлень про безсумнівно неорганічну природу тих чи інших утворень.

Обробка отриманих геохімічних даних базується на таких ключових поняттях як *геохімічне поле, геохімічний фон, геохімічна аномалія.*

Геохімічне поле є інтегрованим виразом розділення хімічних елементів в геологічних утвореннях і визначається внутрішніми (властивості атомів та іонів) та зовнішніми (параметри середовища) чинниками. Враховуючи поширеність елементів в земній корі, можна зробити висновок що геохімічні поля літосфери сформовані обмеженим переліком типоморфних елементів (O, Si, Fe, Ca, Mg, Na, K, Ti, P, H, C, Mn, S), які власне й визначають перебіг хімічних реакцій та фізико-хімічні умови середовища, формуючи таким чином склад порід, геологічних тіл, тектонічних блоків тощо. Решта елементів розсіяні в сформованому мінеральному каркасі і мігрують в тій обстановці, що створена головними елементами. Їх дифе-

ренціація може стати вирішальною при формуванні геохімічних полів в об'єктах нижчого рівня.

Геохімічні поля завжди є композицією сингенетичних та епігенетичних складових. Для сингенетичних процесів характерна узгодженість поведінки головних породоутворюючих елементів та елементів-домішок, а для епігенетичних – порушення первинних розподілів, досягнення максимальних рівнів диференціації і концентрації елементів. Особливо значним є вплив на геохімічне поле процесів циркуляції легко рухомих фаз (газ, рідина), які транспортують розчинені компоненти. Взагалі, відносно однорідна будова поля концентрацій часто є одним з доказів відсутності вторинних змін, оскільки епігенетичні процеси призводять не тільки до змін вмісту та форм знаходження елементів, характеру зв'язку між ними, а й до структурної перебудови геохімічного поля.

Геохімічні поля є цілісними системами, які можуть існувати самостійно і складаються з елементарних ланок що взаємодіють між собою, але не можуть формуватися ізольовано від об'єктів вищого ієрархічного рівня – поле концентрацій елементарних ландшафтів є залежним від поля концентрацій геологічної споруди. В загальному випадку можна говорити що процеси диференціації речовини зумовлюють трирівневу будову геохімічних полів: рівень мобілізації, фоновий рівень (переважно незмінені породи) та рівень накопичення. Найчастіше в геохімії основним об'єктом досліджень є рівень накопичення, якому власне й відповідають родовища корисних копалин[4]. Вивченню об'єктів що представляють рівень мобілізації речовини приділялось, як правило, набагато менше уваги - переважно в тих випадках коли вони надійно ідентифікувалися як *первинні геохімічні ореоли*[5] родовищ. Ще менш дослідженим наразі є фоновий рівень геохімічного поля, вивчення якого здійснювалось, в основному, з метою визначення базового рівня для нормування геохімічних даних.

Просторовий розподіл парагенетичних асоціацій елементів, а також співвідношення областей виносу і привнесення формують *структуру* геохімічного поля. В структурі геохімічного поля знаходять відображення всі рівні концентрування. Фоновий рівень геохімічного поля формується процесами розсіяння речовини і перенесеної з цією речовиною енергії. Відповідні цьому рівню процеси відбуваються в повній узгодженості з другим началом термодинаміки - самочинний розвиток систем відбува-

---

[4] З точки зору геохіміка поклади корисних копалин (рудне тіло) є частиною поля концентрацій в якій вміст елементів досягає величин, що допускають промислову експлуатацію

[5] Первинним геохімічним ореолом родовища називають ту частину поля концентрацій, яка утворилася в результаті тих же процесів і одночасно з рудним тілом, але вміст елементів не досягає величин, що допускають промислову експлуатацію

ється в напрямку зростання ентропії та розсіяння енергії. В областях мобілізації та накопичення ентропія зменшується, а самоорганізація речовини відображається в закономірних геохімічних структурах. Надвисока впорядкованість розподілу елементів може підтримуватись лише за рахунок безперервного надходження енергії, оскільки розсіяння починається відразу ж після зменшення потоку енергії. Можна вважати, що характер геохімічних полів є інтегральним відображенням енергетичних потоків на даній території.

Таким чином, геохімічне поле можна трактувати як систему асоціацій хімічних елементів та форм їх знаходження в геологічному просторі і часі, багаторівнева структура якої формується в результаті прояву процесів диференціації [40].

Геохімічний фон є одним з базових понять для застосування геохімічних методів, як при пошуках корисних копалин, так і при екологічних дослідженнях. Саме визначення фонового діапазону концентрацій дозволяє виділяти області мобілізації та накопичення елементів[6]. Фон відповідає "нормальному" розподілу елементів сформованому за відсутності збурюючих чинників. У зв'язку з відносністю даного поняття фон не можна розрахувати, його можна лише оцінити з певною точністю. Водночас, саме відносність поняття геохімічного фону робить його універсальним інструментом при вивченні процесів різного генезису, розділенні природної та техногенної складової розподілу елементів тощо.

Геохімічний фон визначають, як правило, за модальним[7] значенням вмісту хімічного елементу чи іншого геохімічного параметру (pH, Eh, кларк концентрації, хімічний потенціал тощо) в межах геохімічно однорідної ділянки (системи).

Відсутність направленості (невпорядкованість) потоків енергії в фонових областях геохімічних полів зумовлює нормальний закон розподілу макрокомпонентів, як носіїв енергії системи. Геохімічно подібні до типоморфних елементів мікроелементи зазвичай наслідують нормальний закон розподілу, розподіл інших (рідкісних та розсіяних) елементів зазвичай асиметричний, хоча основними їх носіями і залишаються породоутворюючі мінерали.

Відмінність величин фонових вмістів елементів в літосферній, гідросферній та атмосферній складових геохімічних систем є відображенням рівноважних розподілів між фазами при даному співвідношенні типомо-

---

[6] Оскільки фоновим рівнем концентрацій для земної кори в цілому є кларк, то областю мобілізації звичайно вважають об'єкти з КК<0,5, а областю накопичення – з КК>1,5

[7] Практика визначення геохімічного фону за середніми значеннями вмістів хімічних елементів не є методологічно обґрунтованою, оскільки не враховує особливості розподілу елементів.

рфних елементів в конкретних термобаричних умовах (закриті системи) та певних значень хімічного потенціалу цілком рухомих компонентів (відкриті системи).

Дуже важливу інформацію про стан геохімічної системи можна отримати за рахунок вивчення субфонових частин геохімічного поля, тобто сукупностей зразків, рівень концентрацій в яких відповідає фоновому, але просторовий розподіл і характер кореляційних зв'язків набувають рис властивих досліджуваним процесам та аномаліям: закономірне чергування підвищених і понижених концентрацій навіть при постійному балансі привнесення-виносу, зростання асиметрії розподілу тощо.

Геохімічна аномалія є областю в якій вміст хімічного елементу або значення іншого геохімічного параметру (Eh, pH тощо) значимо (на обумовлену величину) відрізняється від геохімічного фону. Аномалії можуть бути позитивними – значення вищі за фонові, або від'ємними – значення нижчі за фонові: дуже малі і дуже високі рівні концентрацій елементів, згідно закону загального розсіяння, є маловірогідними. Тому аномалії відповідають менш вірогідним (порівняно з фоновим) станам системи і можуть утворюватись лише за умови, як мінімум, енергетичного впливу на неї. Аномальні ділянки є областю розвитку невластивих фоновому геохімічному полю процесів, асоціацій елементів та форм їх знаходження. Аномалії можуть бути глобальними, регіональними, локальними, точковими тощо (рудні тіла, родовища та рудні поля також є геохімічними аномаліями).

Аномалії можуть виділятися суб'єктивно, за апріорною інформацією на підставі геологічного досвіду та із застосуванням імовірнісно-статистичних критеріїв. Будь-яка з аномалій в верхній частині літосфери є результатом суперпозиції впливів механічної, фізико-хімічної, біологічної та техногенної міграції. У зв'язку з наявністю тісних зв'язків між міграційними процесами виділення окремих груп процесів міграції (літогеохімічних, гідрогеохімічних, газогеохімічних, біогеохімічних, педогеохімічних тощо) є в багатьох випадках недоцільним, воно просто фіксує формування ореолів розсіяння, відповідно, в породі, воді, газовій фазі, живих організмах, ґрунтах.

Позитивні геохімічні аномалії, як правило, приурочені до *геохімічних бар'єрів*.

Геохімічний бар'єр, за визначенням О.І.Перельмана , є ділянкою, в межах якої на малій відстані відбувається різке зменшення інтенсивності міграції хімічних елементів і, як наслідок, їх концентрація. Головні особливості бар'єру - різка зміна умов і концентрації елементів. Це зона, де одна геохімічна обстановка заміняється іншою. Розміри бар'єрів можуть бути самими різними - виділяють макро-, мезо- і мікробар'єри.

Виділяється два основні типи бар'єрів - *природні* і *техногенні*, кожен з яких поділяються на 3 підтипи: механічні, фізико-хімічні та біогеохімічні. Найпростішими є *механічні бар'єри* які є ділянками різкого зниження інтенсивності механічної міграції. До них приурочені різноманітні продукти механічної диференціації осадів. У місцях різкого зменшення інтенсивності фізико-хімічної міграції формуються *фізико-хімічні бар'єри.* Вони виникають у місцях зміни температури, тиску, окислювально-відновних, лужно-кислотних та інших умов. *Біогеохімічні бар'єри* пов'язані із зменшенням інтенсивності біогенної міграції (вугільні поклади, торф, концентрації елементів у тілах організмів тощо).

Геохімічні бар'єри характерні як для сингенетичних так і для епігенетичних родовищ, для родовищ що руйнуються та їх ореолів. До таких бар'єрів часто приурочені вторинні геохімічні аномалії, які є важливою прямою пошуковою ознакою родовищ. Водночас геохімічні бар'єри можуть бути причиною виникнення сильно контрастних позірних геохімічних аномалій, які не мають жодного відношення до рудних родовищ.

Геохімічна дірка є поняттям протилежним до геохімічного бар'єру, яке використовується для характеристики зон в яких на короткій відстані різко змінюються гідрогеологічні умови, посилюється рухливість елементів, що призводить до різкого зниження концентрацій - нижче рівня чутливості методів включно.

7.2. Техногенні геохімічні поля і аномалії

Самою складною формою міграції є техногенна, яка пов'язана з суспільними процесами (наприклад, відпрацювання родовищ корисних копалин, експлуатація нафтопроводів, внесення хімічних добрив тощо), визначається соціальними закономірностями, і, водночас, включає усі більш прості форми міграції. Можна говорити, що в районі розташування будь-якого підприємства в результаті зміни енергетики, кругообігу речовин, тощо, формується природно-промисловий комплекс, активним компонентом якого є головна технологічна лінія. Техногенна міграція обумовлює зміни в характері обміну речовиною, енергією та інформацією між абіотичними та біотичними компонентами.

Міграція елементів в природно-техногенному середовищі (ПТС). В зонах впливу виробничої діяльності людини представлені процеси техногенної міграції, успадковані від біосфери, але істотно змінені в ПТС, а також процеси техногенної міграції, невластиві біосфері. Так само, як і в природі, у ПТС відбувається біологічний кругообіг, хімічні елементи мігрують у водах і атмосфері. Тому і для ПТС можуть бути встановлені ряди міграції і типоморфні елементи, коефіцієнти біологічного поглинання і ряди поглинання. Такі поняття, як «біомаса», «щорічна продукція», коефіцієнт біологічного накопичення, «дефіцитні» і «надлишкові» елементи

можуть застосовуватись і в ПТС. При цьому агротехніка, селекція, застосування добрив і т.д. дозволяють одержувати більше біомаси, кількість якої досягає такого рівня, який неможливий у природних умовах.

Таким чином, людство намагається посилити утворення живої речовини, тобто корисні відновлювальні процеси (фотосинтез). Але воно посилює і розкладання органічної речовини, тобто протилежні окисні процеси.

Водночас, для ПТС характерне грандіозне розсіювання елементів, що концентрувалися природою протягом усієї геологічної історії. Протягом кількох десятиліть виснажуються найбільші родовища заліза, міді, свинцю, цинку тощо (щорічно видобувається понад 100 млрд. тон мінеральної сировини та каустобіолітів). Речовина розпорошується, переходить у більш дисперсний, а отже, і більш придатний для міграції стан.

Окислювання органічних речовин в ПТС посилюється за рахунок спалювання вугілля, нафти, газу і т.д. Це збільшує вміст SO_2 та CO_2 в атмосфері, змінює клімат, впливає на карстовий та інші процеси.

У результаті людської діяльності в земній корі відбуваються також хімічні реакції, що знаходяться в різкому протиріччі з природними умовами. Характерний для ПТС металевий стан заліза, нікелю, хрому, ванадію і багатьох інших елементів не відповідає фізико-хімічним умовам земної кори. Людство в усе більшій кількості виготовляє хімічні сполуки, які раніше ніколи в біосфері не існували (штучні полімери, пластмаси), і мають властивості, невідомі для природних матеріалів. На сьогодні існують сотні органічних сполук які, нагадуючи природні (а відтак засвоюються організмом), все ж є небіодеградуючими - в організмі немає здатних їх розчепити ферментів. Ступінь впливу штучних хімічних з'єднань на довкілля залежить від їх рухливості і стійкості. Одними з найнебезпечніших є галогенорганічні сполуки (ДДТ, діоксини тощо), які не виводяться з сечею, оскільки більш розчинні в жирах, ніж у воді.

Своєрідність енергетичного обміну при техногенній міграції полягає в збільшенні кількості працездатної енергії і зростанні розмаїття її видів. Частина енергії робить роботу, але деяка її частина неминуче знецінюється і виділяється у виді тепла. Це визначає «розігрівання» ПТС в порівнянні з біосферою. Поки що ефект такого розігрівання невеликий, хоча відомо, що в зимовий час температура повітря на вулицях великих міст на декілька градусів вища, ніж у навколишній сільській місцевості (головна причина - опалення житлових будинків і промислових підприємств).

Технофільність елементів. Нарешті новим для земної кори є і виробництво атомної енергії, одержання радіоактивних ізотопів. Невідповідною біосфері є міграція, що підпорядковується соціальним законам (експорт-імпорт і транспортування на великі відстані матеріалів, руди, концентрату, тощо). Для характеристики подібних явищ уже недостатні

звичайні поняття геохімії і старі методи, необхідні нові поняття і нові підходи до дослідження. Одне з таких понять - *технофільність* елементів[8] - запропоновано О.І.Перельманом. Найбільш технофільним є вуглець ($n*10^{10}$). Елементи, близькі за хімічними властивостями, часто мають і близьку технофільність: залізо і марганець, алюміній і магній, рубідій і талій, азот і фосфор, молібден і вольфрам, ртуть і сурма, золото і срібло. Але є й істотні розходження, наприклад хлор і фтор. Розходження в технофільності визначають зміну елементного складу культурних ландшафтів, накопичення в них найбільш технофільних елементів. Вперше на це звернула увагу М.А.Глазовська, яка відзначила, що для культурних ландшафтів характерне «озалізнення», зростання відносної ролі міді (у порівнянні з цинком), нікелю (щодо кобальту) і т.д. Людство «перекачує» на земну поверхню зосереджені в глибинних родовищах хімічні елементи.

Відношення технофільності елементу до його біофільності М.А.Глазовська назвала *деструкційною активністю елементів техногенезу (Д)*. За його величиною можна порівняти ступінь небезпеки елементів для живих організмів: у ртуті $Д \approx 10^4 \ldots 10^5$, у кадмію та фтору - 10^3, у миш'яку, урану і свинцю - 10^2 тощо. Кількість елементу яка щорічно виводиться з техногенного потоку в природний називають (М.Ф.Глазовський) *техногенним геохімічним тиском*, а його величину на одиницю площі – *модулем* техногенного геохімічного тиску. На всій поверхні суші найвищі модулі техногенного тиску властиві Na, Cl, Ca, Fe, а найнижчі – Li, Ag, W, Au, Hg, Tl. В басейнах Чорного та Азовського морів техногенний тиск по калію та сірці вищий за річну величину річкового стоку.

Геохімічний вплив техногенезу на довкілля. Для техногенних систем характерне зменшення біологічної інформації (зменшення біологічного розмаїття) і збільшення техногенної. В залежності від виду і характеру технологічних процесів, їх взаємозв'язок з природними процесами може відбуватися в формі взаємодії, впливу і дії.

Процеси техногенезу можуть призводити як до вилучення речовини з геохімічних систем (із зміною системи зв'язків чи без зміни), так і до забруднення, тобто привнесення геохімічно-активних (токсичних та нетоксичних) та геохімічно-інертних речовин в систему. Найчастіше саме забруднення викликає найбільшу стурбованість і є основним об'єктом досліджень екологічної геохімії.

М.А.Глазовська запропонувала вважати *незабрудненими* такі біокосні системи, в яких коливання концентрації і баланс форм знаходження тех-

---

[8] Технофільність – це відношення щорічного видобутку хімічного елементу (в тонах) до його кларку.

ногенних речовин не порушують газові, концентраційні та окислювально-відновні функції живої речовини, не викликають порушення біогеохімічних харчових ланцюгів, кількості і якості біологічної продукції, не знижують її генетичне різноманіття.

Техногенні процеси можуть систематизуватися за режимами, модулями навантаження на середовище, обсягами викидів, джерелами забруднень, хімічним складом викидів, стоків, відходів тощо. Загальна кількість промислових відходів щорічно перевищує 20 млрд. тон, приблизно таку ж величину складають сільськогосподарські відходи, обсяги побутового сміття перевищують 4 млрд. тон і зростають щорічно на 2-3%. Основні джерела забруднень зосереджені в промислових вузлах та міських агломераціях, де формуються поліелементні техногенні геохімічні аномалії в повітрі, сніговому, ґрунтовому і рослинному покривах, поверхневих та ґрунтових водах.

Техногенні відходи за домінуючим способом міграції (механічна, водна, газова) поділяються на тверді відходи, стоки і викиди. Крім того, їх поділяють на організовані, які надходять у довкілля через спеціально облаштовані пункти (труби, факели, відвали) та неорганізовані (аварійні), контроль за якими утруднений.

Особливо небезпечними є відходи, в яких концентрація токсичних хімічних елементів в тисячі разів перевищує середні значення вмістів у біосфері. На першому місці за обсягами викидів знаходяться теплоенергетика і автотранспорт. Внаслідок діяльності цих галузей господарства в атмосферу надходять величезні кількості оксидів вуглецю та азоту, сірчаного ангідриду, пилу, нафтопродуктів. В кожного виробництва є свій специфічний набір токсичних мікроелементів. Їх концентрування в багатьох випадках сягає тисяч і навіть десятків тисяч кларків концентрацій.

За ступенем концентрації і комплексом хімічних елементів-забруднювачів, комунально-побутові відходи не поступаються промисловим. Особливо велика концентрація спостерігається у викидах сміттєспалювальних заводів (Ag, Pb, Cd, Sn, Zn, Sb, Cr) та в ґрунтах й інфільтраті звалищ (Zn, Cu, Sn, Ag, Pb, Cr). Використання осадів стічних вод міської каналізації в якості добрив потребує обережності у зв'язку із збагаченням цих донних відкладів токсичними металами (Ag, Cd, Bi, Zn, Cu, Cr). Взагалі в водних системах важкі метали концентруються в придонних осадах та біоті, сама ж вода містить незначні концентрації важких металів. Так, при концентрації ртуті в донних відкладах 80-800 мкг/кг, її вміст у воді не перевищує 0.1–4 мкг/кг.

Велику небезпеку утворюють аварійні радіоактивні забруднення, які в залежності від розміру аварії можуть забруднювати великі території такими радіонуклідами як цезій 137, стронцій 90, плутоній, америцій, тощо.

Ліквідація таких аварій призводить до утворення великих об'ємів радіоактивних відходів, які потребують безпечного поводження і захоронення.

Техногенні геохімічні поля. Техногенні впливи визначають виникнення своєрідних геохімічних полів різної інтенсивності і складу, які можуть суттєво відрізнятися від природних геохімічних полів даної території. Як наслідок, властивості довкілля значною мірою зумовлені характером взаємодії природних та техногенних потоків речовини.

Велика кількість техногенних джерел в великих промислових центрах, а також нерівномірність їх розміщення створюють складну структуру геохімічних полів і формують складні аномальні зони. Тож ідентифікація техногенних джерел в великих містах є набагато складнішим завданням ніж у випадку окремо збудованих вузькоспеціалізованих підприємств.

Техногенні впливи можуть призводити до перебудови усталеної структури території і природні геохімічні арени[9] (місця накладання геохімічних полів) заміщуються техногенними, які "включаються" в систему місцевої міграції. Найвразливішими для забруднення є замкнуті арени, в яких скид здійснюється в безстічні водойми.

Структури техногенних геохімічних арен визначаються особливостями виробництва і властивостями природних систем які приймають ті чи інші навантаження. Так, для районів видобутку корисних копалин характерними є 3 типи геохімічних арен: 1) арени рознесення (відкриті) – речовини виносяться по природним та штучним дренажам у водотоки, а також аерозолями в повітрі і розсіюються; 2) арени місцевої акумуляції (закриті) – міграція замкнена в середині системи, винесення забруднення не відбувається, вихідна структура міграційних потоків території повністю змінюється (такі випадки характерні для місць обрушення крівлі над відпрацьованими пластами); 3) депресійні арени, утворення яких пов'язано з формуванням депресійних воронок при відкачках води, характеризуються зміною режиму водної міграції і, одночасно, формуванням єдиного техногенного геохімічного потоку за межі арени.

Геохімічні бар'єри при техногенної міграції. Дуже значною в процесах техногенної міграції є роль геохімічних бар'єрів. Вертиепльні геохімічні бар'єри, які визначають нисхідну геохімічну диференціацію речовини, є чинниками контролю накопичення-осадження продуктів техногенезу і основним механізмом захисту ґрунтових вод від забруднення. Їх потужність і ємність визначають не тільки стійкість техногенних аномалій, але й надійність захисту від забруднення інших компонентів середовища.

---

[9] Геохімічні арени – каскадне поєднання елементарних геохімічних ландшафтів в межах якого здійснюється міграція

Латеральні геохімічні бар'єри є відображенням ландшафтної контрастності території, вони забезпечують диференціацію речовини на шляхах міграції в межах геохімічних арен. Дуже потужним бар'єром на шляху органічних забруднювачів, наприклад, є супераквальні ландшафти, в відновному середовищі яких розклад органічних речовин різко вповільнюється.

Під впливом техногенезу природні геохімічні бар'єри часто руйнуються чи перебудовуються, крім того виникають власне техногенні бар'єри: штучні - спеціальні фільтри тощо; новоутворені, зокрема вбудовані, які виникають при введені в природне середовище нових компонентів; вторинні – у випадку штучної зміни характеру природних процесів (заміна глейових бар'єрів на окислювальні при осушенні територій, окислювальних на відновні – при утворенні водосховищ тощо). Можуть також формуватися геохімічні бар'єри взагалі нехарактерні для даної території. Сформовані бар'єри можуть мати різну стійкість і ємність, причому останній параметр має конкретний зміст лише по відношенню до конкретних елементів – окислювальний бар'єр є ємним для заліза і проникним для сполук S^{6+}.

Стійкість природних систем є ще одним фундаментальним поняттям, яке використовується для прогнозування стану довкілля. Стійкість середовища - це не тільки здатність протистояти навантаженню, але й здатність систем нормалізувати своє функціонування після припинення дії зовнішнього впливу. Жодна з природних систем, включаючи глобальні геохімічні поля океану чи атмосфери, не володіє абсолютною стійкістю до техногенезу, незважаючи навіть на великий запас буферності. Н.М.Солнцева виділяє три основні групи чинників, які контролюють стійкість ландшафтних систем:

1) Фактори, що контролюють інтенсивність виносу і розсіяння продуктів техногенезу (кількість опадів, швидкість вітру, гіпсометричний рівень структурної одиниці, механічний склад тощо).
2) Фактори, що контролюють інтенсивність метаболізму продуктів техногенезу (сума сонячної радіації, кількість ультрафіолетового опромінення, швидкість розкладання органічних речовин, інтенсивність фітохімічних реакцій тощо).
3) Фактори, що контролюють закріплення продуктів техногенезу (тумани, штилі, pH, Eh, фонові концентрації елементів тощо).

Кларки в техногенної геохімії є найбільш загальним показником прогнозної інтенсивності техногенних впливів на середовище, які не тільки відображають природну поширеність елементів але й характеризують загальну адаптованість до них живих організмів. Елементи з високими кларками, як правило, найменш токсичні для організмів. Одні й ті ж самі сполуки в залежності від характеру їх надходження (тривалості, кі-

лькості, форм) можуть по-різному впливати на природні системи: викликати їх стійку деградацію аж до руйнування (бути токсичними) і не впливати на значимо на середовище. Говорити про незначимість впливу сполуки можна лише у випадку відсутності кумулятивного ефекту, інакше сумарний результат навіть слабких впливів може виявитися вищим порогової ємності системи.

Принцип геохімічної сумісності є одним з базових принципів оцінки впливу техногенних чинників на природні системи (Солнцева Н.М., 1977). Техногенез може бути сумісним з основними природними процесами і посилювати їх, зменшуючи стійкість систем, чи навпаки – бути несумісним з напрямком природних процесів. Так, високо мінералізовані супутні пластові води, які в більших чи менших кількостях видобуваються разом з нафтою і газовим конденсатом, можуть бути як несумісними з природною обстановкою, так і сумісними в умовах арідного клімату.

Техногенні аномалії. Виявлення техногенних аномалій належить до числа найважливіших еколого-геохімічних завдань при оцінці стану довкілля. Ці аномалії є певним простором, в межах якого концентрації елементів вищі фонових значень за рахунок надходження речовин з техногенних джерел. Виділення техногенних аномалій здійснюється за тими ж принципами, що й природних. Виключення складають штучно створені речовини, аномальні концентрації яких визначаються за санітарно-гігієнічними критеріями. Якщо техногенна аномалія має чіткий просторовий і генетичний зв'язок з конкретним джерелом забруднення, то така аномалія називається *техногенним ореолом розсіяння*. Техногенні ореоли розсіяння фіксуються переважно в депонуючих середовищах – ґрунтах, донних відкладах, рослинному покриві тощо. Прояви техногенних аномалій в транзитних середовищах (повітря, води) називають *техногенними потоками розсіяння*.

Як правило, техногенні аномалії утворюються в кількох компонентах середовища, і їх незалежне вивчення за традиційною схемою з поділом на літохімічні, гідрогеохімічні, атмохімічні та біогеохімічні, в більшості випадків мало ефективне (хоча нині нагромаджено вже величезні масиви даних по складу грунтів, вод, атмосфери і рослинності). Необхідність комплексного розгляду процесів техногенезу легко ілюструється на прикладі техногенного вилуговування. Так, зростання викидів в атмосферу сполук сірки і азоту призвело до формування кислих дощів (pH<3,5), зростанню кислотності лісових грунтів (до pH=3,5-4,5), посиленої мобілізації з грунтів важких металів (Hg, Cd, Pb, Cu) і забруднення останніми озер, в яких спостерігається майже повна деградація зооценозів.

Джерела забруднення за тривалістю дії поділяються на короткочасні (аварії), середньострокові (розробки родовищ корисних копалин), та довготермінові стаціонарні (заводи, міста).

Порівняння різних продуктів виробництва за впливом на довкілля за пропозицією М.А.Глазовської, М.С.Касимова та інших здійснюють із застосуванням сумарного коефіцієнту техногенної концентрації ($C_т$) та регіонального сумарного коефіцієнту ноосферної концентрації ($C^s_т$):

Найвищі значення $C_т$ властиві вугіллю, при використанні якого як палива в навколишнє середовище надходить надлишкова кількість не менш як 25 елементів.

Найбільш сильні техногенні впливи проявляються в великих промислових містах, які по суті є окремими техногенними геохімічними провінціями. При порівнянні ступеню забруднення міст звичайно використовують коефіцієнт емісійного навантаження (Е), який визначається як відношення річної кількості викидів (тон) до кількості населення. Застосування цього коефіцієнту дозволяє коректно порівнювати великі і малі населені пункти з різною промисловою завантаженістю, тобто враховувати існуючі генералізовані залежності між кількістю жителів і вмістом забруднювачів в атмосфері, воді тощо. Безумовно, геохімічна характеристика міст буде неповною без врахування природних обстановок.

Одним з критеріїв аномальності є коефіцієнт техногенної концентрації (K_C), що визначається за співвідношенням вмісту елементу в аномальному об'єкті до фонового вмісту в компонентах довкілля. Оскільки техногенні аномалії зазвичай є поліелементними, то їх характеристика повинна враховувати всю парагенетичну асоціацію елементів. Відповідний показник сумарного забруднення був запропонований Саєтом Ю.Є.:

$$Z_C=\sum K_C-(n-1)$$

де n – кількість елементів з $K_C>1$. Показники сумарного забруднення розраховуються окремо для різних компонентів середовища.

Відмінність техногенні аномалій від природних. У самому загальному вигляді можна виділити елементи і сполуки: 1– природні; 2 – техногенні, які в природних умовах або не зустрічаються взагалі, або зустрічаються тільки у розсіяному стані; 3 – ті, поява і розподіл яких в ґрунтах і підземних водах можуть бути обумовлені як природними, так і техногенними процесами. Проблема зводиться фактично до розмежування аномалій елементів і сполук третьої групи на природні і техногенні. Самі загальні критерії такого розмежування наведені у таблиці 6.

Таблиця 6.

Критерії розмежування природних і техногенних аномалій елементів і сполук в ґрунтах і підземних водах

Критерії	Природні аномалії		Техногенні аномалії	
	Ґрунти	Підземні води	Ґрунти	Підземні води
Просторово-часові	1. Незакономірний розподіл вмісту з глибиною 2. Відсутність змін вмісту у часі	1. Відповідність складу вертикальній зональності 2. Стабільне положення у просторі і незначні зміни у часі	1. Приуроченість до поверхневого шару ґрунту 2. Зміни вмісту (концентрації) у часі	Швидкі зміни положення аномалії і зменшення її інтенсивності у часі
Літологічні і мінералогічні	Наявність літологічного і мінералогічного контролю малорухомих елементів і сполук	Відповідність хімізму складу товщ вміщуючих порід	Відсутність літологічного і мінералогічного контролю малорухомих елементів і сполук	Невідповідність хімізму складу товщ вміщуючих порід
Статистичні	Нормальний або логнормальний закони розподілу	Нормальний або логнормальний закони розподілу	Відхилення від природних нормального або логнормального законів розподілу	Відхилення від природних нормального або логнормального законів розподілу

Біоіндикатори забруднення. Рослинний покрив міст знаходиться під потужним техногенним тиском великої кількості полютантів (оксиди сірки, азоту і вуглецю, важкі метали, сполуки фтору, вуглеводні), що поступають з повітря та забруднених грунтів. Акумуляція забруднювачів вищими рослинами залежить від опушеності, шорсткості, змочуваності і клейкості листя, параметрів середовища та властивостей елементів. Індикаційна здатність листя дерев є вищою за таку ж трав у зв'язку з відмінністю властивостей депонуючої поверхні. Так, за даними М.С.Касимова, в межах зон техногенного забруднення вміст хрому та нікелю в клені та полині відрізняються в 50 разів, тоді як на фонових ділянках відмінність не перевищує 1,5- 2 рази. Мохи поглинають метали в результаті іонного обміну, а лишайники – в процесі пасивної дифузії аерозольних часток в клітинні структури. Поглинання металів та їх подальша акумуляція рослинами є суттєво відмінними для різних елементів. Так, мідь і цинк концентруються переважно в коренях рослин, а кадмій – в листі.

Одним з ефективних індикаторів забруднення повітря є кора дерев (в першу чергу сосни), як така що немає фізіологічних меж поглинання забруднювачів і здатна до акумуляції полютантів. Зменшення pH кори (до 2,5-3 за рахунок атмосферних оксидів сірки) сприяє розчиненню аерозолей та більш активному поглинанню катіонів металів, при зростанні ж лужності (при pH>8) виникає небезпека розчинення аніоногенних елементів аерозолів (Mo, Cr, V).

Біоіндикація дозволяє оцінити забруднення переважно періоду вегетації. На регіональному фоні рослинний покров міст утворює переважно слабко і середньо контрастні аномалії з специфічної спеціалізацією.

5.3. Вплив геохімічних полів на живі організми і людину

В залежності від рівнів вмістів елементів та структури геохімічні поля можуть формувати обстановки що суттєво відрізняються від нормативних і обумовлюють патогенез живих організмів. Такі рівні концентрацій речовин в довкіллі прийнято називати патогенними геохімічними аномаліями і їх виявлення, безумовно, є одним з основних завдань екологічної геохімії.

Ендемічні захворювання. Наявність тих чи інших ендемічних захворювань часто пояснюються саме існуванням природних і техногенних геохімічних аномалій. Зокрема:

- ендемічний зоб обумовлений низьким вмістом йоду в навколишньому середовищі;
- підвищений рівень серцево-судинних захворювань у часто пов'язаний з вживанням питної води з низьким вмістом іонів Ca та Mg;
- нестача Ca та Mg у питній воді та продуктах харчування призводить до збільшення всмоктування в організм і зростання токсичної дії важких металів, які "конкурують" з іонами Ca і Mg у клітинах;
- виникнення судинних патологій залежить від співвідношення вмістів солей натрію, калію і кальцію в питній воді;
- флюороз та інші патологічні захворювання тканин зубів викликані дефіцитом або, навпаки, надлишком відносно нормативного для питної води фтору.

Вплив важких металів на живі організми. Особливо небезпечним є забруднення навколишнього середовища важкими металами, які відіграють в біохімічних процесах подвійну роль - з одного боку, вони необхідні для нормального протікання фізіологічних процесів, а з іншого – є токсичними при підвищених концентраціях. Рухомі форми важких металів взаємодіють з широким переліком ферментів, пригнічуючи їх активність.

Вплив важких металів на живі організми сильно залежить від специфічності міграційних форм і внеску кожної з них в загальну концентрацію металу в екосистемі. Для розуміння міграційних процесів і для оцінки токсичності важких металів недостатньо визначити лише їх валовий вміст. Необхідно диференціювати форми металів в залежності від хімічного складу і фізичної структури: окислені, відновлені, метиловані, хелатовані тощо. Найбільшу небезпеку являють собою лабільні форми, які характеризуються високою біохімічною активністю й накопичуються у біологічних середовищах. За чутливістю до них тварин і людини, метали можна розташувати в наступний приблизний ряд:

Hg>Cu>Zn>Ni>Pb>Cd>Cr>Sn>Fe>Mn>Al.

Порядок в даному ряду може змінюватись в залежності від конкретної форми з'єднань.

Важкі метали проявляють широкий токсичний вплив. Деякі з них, наприклад свинець, справляють яскраво виражений вплив на більшість органів, тоді, як інші – кадмій – мають більш обмежену область токсичної дії. Для кожного металу існує свій механізм токсичного впливу, обумовлений конкуренцією між необхідними і токсичними металами, а також особливостями комплексоутворення в місцях зв'язування в білкових молекулах.

Особливістю металів, як забруднювачів є те, що на відміну від органічних забруднюючих речовин, які піддаються процесам розкладу, метали здатні лише до перерозподілу. Метали-токсиканти в різних формах здатні забруднювати всі три області біосфери – повітря, воду і ґрунт.

7.3. Геохімічні критерії оцінки екологічного стану територій

Необхідною умовою здійснення оцінки стану довкілля є виконання комплексної оцінки забруднення регіону і суміжних територій, яка, зокрема, має включати: встановлення і детальну характеристику (номенклатура речовин, обсяги, режим дії, перспективи розвитку тощо) джерел забруднення; механізмів і шляхів міграції токсикантів (з шляхами надходження шкідливих речовин до організму людини включно); визначення так званих депонуючих середовищ; встановлення існуючих механізмів самоочищення і визначення буферних ємностей тощо. Достовірний прогноз змін стану довкілля навіть на короткострокову перспективу вимагає здійснення екологічного моніторингу, невід'ємною складовою є геохімічний моніторинг.

Геохімічний моніторинг. *Фоновий геохімічний моніторинг*, який полягає в спостереженні за розподілом та поведінкою хімічних елементів

поза сферою впливу локальних джерел забруднення, дозволяє простежувати глобальні зміни природного середовища.

Вмісти елементів в об'єктах довкілля до регіонального (глобального) забруднення можна оцінювати за даними *історичного моніторингу* – зміна концентрацій елементів в датованих горизонтах льоду, торфовищ і грунтів, в рослинах з гербаріїв, в викопних рештках тварин, в старих винах. Так, аналіз вмісту сірковмісних газів та галогенвуглеводнів в шарах льоду льодовика о.Галіндез (архіпелаг Аргентинські острови) і атмосфері ілюструє динаміку зростання вмістів домішок в льоду за період розвитку техногенної цивілізації.

Проблеми розвитку кризових екологічних ситуацій в містах та великих промислових агломераціях вирішують за допомогою *імпактного геохімічного моніторингу*. Останній є неможливим без здійснення фонового моніторингу, оскільки саме він дає інформацію щодо фонового розподілу елементів, їх глобальних і регіональних компонентних кларків. Моніторинг може бути комплексним і компонентним (атмосферний, водний тощо). Основним недоліком компонентних моніторингових досліджень є те що процеси розсіяння і концентрації речовини як природного, так і техногенного походження ніколи не відбуваються лише в межах одного компоненту середовища. Тому контролюючи, наприклад, склад атмосфери ми простежуємо в часі і просторі ореол розсіяння від викидів, однак не можемо дати характеристику процесів міграції в водах, ґрунтах, живих організмах, та ідентифікувати пов'язану з ними вторинну складову атмохімічних аномалій.

Граничні допустимі концентрації (ГДК) найчастіше використовують для оцінки впливів полютантів на організм. ГДК є максимальним вмістом шкідливої речовини у природному об'єкті або продукції, який за обумовлений період не впливає на стан здоров'я людини чи інших організмів. За величиною ГДК забруднюючі речовини поділяються на 4 класи небезпеки (від більшої до меншої): I) As, Cd, Hg, Se, Pb, F, Zn, бензопірен, озон тощо; II) кислоти, луги, фенол; III) B, Co, Ni, Mo, Cu, Sb, Cr, толуол, метиловий спирт і т.д.; IV) Ba, V, W, Mn, Sr, бензин, ацетон тощо.

Відмінність (більш як на порядок) інтенсивності процесів поглинання елементів організмами з газової, рідкої та твердої фази обумовлює одночасне існування ГДК для атмосфери, води питної, водойм рибогосподарського призначення, грунтів тощо. ГДК визначають для окремих хімічних елементів та з'єднань, більш того, величини ГДК залежать від умов середовища. Так, для кадмію і свинцю залежність між лужністю грунтів і ГДК майже лінійна. Відтак, ГДК слід визначати для певних геохімічних обстановок.

Водночас, завжди співіснує кілька значень ГДК одного і того ж елементу в тому ж компоненті довкілля. Так ГДК робочої зони – є такою конце-

нтрацією, яка при щоденній роботі протягом 8 годин (не більш як 40 годин на тиждень) за весь час трудового стажу не може викликати професійних захворювань або розладів у стані здоров'я (що визначаються сучасними методами), як у процесі праці так і у віддалені строки життя наступних поколінь. Аналогічні параметри ГДК для житлової забудови зазвичай значно нижчі, оскільки розраховуються на перебування людини впродовж 24 годин на добу і 7 днів на тиждень.

Неуніверсальність і недостатність показника ГДК ілюструє той факт що розвиток патологічних відхилень можливий як за умов надлишку, так і за умов дефіциту елементів, а також за дисбалансу вмісту окремих елементів (Sr/Ca, Ca/P тощо). За теорією порогових концентрацій В.В.Ковальського дія хімічних елементів на організм визначається інтервалом концентрацій, при яких можлива нормальна реакція обмінних процесів, обумовлена адаптивними можливостями організмів зафіксованими в генотипі. Будь-який організм може регулювати свої функції тільки в певних межах змін параметрів довкілля, недосягнення чи перевищення відповідних порогових меж порушує функції саморегуляції.

Оціночні критерії при проведенні досліджень формуються на основі санітарно-гієнічних (табл.7) та геохімічних (в тому числі біогеохімічних) уявлень.

Таблиця 7.

Загальна оцінка еколого-геологічних умов на основі забруднення компонентів літосфери (за В.Т.Трофимовим та Д.Г.Зілингом)

Оціночний показник	Стан еколого-геологічних умов			
	Задовільний	Умовно задовільний	Незадовільний	Катастрофічний
Концентрація всіх досліджуваних елементів і з'єднань	Фонова або нижче ГДК	Елементи 2-3 класу небезпеки - в межах 1-5 ГДК, 1-го класу небезпеки - на рівні ГДК	Елементи 2-3 класу небезпеки - в межах 5-10 ГДК, 1-го класу небезпеки – 1-5 ГДК	Елементи 2-3 класу небезпеки - понад 10 ГДК, 1-го класу небезпеки – понад 5 ГДК

Попри видиму зручність і однозначність оцінок сформованих на базі застосування ГДК ("безпечний"-"небезпечний", "прийнятний"-"неприйнятний" тощо), такий підхід має ряд суттєвих недоліків, які частково ми вже розглянули в попередньому розділі (неврахування співвідношення конкретних форм знаходження тощо). Крім того, ГДК не враховують ефекти накопичення забруднюючих речовин в результаті їх перерозподілу між компонентами середовища, а також зміну токсичності при такому перерозподілі. Встановлення самих величин ГДК теж не завжди можливе з достатнім рівнем точності у зв'язку з труднощами визначення залежності доза-ефект в області низьких доз і малих часів, а також від-

носно невеликою кількістю коректних даних щодо впливу на людину (а не на піддослідних тварин). Недаремно процес перегляду показників ГДК йде постійно, і рівні концентрацій що видавалися безпечними ще вчора, сьогодні вже вважаються неприпустимими (і навпаки) – тож необхідний перегляд вже прийнятих рішень. Результатом є формування алогічних висновків – "стан задовільний, оскільки концентрації забруднювачів не перевищують 5 гранично допустимих концентрацій".

Геохімічні показники на базі кларків більш універсальні, вони використовуються для оцінки хімічного, бактеріологічного, механічного забруднення атмосфери, підземних і поверхневих вод, ґрунтів, порід зони аерації і донних осадків. Вони охоплюють всі компоненти біосфери і дозволяють визначати рівні їх природної аномальності та техногенного забруднення.

Оцінка рівня забруднення здійснюється через кларки відповідних середовищ, через ГДК (які в даному випадку розглядається як своєрідні кларки взаємодіючих фаз геосфери), через порівняння із стандартами якості (чисельність популяцій при бактеріальному забрудненні), або із застосуванням різноманітних розрахункових коефіцієнтів.

Взагалі кажучи, саме кларки або фонові значення, що фіксуються на апріорі незабруднених територіях, використовують в тих випадках коли на забруднювач (полютант) відсутні дані щодо ГДК (частіше за все така ситуація характерна при оцінці забрудненості порід зони аерації, іноді ґрунтів і донних відкладів). Звичайно, при цьому необхідний диференційований підхід до токсикантів з урахуванням класу їх небезпеки.

Вимоги до стану ґрунтів прописані в відповідних нормативних документах. Крім прямих показників (рівні концентрацій забруднювачів для оцінки стану ґрунтів використовують широкий набір розрахункових показників, серед яких найчастіше використовують вже згадуваний коефіцієнт сумарної забрудненості.

Для оцінки самоочищуючої здатності геосистем можна використовувати коефіцієнт самоочищення ґрунтів (Давидова Н.Д., Суслова Н.Г., 1984), який є відношенням маси техногенної речовини (елементу) винесеної з певного обсягу ґрунту за певний проміжок часу до маси техногенної речовини внесеної за цей же час (M_T).

Геохімічні показники оцінки підземних вод. Прямі показники оцінки якості підземних вод розроблені; вони базуються на вимогах ГДК і забезпечені відповідними нормативно-методичними документами. Вони дають оцінку рівня забрудненості підземних вод з позицій питного і технічного водопостачання і рибництва. У 1995 р. В.М. Гольдбергом як показник оцінки підземних вод був запропонований площинний (площа, область забруднення F в км^2) показник і визначення точок відліку для фіксованих змін (якість підземних вод у природному стані ГДК і гранично

допустима концентрація забруднюючих речовин в підземних водах з урахуванням мети їх використання). Таким чином, оцінка стану підземних вод дається по двом прямим показникам: їх якості і площі забруднення.

На завершення слід додати наступне. В методі кларків, на якому, зрештою, базуються вище перелічені показники оцінки забрудненості, наряду з безсумнівними перевагами (масовість, співставність) є й суттєві недоліки – надмірна узагальненість даних та відсутність цілісного уявлення про геохімічні та біогеохімічні процеси в природних та техногенних ландшафтах.

В залежності від специфіки біогеоценозів, складна вертикальна і латеральна структура природних екосистем вимагає визначення характеру взаємозв'язків елементів в компонентах і підсистемах, тобто потребує визначення так званих біогеокларків на більш детальному рівні аналізу екосистем.

З іншого боку локальні екосистеми відрізняються між собою не лише за рівнем вмісту елементів і структурою геохімічного поля, а й за специфічними типами кругообігу речовин. Власне кажучи, порушення кругообігу і поява дисбалансу речовин в більшості випадків є надійним індикатором антропогенного впливу, а отже і наявності аномалій, деформуючих геобіохімічний фон, виявлений по відношенню до окремих екосистем чи їх елементів. Тож дуже перспективними є моделювання просторово-часових змін складу і стійкості екосистем та їх компонентів, їх аналіз, на основі вивчення потоків і балансів речовини та енергії, кругообігу елементів, функціонування екосистем, виявлення їх деградації чи оптимізації існування і розвитку. Саме реалізація таких підходів дозволить розробити основні підходи до оптимізації ноосфери, тобто створення оптимальних техногенних ландшафтів.

1.8. ПРИРОДНІ ТА ТЕХНОГЕННІ ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ

Енергетичний вплив навколишнього середовища на живі організми реалізується через геофізичні поля різної природи – природні (космічного і земного походження) і техногенні [50].

8.1. Природні геофізичні поля та їх аномалії

Гравітаційне поле і його аномалії. Тільки завдяки сильному гравітаційному полю на Землі утримуються гідросфера і атмосфера, що забезпечує існування життя.

Гравітаційне поле (прискорення вільного падіння) в межах поверхні планети змінюється від 9,78 м/с^2 на екваторі до 9,83 м/с^2 на полюсах. На фоні таких закономірних широтних змін поля сили тяжіння виділяються

гравітаційні аномалії геологічної природи до $(3–30)\cdot10^{-4}$ м/с^2, і тимчасові варіації, обумовлені приливною дією космічних тіл, і в першу чергу Місяці і Сонця, що може приводити до періодичних змін висотного положення поверхні планети, а також до повільного перерозподілу мас усередині земної кулі. Приливні варіації можуть досягати $3{,}4\cdot10^{-4}$ м/с^2, можлива величина вікових змін сили тяжіння протягом року імовірно складає до $1{,}0\cdot10^{-4}$ м/с^2.

Останніми роками все більшу увагу звертає на себе прояв тих чинників зміни сили тяжіння на поверхні літосфери, які обумовлені зміною сили тяжіння у зв'язку із інженерною діяльністю людини. Адже вилучення з надр Землі значної кількості корисних копалин, штучне зниження або підвищення рівня підземних вод, створення великих водосховищ, будівництво крупних міських агломерацій може до певної міри відображатися на протіканні багатьох екологічно значущих процесів, таких, наприклад, як сейсмотектонічні переміщення, обвальні явища, зсуви, карстоутворення, просідання та опускання земної поверхні, абразія, переробка берегів великих водосховищ тощо.

Геомагнітне поле і його аномалії. Магнітне (геомагнітне) поле Землі в значно більшій мірі залежить від будови і властивостей літосфери ніж гравітаційне, оскільки багато джерел магнітного поля, що вносять свій внесок в загальне геомагнітне поле, розташоване саме в літосфері. Сама історія формування літосфери найтіснішим чином пов'язана з магнітними властивостями порід, з магнітним полем Землі. При цьому магнітне поле, що спостерігається на поверхні планети, на 95 % зобов'язане своїм існуванням відносно стабільним джерелам, що знаходяться в ядрі Землі. І лише 5 % обумовлені струмами, що ініціюються сонячною активністю, і пов'язаними з ними магнітними полями в іоносфері і земній корі.

Земля є гігантським магнітним диполем, поле якого проявляється на поверхні планети і виходить далеко в навколоземний простір, створюючи так звану магнітосферу. Магнітне поле, що спостерігається на земній поверхні або поблизу неї, обумовлено сукупним впливом безлічі джерел і у тому числі джерел, розташованих в об'ємі літосфери – залізорудних тіл і гірських порід, властивості яких залежать від змісту і розподілу в них феромагнітних мінералів, таких як магнетит, титаномагнетит, маггеміт, піротин, гематит, ільменіт і інших.

На фоні нормального геомагнітного поля, напруженість якого становить величину 39,8–49,2 *А/м*, виділяються аномалії, обумовлені різними причинами: в одних випадках – скупченням в межах верхніх шарів літосфери гірських порід з яскраво вираженими магнітними властивостями, в інших – як наслідок дії зовнішніх по відношенню до Землі джерел на оточуючу її магнітосферу.

В першому випадку просторове положення аномалії залишається незмінним, а її величина змінюється від одиниць до 100 *А/м*; в другому випадку можливі істотні зміни як просторового положення, так і амплітуди аномалій.

Добре відомо, що магнітне поле Землі схильне до повільних змін, так званих вікових варіацій, максимальні величини яких можуть досягати *n·0,1 А/м* на рік. Спостерігаються більш стислі в часі зміни геомагнітного поля – магнітні бурі. Під час проходження магнітних бур зміна магнітного поля може складати до 0,8 *А/м*.

Температурне поле і його аномалії. Тепловий стан Землі і закономірності його зміни визначаються загальним тепловим балансом масивів гірських порід, залежним від розподілу енергії, що надходить. Розподіл енергії, у свою чергу, обумовлений рядом глобальних, регіональних і локальних особливостей будови планети і приповерхневих її частин. Температурний режим верхньої частини земної кори встановлюється при енергетичній взаємодії Землі з Сонцем і космічним простором, з одного боку, і, з другого боку, з джерелами теплової енергії у внутрішніх сферах планети. Сукупність джерел теплової енергії формує не тільки тепловий режим ґрунтової товщі, що залягає поблизу поверхні Землі, але і клімат, а також умови, придатні для існування живих організмів.

Внутрішні (планетарні) джерела теплової енергії, поступаючись за потужністю сонячному випромінюванню, перевищують решту космічних джерел. Основним внутрішнім джерелом тепла є реакції ядерного розпаду радіоактивних елементів, що входять до складу літосфери. Потужність цього джерела, що становить $18{,}0 \cdot 10^{20}$ Дж/рік, приблизно в 1,5 рази перевищує сумарну потужність всієї решти планетарних джерел теплової енергії.

Для самої верхньої частини літосфери набувають все більшого значення техногенні джерела теплової енергії. Потужність такого роду джерел на декілька порядків менше потужності планетарних джерел і потужності сонячного випромінювання. Але вони, як правило, зосереджені в обмеженому об'ємі літосферного простору – в субстраті промислово–міських агломерацій і інших територій, що інтенсивно використовуються. Тому тепловий потік, який генерується ними, може бути не менше теплового потоку, обумовленого наявністю більш могутніх планетарних джерел тепла.

Електричні і електромагнітні поля і їх аномалії. За генетичною ознакою джерела, які створюють поля електричних струмів, підрозділяються на природні і штучні (техногенні), а по відношенню до літосферного простору, як до середовища–носія – на зовнішні і внутрішні.

Природа електричних полів різноманітна. Це, з одного боку, природні поля природних електронних провідників, фільтраційні і термофільтра-

ційні, дифузійні, телуричних струмів і грозових розрядів. З другого боку, існують поля електричних струмів штучного походження, що створюються людиною внаслідок техногенної діяльності.

Електромагнітне поле Землі природного походження проявляється у вигляді різноперіодичних електромагнітних коливань (варіацій), частотний спектр яких представлений смугою від 10^{-4} до 10^{2} Гц (1 *герц* (Гц) – частота періодичного процесу при якій за 1 с відбувається один повний цикл). Інтенсивність (амплітуда) варіацій залежить від сонячної активності, географічного положення і геологічної будови місця спостереження. Амплітуда варіацій електричної складової природного електромагнітного (магнітотелуричного) поля може досягати 100–200 мВ/км при середніх значеннях 30–40 мВ/км і фоновому рівні 0,1–10,0 мВ/км.

Особливості геологічної будови більшою мірою відображаються у поведінці електричної складової електромагнітного поля як більш чутливої до гетерогенності будови літосфери, але, хоча і слабше, виявляються також в поведінці магнітної складової. Максимуми інтенсивності варіацій природного електромагнітного поля приходяться на роки сонячної активності.

Електрична складова електромагнітного поля будь–якого генезису вельми чутлива до геологічних неоднорідностей будови земної кори, пов'язаних із зміною електропровідності гірських порід. Як наслідок цього, всі без виключення тектонічні елементи виявляються відображеними в аномаліях електричної складової природних електромагнітних полів. Оскільки аномалії електромагнітних полів, супутні структурним елементам літосфери, можуть удвічі і більше перевищувати фоновий рівень, інтерес до них з екологічних позицій як до чинника, що може впливати на умови життя людини, достатньо великий.

Поле іонізуючого випромінювання (частіше його називають радіаційним полем, або полем радіоактивності), яке спостерігається на поверхні Землі, має подвійну природу. У формуванні нормального радіаційного фону, з одного боку, велику, хоча і не найголовнішу, роль грає випромінювання, що приходить до поверхні планети ззовні, з далекого Космосу і навколоземного простору. З другого боку, основна частина радіаційного фону поблизу поверхні Землі зобов'язана своїм походженням наявності у верхній частині літосфери (в земній корі) радіоактивних речовин і процесу дегазації планети, в ході якого на поверхню її виноситься велика кількість радіоактивних газів – радону–222 і торону (радону–220).

Космічний фон, на частку якого доводиться всього близько 12% загального рівня радіоактивності, характеризується потужністю дози випромінювання в 3–6 мкР/год (*рентген* (Р) – позасистемна одиниця експозиційної дози радіоактивного випромінювання, що відповідає поглинанню

такої кількості гамма або рентгенівського випромінювання, яке в 1 $см^3$ сухого повітря при нормальній температурі і тиску створює $2{,}083 \cdot 10^9$ пар іонів) або 0,03–0,06 мкГр/год (*грей* (Гр) – одиниця СІ вимірювання дози випромінювання, 1 Гр = 1 Дж/кг = 100 Р). У високогір'ї космічний радіаційний фон зростає на 0,015 мкГр/год (1,5 мкР/год) на кожний кілометр перевищення відмітки рельєфу місцевості.

Нормальна радіоактивність гірських порід обумовлена кларковим вмістом в ній радіонуклідів (радіоактивних елементів). До зон підвищеного ризику відносяться регіони, де на поверхню Землі виходять граніти, гнейси, вулканічні туфи, фосфорити і інші породи, вміст урану і торію в яких може досягати 10^{-4} кг/кг (100 кларків) і більше. Еманації радону істотно підвищуються там, де гірські породи дезінтегровані, тобто в зонах розломів, вивітрювання, тріщинуватості. Підвищене виділення радону з ґрунту спостерігається також в сейсмічно активних областях.

8.2. Техногенні геофізичні поля

Техногенні геофізичні поля, як правило, обумовлені "відходами" промислового виробництва, побічним продуктом сучасних технологій. техногенними аваріями. Літосфера по відношенню до полів такого роду є середовищем–носієм і передавачем енергії від джерела поля до об'єкта впливу. Механізм реалізації техногенного впливу і передачі його від джерела до об'єкта впливу через антропогенні геофізичні поля простежується в трьох видах взаємодії, що є трьома етапами "переміщення" енергії на шляху від джерела до об'єкта, на кожному з яких літосфера відіграє певну роль. *Перший* з них є передачею енергії від діючого джерела до середовища (у тому числі до літосфери). На цьому етапі літосфера виступає як об'єкт впливу і сприймає енергію, що поступає від джерела.

Другий вид взаємодії припускає взаємодію окремих компонентів середовища (геологічної компоненти, а також біоти і об'єктів техносфери) між собою. Саме на цьому етапі виявляються властивості літосфери бути носієм, акумулятором або транслятором енергії, що надійшла. При цьому середовище зазнає певні (іноді вельми істотні) зміни і одночасно накопичує потенціал вторинного впливу, тобто готується бути вже сама джерелом впливу на об'єкти, які генетично або технологічно пов'язані з нею.

Третій вид взаємодії представляє собою передачу надмірної енергії від зміненого середовища, яке тепер грає роль джерела, до об'єктів техносфери або біосфери. На цьому етапі накопичені в середовищі кількісні енергетичні зміни переходять в якісні зміни об'єктів, що піддаються вторинному впливу з боку середовища.

Впливу можуть піддаватися об'єкти як неживої так і живої природи. Якщо об'єктом дії є "нежива компонента" екосистеми (геологічні і технічні об'єкти), то "екологічний відгук" на дію як би відкладається до моменту досягнення такого рівня активації системи, коли порушення рівноважного стану природно–технічної екосистеми, порушення функціонування або деструкція окремих об'єктів досягнуть загрозливого (критичного) ступеня. Якщо кількісні енергетичні зміни, що спостерігаються у верхніх шарах літосфери, успадковуються процесами, які в ній відбуваються і які представляють загрозу для біоти і людей, виявляється "екологічний ефект" впливу техногенних геофізичних полів, для яких літосфера є середовищем–носієм.

Природа техногенних геофізичних полів припускає, що найвищі рівні їх досягаються в межах промислово освоєних територій і територій великих міських агломерацій. Потенціал техногенної дії на міське середовище і міські природно–технічні екосистеми формується з моменту виникнення міського поселення і існує на всьому історичному шляху його розвитку. По мірі укрупнення міст, розвитку і ускладнення їх інфраструктури цей потенціал неминуче зростає. Міські мешканці і жителі промислових центрів стають в'язнями складного лабіринту геофізичних полів, які відчутно впливають на всі компоненти міського середовища і на них самих. Ця обставина ставить техногенну дію, опосередковану через штучні геофізичні поля, в ряд значущих екологічних чинників.

8.3. Вплив геофізичних полів на живі організми і людину

Неоднорідності геофізичних полів є, в переважній більшості випадків, дратівливим чинником, що не приводить, як правило, до серйозних екологічних наслідків. Проте досягши певного рівня інтенсивності (наприклад, в модифікації техногенних геофізичних полів) вони можуть ставати також і вражаючим чинником. Сприйняття людським організмом їх впливу стає помітним при рівні інтенсивності сигналу будь–якого походження в межах від 10^{-12} до 10^{-2} Вт/м. Є комфортні для мешкання біоти і людини межі параметрів геофізичних полів. Перевищення цих параметрів веде к дискомфорту, а потім – к виникненню загрози для життя.

Енергетичний вплив геофізичних полів на живі організми можна представити у вигляді суперпозиції двох складових – квазіпостійної, (вона, якщо і змінюються, то у відносно невеликих межах і з великими періодами циклічності), яка обумовлена дією геофізичних природних полів, і змінної, залежної від ритміки Всесвіту і пов'язаної з обертанням Землі навколо своєї осі, обертанням її навколо Сонця і взаємодією зі своїм супутником – Місяцем і іншими планетами Сонячної системи. Вплив геофізичних ритмів на живі організми, який супроводжує їх протягом всієї історії існування біосфери, привів до того, що життєві процеси в біоті

виявилися цілком підлеглими цим ритмам. З екологічних позицій великий інтерес викликають періодичні варіації геофізичних полів, частотний спектр яких співвідноситься з біоритмами живих організмів.

Часовий спектр коливальних процесів життєдіяльності достатньо широкий і тягнеться від періодів в одиниці мілісекунд до багатьох років, утворюючи систему взаємопов'язаних річних, сезонних, місячних, добових, годинних, хвилинних і секундних біоритмів. Для біоти і людини добре вивчений цілий ряд ритмічних фізіологічних процесів, які протікають як на клітинному рівні, так і на рівні окремих органів і організму в цілому.

8.4. Геофізичні показники оцінки еколого–геологічних умов

Питання про показники оцінки впливу геофізичних полів, за винятком радіаційного, розроблені поки що слабо. Для їх оцінки звичайно використовують дані про вплив на біоту фізичних полів. Ці дані у принципі відображають санітарно–гігієнічне нормування біологічної дії електричних, електромагнітних, акустичних, вібраційних і інших полів, які несприятливо впливають на організм людини.

Відповідно до загальних принципів вибору показників оцінки, *слабим* геофізичним впливом (перший рівень) можна вважати такий вплив, при якому зміни полів різного вигляду і генезису не виходять за рамки природних варіацій і не приводять до помітних порушень звичних умов існування живих організмів і людини. Такий вплив не виводить стан навколишнього середовища (зовнішнього відносно екосистеми) за межі екологічної норми, а живі організми – за межі стану „здоров'я”. Масиви гірських порід, яким властиві дані особливості, знаходяться в задовільному еколого–геологічному стані.

Помірний геофізичний вплив (другий рівень) – є впливом, при якому можуть виникати помітні, що виходять за рамки фонових, зміни навколишнього середовища і умов існування живих організмів, які не вимагають спеціальних заходів для усунення наслідків таких змін. З санітарно–гігієнічних позицій такий стан навколишнього середовища оцінюється як умовно задовільний, з екологічної точки зору – як стан екологічного ризику, де реакцію живих організмів можна визначити як „напругу”.

Сильний геофізичний вплив (третій рівень) припускає такий вплив, при якому зміни, що виникають в навколишньому середовищі і умовах існування живих організмів, вимагають спеціальних заходів, спрямованих на запобігання можливих негативних наслідків впливу. Стан навколишнього середовища в умовах сильного впливу необхідно оцінювати як незадовільний, або як стан екологічної кризи, а реакцію живих організмів як „стомлення”.

Небезпечний геофізичний вплив (четвертий рівень) – є таким, при якому можливі руйнівні і катастрофічні зміни в навколишньому середовищі, деградація і загибель представників тваринного і рослинного світу, поява патологічних змін в організмі людини з найсерйознішими негативними наслідками аж до збільшення смертності в рамках людської популяції. Такий рівень дії оцінюється як надзвичайно небезпечний з гігієнічних позицій і як екологічне лихо.

Можна виділити також геофізичний вплив, який забезпечує оптимальне існування біоти чи окремих її видів на протязі відрізків часу чи всього їх існуванняю. Але ця проблема потребує детального вивчення.

Як граничні значення при розділенні рівня геофізичного впливу або еколого–геофізичного стану навколишнього середовища, у тому числі і літосфери, вибираються кількісні показники, які визначаються на основі даних експериментальних медико–біологічних досліджень та діючих на даний час санітарно–гігієнічних і технічних нормативних документів. Ці показники повинні відповідати певному стану середовища, сукупності умов існування живих організмів і, в першу чергу, умов життєдіяльності людей.

1.9. МЕТОДОЛОГІЯ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Екологічна геологія досліджує еколого-геологічні системи. Виділяють чотири типи цих систем:

природна еколого-геологічна система реальна;

природна еколого-геологічна система ідеальна;

природно-техногенного еколого-геологічна система ідеальна;

природно-техногенного еколого-геологічна система реальна.

Природну еколого-геологічну систему реальну геолог досліджує при проведенні еколого-геологічних досліджень на неосвоєній території, в межах якої техногенні зміни еколого-геологічної обстановки практично відсутні. Вивчення таких систем надалі може бути використане при прогнозних дослідженнях, щодо можливих наслідків природних дій. Вони можуть використовуватися також і при вивченні природно-техногенної еколого-геологічної системи ідеальної, досліджуваної в процесі прогнозування зміни еколого-геологічної обстановки під впливом тих або інших видів техногенних (з урахуванням можливих природних) впливів в процесі освоєння даної території.

Природно-техногенна еколого-геологічна система реальна досліджується геологом на освоєних територіях і включає в свій склад вже існуючі інженерні споруди, а частіше - цілий їх комплекс і несе в собі наслідки і природних, і головним чином, техногенних дій. На базі вивчення таких систем, визначається їх сучасний стан і розробляються, у разі потреби,

методи управління еколого-геологічним станом з метою його збереження або поліпшення.

9.1. Оцінка екологічного стану систем

Проблема вибору, обґрунтовування і ранжирування критеріїв оцінки еколого-геологічного стану геологічного середовища не має загальноприйнятих рішень навіть на концептуальному рівні. Можна говорити про декілька концептуальних підходів, що використовуються для вирішення поставленої задачі [51].

Концептуальні підходи щодо оцінки систем. *Перший підхід* заснований на прямих кількісних оцінках еколого-геологічного стану формуючих геологічне середовище. Він базується на концепції гранично допустимих концентрацій (ГДК), гранично допустимого вмісту (ГДВ), гранично допустимих норм (ГДН) окремих забруднювачів (токсикантів) або власних особливостей компонентів літосфери і оцінках їх площадкової ураженості (процесами, забруднювачами). Основними недоліками такого підходу є: неможливість оцінки загального композиційного впливу всіх даних чинників на біологічні об'єкти (геосистему); вельми відносна коректність і об'єктивність встановлених ГДК, ГДВ, про що свідчить їх постійне коректування і суттєві відмінності від зарубіжних аналогів; відсутність нормативної бази для оцінки ресурсного потенціалу геологічного середовища.

Другий підхід можна визначити як оцінку сприятливості геологічного середовища для його господарського освоєння. Він декларує її розгляд як літотехнічної системи різного екологічного стану. Останнє вимагає ранжирування стану геологічного середовища або виділення певних класів цього стану. В світовій практиці частіше за все використовується шестибальна шкала мінливості верхніх горизонтів літосфери (оцінки її стану): I - незмінені, II - слабо змінені, III - середньо змінені, IV – сильно змінені, V - дуже сильно змінені, VI - катастрофічно змінені.

Третій підхід багато в чому знімає або нівелює недоліки двох попередніх. В ньому початковим положенням стала відмова від роздільної оцінки станів природних середовищ (у тому числі і літосфери) і їх механічного підсумовування на основі бальних оцінок. Облік сучасного стану природних і техногенно змінених екосистем, їх біотичної і абіотичної складових пропонується здійснювати через ранжирування по класах станів, відповідно, зони порушень екосистеми в цілому. В.Т.Трофимовим і Д.Г.Зілінгом рекомендується чотири рівні природно-антропогенних екологічних порушень - норми (Н), ризику (Р), кризи (К) і лиха (Л).

Рівні природно-антропогенних екологічних порушень. В основу виділення цих рівнів встановлено ранжирування порушення екосистем

по глибині їх незворотності. Пропонується виділяти наступні класи (зони) станів екосистем:

- зону екологічної норми, яка включає території без помітного зниження продуктивності і стійкості екосистем, її відносної стабільності; значення прямих критеріїв оцінки нижче ГДК або фонових; деградація земель менше 5% площі;

- зону екологічного ризику, що включає території з помітним зниженням продуктивності і стійкості екосистем, їх нестабільним станом, що веде надалі до спонтанної деградації екосистем, але ще зі зворотними порушеннями; території вимагають розумного господарського використовування і планування заходів щодо їх поліпшення; значення прямих критеріїв оцінки трохи перевищують ГДК або фон; деградація земель від 5 до 20% площі;

- зону екологічної кризи, яка включає території з сильним зниженням продуктивності і втратою стійкості екосистем і важко зворотними порушеннями; необхідне вибіркове господарське використовування територій і планування їх глибокого поліпшення; значення прямих критеріїв оцінки значно перевищує ГДК або фон; деградація земель від 20 до 50% площі;

- зону екологічного лиха (катастрофи), яка включає території з повною втратою продуктивності, практично незворотними порушеннями екосистем, що виключаються з господарського використання; значення прямих критеріїв оцінки в десятки разів перевищують ГДК або фон; деградація земель більше 50% площі.

Оцінки реакції організму людини на зміну зовнішніх умов, відповідних їм станів навколишнього середовища і ступеня дії цієї зміни звичайно мають чотирьохрівневу градацію: біолого-медична оцінка - "здоров'я - напруга - стомлення - хвороба"; оцінка реакції людського організму на "побутовому рівні" - "комфорт - дискомфорт - сильний дискомфорт - небезпека"; оцінка стану навколишнього середовища - "мало небезпечне - помірно небезпечне - небезпечне - надзвичайно небезпечне"; оцінка зміни рівня зовнішньої дії - "слабе - помірне - сильне - небезпечне".

Екстраполяція запропонованої схеми на весь широкий спектр природних і природно-техногенних екосистем із збереженням загального принципу її побудови дозволила Б.В.Виноградову запропонувати як рівневі оцінки наступний ряд: "екологічна норма - екологічний ризик - екологічна криза - екологічна біда". Такий підхід узагальнений В.Т.Трофімовим і Д.Г.Зілингом [50]. Ці дослідники виділяють наступні класи станів еколого-геологічної обстановки літосфери:

- *клас задовільного (сприятливого) стану*, який корелюється із зоною екологічної норми екосистеми, за Б.В.Виноградовим; значення прямих показників оцінки еколого-геологічного стану літосфери нижче ГДК або фонових (за винятком природних аномалій);

- *клас умовно задовільного (щодо несприятливого) стану*, який корелюється із зоною екологічного ризику; території вимагають розумного господарського використовування, планування і проведення заходів по їх поліпшенню; значення прямих показників оцінки еколого-геологічного стану літосфери трохи перевищують ГДК або фон (крім природних аномалій);

- *клас незадовільного (вельми несприятливого) стану*, який корелюється із зоною екологічної кризи; необхідне вибіркове господарське використовування територій, планування і оперативне проведення глибокого поліпшення; значення прямих показників оцінки еколого-геологічного стану літосфери в 2-10 разів перевищують ГДК і фон;

- *клас катастрофічного стану*, який корелюється із зоною екологічного лиха; значення прямих показників оцінки еколого-геологічного стану літосфери в десятки разів перевищують ГДК і фон.

Сказане справедливо, якщо стан біоти обумовлений тільки еколого-геологічними умовами. Якщо ж стан біоти або всієї екосистеми визначається інтегральним станом всіх абіотичних середовищ, а іноді і соціально-економічними чинниками, питання складніше. Бажано вичленувати тільки літосферний вплив на біоту через біогеохімічні показники (наприклад, вміст елементів в золі рослин) і характер захворюваності населення.

Тематичні показники оцінки. *Біотичні* показники включають специфічні індикаційні показники (індикатори), які характеризують властивості і стан екосистем: ботанічні, біохімічні, зоологічні і мікробіологічні. Ботанічні критерії мають найбільше значення, оскільки вони не тільки чутливі до порушень навколишнього середовища, але і найбільш фізиономічні і найкращим чином простежують зони екологічного стану за розмірами в просторі і за стадіями порушення в часі. Ботанічні показники вельми специфічні, оскільки різні види рослин і різні рослинні асоціації в різних географічних умовах мають неоднакову чутливість і стійкість до порушуючих дій, і, отже, одні і ті ж показники для кваліфікації зон екологічного стану можуть істотно змінюватись. При цьому враховуються ознаки негативних змін на різних рівнях: організменному (фітопатологічні зміни), популяції (погіршення видового складу і фітоценометричних ознак) і екосистемному (співвідношення площі в ландшафті).

Біохімічні показники екологічного порушення засновані на вимірюваннях вмісту хімічних речовин в рослинах. Для кваліфікації критичного екологічного порушення території використовуються показники зміни співвідношення вмісту токсичних і біологічно активних мікроелементів в укосах рослин з пробних майданчиків і в рослинних кормах. В лісах розповсюдженим токсикантом, дія якого на рослини приводить до незворотних фізіологічних і метаболістичних порушень, є диоксид сірки. Негативна

дія важких металів на рослини в основному пов'язана з їх проникненням в клітинні структури з ґрунтовим розчином. В цілому ж аеротехногенний шлях надходження полютантів в рослини через їх асиміляційні органи є визначаючим деградацію лісових біогеоценозів в умовах впливу викидів гірничо-металургійних підприємств. Накопичення металів в асимілюючих органах рослин збільшується із збільшенням рівнів забруднення середовища їх зростання. Така закономірність характерна тільки для тих металів, які є пріоритетними для складу викидів металургійних підприємств. Інші метали (не промислового походження) розподіляються по території рівномірно, і залежності їх акумуляції від зони поразки рослинності не знайдено.

Зоологічні показники порушення тваринного світу можуть розглядатись як на ценотичних рівнях (видова різноманітність, просторова і трофічна структури, біомаса і продуктивність, енергетика), так і на популяціях (просторова структура, чисельність і щільність, поведінка, демографічна і генетична структури).

По зоологічних показниках може бути виділений ряд стадій порушення екосистем. Зона ризику виділяється, головним чином, по початковій стадії порушення - синатропизації, втраті стадної поведінки, зміні шляхів міграції, реакції толерантності. Подальші стадії порушення виділяються також і за просторовими, демографічними і генетичними показники. Зона кризи характеризується порушенням структури популяції, груп і зграй, звуженням ареалу розповсюдження і мешкання, порушенням продуктивного циклу. Зона лиха відрізняється зникненням частини ареалу або місця мешкання, масовою загибеллю вікових груп, різким зростанням чисельності синантропних і нехарактерних видів, інтенсивним зростанням антропозоонозних і зоонозних захворювань. Зважаючи на сильну різнорічну мінливість зоологічних показників (не менше 25%), деякі з цих критеріїв приводяться на 5-10-річний період.

Оцінюючи розглянуті тематичні показники з позицій екологічної геології, необхідно чітко уявляти, що зміни екосистем, які фіксується ними, у ряді випадків можуть бути пов'язані не з прямим забрудненням літосфери, а обумовлені аеротехногенним шляхом надходження полютантів в рослинність, а через неї - в тварин. Отже необхідний додатковий аналіз всіх середовищ геоми для оцінки ступеня їх забруднення полютантами і впливу на біоту.

Ґрунтові показники. Тут вони розглядаються в статусі оцінюючих критеріїв екосистеми, оскільки погіршення властивостей ґрунтів є одним з найсильніших чинників формування зон екологічного ризику, кризи або лиха (хоча цей критерій за своєю природою відноситься до групи геологічних критеріїв). Перш за все, це зниження родючості ґрунтів на великій площі і з великою швидкістю. Грунтово-ерозійні показники пов'язані з

геологічними процесами, прискореними несприятливою господарською діяльністю людини. Ці процеси поширені і в природних умовах, але порушення людиною стійкості рослинного і ґрунтового покривів (вирубкою лісів, оранням ґрунтів, перевипасом пасовищ і т.п.) викликає значне прискорення і розширення площі цих процесів, що і приводить до формування зон екологічного ризику, кризи і лиха. Одним з інтегральних показників забруднення ґрунту є її фітотоксичність (властивість ґрунту пригнічувати зростання і розвиток вищих рослин) і генотоксичність (здатність впливати на структурно-функціональне стани ґрунтової біоти).

Біолого-медичні показники. Показники цього типу охоплюють велику їх групу, для яких поки немає систематики, що встояла. В медичній літературі ці показники фігурують під назвами *медико-демографічні, медико-екологічні, медико-геохімічні, медико-біохімічні, гігієнічні, епідеміологічні* та ін.

В даний час з певною часткою умовності у складі біолого-медичних показників оцінки здоров'я населення можна виділити дві групи. Перша з них - *власне медичні*, або, як їх називають самі медики, *медико-статистичні і медико-демографічні*. Вони дають уявлення про просторову приуроченість, частоту і характер захворювання населення. Друга група показників - *біосубстратні* (медико-екологічні, медико-геохімічні, медико-біохімічні). Вони характеризують вміст ксенобіотиків в субстратах людського організму і продуктах його фізіологічної діяльності. При використовуванні медичних показників слід враховувати, що захворюваність населення - явище багатофакторне і залежне не тільки від якості середовища мешкання, але і від соціально-економічних причин. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, виділяються чотири групи чинників, які впливають на стан здоров'я населення з оцінкою у відсотках їх внеску:

- спосіб життя (екологія соціального середовища) – до 50%, включає соціальні і побутові умови, якість і режим харчування, гігієнічну культуру, мікроклімат в сім'ї, фізичне виховання та ін.;
- хімічна екопатологія – до 20%, включає захворювання, пов'язані із забрудненням компонентів навколишнього середовища;
- медичне обслуговування (рівень обслуговування) - 10-20%;
- спадковість - до 20%.

З цього виходить, що при аналізі статистичних даних по захворюваності населення необхідний критичний підхід до їх оцінки з акцентом на динаміку і структуру загальної захворюваності.

Більш тісно корелюються із забрудненням навколишнього середовища і її компонентів наступні медико-демографічні показники:

- співвідношення пола новонароджених; частота недоношеності, природжених вад розвитку дітей, хромосомних хвороб у них; поширеність

аномалій скелету, анемій, вторинних імунодефіцитів, патології ЛОР-органів; частота інфекційних хвороб;

- частота і характер алергічної патології; розповсюдженість сечокислого діатезу, розумового розвитку; поява нових незвичайних хвороб і синдромів;
- частота і види онкологічних захворювань;
- число дітей-інвалідів і інвалідів дитинства і ряд інших специфічних медичних показників.

Просторові показники оцінки. Окрім сили дії (навантаження) на середовище, для оцінки порушення екосистем велике значення має площа таких порушень. Якщо вона невелика, то при рівній глибині дії мала за площею порушена система швидше відновиться, ніж велика. Якщо площа порушення більша гранично допустимих розмірів, то руйнування середовища практично незворотнє і відноситься до рівня катастрофи. Наприклад, вигоряння лісів на площі в десятки і сотні гектар практично зворотнє, ліси відновлюються - це не катастрофа. Однак, якщо площа вигоряння лісів або якої-небудь форми техногенного порушення рослинного покриву досягає площі десятків і сотень тисяч гектар, за короткий період ці зміни практично незворотні, і подія кваліфікується як катастрофа. Таким чином, розмір катастрофічного екологічного порушення достатньо великий і перевищує, виходячи з практичного досвіду, площу 10 000-100 000 га залежно від типу рослинності і геолого-географічних умов. Чим серйозніше порушення, тим більше репрезентативна площа його виявлення. За розміром (в км^2) зони екологічного порушення ранжируються на ряд просторових ієрархічних рівнів: регіональні -10 000; обласні - 1000; районні - 100; локальні - 10; ендемічні - 1.

На екосистемному рівні ботанічні показники зон екологічного порушення описуються просторовими характеристиками (відносних і абсолютних площ показників і співвідношеннями їх площ). В результаті просторовим критерієм зон екологічного порушення служить неоднорідність дестабілізації, наприклад, відносна площа земель (в %), вилучених із землекористування в межах досліджуваної екосистеми: (в нормальних умовах - менше 5, в зонах екологічного ризику - 5-20, кризи - 20-50, лиха – більше 50). Таким чином, навіть в нормальних умовах, тобто при стабільному рослинному покриві відносна площа порушених земель може досягати 5%, а в зонах екологічного лиха перевищує 50%.

Для кваліфікації зон екологічного ризику, кризи і біди необхідно враховувати просторову неоднорідність порушених зон і наявність в них комбінацій площ (в %) різного ступеня порушення (табл. 8).

Таблица 8.
Співвідношення зон порушення екосистем з відносною площею різного ступеня порушення (за Б.В.Виноградовим)

Ступінь порушення	Відносна площа порушення (у %) в екологічних зонах			
	Норма	Ризик	Криза	Лихо
Помірне	<70	<30	<30	<20
Середнє	<10	>40	>40	>30
Сильне	<5	<40	<30	>40

Динамічні показники оцінки. Динамічні показники виявлення зон екологічного порушення визначаються по швидкості наростання несприятливих змін природного середовища (швидкості накопичення важких металів, швидкості приросту площі рухомих пісків і т.п.). По цьому показнику можна виділити чотири класи динамізму рослинного покриву:

стабільні території із швидкістю змін менше 0,5% площі в рік, схильні лише до річної циклічної флуктуації;

помірно динамічні території із швидкістю зміни до 1-2% площі в рік, повна зміна рослинного покриву яких відбувається за 50-100 років і які формують слабо виражені тренди; відповідають зонам екологічного ризику;

середньо динамічні території із швидкістю змін до 2-3% площі в рік, повна зміна рослинного покриву яких відбувається протягом 30-50 років з вираженою формою тренда; відповідають зонам екологічної кризи;

сильно динамічні території із швидкістю змін понад 4% площі в рік, повна зміна рослинного покриву яких відбувається менш ніж за 25 років; відповідають зонам екологічного лиха.

Для виявлення швидкості змін рослинного покриву і виключення різнорічних коливань при виділенні зон екологічного лиха необхідна достатня тривалість спостережень.

9.2.Спеціальні методи екологічної геології

Еколого-геологічне картографування. Це основний метод початкового і періодичного дослідження просторового розподілу різних еколого-геологічних умов. Він заснований на раціональному поєднанні окремих прямих або непрямих наземних методів точкового або лінійного вивчення параметрів еколого-геологічних умов і методів просторової інтерполяції та екстраполяції цих даних. При цьому за звичай використовуються

також аеро- і космофотоматеріали, дані геофізичних і індикаторних робіт.

Еколого-геологічне картографування як спеціальний метод екологічної геології зараз знаходиться на стадії розробки і вдосконалення. З небагатьох нормативних документів, що регламентують проведення еколого-геологічних досліджень, є "Вимоги до геолого-екологічних досліджень і картографування. Масштаби 1:50000-1:25000", розроблені колективом інституту ВСЕГІНГЕО (1990), та “Тимчасові вимоги щодо складання карти екологічного стану геологічного середовища ...”, розроблені колективом інституту УкрДГРІ (2002).

Еколого-геологічне картографування є самостійним і новим, специфічним видом геологічних робіт для отримання інформації про локальний і регіональний стан еколого-геологічних умов геологічного середовища. Основними об'єктами досліджень є еколого-геологічні системи - літосферні їх елементи - гірські породи, ґрунти, підземні води, геохімічні і геофізичні поля, геодинамічні і інші сучасні процеси, що відбуваються в природних і порушених умовах, а також літотехнічні системи, що впливають на стан і параметри геологічного середовища, а через них - і на біоту, включаючи людину.

Дані по параметрах атмосфери і поверхневої гідросфери - об'єктах, що вивчаються цілеспрямовано спеціальними організаціями, залучаються у міру необхідності і в об'ємах, що дозволяють вирішувати конкретні еколого-геологічні задачі.

Функціональний аналіз еколого-геологічної обстановки. Цей метод займає серед спеціальних методів екологічної геології центральне місце. Саме його реалізація дозволяє вирішити основну стратегічну задачу - провести оцінку сучасного стану еколого-геологічної системи, визначити шляхи і способи досягнення стабільного розвитку цієї системи. Методологія цього методу базується на принципах, які широко використовуються і в геології, і в екології - системному підході, принципі історизму, принципі цілісності об'єкту. Це дозволяє реалізувати системний підхід при еколого-геологічних дослідженнях і об'єднати, розглянути з єдиних методологічних позицій теоретичні розробки і їх практичну реалізацію.

Проведення функціонального аналізу еколого-геологічної обстановки передбачає, за М.Б.Куріновим [51], виконання наступних операцій:

- виділення і опис еколого-геологічної обстановки-системи тієї або іншої території, що вивчається, виявлення конкретних причинно-наслідкових зв'язків між підсистемними елементами, контролюючими еколого-геологічну обстановку;
- проведення оцінки значущості екологічних функцій літосфери і її складових для соціуму і біологічних об'єктів;

- складання просторово-часового прогнозу розвитку даної системи при запланованих техногенних і очікуваних природних діях;

- визначення принципу розвитку, а у разі потреби і шляхів підтримки існування еколого-геологічної обстановки-системи.

Підкреслимо, що під еколого-геологічною обстановкою-системою розуміється система, в якій підсистемні елементи - геологічний компонент природного середовища, джерела впливу (природні і техногенні) і екологічна мішень (об'єкти біо-, соціо- і навіть техносфери) тісно зв'язані причинно-наслідковими прямими і зворотними зв'язками. Відмінністю цієї системи є те, що її межі визначаються в першу чергу екологічними наслідками, а її функціонування припускає трансформацію (природну або техногенну) впливу через геологічний компонент природного середовища.

Метод функціонального аналізу еколого-геологічних систем повинен використовуватися на всіх етапах еколого-геологічних досліджень. На перших з них він дозволяє визначити необхідний об'єм даних для побудови інформаційної моделі еколого-геологічної обстановки - системи, здійснити "замовлення" на отримання спеціальної інформації окремими методами геологічних наук, спеціальними методами екологічної геології, а також методами біологічних, медичних і інших наук.

Отримана інформація вимагає спеціалізованої класифікації, згортання, інтерпретації, в результаті яких можуть бути поставлені нові конкретні задачі дослідження, а при необхідності - і оперативного застосування корегуючих дій системами управління.

На подальших етапах еколого-геологічних досліджень застосування функціонального аналізу еколого-геологічної обстановки обумовлено тим, що одноразові остаточні рішення при вирішенні екологічних задач, як правило, неможливі. Необхідним є постійний, періодичний аналіз шляхів розвитку еколого-геологічних обстановок-систем, дій, що знов виявляються, і техногенних, нових причинно-наслідкових зв'язків, що формуються, між підсистемними компонентами, аналіз їх впливу на біоту.

Еколого-геологічне моделювання. Зміст цього методу полягає в створенні моделей стану еколого-геологічної системи тієї або іншої території, процесів, які відбуваються в ній і прогнозу трансформації її при реальних або можливих змінах геологічного компоненту в результаті його взаємодії з джерелами впливу (як природними, так і техногенними). Кінцева мета моделювання - прогнозна оцінка наслідків цих дій на літосферу і через неї - на біоту.

Моделювання є методом дослідження практично будь-якого наукового напряму. Вимоги до створення при його реалізації коректних моделей є, по суті, загальними. В той же час використання моделей в екологічній

геології, що враховують особливості прояву і зміни екологічних функцій літосфери, дозволяє розглядати моделювання як спеціальний метод цієї науки.

В процесі еколого-геологічного моделювання послідовно розв'язуються, по М.Б.Курінову [51], наступні групи задач:

- створення моделей стану еколого-геологічної ситуації (системи) тієї або іншої території;
- побудова моделей прогнозу зміни еколого-геологічних умов при планованих діях;
- розробка і вибір оптимальної моделі еколого-геологічної системи, що стійко розвивається;
- корегування постійно діючої моделі (ПДМ) еколого-геологічної системи, що стійко розвивається.

Метод еколого-геологічного моделювання в рівній мірі може бути використаний при вивченні еколого-геологічної системи різних типів: природних і природно-техногенних, реальних і ідеальних. Він охоплює все різноманіття еколого-геологічних умов, забезпечуючи створення моделей їх сучасного стану і прогнозу майбутнього стану і може характеризуватися як універсальний метод пізнання еколого-геологічних систем. Характерною рисою методу є його біо- і антропоцентрічна спрямованість - оцінка дії "неживого" на "живе". Отриманий в ході моделювання результат вимагає своєї екологічної і соціально-економічної оцінки. Іншими словами, метод моделювання дозволяє оцінити або передбачити еколого-геологічну ситуацію території або літосферного блоку, що вивчається, але не дає оцінку прямої екологічної оптимальності цієї ситуації.

Еколого – геологічний моніторинг. Поняття моніторингу оточуючого середовища вперше було запропоновано Р.Менном у 1972 р. на Стокгольмській конференції ООН. Зараз це загальноприйнята система, яка розподіляється на декілька підсистем і видів, наприклад, моніторинг гідрологічний, морів і океанів, атмосфери, біогеоценозів, лісів, тощо.

Еколого – геологічний моніторинг, або моніторинг геологічного середовища – це система режимних спостережень, оцінки, прогнозу і розробки рекомендацій щодо оптимального управління геологічним середовищем, або його частиною, яка виконується за попередньою програмою з метою забезпечення оптимальних екологічних умов для людини і біоти.

Виділяється декілька видів моніторингу геологічного середовища, зокрема: гідрогеологічний, геофізичний, сейсмічний, інженерно – геологічний, геохімічний, геокриологічний, ґрунтів і нарешті, комплексний, який охоплює всі перелічені вище види моніторингу, або мотивовану більшість з них. За масштабом охоплювання і детальністю вивчення території виділяється об’єктовий, локальний, регіональний, державний і глобальний моніторинг.

За службовою приналежністю виділяється державний, відомчий, об'єктовий моніторинги. Основна мета моніторингу – забезпечення можливості контролю і управління станом геологічного середовища як складової природно–техногенної системи, або, в окремих випадках, як природної компоненти оточуючого середовища, що можливо потребує (зараз, або в майбутньому) окремих елементів управління.

Моніторинг можна розглядати як систему процедур, які групуються в цикли: спостережень ($С_1$), оцінки стану середовища за результатом спостережень ($О_1$), прогнозу змін середовища ($П_1$), розробки рекомендацій за результатами прогнозу щодо управлінських рішень ($Р_1$). Далі ці рекомендації передаються для реалізації управління ($У_1$), у відповідні установи. Потім спостереження поповнюються новими даними з урахуванням наслідків управляння і процедури повторюються на нових циклах – $С_2$, $О_2$, $П_2$, $Р_2$, $У_2$, $С_2$, $О_3$, $П_3$, $Р_3$, $У_3$.

Важливою умовою виконання моніторингу є система виробничих робіт, яка ґрунтується на виробничій базі моніторингу.

В її складі знаходяться всі види попередніх і проміжних зйомочних робіт територій, які підлягають моніторингу, системи спостережень свердловин, шурфів, реперів, лізиметрів, дослідних майданчиків тощо. Крім того у виробничу базу моніторингу входять будь–яке моделювання геологічного середовища, його елементів і природно–техногенних систем (натурне, імітаційне, математичне).

Обов'язковою умовою виконання моніторингу повинна бути наявність системи науково–методичних розробок. Розробка, придбання і адаптація комплексу методик, що потрібні при плануванні, організації і роботі моніторингу, при проведенні спостережень, при аналізі і оцінці результатів досліджень і, нарешті, при прогнозуванні і розробці рекомендацій для управлінських рішень – все це входить в систему науково–методичних розробок. Методичне забезпечення моніторингу складається фахівцями геологічного і суміжних профілів, які мають відповідну екологічну підготовку і досвід роботи.

Важливим елементом структури моніторингу є також система технічного забезпечення. До неї належать: апаратура для спостережень (датчики, індикатори, прилади), технічні засоби для виконання польових зйомочних і рекогносцирувальних робіт (бурові установки, пересувні лабораторії і геофізичні станції, прилади для польових випробувань), автотранспорт, комп'ютери, засоби зв'язку, оргтехніка.

Основою системи будь–якого моніторингу є мережа спостережень. Саме вона забезпечує рівномірний, або цільовий збір інформації про середовище в цілому і його окремі елементи.

В залежності від призначення моніторингу геологічного середовища використовуються такі основні групи спостережень і досліджень.

Інвентаризаційні спостереження (дослідження) проводяться для початкової або періодичної оцінки стану і змін геологічного середовища. Виконуються вони рідко, базуються на досить коштовних методах досліджень. Коли йдеться про великі за площею території, то важливим видом таких досліджень може бути еколого – геологічна зйомка, яка в залежності від стану, тенденції і важливості території може проводитись 1 раз в 20 – 80 років. В будь–яких випадках інвентаризаційні спостереження виконуються суттєво рідше ніж звичайні. Їми охоплюються елементи геологічного середовища з низькою швидкістю змін природного чи техногенного характеру.

Інвентаризаційні спостереження періодично виконуються також в межах заповідників для отримання фонових оцінок змін екологічного середовища.

Ретроспективні спостереження направлені на аналіз стану і тенденцій змін геологічного середовища в минулому з метою попередньої оцінки можливих змін в майбутньому.

Режимні стаціонарні спостереження виконуються на спостережних ділянках (полігонах), постах і пунктах з метою виявлення закономірностей процесів. Вони націлені на вивчення циклічних коливань процесів з різною частотою (добовою, декадною, місячною, сезонною, річною, багаторічною тощо).

Виконання режимних спостережень націлено на рішення прогнозних задач, пов'язаних з виявленням напрямку і інтенсивності розвитку процесів і явищ.

Режимні спостереження як частину цільового моніторингу виконують на різних стадіях інженерних вишукувань при проектуванні будівництва. При цьому, основний об'єм режимних спостережень виконується на стадії детальних досліджень. Зрозуміло, що як елемент моніторингових досліджень, він доповнюється іншими видами моніторингу.

Методичні спостереження націлені на вдосконалення методів і конкретних методик моніторингу, або на корегування програми виконання моніторингу.

Слід відзначити що моніторинг може бути розділений на виробничий і науковий. Виробничий моніторинг виконується виробничими організаціями для вирішення конкретних прикладних завдань. Науковий моніторинг виконується для отримання принципово нових знань щодо процесів і явищ, які теж можуть бути новими для досліджень. Їх пізнання потребує розробки спеціальних програм, методів і методик досліджень, які апробуються на спеціальних науково – дослідницьких полігонах. Отже науковий моніторинг характеризується більш високим рівнем наукових досліджень ніж методичний моніторинг.

В залежності від ступеня комплексності і направленості моніторингу виділяють спостереження за наступними елементами геологічного середовища:

- склад, стан, властивості і зміни ґрунтів, гірських порід, техногенних ґрунтів;
- режим, динаміка і геохімія підземних вод;
- екзогенні і ендогенні геологічні процеси (карст, суфозія, зсуви, обвали, землетруси, тощо);
- інженерно – геологічні властивості і явища;
- рельєф (техногенні порушення, розчленування, динаміка змін, тощо);
- процеси взаємодії інженерних споруд і геологічного середовища (усадки ґрунтів, стан і зокрема цілісність фундаментів, витоки техногенних вод, тощо).

Зокрема відбір проб чи вимірювання показників відбуваються в фіксованих пунктах. Планування системи пунктів спостереження виконується з урахуванням характеру просторової неоднорідності показників геологічного середовища, або його окремих елементів, а також джерел і можливих напрямків техногенного впливу. Попередній аналіз неоднорідності геологічного середовища повинен проводитися з урахуванням можливих шляхів міграції забруднень (атмосферного, наземного, підземного з підземними водами). Дуже важливим є виявлення можливих аномальних шляхів міграції забруднень (западин, тальвегів, балок, ярів, тощо) Отже, планування спостережної мережі моніторингу потребує попередніх досліджень території, її картографування, типізації і районування по умовам виникнення і розвитку тих чи інших геологічних і, зокрема, міграційних процесів, а також природних і техногенних факторів, які впливають на зміни еколого – геологічних умов.

9.3. Складові та рівні еколого-геологічного моніторингу

Система еколого-геологічного моніторингу синтезує в собі безліч окремих методів отримання відповідної інформації. Проте домінуючу роль, особливо в частині прогнозування, припадає на постійно діючі моделі (ПДМ) і ретроспективний аналіз.

Постійно діюча модель (ПДМ) еколого-геологічна - це система впорядкування взаємозв'язаних, що постійно уточнюються в часі і просторі даних про стан еколого-геологічних умов, яка трансформована в логічне, картографічне або математичне зображення для прогнозування і управління. Основним призначенням ПДМ є перманентне вирішення еколого-геологічних задач, пов'язаних з оцінкою змін (як природно, так і техногенне обумовлених) геологічного середовища і його компонентів, а також

еколого-геологічним прогнозом її розвитку. Застосування ПДМ забезпечує впорядкування технології збору і обробки еколого-геологічної інформації, що поступає, на основі комп'ютерних технологій. У зв'язку з цим створення і використання ПДМ – найефективніший засіб розробки рекомендацій щодо системи управління в області раціонального використання і охорони верхніх горизонтів літосфери, вирішення еколого-геологічних задач.

Автоматизована інформаційна система еколого-геологічного моніторингу (АІС) складає основу його організаційної структури. Вона створюється на базі ЕОМ. У зв'язку з цим еколого-геологічний моніторинг (як і інші його види) можна розглядати як особливу геоінформаційну систему (ГІС).

В структурі АІС за звичай виділяють чотири основні взаємозв'язані блоки, які реалізуються за допомогою ЕОМ.

Перший блок складає автоматизована інформаційно-пошукова система, яка направлена на вирішення задачі АІС за допомогою наявної бази даних. В цю систему (базу) поступають з мережі спостережень всі первинні дані про стан геологічного середовища території або об'єкту моніторингу. Тут вони накопичуються, первинно обробляються, і потім використовуються у всіх подальших операціях з еколого-геологічної оцінки і прогнозу стану системи.

Другий блок АІС - автоматизована система обробки даних, яка призначена для цілеспрямованої обробки і оцінки інформації, що надходить. Цей блок реалізує функцію кількісної і якісної обробки всієї інформації по еколого-геологічному моніторингу.

Третій блок АІС є автоматизованою прогнозно-діагностичною системою. За допомогою цього блоку розв'язуються питання по складанню перманентних (тобто таких, що безперервно подовжуються, повторюються) прогнозів відповідно до функціональної схеми еколого-геологічного моніторингу. Важливим його компонентом є постійно діюча модель.

Четвертий блок АІС складає автоматизована система розробки рекомендацій і направлена на рішення задач по управлінню еколого-геологічної сі схемою і розробку рекомендацій. Цей блок здійснює як би кінцеву мету і функцію еколого-геологічного моніторингу і надзвичайно важливий. Всі чотири блоки АІС пов'язано один з одним і утворюють єдину постійно функціонуючу ГІС.

Рівні еколого-геологічного моніторингу. Моніторинг стану довкілля у місцях використання надр здійснюється на об`єктовому, місцевому, регіональному та державному рівнях. Результати моніторингу використовуються для розробки адекватних природоохоронних заходів та оцінки їх ефективності.

На *об`єктовому рівні* цей моніторинг відстежує зміни параметрів довкілля на конкретному геологічному об`єкті або у зоні впливу окремого промислового об`єкту. Він забезпечується мережею спостережень у місцях використання надр за зміною фізико-механічних властивостей порід, гідрогеологічним режимом, забрудненням ґрунтів, повітря, підземних і поверхневих вод, яка встановлюється підприємствами або контролюючими органами. Дані, які надходять від цієї мережі та від перевірок контролюючими органами є основою для здійснення підприємствами, що використовують окремі геологічні об'єкти, тих чи інших природоохоронних заходів, спрямованих на мінімізацію негативного впливу на довкілля від їх діяльності, і прийняття відповідних адміністративних рішень, а також для попередження, оцінки та швидкої ліквідації можливих негативних наслідків .

На локальному рівні моніторинг довкілля відстежує зміни у просторі і часі тих самих екологічних параметрів стану довкілля, що і об`єктовий моніторинг, але для груп зближених геологічних об'єктів (родовищ корисних копалин або інших), які використовуються. Для цього узагальнюються дані, які отримані внаслідок спостережень на локальному рівні, а також результати спеціальних еколого-геологічних досліджень, які здійснюються у рамках виконання відповідних галузевих екологічних програм.

На *регіональному рівні* моніторинг довкілля наближений до національного рівня і тому здійснюється шляхом збору і узагальнення інформації, яка надається локальним моніторингом, статистичної звітності гірничодобувних та інших підприємств і результатів спеціальних регіональних досліджень. Відстеження на регіональному рівні у просторі і часі техногенного навантаження, змін стану геохімічних, гідрогеологічних, інженерно-геологічних, геофізичних параметрів геологічного середовища є основою для прийняття відповідних державних рішень, спрямованих на попередження незворотних екологічних змін у стані довкілля регіонів (насамперед інтенсивного використання надр), та для розробки державних і галузевих програм екологічної реабілітації їх територій.

На *державному рівні* моніторинг довкілля, який пов`язаний з використанням надр, здійснюється шляхом збору і узагальнення інформації по всіх гірничодобувних регіонах і складання окремих розділів щорічної Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища України.

Моніторинг мінерально-сировинних ресурсів, система якого була добре налагоджена ще за часів Радянського Союзу, не спрацьовує в сучасних умовах швидких змін геологічного середовища, державних принципів і економічних засад. Наприклад, ліквідація нерентабельних гірничодобувних підприємств, яка супроводжується регіональним підйомом

рівнів підземних вод, призводить до того, що частина запасів корисних копалин, яка знаходиться на державному балансі, взагалі становиться недоступною для видобутку. Крім того, існуюча система моніторингу мінерально-сировинних ресурсів не передбачає оперативного перегляду та затвердження кондицій і запасів корисних копалин, що знижує конкурентоспроможність української сировини на світовому ринку. Все це потребує переоцінки існуючого фонду родовищ за еколого-економічними критеріями.

9.4. Екологічні небезпека, ризик та збитки

Всі природні процеси і явища, пов'язані з геологічним середовищем, та негативні зміни цього середовища внаслідок антропогенного впливу в екологічній геології розглядаються, насамперед, з точки зору їх небезпеки для людини і природних екосистем. У відповідності з цим слід розрізняти наступні поняття:

екологічна небезпека – викликана природними чи антропогенними чинниками, наближена у часі реальна загроза життєдіяльності населення та інтенсивних змін стану довкілля на великих площах із значними матеріальними та соціальними збитками;

екологічна безпека – стан захищеності довкілля (збереження рівноваги природних екосистем) та умов життєдіяльності людей від реальних або потенційних загроз небезпечних впливів природних або антропогенних чинників.

У сучасному суспільстві будь-яка країна намагається побудувати свою систему екологічної безпеки в залежності від того, які екологічні загрози та ризики природного і техногенного характеру існують на її території.

Ризик – це ймовірність виникнення тієї чи іншої події, що спричинена впливом зовнішніх чинників та діяльністю людини і призводить до негативних наслідків для держави, суспільства, для окремого індивіда.

Вважається, що об'єктивне існування ризику зумовлене імовірнісним характером багатьох природних, соціальних і технологічних процесів. На понятті ризику базується методологія дослідження і оцінки небезпеки.

Поняття "*небезпека*" і "*ризик*" відносяться, відповідно, до можливих дій впливу небезпеки, які безпосередньо не залежать від об`єкта і від його реакції. Графічно це відношення зображене на рис. 3.

З рисунка видно, що ризик виникає тільки в області перетину небезпеки з об`єктом і не існує без них. Звідси випливає те, що небезпека - це процес, властивість або стан природи, суспільства чи техніки, які визначають загрозу для життя або благополуччя людей, об`єктів господарства чи навколишнього природного середовища, а ризик – ймовірнісна міра небезпеки.

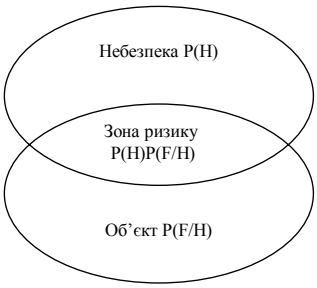

Рис. 3. Схема формування ризику від зовнішньої небезпеки
(за О.Л.Рагозіним)

Таким чином, *ризик – міра кількісного визначення небезпеки*. Вона характеризує векторну (тобто багатокомпонентну) величину, розраховану у більшості випадків за допомогою статистичних даних або імітаційних моделей, яка містить такі кількісні показники [14]:

- величина збитків від дії того чи іншого небезпечного фактора;
- ймовірність виникнення (частота виникнення) небезпечного фактора, що розглядається;
- невизначеність у величинах як збитку, так і ймовірності.

Збиток – фактичні і можливі економічні та соціальні втрати у результаті будь-яких подій, явищ, дій.

Природа не визначає ризиків для себе. Виникнення усіх катастрофічних (з точки зору людини) природних явищ, які б наслідки вони не мали для біосфери – все це змінюється природним шляхом. Катастрофи по відношенню до біоти вцілому слід розглядати як механізми корекції розвитку, або так званій біфуркації. Щодо їх впливу на окремі види, то для них це дійсно катастрофи, які можуть призвести до їх повного вимирання. Водночас людина надто потерпає і від катастрофічних природних явищ, і від наслідків власної техногенної діяльності, яка, в свою чергу, завдає збитків навколишньому природному середовищу, що з часом негативно впливає на ту ж саму людину. Якщо мова йде про ризик для людини, необхідно виокремити: ризик безпосередній чи опосередкований негативними змінами у навколишньому середовищі; ризик смерті, втрати здоров'я, зникнення або пригніченого існування певних видів організмів тощо; ризик, пов'язаний з небезпечними природними явищами, потенційно небезпечним об'єктом і т. д.

В самій структурі ризиків слід виділити три групи: природні, техногенні і соціальні. Існує ще поняття фонового природного ризику.

Рекомендована література

1. Адаменко О.М., Рудько Г.И. Основы экологической геологии. – К., 1995.
2. Богословский В.А., Вахромеев Г.С. Модели воздействия физических и геофизических полей на геологическую среду и живые организмы // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2000. – №1. – С.67–71.
3. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. – Иркутск: Изд–во ИрГТУ, 1995. – 216 с.
4. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М., 1989. – 192 с.
5. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К.: ВГЛ „Обрії", 2004. – 236 с.
6. Гошовський С.В., Рудько Г.І., Преснер Б.М. Екологічна безпека техногенних систем у зв'язку з катастрофічним розвитком геологічних процесів. – Львів - Київ, 2002. – 624 с.
7. Довгий С.О., Шестопалов В.М., Коржнев М.М. та ін. Реструктуризація мінерально-сировинної бази України та її інформаційне забезпечення. – К.: Наукова думка, 2007. – 347 с.
8. Дудкін О.В., Єна А.В., Коржнев М.М. та ін. Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіття України. – Київ: Вид. „Хімджест", 2003. – 400 с.
9. Екологічна геологія. Підручник / За ред. М.М.Коржнева. – К.: ВПЦ „Київський Університет", 2006. – 235 с.
10. Коржнев М.М. Природно-ресурсні обмеження розвитку України // Стратегічна панорама, 2005, № 1, с. 88-93.
11. Коржнев М.М., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Яковлєв Є.О. Чинники впливу антропогенних змін геологічного середовища України на біорізноманіття і людину // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, № 1, 2003. - с.59-69.
12. Методи геоекологічних досліджень: Навчальний посібник / За ред. М.Д.Гродзинського та П.Г.Щищенка. – К.: ВПЦ "Київський університет", 1999. – 243 с.
13. Напрямки вдосконалення природоохоронної діяльності в Збройних Силах України. Науково-методичний посібник. – ННДЦ ОТ і ВБ України. Київ, 2006. – 424 с.
14. Наумов Г. Ноосфера в прошлом и будущем // Наука и жизнь. -2004. – №9. – С.92-97.
15. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Геоэкология. Инженерная геология. Геокринология. – 2001. – №6. – С. 483-488.

16. Перельман А.И., Касимов Б.С. Геохимия ландшафта. Учебное пособие. М.: Астрея – 2000, 1999. –768 с.
17. Рагозин А.Л. Современное состояние и перспективы оценки и управления природными рисками в строительстве // Анализ и оценка природного и техногенного риска в строительстве. – М., 1995. – С.7-25.
18. Соботович Е.В., Бондаренко Г.М., Кононенко Л.В. Геохимия техногенных радионуклидов. – К.: Наукова думка, 2002. – 332 с.
19. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. Учебник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 415 с.
20. Трофимов В.Т. и др. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1997. - 368с.
21. Шестопалов В.М., Францевич Л.І., Балашов В.С. та ін. Автореабілітаційні процеси в екосистемах Чорнобильської зони відчуження. – Київ: МНС та НАН України, 2001. – 252 с.
22. Шнюков Е.Ф., Шестопалов В.М. Яковлев Е.А. и др. Экологическая геология Украины. Справочное пособие. – К: Наукова думка, 1993. – 407 с.
23. White W.M.. Geochemistry. – Washington: Mineral. Soc. Am., 2001. – 700 p.