Київський національний університет
імені Тараса Шевченка

ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Підручник
за редакцією доктора геолого-мінералогічних наук
М.М.Коржнева

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів геологічних
спеціальностей вищих закладів освіти

Київ – 2005

УДК 55; 504; 574
ББК

Авторський колектив:
М.М.Коржнев (розд.1-3, 5, 6), С.А.Вижва (розд.5), О.Є.ошляков (розд.6),
А.П.Гожик (розд.4), С.В. Корнєєнко (розд. 2, 3), І.М.Байсарович (розд.4),
О.С.Аксьом (розд.6), О.М.Сухіна (розд.6)

Рецензенти:
д. геол. н. О.М.Пономаренко,
д. г.-м. н., акад. НАН України, проф. В.М.Шестопалов,
д. т. н Є.О.Яковлєв

Науковий редактор:
д-р геол.-мін. наук М.М.Коржнев,

Рекомендовано до друку вченою радою геологічного факультету
(протокол № 13 від 15.06.2005 року)

Екологічна геологія: підручник. / За ред. д.г.-м.н. М.М.Коржнева **–** Київ: ВПЦ „Київський університет”. **–** 2005. – 257 с.

У підручникові, який розраховано на геологічні факультети вищих навчальних закладів, узагальнено досвід російських, українських і інших вчених-дослідників у вивченні екологічних проблем геологічного середовища та викладені теоретичні основи екологічної геології.

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
Лист № 14/18.2-1886 від 08.08.2005 р.

ISBN

© М.М.Коржнев, С.А.Вижва, О.Є.Кошляков,
А.П.Гожик, С.В.Корнєєнко, І.М.Байсарович,
О.С.Аксьом , О.М.Сухіна, 2005

© ВПЦ „Київський університет”, 2005

Зміст

Стор.

ВСТУП 5

1. ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ ЯК НАУКА *(М.М.Коржнев)*..... 7

1.1. Об'єкт, предмет досліджень і типи задач 7

1.2. Базові поняття 9

1.3. Структура екологічної геології як науки 14

2. РЕСУРСИ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА *(М.М.Коржнев, С.В.Корнєєнко)* 17

2.1. Ресурси, необхідні для життя біоти 17

2.2. Мінерально-сировинні ресурси 24

2.2.1.Запаси мінеральних ресурсів і їх виснаження 26

2.2.2. Мінеральні ресурси техногенних родовищ 34

2.3. Ресурси геологічного простору 35

2.3.1. Визначення та структура ресурсів геологічного простору 35

2.3.2. Ресурси геологічного простору й розширення інженерно-господарської діяльності людства 36

2.3.3. Проблема відновлення ресурсів геологічного простору 50

2.4. Ресурсні критерії оцінки стану еколого геологічних умов 52

3. НЕБЕЗПЕЧНІ ПРИРОДНІ ПРОЦЕСИ (основи екологічної геодинаміки) *(С.В.Корнєєнко, М.М.Коржнев)* 55

3.1. Типи небезпечних природних процесів 56

3.2. Закономірності прояву природних процесів та їх вплив на біоту і людину 59

3.2.1. Катастрофічні процеси 61

3.2.1. Небезпечні процеси 92

3.2.3. Несприятливі процеси 107

3.3. Вплив діяльності людини на геолого-динамічні умови територій 118

3.4. Геодинамічні та інженерно-геологічні критерії оцінки екологічного стану територій 120

4. ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ ГЕОХІМІЧНІ ПОЛЯ (основи екологічної геохімії) *(А.П.Гожик, І.М.Байсарович)* 124

4.1. Природні геохімічні поля і аномалії 125

4.2. Техногенні геохімічні поля і аномалії 168

4.3. Вплив геохімічних полів на живі організми і людину .. 180

4.4. Геохімічні критерії оцінки екологічного стану територій 186

5. ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ 191
(основи екологічної геофізики) *(С.А.Вижва, М.М.Коржнев)* .....
5.1. Природні геофізичні поля і аномалії 191
5.2. Техногенні геофізичні поля 199
5.3. Вплив геофізичних полів на живі організми і людину .. 202
5.4. Геофізичні критерії оцінки екологічного стану територій 209
6. МЕТОДОЛОГІЯ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ 212
(М.М.Коржнев, О.Є.Кошляков, О.С.Аксьом, О.М.Сухіна)
6.1. Геоекосистеми і літотехнічні системи 212
6.2. Оцінка екологічного стану систем 212
6.2.1. Загальні концептуальні підходи 212
6.2.2. Тематичні критерії 217
6.2.3. Просторові критерії 220
6.2.4. Динамічні критерії 222
6.3. Спеціальні методи екологічної геології 223
6.3.1. Еколого-геологічне картографування 223
6.3.2. Функціональний аналіз еколого-геологічної обстановки 225
6.3.3. Еколого-геологічне моделювання 228
6.3.4. Еколого-геологічний моніторинг 232
6.4. Екологічні ризики 238
6.4.1. Загальні поняття та визначення ризику 239
6.4.2. Науково-методологічні основи оцінки екологічних ризиків 242
6.5. Економічна оцінка екологічних збитків 251
Література 259

ВСТУП

Екологія – біологічна наука, яка 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 набула 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 в них якості довкілля. До цього періоду відноситься і початок теоретичного осмислення екологічних питань і формування основних положень сучасної геоекології. Об'єктом її вивчення являється геологічне середовище у широкому розумінні цього терміну – як генетично єдині оболонки Землі: надра (літосфера), гідросфера, атмосфера. Але при розгляді екологічних проблем домінували 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. В Україні, наприклад, розуміння визначальної ролі літосфери у формуванні більшості регіональних екологічних проблем в її межах склалося тільки у зв'язку з проблемою закриття неприбуткових вугільних шахт у Донбасі. 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, але тут цей термін використовується у більш вузькому значенні ніж у геоекології.

Можна стверджувати, що Україна лідирує за масштабами і кількістю екологічних проблем, пов'язаних з геологічним середовищем. Це обумовлено, головним чином, тим, що практично всі її гірничодобувні регіони і райони є дуже старими, і розробка корисних копалин в них досягла критичної межі, як з точки зору своєї прибутковості, так і за зростаючим негативним впливом на довкілля. Без системного розгляду екологічних проблем, пов'язаних з геологічним середовищем, на єдиній науковій основі, якої як раз і є екологічна геологія, неможливе довготермінове пла-

нування збалансованого розвитку не тільки гірничодобувних регіонів України, але й економіки держави в цілому.

Екологічна геологія як наука почала формуватись на початку 90-х років минулого століття багато у чому завдяки дослідженням російських (Г.С.Вахромеєв, В.В.Гавриленко, А.М.Гальперін, Г.А.Голодковська, Д.Г.Зілинг, В.В.Ковальський, В.А.Корольов, Г.Л.Кофф, М.Б.Курінов, Ф.А.Летніков, І.І.Плотников, Б.С.Соколов, В.Т.Трофімов, Є.П.Янін та ін.) і українських (Е.В.Соботович, В.М.Шестопалов, Є.Ф.Шнюков, О.М.Адаменко, Г.М.Бондаренко, С.В.Довгий, В.В.Долін, М.І.Дробноход, Е.Я.Жовинський, М.М.Коржнев, А.В.Лущик, І.М.Малахов, В.І.Павлишин, Г.І.Рудько, Є.О.Яковлєв та ін.) вчених. Особливо слід відмітити вклад у формулювання теоретичних основ екологічної геології наукової школи Московського державного університету ім. М.В.Ломоносова під керівництвом В.Т.Трофімова. Багато положень підручнику цього університету „Экологическая геология” (2002) використані й при складанні нашого підручнику.

Розділ 1.
ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ ЯК НАУКА

Більшість геологічних процесів за довжиною у часі і своїми масштабами значно перевищують як вік існування людства, так можливості впливу на них господарської діяльності людини. Але протягом останнього століття вплив людини на навколишнє природне середовище, у тому числі і на надра, в окремих своїх проявах досягнув масштабів геологічних явищ і почав перевищувати їх адаптивні можливості. Наслідки цього і стимулювали появу екологічної геології як науки.

В системі геологічних наук екологічна геологія розглядає взаємовплив людини і геологічного середовища, що виходить за межі традиційного предмету досліджень геології і є ознакою самостійності. Згідно Є.Ф.Шнюкову [55], об'єктом екологічної геології є верхня частина кори земної кулі, включно з антропогенними морфоструктурами і підземною гідросферою, тобто ті складові геологічного середовища, що в той чи інший спосіб зазнають впливу господарської діяльності людини. Екологічна геологія розглядає ті геологічні процеси, явища і утворення, на які людина безпосередньо чи опосередковано може вплинути (викликати, підсилити, призупинити), наслідками чого є виникнення загрози життю, здоров'ю людини і умовам її життєдіяльності, виведення з 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.

Можна провести аналогію екологічної геології з загальною геологією. Остання об'єдную окремі розділи, які вже давно є самостійними науками геологічного циклу, але ще не втратила свого значення не тільки тому, що вивчення її основ дає загальне уявлення про геологію взагалі, але й тому, що це єдина „система координат" і методологічна основа, яка дозволяє систематизувати всю наявну геологічну інформацію.

1.1. Об'єкт, предмет досліджень і типи задач

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*. Вона досліджується як 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", "техногенне змінена літосфера - біота", або "літосфера - інженерна споруда - біота", прямі і зворотні зв'язки між абіотичечними і біотичними підсистемами, а кінець кінцем - частіше всього вплив "неживого" на "живе", хоча, якщо говорити ширше, - взаємодію літосфери і живого. Всі ці названі системи із змістовної точки зору є системами еколого-геологічними. Головна їх відмінність - наявність живого і неживого компонентів. Біота (як живе) мешкає і функціонує в літосфері або безпосередньо на її поверхні.

З практичних позицій нижня межа цих систем не є стабільною. Для природно-технічних 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 вирішуваних екологічні задачі і специфіка 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 підходити до ґрунту як до мінерально-органогенної породи, яка виконує роль першого геохімічного бар'єру на шляху міграції техногенних забруднень, або середовища розвитку екзогенних процесів, то вона повинна входити в об'єкт екологічної геології. Поверхневі води і атмосфера з позицій екологічної геології розглядаються в ранзі суміжних середовищ, інформація по яких використовується при рішенні 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-технічна система - біота".

Як і більшість геологічних наук, екологічна геологія досліджує задачі трьох типів: морфологічні, ретроспективні і прогнозні [50].

Морфологічні задачі - це задачі, пов'язані з вивченням складу, стану, будови і властивостей аналізованої системи, її еколого-геологічних умов в цілому. По суті, це фіксація сучасних еколого-геологічних умов їх сучасного 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 морфометричні задач. 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 логічній тимчасовій системі (геологічний час); але заключні етапи розглядаються у фізичному часі з точкою відліку від початку ери техногенезу, тобто початки XVIII сторіччя.

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.

1.2. Базові поняття

Базовими поняттями екологічної геології є геологічне середовище, екологічні функції літосфери та еколого-геологічні умови і їх стан. Про геологічне середовище достатньо було сказано у попередньому розділі, тому ми не будемо на ньому зупинятись.

Поняття **екологічні функції літосфери** було введено в 1994 р. В.Т.Трофімовим 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 і 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. Наступив той момент коли до літосфери з екологічних позицій вже не можна відноситеся тільки як до літогенної основи для розселення біоти. Прийшов час оцінити роль літосфери як одного з провідних чинників в становленні екосистем, яку забезпечують існування життя на Землі. Поставлена задача потребує більш детального розгляду природних і техногенне обумовлених властивостей літосфери, що впливають на функціонування біоти.

Літосфера є верхньою твердою оболонкою планети товщиною від 50 до 200 км, що має велику міцність і яка переходить без чіткої різкої межі в нижче лежачу астеносферу. Вона включає земну кору і тверду частину верхньої мантії, відокремлену від земної кори межею Мохоровічича (межа Мохо). Зверху літосфера обмежується гідросферою і атмосферою, частково в неї проникаючими. В літосфері протікають вельми різноманітні геологічні процеси, результати яких у вигляді переміщень земної кори, виверженнь вулканів і інших явищ можна спостерігати на поверхні планети.

Доступна спостереженню поверхнева частина літосфери складена частиною твердими, а частиною відносно рихлими гірськими породами. Основними факторами, що визначають фізичний стан гірських порід в об'ємі літосфери, є температура кількість флюїдів і тиск. Температура в літосфері підвищується з глибиною. При цьому зростають з глибиною також тиск і щільність речовини, що обумовлене дією ваги перекриваючих гірських порід. Так на глибині 30 км температура складає приблизно 900°С при тиску близько $8 \cdot 10^8$ Па.

Неоднорідність літосфери є слідство всієї геологічної історії нашої планети, енергетичної взаємодії головних протилежно спрямованих процесів, які слід розглядати як механізм зворотного зв'язку саморегулювання і поступальної еволюції Землі. Енергію, що витрачається на геологічні і біологічні процеси, Земля одержує в основному від Сонця. Проте і в самій літосфері - в земній корі і в мантії - також існують джерела енергії, до яких слід відносити, в першу чергу, реакції розпаду радіоактивних елементів, що протікають з виділенням великої кількості тепла.

Безперервний масе- і енергообмін літосфери з гідросферою, атмосферою, космічним простором і з внутрішніми глибинними сферами Землі, таким образом, є тим механізмом, який лежить в основі всіх спостережуваних в літосфері і на її поверхні геологічних і біологічних процесів. Взаємовідношення останніх є своєрідною реалізацією екологічних функцій літосфери. В такому контексті 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 миру, які населяють нашу планету. Ці якості літосфери виникають з особливостей її будови, стану і геологічних процесів, що відбуваються усередині неї і на її поверхні і реалізуються через її екологічні функції.

Поняття екологічних функцій літосфери визначається наступним чином [50]: *під екологічними функціями літосфери розуміється все різноманіття функцій, що визначають і відображають роль і значення літосфери, включаючи підземні води нафта, гази, геофізичні поля і геологічні процеси, які в ній здійснюються, в життєзабезпеченні біоти і, головним чином, людського співтовариства*. Пріоритетне виділення в екосистемі людській популяції обумовлено її активною дією на середовище незаселеного, 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.

Отже, 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.

Поняття **еколого-геологічні умови і їх стан** 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 інтенсивності 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 [50]: *стан еколого-геологічної обстановки (умов) - тимчасовий 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 тимчасовий 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 тимчасовою 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 критерії* оцінюють площу або об'єм порушень за перерахованими вище тематичними показниками. *Динамічні критерії* характеризують швидкість наростання несприятливих змін, виявлених по тематичних показниках.

Із змістовної точки зору всі ці критерії достатньо багатоманітні: 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) критерії 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 критеріїв - це оцінка ступеня забруднення літосфери через 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 критерії оцінки розроблені украй слабо, за винятком оцінки рівня радіаційного випромінювання.

1.3. Структура екологічної геології як науки

Загальне поле логічної структури екологічної геології 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 і геологія корисних копалин. 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 динаміка (швидкість, характер руху) літосфери, її компонентів і зміна екологічних функцій обумовлені їх природними властивостями, виглядом і інтенсивністю взаємодії із зовнішніми, у тому числі техногенними, середовищами;

закон відповідності при взаємодії організмів з навколишнім середовищем;

закон відповідності характеру розвитку суспільства і стану природного середовища (основний екологічний закон).

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 [50]:

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 (геооболонки).

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, 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 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 і геопатогенних аномалій (неоднорідностей земної кори) 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. Для цього притягуються 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-геологічна проблема. Крім того еколого-геологічні дослідження передбачають широке використовування інформації медико-біологічного і соціально-економічного характеру.

Розділ 2.
РЕСУРСИ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

Під ресурсною екологічною функцією літосфери розуміють роль мінеральних, органічних, органо-мінеральних ресурсів літосфери, а також її геологічного простору для життя і діяльності біоти як біоценозу, так і людського співтовариства як соціальної структури [50]. Об'єктом вивчення при такому підході є особливості складу і будови літосфери зі всіма їх компонентами, що впливають на можливість і якість існування біоти, а предметом - знання про сировинний потенціал літосфери, придатності її простору для мешкання біоти (включаючи людини як біологічного виду) і розвитку людства як соціальної структури.

Запропоноване розуміння ресурсної екологічної функції літосфери визначає її лідируюче, базове положення по відношенню до геодинамічній, геохімічній і геофізичній функцій. Вона не тільки визначає комфортність „мешкання біоти", але і саму можливість її існування і розвитку. Ресурсна функція є базовою по відношенню до інших екологічних функцій літосфери органічно з ними пов'язана. Будь-які катастрофічні ситуації антропогенного і природного походження з екологічних позицій слід розглядати як через оцінку процесів (геологічних, фізико-хімічних, геофізичних), що впливають на комфортність мешкання біоти і медико-санітарні умови, так і через втрати мінерально-сировинних ресурсів літосфери і об'єму геологічного середовища, придатного для розселення і господарського використання.

Ресурсна функція літосфери досить багатогранна і включає наступні основні категорії: мінеральні ресурси літосфери, необхідні для життя біоти (виключаючи людське співтовариство як соціальну структуру); мінеральні ресурси, необхідні для людського співтовариства як соціальної структури; ресурси геологічного простору - площадкові і об'ємні ресурси літосфери, необхідні для розселення і існування біоти, включаючи людину як біологічний вигляд і людства як соціальну структуру.

2.1. 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 розріз-

няти десь з молекулярного рівня, а потім вони мають свої рівні організації.

Рослини і живи організми „населяють” геоморфологічні елементи поверхні нашої планети [17]. Але 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 геоморфологічний структурний елемент поверхні 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 – частини поверхні Землі 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. 2.1 і 2.2.

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.

Таблиця 2.1.

Середній хімічний склад білків, жирів і вуглеводів %
(за Г.А.Богдановським) [50]

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

Таблиця 2.2.

Середній хімічний склад рослини і людини % сухої речовини
(за Г.А.Богдановським) [50]

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

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 за-

мкнуті шляхи циркуляції хімічних елементів, що входять до складу клітинної протоплазми, із зовнішнього середовища в організми і знову в зовнішнє середовище. В такому круговороті речовини він розрізняються два фонди - резервний і обмінний Перший, як правило, представлений небіологічним компонентом, в якому знаходиться велика маса речовин, що рухаються повільно, другий – фонд швидкого обміну між організмами і їх оточенням. На цій основі їм виділяються два типи біогеохімічних циклів: круговорот газоподібних 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, що є. 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 не що 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 мисливствознавство. 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 виключен-

ням 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 вигляду. 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.

Слід зазначити, 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 і кількістю 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. Все більше залучення підземних вод у пітне водопостачання спостерігається й в Україні.

Дефіцит в питній воді, в основному, обумовлений трьома головними чинниками: відсутністю достатніх ресурсів підземних вод у зв'язку з при-

родними 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-кримський артезіанський басейн. 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 вікові запаси найціннішої питної води з мінералізацією 0,5 г/л (більше 20 км^3) і близько 10 км^3 прісної води стало солонуватою. При цьому було 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 КМА привела до зниження запасів підземних вод у прилеглій частині ДДЗ в Україні.

Загрози забруднення горизонтів підземних вод виникають при закритті вугільних 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. Воно може привести до забруднення прісних вод неглибоких горизонтів при фільтрації нафти і високо мінералізованих вод по зонах тріщинуватості.

Питна вода – найцінніший ресурс, бездумне і безконтрольне витрачання (у тому числі і забруднення) якого може привести, а місцями вже привело до важких екологічних і соціальних наслідків.

2.2. Мінерально-сировинні ресурси

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 промисло-

вості 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 теплопостачання, 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.

В даний час з надр видобувається близько 200 видів корисних копалин. За оцінками Г.С.Вахромєєва [8], за один рік з надр вилучається близько 100 млрд. т мінеральної сировини, а динаміка їх кількісного складу така: у XVIII столітті вилучалося 18 хімічних елементів і з'єднань, у XIX столітті - 35, в 1917 році - 64, в 1975 році - 87, а зараз – всі 104 елемента таблиці Д.І.Менделєєва. За прогнозами деяких економістів запаси багатьох видів мінеральної сировини (при сучасних технологіях їх отримання) вичерпаються до 2050 р., а свинцю і цинку вистачить на початок XXI в.

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 приблизно в рівних з ними обсягах вміщуючі і розкривні породи, то загальний обсяг цих видобутих корисних копалин і порід сягає 30 млрд. т, що близько порівнюється з обсягами накопичених в Україні твердих відходів.

Мінеральна сировина є основою матеріального виробництва і використовується у всіх галузях господарства: в паливно-енергетичному комплексі, промисловості і сільському господарстві, а також в технологі-

чних 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.

2.2.1. Запаси мінеральних ресурсів і їх виснаження

Якщо розглядати проблему забезпеченості людства запасами мінеральних ресурсів в історичному аспекті, слід виділити роль і значення сучасного етапу розвитку цивілізації. Він може бути охарактеризований як перехідний від індустріального до постіндустріального. Характерними ознаками постіндустріального суспільства є стабілізація чисельності населення (різниця між народжуваністю і смертністю AGR→0) і питомого споживання енергії (співвідношення реального і оптимального значень споживання енергії e/e*→1) незалежно від клімату.

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 (табл.2.3). Але і потенційні (ще не відкрити і не підраховані) запаси мінерально-сировинних ресурсів є об-

меженими. При теперішніх темпах використання цих запасів вистачить лише на декілька поколінь. Трапиться це скоріше чи пізніше буде залежите 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.

Таблиця 2.3.

Світова забезпеченість людства мінерально-сировинними ресурсами [50]
(чисельник – на скільки років вистачить запасів, знаменник - до якого року)

Мінеральні ресурси	Забезпеченість (в роках) за літературними джерелами				
	Г.А. Мирлин, 1983	Земля и человечество, 1985	С.П.Горшков, 1992	Геологическая служба.., 1993	Інші джерела
Паливно-енергетичні:					
нафта	19/2012	35/2020	25/2015	45,7/2036	41/2028
газ	39/2022	45/2030	35/2025	64/2054	59/2046
вугілля	172/2155	125/2110		330/2320	218/2205
уран				30-40/ 2020-2030	
Чорні і легуючі метали:					
залізо	75/2058	70/2055		172/2162	224/2211
марганець	112/2095	105/2090		120/2110	
хром				270/2260	
титан				65/2055	
ванадій				100/2090	
вольфрам	17/2000	20/2005	10/2000	84/2074	
молібден	57/2030	45/2030		50/2040	
Кольорові метали:					
мідь	49/2032	50/2035		54/2044	
кобальт	33/2016	35/2020	25/2015		
свинець	27/2010	30/2015	20/2010	25/2015	20-50/ 2010-2040
Цинк	24/2007	30/2015	15/2005	25/2015	20-50/ 2010-2040
олово	15/1998	20/2005	10/2000	26/2016	
алюміній	62/2045	70/2055		350/2340	
сурма		25/2010	15/2005		38/2036
ртуть	19/2002	23/2008	10/2000		
Золото				21/2011	
Алмази			10/2000	26,5/2017	26-28/ 2016-2018

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, вірогідність відкриття нових великих і навіть середніх родовищ низька, а розробка дрібних родовищ часто є нерентабельною.

Багатство України на мінерально-сировинні ресурси обумовило прискорений розвиток гірничодобувної і переробної галузей за часів Радянського Союзу. Але родовища поступово відпрацьовувались, видобування корисних копалин переміщувалось в інші регіони СРСР. Україні залишались важкодоступні запаси, освоєння яких ставало мало прибутковим, а також величезна гірничодобувна галузь зі зношеним обладнанням, у якій була зайнята значна частина населення. Все це обумовило як невиправдано великий розмір гірничодобувної і переробної галузей, так і значні деформації в цих сферах народного господарства. Розвиток цих галузей (а разом з ними і геологічної) набув в Україні гіпертрофованого і незбалансованого характеру. Про це наглядно свідчать оцінки інтенсивності використання надр України в порівняні з іншими державами (табл. 2.4).

Стан проблем використання мінерально-сировинних ресурсів у будь-якій країні багато у чому залежить від історії, тривалості і інтенсивності використання надр, природних особливостей та рівня їх економічного розвитку. Для держав, інтенсивно використовують мінерально-сировинні ресурси, умовно можна виділити три етапи освоєння надр (геологічного вивчення, інтенсивного використання та виснаження), які відображають зміни певних економічних показників і показників стану геологічного середовища (рис. 2.1).

Росія знаходиться на перехідному етапі між етапом геологічним вивченням надр та етапом їх інтенсивним використанням. Це пояснюється тим, що країна має велику територію, ступінь геологічного вивчення якої є відносно низькою. В той же час Росія веде досить інтенсивне використання вже розвіданих родовищ, і її економіка основана, в основному, на

розвитку мінерально-сировинного комплексу (насамперед, видобутку нафти і газу).

Таблиця 2.4.

Видобування корисних копалин на 1000 кв. км. суші в середньорічному виміру за 1970-1987 роки [2]

Країна	Нафта з конденсатом, тис. т.	Газ природний, млн. $м^3$	Вугілля, тис. т.	Залізна руда, тис. т.	Марганцева руда, тис. т.	Виробництво цементу, тис. т.
Велика Британія	349,6	142,9	480,3	-	-	63,4
Казахстан	7,7	1,7	34,2	8,4	-	2,2
Канада	7,7	8,2	3,8	4,4	-	1,0
Німеччина (об'єднана)	14,4	49,6	1352,2	8,6	-	123,2
Росія	29,5	17,2	22,7	5,6	-	4,0
США	46,2	58,5	71,9	7,0	-	7,6
Україна	16,0	95,6	351,6	211,9	10,7	32,5
Франція	3,5	15,3	41,7	57,1	-	49,5
Японія	1,6	6,2	52,4	2,3	-	201,5

Сполучені Штати Америки знаходяться на етапі інтенсивного використання надр. Таке положення країни пояснюється тим, що геологічна галузь досить розвинена, проведена розвідка запасів на майже усій території. Матеріальне та технічне забезпечення знаходиться на дуже високому рівні, що дозволяє економічно раціонально їх видобувати. В той же час площа досить велика, а територія Аляски досить проблемна для інтенсивного використання багатьох видів корисних копалин. Гірничодобувні компанії США вкладають великі кошти у видобуток і переробку сировини в інших країнах з відносно низькими екологічними стандартами і дешевою робочою силою, що дає додаткові прибутки.

Україна вже знаходиться на початку етапу виснаження надр. Висока ступень геологічного вивчення території, виснаження якісних запасів основних видів мінеральної сировини, невелика вірогідність відкриття нових великих і навіть середніх за запасами родовищ обумовлює недоцільність вкладення занадто великих коштів у пошукові і геологорозвідувальні роботи. Більш приоритетним становиться технологічне переоснащення гірничодобувної і переробної галузей, зношеність основних фондів яких є дуже великою. В той же час в економіці країни мінерально-

сировинний комплекс і безпосередньо пов`язана з ним чорна металургія є основними.

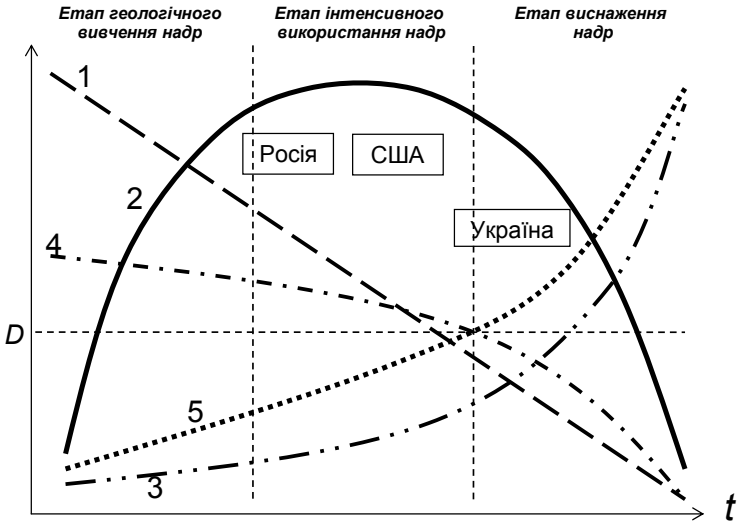

Рис. 2.1. Етапи освоєння надр та характерні зміни економічних і екологічних показників стану мінерально-сировинних ресурсів і геологічного середовища [28]

1 - відношення прогнозних ресурсів до розвіданих запасів; 2 - загальна віддача капіталовкладень у розвідку і експлуатацію; 3 - ступень залучення вторинних ресурсів і замінників сировини; 4 - стійкість геологічного середовища; 5 - витрати на охорону довкілля і екологічну реабілітацію територій; *D* - асиміляційний потенціал геологічного середовища.

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; 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.

Відповідно до теорія виснаження Г.Хотеллінга, основні положення якої були сформульовані на початку минулого століття, втрати корисності цих ресурсів за рахунок їх консервування компенсуються з часом приростом їх цінності.

Експлуатація родовищ мінеральної сировини тісно пов`язана з політикою їх виснаження і, відповідно, - вилучення і використання динамічної ренти. Великі гірничодобувні компанії (чи держава в цілому) визначають стратегію освоєння мінерально-сировинної ресурсів, виходячи з власних інтересів. Закономірності, які знайдені Г.Хотеллингом, дозволяють планувати діяльність у цій сфері в часі.

Визначати стратегію розвитку мінерально-сировинного комплексу дуже важко, тому що подорожчання сировини з часом підштовхує її споживачів до розробки ресурсозберігаючих технологій чи пошуків її замінників. Науково-технічний прогрес в цій сфері суттєво впливає на попит, а значить і на ціну мінеральних ресурсів. Фактично змінюється структура споживання. В країнах Заходу постійні флуктуації структури споживання мінеральної сировини, науково-технічний прогрес, гнучка зовнішньоторгівельна політика видозмінюють процес виснаження. В Росії, Україні і інших країнах пострадянського простору попит і ціна на мінеральну сировину практично не впливають на її видобуток внаслідок дуже інертної структури гірничодобувної промисловості, її обтяженості основними фондами і великої кількості працівників та недоліків структури державного управління [12].

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.

Під час економічного становлення будь-якої держави освоюються насамперед райони, де є сировина, вже існує розвинута інфраструктура і присутні великі людські ресурси. З цієї точки зору багатонаселена Україна, де ще у минулому столітті були відкриті родовища нафти, газу, кам`яного вугілля, заліза, була дуже привабливим регіоном для проведення індустріалізації. Протягом декількох десятиріч вона перетворилась на сировинний регіон Радянського Союзу. Все це обумовило невиправдано великий розмір деяких галузей (гірничодобувної, переробної, металургійної та інших) і, відповідно, значні деформації в народно-

господарському комплексі. Окремі галузі набули в Україні гіпертрофованого і незбалансованого розвитку.

Сучасні структурні характеристики економіки України показують її явно виражену сировинну спрямованість, а з урахуванням стану матеріально-технічної бази виробництва - серйозну екологічну загрозу. Більш того, є наявні загрози технологічній і економічній безпеці країни. Україна все активніше стає сировинним придатком, спеціалізуючись на прискореному розвитку добувних галузей, причому в структурі експорту переважає не готова, а проміжна продукція і сировина - більше 30 %.

Відносно повільні темпи падіння виробництва продукції видобувних галузей дозволили їм збільшити частку своєї продукції у загальній структурі промисловості України більш як у 2 рази (з 21,2 відсотка у 1990 році до 42,6 відсотка у 2000 році). Частка чорної металургії у загальній структурі промисловості зросла в 2000 році у порівнянні з 1990 роком у 2,5 разу, паливної промисловості – у 1,8 разу, кольорової металургії – у 2,3 разу. У той же час скоротився видобуток нафти з конденсатом у 1,4 разу, природного газу – у 1,6 разу, вугілля – у 2 рази, товарної залізної руди – у 2,2 разу та товарної марганцевої руди – у 3,6 разу. Основним чинником зростання частки видобувних галузей у загальній структурі промисловості є перехід на світові ціни на мінеральну сировину, збереження ринків залізної, марганцевої та титанової руд, облицювального каміння та деяких інших видів корисних копалин.

Але справа не в тому, що Україна є сировинною державою, яка постачає мінерально-сировинні ресурсі і продукти їх переробки в інші країни. Економіка, деформована в бік важких галузей виробництва, потребує в 4-5 разів більше матеріальних, капітальних, енергетичних, мінеральних та інших ресурсів у порівнянні з економіками країн зі збалансованою структурою промисловості, в яких значну долю складають легка промисловість, сфера послуг та наукомісткі сучасні виробництва. Надмірного використання природних ресурсів не може витримати економіка будь-якої країни, особливо при відсутності ринкових механізмів саморегуляції.

Накопичення значних екологічних наслідків довготривалого характеру. Виснаження надр і формування структури промисловості, переобтяженої важкими галузями виробництва супроводжуються накопичення 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.

Деформована в бік важких галузей виробництва структура економіки і виснаження мінерально-сировинної бази з накопиченням негативних

екологічних наслідків сприяло розвитку глибокої економічної кризи в Радянському Союзі в середині 80-х років, яка фактично і призвела до його розпаду. Західні країни пережили таки кризи ще в 70-х роках минулого століття, з яких вони вийшли шляхом структурної перебудови економіки зі скороченням важких галузей виробництва та через розвиток наукомістких виробництв. Економічна криза в більшості держав пострадянського простору тільки поглибилась. До неї приєдналась глибока екологічна криза. В цих кризах і знаходиться Україна в даний час, незважаючи на певні ознаки стабілізації її економіки, яка досягнута внаслідок стабілізації видобутку мінеральної сировини. Але, за прогнозами фахівців, в Україні вже в цьому десятиріччі почнеться так звана „криза основних фондів". Зношеність обладнання на підприємствах гірничодобувної, переробної та інших важких галузей виробництва є дуже великою (до 70-80 %). Країна може ввійти у період техногенних надзвичайних ситуацій і катастроф.

Враховуючи вищенаведене на сучасному етапі для України в стратегічному плані дуже важливо визначитись в який бік треба рухатись в сфері геологічного вивчення і використання надр. Чи треба прикладати таки значні зусилля з нарощування запасів мінеральної сировини при взятих на баланс запасах, яких по значній кількості видів корисних копалин вистачить на сотні років? Чи треба нарощувати видобуток окремих видів корисних копалин, запасів яких вистачає, але складні гірничогеологічні умови і екологічні наслідки розробки родовищ призводять тільки до економічних збитків? Чи треба вкладати великі кошти в пошуки і розвідку родовищ видів мінеральної сировини таких як нафта і газ, запаси яких в Україні у значній мірі виснажені, ймовірність відкриття великих і середніх родовищ є низькою, а розробка дрібних родовищ у Закарпатті чи на шельфі Чорного і Азовського морів несе велику загрозу для існування унікальних рекреаційних зон?

Безумовно, питання вибору стратегії розвитку мінерально-сировинного комплексу дуже важливі для майбутнього нашої держави і мають широко обговорюватись не тільки у владних структурах, але й у колах науковців і практиків.

Дещо окремо від мінерально-сировинних ресурсів стоять *підземні води.* Як ресурс літосфери, необхідний для функціонування і розвитку людського суспільства, їх переоцінити важко. Це і водоємні технології, і джерела енергії, і зрошувальне землеробство, і оазиси як центри стародавніх цивілізацій в аридних зонах планети. Їх перевагою як ресурсу в порівнянні з поверхневими водами є те, що їх запаси теж поновлюються, але не мають істотних сезонних і багаторічних коливань (в природних умовах).

Забезпеченість ресурсами підземних вод України в цілому достатньо висока. В межах території України в останні роки використовується біля 6,0 км^3/рік підземних вод. Прогнозні ресурси підземних вод оцінюються в 21 км^3/рік, з яких 13,0 км^3/рік вважаються непов`язаними з річним стоком.

2.2.2. 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.

Проблема надмірного накопичення в Україні різноманітних відходів промисловості і необхідність їх утилізації в останні роки стає дедалі актуальнішою [2]. На її території зосереджено приблизно 20 млрд. тонн твердих промислових відходів за щорічного обсягу їх накопичення у 167-214 млн. тонн. Загалом в Україні щороку утворюється близько 18% відходів вуглевидобутку і вуглезбагачення, 10% металургійних шлаків, 4% попелошлакових відходів електростанцій та місцевих котелень. Порівняно з 1996 р. у 2002 р. обсяги утворення промислових відходів зросли на 27,7% і становили 214 млн. тонн. Утилізується в Україні приблизно 20-43% річного їх утворення. Оцінка місць складування твердих відходів як техногенних родовищ є дуже важливим питанням для нашої країни.

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.

2.3. Ресурси геологічного простору

2.3.1. Визначення та структура ресурсів 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 підкоряється закономірностям, що відносяться більш до області біології (при розселенні людини - до області історії), ніж до геології. 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, геофізи-

чних 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.

2.3.2. Ресурси геологічного простору й розширення інженерно-господарської діяльності людства

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. 2.1).

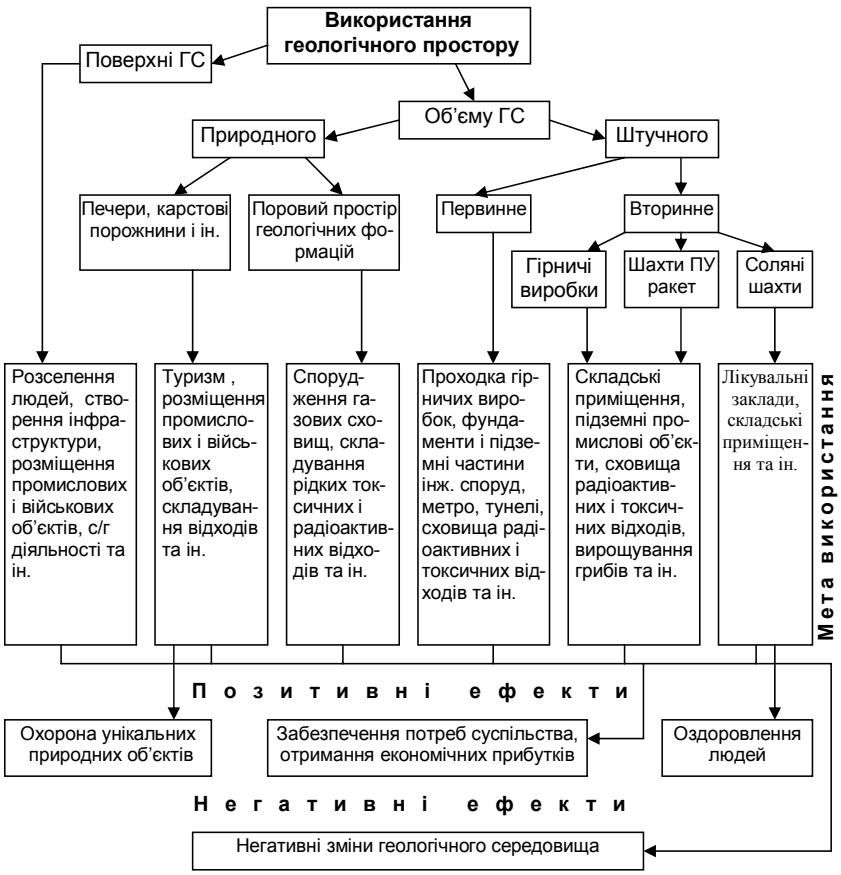

Рис. 2.1. Напрямки та ефекти використання геологічного простору

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 при-

кладом 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 579 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.

Ресурси геологічного простору й урбанізація. Особливо гостро, навіть у порівняно благополучних із погляду загальної територіальної забезпеченості країнах, стоїть питання дефіциту площ на урбанізованих територіях, де відзначається підвищена концентрація промислових підприємств і населення.

Склад і напруженість проблем геологічного простору міста залежить від його масштабу, природних умов міської території і навколишньої місцевості, характеру й масштабів виробництва, досконалості інженерних мереж і комунікацій, рівня культури городян. Урбанізовані території є великим комплексом інженерних об'єктів, площ зелених насаджень, вільних земель, місць зайнятих різного роду матеріалами, відходами та ін.

Про темпи урбанізації красномовно свідчать наступні цифри: на початку XIX ст. в містах світу проживало 29,3 млн. чоловік (3 % населення Землі), до 1900 р. - 224,4 млн. (13,6 %), до 1950 р. - 729 млн. (28,8 %), до 1980 р. - 1,821 млрд. (41,1 %), до 1990 р. - 2,261 млрд. (41 %), на теперішній час (2005 р.) - 3,2 млрд. (49,2 %), а за прогнозами експертів ООН до 2030 р. в містах буде проживати вже 5 млрд. чоловік (61 %). На даний час у світі існує близько 220 міст-мільйонерів, що мають більше 1 млн. жителів та 20 міст-мегаполісів із населенням більш ніж в 20 млн. жителів.

В Україні розташовано п'ять міст мільйонерів: Київ - 2,63 млн., Харків - 1,62 млн., Дніпропетровськ - 1,19 млн., Донецьк - 1,12 млн. та Одеса - 1,10 млн. В цілому чисельність міського населення України на початок 1997 року становила 34,5 млн. жителів (67,8 % загальної чисельності населення держави). Усього землі населених пунктів України займають 6,7 млн. га

(11,1 % до загальної території), у т. ч. міст та селищ - 17 млн. га (25,5 %), сільських населених пунктів - 5,0 млн. га (74,5 %).

У м. Києві на території в 836 км^2 зосереджено 2,63 млн. чоловік населення, а з передмістями 3,8 млн. чоловік. При такій щільності населення створюється специфічна ресурсна картина, при якій у якості придатних під забудову, слід розглядати території зі складними інженерно-геологічними й екологічними умовами (наприклад, території колишніх звалищ тощо). Висока вартість землі й житла в мегаполісах, завдяки застосуванню специфічних архітектурних рішень (підвищення поверховості будівель, використання підземного простору та ін.), обумовлює окупність навіть дуже дорогих заходів інженерної підготовки території - створення штучних основ, рекультивація території тощо.

Більш напружена ситуація складається з ресурсом міський території під зелені зони. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я для нормального життя в сучасному великому місті потрібно мати 50 м^2 зелених насаджень загального користування та 300 м^2 лісів із розрахунку на кожного міського жителя, але в умовах мегаполіса територіальний ресурс, нажаль, економічно вигідніше використовувати під будівництво адміністративних і житлових будівель, ніж під закладку зелених насаджень. Наприклад, загальна площа всіх зелених насаджень у межах міської смуги м. Києва становить 56,5 тис. га, у тому числі площа зелених насаджень загального користування - 5,4 тис. га, тобто на одного мешканця міста відповідно припадає 214 м^2 та 20,4 м^2 насаджень.

Обмежуючим моментом під час вибору місць під житлові зони в межах міста, також можуть бути геопатогенні зони (ГПЗ) різного походження, наприклад, викликані геологічними розломами, карстовими порожнинами, руслами колишніх річок тощо, де генерується аномальна енергетика. В місцях знаходження ГПЗ змінюються геомагнітні поля, рівень радіації, електропровідність ґрунту та інші параметри, все це згубно впливає на здоров'я людини. Характерно, що сьогодні більшість ГПЗ не піддається ліквідації ніякими відомими методами (окрім деяких зон техногенного походження). Нажаль, в Україні на даний момент це питання ще не достатньо вивчено і часто не береться до уваги (наприклад, у Росії вже існує проект будівельних норм і правил, в яких передбачена перевірка наявності ГПЗ на території будівництва – СНиП 11-02-95 та СНиП 30-01-95), хоча воно є важливим при визначенні ресурсу геологічного простору для розселення людини.

Специфічною проблемою ресурсів геологічного простору міст-мегаполісів є брак площ під організацію кладовищ. Наприклад, в м. Києві існує 29 кладовищ загальною площею близько 560 га, а відкритих цвинтарів, де ще продовжують ховати, всього два. При існуючому режимі похо-

вань, що вимагає постійного залучення додаткових площ, відведення земель під кладовища проводиться без урахування геолого-гідрогеологічних умов, тобто як ресурс геологічного простору розглядаються території, що раніше вважалися непридатними. Очевидно, що все важче знаходити в межах великих міст й їх околиць території, що відповідають прийнятим нормативним актам і задовольняють наступним умовам - сухі водопроникні ґрунти (піски, супіски та суглинки), які розташовані на піднесених місцях із природним дренажем і глибиною до рівня ґрунтових вод не менше ніж 2 м. Відзначимо, що території, відчужувані під кладовища, по етичних міркуваннях вибувають із будь-якого використовування на невизначено тривалий термін (за санітарно-гігієнічними нормативами цей термін досягає приблизно 100 років).

Ресурси геологічного простору й складні цивільні та промислові об'єкти. Ресурси геологічного простору під розміщення більшості складних інженерних споруд, що зумовлюють великий тиск на ґрунт (0,3 - 0,5 МПа і більш), зокрема, таких об'єктів, як теплові й атомні електростанції, багатоповерхові будинки тощо, визначаються наявністю сприятливих інженерно-геологічних умов в районі передбачуваного будівництва. Через свою специфіку ці споруди, як правило, розташовуються на добре освоєних територіях, часто в межах міста або в безпосередній близькості від нього. Це обумовлює особливі вимоги до їх стійкості й безпеки не тільки з інженерних, але і з екологічних позицій.

Подібне розташування таких об'єктів через загальний дефіцит ресурсів геологічного простору на цих територіях нерідко припускає їх будівництво на ділянках із достатньо складними інженерно-геологічними умовами. Така ситуація вимагає віддати перевагу конструктивним заходам забезпечення стійкості, а не вибору найбільш оптимальної з інженерно-геологічної точки зору ділянки.

Будівництво великої теплової електростанції (ТЕС) потребує відмежовування 2-3 км^2 земельної площі, не враховуючи територію під золовідвали і водосховища-охолоджувачі (останні збільшують територію під ТЕС ще на 50 %), проблемою є громіздкість ліній передачі й розподілу електроенергії, що в кінцевому рахунку також скорочує ресурс геологічного простору.

Основними обмеженнями при виборі ділянки під будівництво атомних електростанцій (АЕС) є висока сейсмічність території (більше 8 балів); наявність потужних (більше 40 м) товщ здатних до просідання водорозчинних ґрунтів, що сильно стискаються й розріджуються; наявність активних розломів, карсту та інших потенційно небезпечних екзогенних геологічних процесів; високий рівень підземних вод (менше 3 - 5 м); наявність добре проникних ґрунтів та ґрунтів із низькою сорбційною ємністю. Забороняється будівництво АЕС над джерелами водопостачання із затвер-

дженими запасами підземних вод, якщо не може бути обґрунтована неможливість забруднення їх радіоактивними речовинами. У разі планового безаварійного функціонування атомної станції її вплив на загальний ресурс геологічного простору вичерпується власне площею, яку вона займає; іноді розвиток істотного підтоплення прилеглих територій, додатковий тепловий та радіаційний вплив й як наслідок активізація деяких небезпечних геодинамічних процесів спотворює ресурсну картину, обмежуючи їх використовування і викликаючи зміни в біоценозах, що склалися.

Ресурси геологічного простору і гідротехнічне будівництво. Яскраво вираженою специфікою, із погляду необхідного ресурсу геологічного простору, є гідротехнічне будівництво. Ресурс простору в першу чергу визначається наявністю водотоків і ділянок із сприятливими інженерно-геологічними умовами на них. Значне гідротехнічне будівництво, що здійснювалося в недалекому минулому, значною мірою вичерпало ресурс геологічного простору України. На території України побудовано 1,2 тис. водосховищ (загальний об'єм води в них досягає 55 млрд. м^3) та понад 28 тис. ставків (близько 3 млрд. м^3), таким чином із 60370 тис. га земельного фонду під водою водосховищ і ставків знаходиться 11733 тис. га, або 19 %.

Історично й економічно склалося так, що вздовж крупних водотоків зосереджені міста, населені пункти та великі сільськогосподарські угіддя. Це накладає додаткові обмеження при виборі ділянок під розміщення гідротехнічних споруд, особливо на рівнинних територіях, де затоплюються значні площі. Відзначимо, що гідротехнічне будівництво вимагає не тільки значних територіальних ресурсів, але і значно впливає на загальний ресурс і якість геологічного простору. Цей вплив виражається в істотній зміні території, прилеглої до водосховищ. Так, для водосховищ на рівнинних річках характерне утворення великих мілководь, що не стільки збільшують корисний об'єм водосховища, скільки створюють екологічні проблеми, аж до зміни клімату. На прилеглих до водосховищ територіях активно розвиваються такі процеси, як заболочування, підтоплення, зсувоутворення та ін., а також відбувається значна переробка берегів водосховищ, що обмежує господарське використовування цих територій і спричиняє заміщенню існуючих біоценозів, що в результаті скорочує загальний ресурс геологічного простору. Так, в результаті будівництва каскаду із 6 водосховищ на Дніпрі (із сумарною площею водного дзеркала 6950 тис. км^2 і загальним об'ємом 43,8 км^3) було затоплено 709,9 тис. га земель, із них 261,5 тис. га - ліси та мілколісся, 177,6 тис. га - сінокоси та пасовища, 73,2 тис. га - орні землі, сади й садиби та 197,6 тис. га - піщані землі та землі, не придатні для використання. Протяжність берегової лінії дніпровських водосховищ становить 3079 км, причому 1110,9 км - абразійно-ерозійні береги, які по-

требують закріплення, а смуга ерозійної активності шириною від 0,1 до 1 км охоплює третю частину лівого берега Дніпра. Усього необхідно закріпити 302,7 км берегів водосховищ. Унаслідок руйнування берегів уже втрачено 6176 га землі. За останні 35 років до водосховищ надійшло 337 млн. $м^3$ продуктів руйнування берегів.

У зонах водосховищ тривають процеси підтоплення та затоплення земель. На незахищених масивах у зонах впливу водосховищ площі підтоплених земель становлять 90 тис. га, а на незахищеному мілководді - близько 133 тис. гектарів. Нині в басейні вже підтоплене понад 100 міст та селищ міського типу. З цими процесами пов'язані такі негативні явища, як трансформація земель, деградація рослинного й тваринного світу, замулення та заболочення, евтрофікація водойм.

Крім того, території, які були відчужені під водосховища, вибувають із загального ресурсу на час, що значно перевищує термін експлуатації гідровузлів. Донні мули, існуючих водосховищ (наприклад, тільки на дні Київського водосховища за час його існування вже накопичилось понад 600 млн. т мулу), настільки забруднені техногенними домішками та радіонуклідами, що практично не підлягають рекультивації. У разі спуску водосховищ, території вкриті цими осадками, можуть виявитися не тільки непридатними для господарського освоєння, але і, через вірогідне вітрове рознесення, будуть джерелом додаткової екологічної небезпеки для прилеглих територій, якість ресурсу геологічного простору яких, також буде неминуче порушено.

Ресурси геологічного простору гірничодобувних регіонів. Важливим є питання дефіциту геологічного простору в районах розвитку гірничодобувної і гірничопереробної галузей промисловості. На масштабність і рівень впливу цих галузей на природу звертав увагу ще В.І.Вернадський: "…Рудна діяльність людства є одним із великих біогеохімічних процесів сучасної геологічної епохи і вносить нове в геохімію всіх хімічних елементів" [9]. Завдяки видобутку мінеральної сировини в Україні вже накопичено понад 16 млрд. т відходів, під якими зайнято понад 53 тис. га родючих земель - за прогнозами, при сучасних об'ємах видобутку мінеральної сировини до 2010 року накопичиться вже до 20 млрд. т відходів, які додатково займуть ще 25-30 тис. га земель. Усього під розробку корисних копалин в Україні відведено до 150 тис. га земель, під хвостосховищами зайнято 40 тис. га, а полями фільтрації й ставами-відстійниками - 30 тис. га.

В гірничодобувних районах істотне порушення територіального ресурсу відбувається за рахунок осідання земної поверхні над підземними виробками. Наприклад, в Донбасі, при загальній площі вуглепромислових районів близько 15 тис. $км^2$, площа осідання сягає 8 тис. $км^2$. Збиток ресурсного потенціалу таких територій часто не обмежується нерівномірною

зміною рівня поверхні, що порушує експлуатацію існуючих і ставить під сумнів стійкість інженерних споруд, що проектуються. У ряді випадків, при віднесенні зони осідання до заплав річок, спостерігається їх підтоплення й затоплення. Наприклад, в Західному Донбасі площа затоплення, за деякими прогнозами, може перевищити 200 км^2 при глибині водоймищ, що утворяться, до 6,5 м.

Ресурси геологічного простору й сільське та лісове господарство. Цінність ресурсів геологічного простору для сільськогосподарського виробництва визначається не тільки геологічними, але і зонально-кліматичними чинниками (сприятливими кліматичними умовами, генетичною природою ґрунтів, їх станом в умовах антропогенного використання тощо). У зв'язку з цим ресурси земель для сільськогосподарського виробництва, наприклад, у зоні пустель, у природних умовах є близькими до нуля, не зважаючи на велику площу, що вони займають.

Специфічною особливістю ресурсів геологічного простору під сільсько- і лісогосподарське освоєння є те, що їх можна віднести як до ресурсів для господарського освоєння, так і до ресурсів для розселення біоти. В першому випадку, пріоритет віддається технічним, технологічним і землевпоряджувальним аспектам сільського й лісового господарства, а в другому - екологічним аспектам природного й штучного розселення тваринних та рослинних видів.

З наведеного вище загального огляду використання ресурсів геологічного простору видно, що практично всі види господарської діяльності скорочують ресурс земель, придатних під сільськогосподарське освоєння. За сучасними оцінками, упродовж усієї історії свого існування людство зруйнувало 2 млрд. га родючих ґрунтів - це перебільшує нині оброблювані поля та пасовиська, площа яких становить близько 1,5 млрд. га. Територій, яких не торкнулася діяльність людини, у світі залишилося не так уже й багато - лише 39 % від усієї площі Землі.

В Україні, загальна площа якої становить 579 тис. км^2, площа територій, що збереглися у природному стані, складає лише 50 тис. км^2, або 8 % від загальної площі і наближається до критичної. За розораністю території Україна займає 1 місце у світі - в середньому 54,4 % (наприклад, розораність території США лише 20 %). Згідно соціально-економічних нормативів для задоволення потреб людини потрібно 0,4 га сільгоспугідь, зокрема ріллі 0,15 га на одного жителя. На кожного жителя України припадає 0,81 га сільгоспугідь (що вдвічі перевищує нормативи) і 0,64 га ріллі (у 4 рази більше). За останні 25 років третина ріллі зазнала ерозії, площа еродованих угідь становить 12,8 млн. га (33,1 %), ріллі - 10,2 млн. га (32,8 %), 5,9 млн. га земель зазнають вітрової ерозії.

За експертними оцінками різке зростання сільгоспугідь та ріллі призвело до скорочення лісів, багаторічних насаджень тощо, й це при тому, що Україна відноситься до малолісних держав світу. Площа її лісового фонду складає 9,9 млн. га, в тому числі вкрито лісом 8,6 млн. га із загальним запасом деревини 1,3 млрд. $м^3$. Лісистість території країни в середньому складає лише 14,3 % (за розрахунками, оптимальна лісистість для України має становити не менше 19 %), тоді як лісистість Японії - 68 %, США - 33,0 %, Франції - 24,0 %, колишнього СРСР - 34,0 %. На душу населення в Україні припадає в середньому 0,12 га лісу та 25 $м^3$ запасу деревини, що також значно менше, ніж в інших країнах.

Ресурси геологічного простору і підземне будівництво. Розподілення ресурсів геологічного простору на поверхневу й підземну складові значною мірою умовне. Проте ми його приймаємо, оскільки підземне будівництво та підземні об'єкти володіють яскраво вираженою специфікою. Використання підземних об'єктів із точки зору ресурсів геологічного простору відіграє важливу роль у двох головних аспектах:, з одного боку - це вивільнення ресурсів наземного простору та його екологічна чистота, а, з іншого - в ході спорудження підземних об'єктів активізуються небезпечні геологічні процеси, які не виявлялися раніше при наземному будівництві.

Конкретна оцінка ресурсу підземного простору визначається в основному тими ж чинниками, що і для поверхневої складової. Очевидно, що при освоєнні підземного простору, особливості геологічної будови набувають вирішального значення. Розглянемо лише декілька можливих напрямків оцінки ресурсу підземного простору.

Одне з них, пов'язане з використанням підземного простору на урбанізованих територіях. З урахуванням сучасних тенденцій у містобудуванні, коли підземні споруди сталі невід'ємною частиною сучасних міст, цій проблемі приділяється все більше уваги. Комплексна забудова підземного простору дозволяє більш раціонально використовувати наземну територію великих міст. Це особливо актуально в умовах збільшення щільності забудови і високих техногенних навантажень у містах при одночасному скороченні площі рекреаційних територій і зелених насаджень.

З другого боку, в ході зведення підземних споруд і об'єктів міський інфраструктури (ліній і станцій метрополітену, торговельних центрів, гаражів і автостоянок, колекторів комунікаційних мереж глибокого залягання тощо) активізуються небезпечні геологічні процеси, що не виявлялися раніше при наземному будівництві (деформації, осідання земної поверхні, підтоплення тощо). Спорудження й експлуатація підземних споруд здійснюються в умовах щільної міської забудови, у тому числі в центральних зонах міст, де розташовані важні пам'ятники історії й архітектури, унікальні будівлі і споруди.

Функціонування паливно-енергетичного комплексу розвинених країн, що становить основу сталого розвитку економіки, включає як обов'язковий елемент створення запасів енергетичної сировини (нафти, нафтопродуктів, вуглеводневих газів тощо), яке доцільно здійснювати на базі підземних сховищ. Для України проблема накопичення запасів енергетичної сировини є актуальною через фактичну залежність від імпортних джерел постачання.

Підземні сховища будь-якого призначення по суті є ємностями геологічного типу, оскільки будівельним середовищем і захисним бар'єром є геологічна формація, що їх уміщує. У світовій практиці підземного будівництва відомі два функціональні типи вміщуючих геологічних формацій: пористо-тріщинуваті осадочні породи (пісковики, вапняки та доломити), які можуть бути середовищем для зберігання вуглеводневих газів, і відносно непроникні кристалічні утворення (магматичні й метаморфічні породи) та галогенні породи (гіпси, ангідриди й особливо соляні породи) , які можуть бути середовищем для будівництва резервуарів рідких вуглеводнів та скраплених газів.

На території України є сприятливі геологічні умови для розміщення сховищ енергетичної сировини у межах таких геологічних регіонів: Дніпровсько-Донецької западини, Передкарпатського та Закарпатського прогинів, а також Переддобрузького прогину (соленосні формації) та Українського щита (магматичні й метаморфічні формації кристалічного фундаменту). Усі ці перспективні формації, за своєю площею розповсюдження, досить вдало збігаються із структурою транспорту й перероблювальної промисловості нафти та вуглеводневих газів.

Близький напрямок в оцінці ресурсної функції літосфери пов'язаний з розміщенням у геологічному просторі місць поховання високотоксичних (ТВ) і радіоактивних відходів (РАВ). Об'єми геологічного середовища, придатні для цієї мети, обмежені не тільки в окремих країнах, але і в масштабі континентів.

При сучасному рівні розвитку науки й техніки найперспективнішим і надійним способом утилізації РАВ є їх розміщення в геологічних формаціях, де екологічна безпека гарантується природними ізоляційними властивостями геологічного бар'єра. Актуальним є використання для цієї мети існуючого підземного виробленого простору. Проте довготривале зберігання або поховання РАВ у гірських виробках зв'язано з потенційною небезпекою порушення ізоляційних властивостей масиву порід під дією низки природних і техногенних чинників, як під час будівництва підземних споруд так і при їх подальшій експлуатації (наприклад, деформація й зсув порід над виробленим простором, руйнування гірських порід у зонах концентрації підвищених напружень, тектонічна активність розломів та ін.). При цьо-

му з'являється небезпека радіоактивного забруднення навколишнього середовища високотоксичними радіонуклідами в результаті інфільтрації поверхневих і підземних вод у робочу зону підземних камер із їх подальшим переносом за межі об'єкту. Тому найперспективнішими слід вважати геологічні формації, здатні зберігати ізоляційні властивості на протязі десятків тисяч років. Цим вимогам задовольняють магматичні породи, глини і кам'яна сіль.

Враховуючи різноманітність геологічних умов соленосних басейнів України найдоцільнішим є поховання РАВ у соляних породах у спеціальних свердловинах великого діаметра, соляних шахтах і в підземних ємностях створених геотехнологічним методом. Разом із тим існує можливість використання для цієї мети масивів гранітів й ефузивних порід.

При величезних обсягах видобутку корисних копалин в Україні в надрах землі утворилась велика кількість виробленого простору - штучних пустот, правильне використання яких є крупною народногосподарською проблемою.

Відпрацьовані гірські виробки соляних шахт завдяки їх унікального мікроклімату, внаслідок постійності тиску, вологості й температури повітря, відсутності бактерійної флори, сонячної радіації, шуму, природної інгаляції (через насиченість середовища хімічними елементами), обмеженої дії магнітного поля, доцільно використовувати в якості спелеолікарень. Соляні шахти зі значними об'ємами порожніх виробок є в Північно-Західному Донбасі (поблизу м. Артемовська) та в Закарпатті (Солотвінській соляний рудник). На базі діючого Солотвінського рудника можливо істотне розширення підземної лікарні для хворих на бронхіальну астму (вона розташована на глибині 200 м і функціонує ще з часів СРСР). Для цієї ж мети можна використовувати і шахти Артемівського родовища.

Перспективним є використання наявних гірських виробок в якості різноманітних підземних складів завдяки стабільності температури й вологості середовища в підземних приміщеннях, пожежній безпеці, економії наземного простору, зручності охорони та таке ін.

Майже не використовується ресурс підземного простору України в такій перспективній галузі сільського господарства як спелеоагропромислове виробництво. Перспективність підземного вирощування шампіньйонів у наших надрах була доведена ще в 1958 році експериментом у каменоломнях у районі Артемовська. Комбінаті. На думку фахівців Інституту ботаніки НАН України, найвищу віддачу слід чекати від відпрацьованих горизонтів каменоломень, вугільних і рудних шахт, що залягають на глибині 8 - 15 метрів, де протягом року зберігається постійна температура в межах 12 - 15 градусів. На жаль, аграрне освоєння підземних просторів України так і не отримало масового розповсюдження.

Ресурси геологічного простору й розміщення відходів життєдіяльності людського суспільства. *Підходи до оцінки ресурсів геологічного простору з погляду розміщення відходів.* Актуальність використання і пошук нових ресурсів геологічного простору для розміщення різних видів відходів визначається в першу чергу величезними об'ємами їх виробництва і різноманітністю їх видів, більшість із яких вимагає індивідуального підходу при виборі місця поховання й утилізації. Різний ступінь токсичності і фазовий склад відходів зумовлює велику різноманітність способів поховання: від простого складування побутових до глибинного поховання високотоксичних і радіоактивних відходів. Це, у свою чергу, визначає вимоги до середовища їх поховання, кількість необхідних інженерних заходів щодо захисту територій, а також і площі відчужуваних земель, до яких відносяться не тільки ділянки, зайняті безпосередньо відходами, але й прилеглі зони, де екологічна ситуація часто змінюється в такій мірі, що територія стає непридатною для існування окремих біологічних видів і дискомфортною для людини.

Розгляд ресурсів геологічного простору, із погляду розміщення відходів, можна здійснювати за двома напрямками – екологічним і геологічним. Екологічний напрямок припускає оцінку місць розміщення різних відходів як причини погіршення загальної ресурсної картини території. Геологічний напрямок пов'язаний з оцінкою ресурсів геологічного простору під розміщення конкретних видів відходів. Він включає оцінку ресурсу простору як за екологічними й соціальними, так і за геологічними критеріями.

Слід підкреслити, що оптимізація розміщення будь-яких відходів вимагає врахування декількох факторів: економічного, екологічного, соціального та геологічного.

Економічний фактор, якій нині є пріоритетним, передбачає оцінку альтернативних варіантів із погляду вартості транспортування відходів до місця їх, складування або поховання, будівництва під'їзних шляхів, вартості відчужуваної землі і попередніх інженерних заходів. Оскільки у розрахунку, як правило, використовуються на організацію поховання відходів тільки прямі витрати, часто найвигіднішими є варіанти, які надалі завдають істотної економічної втрати, в наслідок необхідності відновлення екологічного збитку навколишній території і ліквідації різноманітних аварійних ситуацій.

Істотне значення при виборі місця розташування відходів мають також *соціальні фактори.* До їх числа слід віднести, наприклад, наявність об'єктів, які на протязі століть використовуються людиною, або є для неї найбільшою цінністю (урбанізовані території, сільськогосподарські угіддя, заповідні території та ін.). Особливістю критеріїв цієї групи є те, що їх значу-

щість визначається людиною і, є відповідно, суб'єктивною та з часом змінюється.

Геологічні фактори визначають ступінь сприятливості ділянки з тією або іншою геологічною будовою для поховання відходів різного виду. Значення цієї групи факторів зростає зі збільшенням токсичності відходів і, отже, із зростанням глибини сховища. Саме природні геологічні фактори примушують визнати доцільними дорогі технічні заходи інженерного та екологічного захисту. Подібні конструктивні рішення особливо поширені в країнах з обмеженим територіальним ресурсом.

Види й об'єми відходів, їх вплив на ресурсний потенціал геологічного простору та його якість. У процесі розвитку цивілізації людство неминуче виробляє велику кількість відходів і нажаль природа не має механізму їх утилізації й знищення, тому відходи накопичуються в біосфері в геометричній прогресії. Наприклад, щорічно обсяг забруднення, що припадає на 1 км^2 площі території України, навіть без врахування рівня утилізації, в 6,5 рази вищий, ніж в США і в 3,2 рази вищий, ніж у країнах Європейського економічного співтовариства (ЄЕС). На сьогодні в Україні накопичено загалом понад 25 млрд. тон відходів промислового та побутового характеру, що в розрахунку на 1 км^2 площі становить майже 40 тис. т, а на одного жителя України їх припадає понад 400 т. Площі для зберігання відходів займають 160 тис. га (або 0,27 % території країни - для порівняння: на заповідники припадає 2,6 % території) і що року збільшуються на 3 - 6 тис. га.

Міста є найкрупнішими виробниками побутових відходів. Побутові відходи можуть знаходитися як у твердому, так і в рідкому і рідше - в газоподібному стані. В Україні у містах та селищах міського типу щороку утворюється близько 10 - 11 млн. т (або 40 млн. м^3 - приблизно 0,8 м^3 на одного мешканця) твердих побутових відходів (ТПВ), які захоронюються на 770 міських звалищах загальною площею майже 3 тис. га.

Щорічно в поверхневі водойми України скидається понад 3,5 млрд. м^3 стічних вод, із яких 18 % без очищення (760 млн. м^3), або з очищенням (понад 60 % стічних вод), що не відповідає санітарним нормам. Найбільша частка забруднених вод у загальному обсязі стоків припадає на житлово-комунальний сектор (близько 62 %). Щодоби через комунальні каналізації в водойми скидається 340 тис. м^3 неочищених і 5,7 млн. м^3 недостатньо очищених стоків. Не зважаючи на будівництво очисних споруд, що вимагають відчуження значних площ, зниження негативної дії стічних вод на оточуюче середовище продовжує залишатися важливою проблемою всіх урбанізованих територій.

В розвинутих країнах кількість промислових відходів у 2-3 рази, за масою перевищує побутове сміття. Промислові відходи (ВП) – це залишки сировини, матеріалів й напівфабрикатів, що утворилися при виробництві

продукції або при виконанні робот і які повністю або частково втратили початкові споживацькі властивості. Вони бувають твердими (наприклад, відходи металів, пластмас, деревина та ін.), рідкими (виробничі стічні води, відпрацьовані органічні розчинники тощо.) і газоподібними (викиди промислових печей, автотранспорту та ін.).

Усього в Україні в теперішній час у відвалах промислових підприємств знаходиться близько 8 млрд. $м^3$ різноманітних відходів, в тому числі : 4,8 млрд. $м^3$ золошлаків, порід вуглевидобутку та вуглезбагачення; 11,6 млрд. $м^3$ металургійних шлаків, розкривних порід гірничорудних і гірничодобувних комбінатів; 0,6 млрд. $м^3$ відходів хімічної й харчової промисловості; 0,5 млрд. $м^3$ відходів видобутку та виробництва будівельних матеріалів.

Об'єми сільськогосподарських відходів, які утворюються у світі, також дуже великі (тільки в Італії їх щорічний об'єм - понад 100 млн. т). Хоча ці відходи мають “точковий характер”, їх велика кількість і висока концентрація в них токсичних речовин, можуть негативно вплинути на оточуючу середовище.

До відходів сільськогосподарського виробництва належать гнійосховища, залишки отрутохімікатів, хімічних добрив, пестицидів, що залишилися на полях, а також не облаштовані кладовища тварин, загиблих у період епідемій.

Основні вимоги до якості ресурсів геологічного простору при організації відходосховищ. Промислові й побутові відходи, що виробляє людське співтовариство у всезростаючих кількостях, істотно порушують екологічну рівновагу територій і знижують ресурси геологічного простору. Тому вибір оптимальних, з еколого-геологічних позицій, місць поховання відходів пов'язаний з необхідністю найстрогішого виконання вимог до планування й облаштування полігонів поховання і технологічного режиму їх експлуатації. Цими чинниками і визначаються граничні умови для оцінки ресурсів геологічного простору в місцях поховання відходів.

Вимоги до місць розміщення *полігонів твердих відходів* з оцінкою ресурсу геологічного простору цих територій регламентовані низкою нормативних документів. Як заборонні чинники, регламентовані особливі гідрогеологічні умови, певні ухили місцевості, схильні до пучення ґрунти, наявність провалів і закарстованих масивів, якість земельного ресурсу тощо. Під території розташування полігонів рекомендується вибирати ділянки, в будові яких приймають участь глини або важкі суглинки й глибина залягання ґрунтових вод має бути більше 2 м. Забороняється використовувати ділянки з джерельними виходами ґрунтових вод і території, що затоплюються паводковими водами, а також розташовувати полігони ТВ у районах геологічних розломів. Під полігони рекомендується відводити відпрацьовані кар'єри, яри, території вільні від цінних порід дерев тощо.

Ще більш жорсткі вимоги пред'являються до геологічного простору при похованні *радіоактивних і високотоксичних відходів.* Ці вимоги тісно пов'язані з класифікаційними характеристиками відходів (високоактивні або низькоактивні, з довго живучими або короткоживучими відходами тощо) та формою їх знаходження (рідкі або тверді). Іншими чинниками, що визначають екологічну безпеку поховання цих відходів або будову могильника, є технологічні рішення й методи. Всі вони направлені на вирішення основної задачі поховання - надійної ізоляції РАВ від екосфери на період їх, потенційної небезпеки для людини. Слід зазначити, що сьогодні, технологічні способи безпечного поховання низько- і середньоактивних відходів у світі добре розроблені, але необхідна їх більш якісна практична реалізація.

В ряді країн, в тому числі й у Росії, рідкі низько- і середньоактивні радіоактивні відходи ховають у глибоких водоносних горизонтах.

Найскладнішою і поки що остаточно невирішеною проблемою, за Н.П. Лавровим (1994), є забезпечення безпечного поховання *високоактивних* відходів, оскільки навіть незначний за об'ємом витік із підземного могильника, внаслідок високої питомої активності, може представляти екологічну небезпеку.

Вимоги до вибору типу геологічного середовища під поховання радіоактивних відходів створюють ліміт геологічного простору, придатного для цієї мети. Для малих країн і сейсмонебезпечних територій подібний ресурс вкрай обмежений, а у ряді випадків узагалі відсутній. Ці країни повинні використовувати більш дорогі технологічні рішення проблеми, а не йти шляхом вибору місць оптимального поховання.

Райони поховання рідких радіоактивних відходів вимагають відчуження значних територій під зони санітарної охорони й контролю. Закачування, як правило, здійснюється безпосередньо на територіях промислових підприємств у неминучій близькості від селітебних зон, водопостачання яких, часто здійснюється за рахунок верхніх водоносних горизонтів цього ж гідрогеологічного розрізу. Це робить безпеку подібних типів поховання надзвичайно залежною від катастрофічних сценаріїв як природного, так і техногенного походження (землетруси, активізація розломів, технічні неполадки тощо). У випадку реалізації подібних сценаріїв, територія повністю випадає із загального ресурсу геологічного простору на невизначено довгий період.

2.3.3. Проблема відновлення ресурсів геологічного простору

Накопичення величезних об'ємів техногенних відходів на полігонах, у відвалах, хвостосховищах та в межах інших об'єктів, викликає порушення природних ландшафтів, забруднення всіх складових навколишнього середовища, спричиняє вилученню на тривалий час із господарського обігу

величезних площ, тобто скороченню ресурсів геологічного простору. За тривалістю відчуження геологічного простору можна виділити дві основні групи відходів. В першу, найчисленнішу групу потрапляє більшість відходів, негативна післядія поховання яких, навіть за відсутності рекультивації, обмежується десятками років (максимум 100 років). У другу групу потрапляють в основному радіоактивні, а також частина токсичних відходів. Зони санітарної охорони подібних відходосховищ непридатні для більшості видів господарської діяльності на протязі від 500 до 10 000 років.

В гірничій галузі, у зв'язку з виснаженням запасів високоякісних (багатих) руд і залученням до експлуатації у все більш зростаючих кількостях бідних і важкозбагачуваних руд, швидкість накопичення відходів постійно зростає. Ця тенденція, у найближчий перспективі збережеться, а отже, для розміщення відходів будуть потрібні ще більші додаткові території. Збільшення загального споживання призводить до зростання кількості побутових відходів. Противагою розглянутої тенденції, є рекультивація порушених територій - єдиний раціональний шлях відновлення ресурсів геологічного простору.

Перш за все слід зазначити, що дотепер відсутня відповідна економічна методика, яка б могла оцінити процес рекультивації відходів. Іноді висловлюються думки про уявну неефективність такої рекультивації, проте при цьому не беруться до уваги соціальні, санітарно-гігієнічні та інші аспекти неекономічного характеру. Проте, рекультивація у всіх розвинутих країнах все більше стає одним з основних напрямів політики в області зниження забруднення навколишнього середовища й економії сировинних та територіальних ресурсів.

Рекультивація територій колишніх звалищ часто вирішує лише частину проблем, пов'язаних із відновленням ресурсного потенціалу геологічного простору. Закриті полігони (протягом 50-60 років після рекультивації) тільки обмежено придатні для господарського освоєння, на них, за санітарно-гігієнічними нормах, небажано проводити житлове будівництво. Протягом тривалого часу на них не відновлюється повноцінна рослинність (росте тільки рудеральна), продовжують розмножуватися тварини-паразити (гризуни), які розповсюджують небезпечні інфекційні захворювання.

Істотною проблемою є відновлення ресурсів геологічного простору, порушеного гірничим виробництвом. Частина відвалів, що складаються з нетоксичних відходів (вскришні й вміщуючи породи), із часом покриваються рослинністю, на них утворюється або відсипається штучний родючий шар. Такі відвали, особливо при попередньому плануванні території, цілком можуть використовуватися як основи під будь-які інженерні споруди, як місця створення зелених зон тощо. Території, зайняті такими відвалами, вилучаються із загального ресурсу геологічного простору тільки на

незначний термін їх активного утворення, а потім починається природний або техногенний етап відновлення ресурсу, що протікає достатньо швидко (перші десятки років).

Відвали, хвосто- і шламосховища, з підвищеним умістом різних екологічно небезпечних елементів, слабо піддаються рекультивації, утворюючи стійкі екологічно негативні геохімічні та гідрогеохімічні аномалії на прилеглих територіях. Такі відходосховища практично повністю вичерпують ресурс території, на якій знаходяться протягом періоду, що рахується сотнями років. Оскільки відходи гірничих виробництв украй не вигідно транспортувати на значні відстані від підприємства, дефіцит площинного ресурсу в гірничодобувних районах відчувається дуже гостро. Рішенням цієї проблеми частково є утилізація і вторинне використовування відходів видобутку й збагачення руд, як техногенних мінеральних ресурсів; раціональне їх складування із збільшенням висотності відвалів, хвостосховищ та організацією зберігання за принципом “відхід на відхід”, наприклад, створення шламосховища на старих солевідвалах, які утворюють протифільтраційний екран. Очевидно, що подібні рішення не тільки сприяють відновленню і економії мінерально-сировинного ресурсу, зменшенню транспортних витрат у гірничій галузі, але й призводять до значної економії ресурсів геологічного простору прилеглої території.

2.4. Ресурсні критерії оцінки стану еколого геологічних умов

Ресурсна група критеріїв включає критерії оцінки, що дозволяють встановити рівень виснаження екологічно значущих мінеральних, органо-мінеральних, 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 критерієм їх оцінки є 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 літ, 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, загального 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 критеріїв оцінки мінеральних ресурсів з екологічних позицій (задоволення потреб суспільства) знаходиться в початковій стадії розробки спирається майже

виключне на знання про розвідані ресурси того або іншого виду мінеральної сировини і вимагає свого рішення.

Ресурси геологічного простору як середовища життя і діяльності людини. Критерію 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 критеріями.

Наприклад, критеріями економічної оцінки геологічного простору можуть бути наступні:

- функціональна можливість використання;
- ризик використання – величина можливих збитків (економічних і екологічних) від руйнування об’єктів;
- величина прибутку від використання;
- заощадження на інженерному захисті за рахунок використання властивостей (природної якості) геологічного середовища;
- фінансові ризики спорудження і експлуатації об’єктів, пов’язані з проявом небезпечних геологічних явищ і процесів (землетрусів, зсувів, карсту та ін.);
- зовнішні ефекти (величина нанесених навколишньому середовищу і населенню збитків внаслідок використання елементів геологічного простору);
- витрати на забезпечення охорони навколишнього природного середовища.

Загальне підпорядкування наведених критеріїв наведене на рис. 2.3.

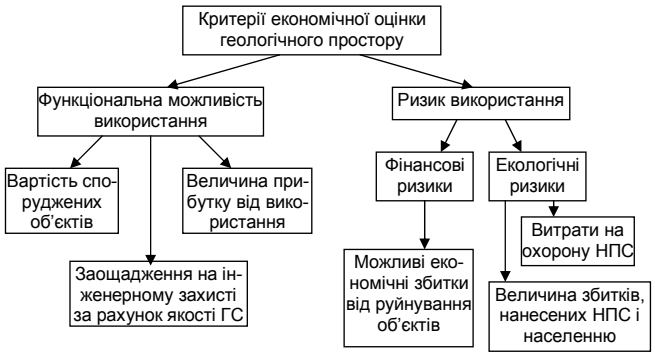

Рис. 2.3. Критерії економічної оцінки геологічного простору

Розділ 3.
НЕБЕЗПЕЧНІ ПРИРОДНІ ПРОЦЕСИ
(основи екологічної геодинаміки)

Під геодинамічною екологічною функцією літосфери розуміють здатність літосфери впливати через природні й природно-техногенні (антропогенні) геологічні процеси і явища на стан біоти, безпеку й комфортність мешкання людини [50].

Відмінною рисою геодинамічної функції є можливість її реалізації як безпосередньо у вигляді негативного по відношенню до біоти явища, так і опосередковано - через ресурсну, геофізичну або геохімічну функції.

При розгляді геодинамічної функції літосфери необхідно виходити з існування двох основних передумов розвитку небезпечних природних процесів і явищ - історичної (еволюційної) та антропогенної. В основі першої передумови лежать еволюційні процеси розвитку Землі, що приводять до безперервної реорганізації речовини у твердій, рідкій і газоподібній оболонках Землі з виділенням і поглинанням енергії, зміні напружено-деформованого стану земної кори й взаємодії фізичних полів різної природи. Процеси, що відбуваються, лежать в основі глобальної геодинаміки Землі й розвитку ендогенних, екзогенних, гідрологічних і атмосферних процесів.

Разом із цим в останні десятиріччя істотно зріс антропогенний тиск на оточуюче середовище, що неминуче приводить до активізації небезпечних природних і розвитку природно-техногенних процесів і явищ.

В даний час існує два підходи до оцінки дії геодинамічного чинника літосфери на біоту. Перший з них пов'язаний з аналізом і оцінкою дії окремих геологічних процесів або їх парагенетичних комплексів, головним чином, на людину і по суті зводиться до виявлення екологічних наслідків прояву цих процесів. Другий підхід пов'язаний з вивченням сучасних геодинамічних зон і аномалій літосфери та їх інтегральною дією на біоту, включаючи і людину.

Виходячи зі сказаного, *об'єктом вивчення* еколого-геодинамічних досліджень є геологічні процеси, геодинамічні зони й аномалії, а *предметом вивчення* - знання про дію цих компонентів літосфери на біоту. Саме в предметі дослідження найбільш рельєфно помітні відмінності між вивченням геологічних процесів різними геологічними науками.

Структура геодинамічної екологічної функції літосфери визначається об'єктом її вивчення і включає ряд ієрархічних рівнів. На першому рівні розглядаються всі геологічні процеси і геодинамічні зони. На другому ієрархічному рівні виділяються групи геологічних і деяких інших природ-

них (наприклад, кліматичних, гідрологічних тощо) і техногенних процесів, що розрізняються за характером прояву й дії на екосистему та людину, а також геодинамічні аномалії.

За природними особливостями 85 % території України характеризуються складними інженерно-геологічними умовами, для яких притаманним є розвиток небезпечних природних та природно-техногенних процесів і явищ. На території України можливе виникнення практично всього спектра небезпечних природних процесів – великі повені, катастрофічні затоплення, снігопади, землетруси, зсуви тощо. За даними Міністерства надзвичайних ситуацій (МНС) України тільки в період 1997-2001 рр. зареєстровано близько 6,4 тис. надзвичайних ситуацій, у тому числі більше 2 тис. – природно-техногенного характеру й майже 1 тис. – природного характеру. За цей період у надзвичайних ситуаціях загинуло близько 50 тис. чоловік; матеріальні збитки від дії надзвичайних ситуацій склали 3,1 млрд. грн., з них 2,9 млрд. грн. (93%) – збитки від природних надзвичайних ситуацій та 0,2 млрд. грн. (7%) – від природно-техногенних.

3.1. Типи небезпечних природних процесів

В теперішній час існує велика кількість класифікацій природних, в тому числі й геологічних процесів, які можна поєднати у дві великі групи.

До першої групи можна віднести класифікації побудовані в основному за генетичним принципом – це класифікації основоположників інженерної геодинаміки П.Саваренського (1937), П.Панюкова (1978), І.Попова (1959), В.Ломтадзе (1977), Г.Золотарева (1983),
А. Шеко (1999) та деяких інших авторів, але жодна з них не враховує вплив геологічних процесів на біоту.

До другої групи слід віднести класифікацій природних процесів, які враховують екологічні наслідки їх прояву – це класифікація несприятливих і небезпечних природних процесів і явищ С.Мягкова (1997), класифікація природних процесів екологічної спрямованості Г.Коффа (1997), класифікація природних і геологічних процесів Н.Красилової й В.Трофімова (1997), яка побудована з урахуванням числа можливих жертв від прояву тих або інших процесів і можливої площі поразки. Але найбільш вдалою на теперішній час є екологічно орієнтована класифікація природних процесів Д.Зілинга і М.Харькиної (1999), яка до певної міри синтезує основні положення раніше названих класифікацій.

Класифікація Д.Зілинга і М.Харькиної побудована на обліку прямої дії процесів на людину, на екосистему в цілому й опосередкованої дії процесів на комфортність мешкання людини через деформацію або поступове руйнування інженерних споруд. Відповідно виділяється три блоки (групи) процесів: катастрофічні, небезпечні і несприятливі. Вони добре ув'язуються з певними видами критеріїв оцінки екологічного стану літо-

сфери й зон порушення екосистем, а також основними функціональними одиницями при зонуванні територій.

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 бурі; повені; землетруси; виверження вулканів; снігопади; цунамі; зсуви, селі, снігові лавини, обвали; провали; космічні катастрофи, що зв'язані з падінням на Землю крупних метеоритів, астероїдів і комет.

Території, на які катастрофічні процеси надають дію, за розмірами підрозділяються на планетарні, регіональні та локальні. *Планетарний рівень* - це вся сфера життєдіяльності біоти. Елементами неоднорідності на даному рівні є материки та океани. До процесів, що впливають на всю планету, можна віднести, наприклад, падіння астероїдів і комет, які спричиняли до масового вимирання біоти.

Елементами неоднорідності на *регіональному рівні* є складчасті області, щити й платформи, сейсмодислокації, вулканічні пояси і пов'язані з ними новітні тектонічні рухи. До процесів регіональної дії відносяться: землетруси, цунамі, виверження вулканів, повені, посухи, атмосферні вихори та снігопади. Характерною особливістю прояву процесів регіональної дії є слабий вплив на них антропогенних чинників. Це в основному природні процеси. Виключенням є викликані (або наведені) землетруси, що виникають при експлуатації крупних гірських водосховищ або при закачуванні стічних вод у глибокі свердловини в районах сейсмічної активності.

На *локальному рівні* елементами неоднорідності є особливості геологічної будови й властивості порід. До процесів локальної дії відносяться обвали, селі, лавини та карстові провали. На локальному рівні більш сильно позначається техногенне навантаження, здатне прискорити катастрофічний розвиток природних процесів або навіть викликати їх.

Однією з особливостей розвитку природних катастрофічних процесів є *каскадність* їх прояву: землетруси провокують виникнення зсувів, обвалів і селів, а в деяких випадках – виникнення штормів і цунамі. Несприятливі наслідки для людини від цих вторинних природних процесів не менше значні, ніж від первородного процесу.

Багато процесів, окрім безпосередньої небезпеки для життя людини, мають ще і непрямі, або опосередковані, наслідки. До них відносяться викликані порушення тих або інших функцій природного комплексу, що приводять до негативних змін параметрів оточуючого людину середовища.

При розгляді небезпечних і катастрофічних процесів, необхідно враховувати їх схильність до *параґенезу* (спільної дії) й *синергізму* (взаємного посилення). Рідко на якій-небудь території розвинутий тільки один геологічний процес, частіше всього на неї впливають їх парагенетичні комплекси, які й утворюють геодинамічний фон тієї або іншої території та визначають внесок процесів у її екологічну обстановку.

Сказане свідчить про те, що оцінка дії природних, у тому числі і геологічних, процесів на екосистему й людину - задача складна і вимагає індивідуального підходу не тільки до процесу, але і до території. Це торкається і вибору критеріїв такої оцінки, і питань класифікації цих процесів. Украй складно запропонувати придатну для всіх випадків єдину класифікацію небезпечних процесів без урахування часу, місця, інтенсивності та площі прояву того або іншого процесу. Залежно від цих параметрів один і той же процес (посуха, вітрова ерозія тощо) може потрапити або в групу небезпечних, або в групу несприятливих процесів. Таким чином, кожний процес у практичному відношенні з екологічних позицій повинен оцінюватися індивідуально за мірою дії на людину й екосистему в цілому.

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, зумовити численні жертви, включаючи людські, в результаті голоду, інфекційних захворювань, руйнування або поховання стаціонарних поселень. Небезпечні процеси приводять до лих регіонального, планетарного, рідко локального масштабів. Саме з цією групою процесів пов'язані втрати якості й самого ресурсу геологічного простору в регіональних масштабах.

Нерідко такі процеси називають *"повзучими катастрофами"*. Представниками таких процесів є посухи; опустелювання; зміна рівня водоймищ; яружна й вітрова ерозія; водна ерозія ґрунтів; карст та абразія.

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. Вони негативно впливають на умови життєдіяльності людини через деформацію й ускладнення експлуатації інженерних споруд. Це процеси тривалої дії, із тривалим періодом підготовки, як правило, із віддаленими й опосередкованими екологічними наслідками як для людини, так і якоюсь мірою для абіотичної складовою екосистем. Вони не приводять до кардинальної зміни ресурсу геологічного простору, але поза сумнівом, роблять ло-

кальний вплив на якість цього ресурсу. Тому при оцінці рівня екологічної дії або стану екосистеми вони не можуть кваліфікуватися як зони кризи або лиха, а відповідатимуть зонам норми або ризику. Несприятливі процеси достатньо умовно (за можливою площею враження) розташовані в такий ряд: просідання, заболочування, бічна і донна ерозія, суфозія. Умовність цього ряду зв'язана з тим, що для кожного конкретного регіону пріоритетність процесів із погляду зміни умов життєдіяльності людини може бути зовсім іншою.

3.2. Закономірності прояву природних процесів та їх вплив на біоту й людину

Науковим центром по епідеміологічних катастрофах (Center for Research on Epidemiology Disasters - CRED), якій розташований в Брюсселі, була зібрана інформація про природні катастрофічні й небезпечні процеси, які відбулися у світі за 35 років (1965-1999). Було розглянуто 6385 крупних катастроф, пов'язаних тільки із 7 найпоширенішими природними небезпеками - землетрусами, повенями, тайфунами й штормами, посухами, виверженнями вулканів, екстремальними температурами та зсувами (останні три було з'єднано в одну групу, названу "інші природні катастрофи". Було встановлено, що найбільше розповсюдження у світі мають тропічні циклони (34%), повені (32%), землетруси (13%) й посухи (9%) [38].

У світі немає жодного регіону, де б не відбувалися найбільші природні катастрофічні й небезпечні процеси. Особливо поширені руйнівні процеси з максимальними економічними збитками на Азіатському континенті (39% від загального числа найбільших катастроф), в Південній і Північній Америці (26%), Європі (13%), Африці (13%) та Океанії (9%).

Загальне число загиблих на Землі за 35 років від семи видів катастрофічних і небезпечних процесів складає 3,8 млн. чоловік (у середньому, від 25 до 359 тис. чоловік за рік) . Найнебезпечними для життя людей є посухи: їх жертвами стали майже 49% загиблих; від тайфунів і штормів загинуло близько 26% чоловік; землетруси займають третє місце за кількістю смертних випадків - 17% від загального числа загиблих. Більше половини (53%) усіх жертв припадає на Африку, кількість жертв на Азіатському континенті складає 37%; на Америку, Європу й Океанію припадає відповідно 7,4; 2,5 та 0,1 %. В Африці особливо багато жертв приносять посухи, а в Азії - тропічні циклони й шторми.

Загальна кількість людей, потерпілих від семи видів природних катастроф за останні 35 років, складає 4,4 млрд. чоловік, тобто майже 3/4 населення Землі. Число потерпілих за цей час зросло від 33 млн. (середнє

значення в 60-х роках) до 208 млн. чоловік за рік (у 90-е роки), тобто більш ніж в 6 разів. Особливо швидко йшло зростання кількості потерпілих від повеней - якщо в 1965-1969 рр. їх частка складала 22% від загальної кількості, то в 1994- 1999 рр. - 81%. Дещо меншими темпами, але закономірно зростала кількість потерпілих від тайфунів і штормів - в 60-е роки - 8%, а в 90-е роки -10-14%. Серед континентів перше місце утримує Азія, де було 89% від кількості всіх потерпілих, далі йде Африка (6,7%), на частку Америки, Європи та Океанії доводиться в сумі менше 5%. Близько 55% всіх потерпілих на Азіатському континенті пов'язано з повенями, 34% - із посухами і 9% - із тайфунами й штормами.

Якщо узяти відношення числа потерпілих до населення окремих континентів, то цей показник для Азії буде вищим в 2 рази в порівнянні з Африкою, в 6 разів у порівнянні з Америкою та в 43 рази в порівнянні з Європою.

За даними Центру досліджень стихійних лих (Centre for Research on Epidemiology Disasters), який з 1964 року створює унікальну базу природних катаклізмів, число катастроф із кожним десятиріччям збільшується. В 1973-1982 рр. у світі було зафіксоване близько 1,5 тис. катастроф (близько 1 млн. загиблих), в 1983-1992 рр. їх число збільшилося до 3,5 тис. (1,2 млн. загиблих), а в 1993-2002 рр. - до 6 тис. (близько 620 тис. загиблих).

Стрімкими темпами ростуть економічні втрати від природних катастроф. В цілому за 35 років економічні втрати від 7 природних катастрофічних і небезпечних процесів у світі збільшилися в 74 рази (без урахування інфляції долара за цей час): в 60-х роках вони складали трохи більше 1 млрд. в рік; в 70-х – 4,7, а в 80-х – 16,6. В 1991-1994 рр. перевищили 59 млрд., а в 1995-1999 рр. досягли майже 76 млрд. дол. в рік. Сумарна величина економічних втрат за 35 років складає 895 млрд., у тому числі за останнє десятиріччя XX ст. (1989-1999 рр.) - 676 млрд. дол.

Найбільший збиток принесли катастрофічні процеси - тайфуни й шторми, повені та землетруси. Якщо в 60-е роки збиток від тайфунів і штормів складав 0,9 млрд., повеней – 0,1 млрд., а землетрусів 0,04 млрд. дол. в рік, то в 1995-1999 рр. середній річний збиток у світі від них склав відповідно 15,6; 21,6 і 34,0 млрд. дол. в рік. В цілому на ці три види катастрофічних процесів в 1965-1999 рр. доводилося від 91 до 95% всіх матеріальних втрат у світі.

Найбільші економічні втрати від природних катастрофічних і небезпечних процесів припадають до Азіатського континенту (46%), потім йдуть Америка (26%) та Європа (23%). На Африку й Океанію припадає 5%. В абсолютних цифрах економічні втрати за 35 років в Азії склали 412, Америці - 234 і Європі - 210 млрд. дол.

Є приклади, коли економічні втрати від природних катастроф в окремих країнах перевищують величину валового національного продукту, внаслідок чого економіка цих країн опиняється в критичному стані. Так, наприклад, прямий збиток від землетрусу в Манагуа (1972) склав 209% вартості річного валового продукту Нікарагуа. В США збитки тільки від чотирьох найбільших катастрофічних процесів в 1989-1994 рр. (землетруси в Ломо-Прієта та Нортріджі, тропічний ураган Ендрю й повінь на Середньому Заході) склали 88 млрд. дол., що зробило помітний вплив на економіку навіть найрозвинутої країни світу.

3.2.1. Катастрофічні процеси

Космічні катастрофи пов'язані з падінням на Землю крупних метеоритів, астероїдів і комет, які 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 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.

Реальність небезпеки падіння на Землю астероїдів діаметром 50-100 м не викликає сумнівів. Останнє таке падіння - у басейні Підкамінної Тунгуски метеорита або фрагмента комети мало місце у 1908 р. Характерний розмір об'єкта не перевищував 50 м, а енерговиділення, яке мало місце внаслідок вибуху, майже дорівнювало енергії, що виділяється під час вибуху ядерного заряду в 15-20 Мт. Очевидно, що якщо подібна подія станеться у густонаселеному районі Землі, це спричинить загибель мільйонів людей та інші катастрофічні наслідки.

Незрівнянно більш великі екологічні наслідки могло мати формування Попігайського метеоритного кратера в басейні однойменної річки на межі Якутії з Красноярським краєм у РФ, якій має діаметр близько 100 км при глибині проникнення метеоритного тіла до 600 м від поверхні землі.

З метеоритом діаметром близько 10 км, що впав 65 млн. літ тому назад і утворив Мексиканську затоку, зв'язують вимирання динозаврів. Енергія, що виділилася при цьому, в 10 млн. разів перевищила енергію

вибуху атомної бомби в Хіросімі. Проф. Е.Ізох з Інституту геології СВ РАН відмічає дивний збіг смуги розповсюдження легенд про всесвітній потоп із смугою розповсюдження на поверхні Землі тектитів - магматичних стекол кометного походження. Кліматичні катастрофи, що привели до масового вимирання динозаврів підкреслюються іридієвою аномалією космічної природи, поява якої знаходиться на межі крейдяного й палеогенового періоду, віддаленої від нашого часу приблизно на 67 млн. 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. літ.

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. При цьому буде знищено приблизно чверть населення Землі та 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.

Атмосферні вихори виникають через зіткнення холодного й теплого атмосферного повітря й перепад тиску, який у певних умовах обумовлює круговий рух повітряних потоків. По зменшенню кінетичної енергії вихори можна розташувати в такій ряд: циклони, тайфуни, шквали та смерчі (торнадо). Атмосферні вихори зароджуються навколо могутніх висхідних потоків теплого вологого повітря і з великою швидкістю обертаються за годинниковою стрілкою в південній півкулі і проти годинникової - в північній. Циклони й тайфуни зароджуються над океаном, шквали й смерчі - частіше над континентами. Основні руйнівні чинники - сильні вітри, інтенсивні опади у вигляді злив, снігопадів, граду, повені. Вітри із швидкостями 19-30 м/с (68-110 км/годину) утворюють бурю, 30-35 м/с (110-122 км/годину) - шторм, а більше 35 м/с - ураган.

Циклон – це гігантський атмосферний вихор вирвоподібної форми з областю низького тиску повітря з мінімумом у центрі. Тропічні циклони мають середню ширину в декілька сот кілометрів, швидкість вітру всередині циклону часто перевищує 250 км/годину, тривалість циклону - від декількох днів до декількох тижнів, швидкість переміщення - до 200 км/годину. Циклони середніх широт мають великий діаметр - від тисячі до декількох тисяч кілометрів, швидкість вітру, звичайно, не перевищує 40-70 км/годину, рухаються вони в північній і південній півкулях в основному із заходу, відрізняються меншою повторюваністю.

Небезпека тропічного циклону полягає в екстремальній дії одного або всіх його елементів (вітру, дощів, штормових нагонів і хвиль). За даними

Беррі, могутні тропічні циклони відбуваються, наприклад, в Бангладеш 60 разів за 10 років. Збереглися історичні відомості про катастрофічні циклони в Бенгалії - 1584 р. (загинуло 200 тис. чоловік), 1822 р. (загинуло 73 тис. чоловік) і 1876 р. (загинуло 200 тис. чоловік). Катастрофічний циклон весною 1991 р. характеризувався швидкістю вітру 295 км/годину і викликав формування морських хвиль заввишки 6 м. Число жертв за офіційними даними склало близько 125 тис. чоловік, без притулку лишилися до 10 млн. жителів, неофіційні ж людські втрати оцінюються в 400 тис. чоловік.

Пов'язані з циклонами *урагани*, які на Далекому Сході й у районі Індійського океану називають *тайфунами* – це вітер силою в 12 балів за шкалою Ф. Бофорта (тобто зі швидкістю переміщення понад 32 м/с або понад 120 км/годину), займають друге місце після повені по числу створюваних ними стихійних лих, а по числу жертв - перше місце.

Урагани, звичайно, існують від 1 до 30 днів. Руйнівна дія ураганів визначається енергією вітру, тобто швидкісним напором, пропорційним добутку густини атмосферного повітря на квадрат швидкості повітряного потоку. Вони розвиваються над перегрітими територіями океанів і перетворюються в тропічні циклони після тривалого проходження над більш прохолодними водами північної частини Атлантичного океану. Ураган на суші руйнує будівлі, лінії зв'язку й електропередач, ушкоджує транспортні комунікації й мости, ламає й викорінює дерева; при розповсюдженні над морем викликає величезні хвилі заввишки 10 - 12 м і більш, ушкоджує або навіть приводить до загибелі суден. Досягаючи вищої стадії, ураган проходить у своєму розвитку 4 етапи: тропічний циклон, барична депресія, шторм, інтенсивний ураган. Урагани формуються, як правило, над тропічною частиною північної Атлантики, нерідко - від західного узбережжя Африки, і набирають силу, рухаючись на захід. Велике число циклонів, що зароджуються, розвивається так само, але в середньому тільки 3,5 % із них досягають стадії тропічного шторму. Лише 1-3 тропічні шторми, звичайно, що знаходяться над Карибським морем і Мексиканською затокою, щорічно доходять до східного узбережжя США. Багато ураганів зароджуються у західного узбережжя Мексики і рухаються на північний схід, загрожуючи прибережним територіям Техасу. Прямий збиток від сильних ураганів в США на початку 1980-х років склав близько 3 млрд. доларів у рік.

В густонаселених районах Азії число жертв під час ураганів вимірюється сотнями й тисячами, в інших районах - десятками й сотнями. Від ураганних вітрів небувалої сили й гігантських хвиль, що обрушилися 13 листопаду 1970 р. на прибережні райони Східного Пакистану, постраж-

дало близько 10 млн. чоловік, у тому числі приблизно 0,5 млн. чоловік загинули та пропали без вісті.

В результаті досліджень учених Масачусетського технологічного інституту (США) було встановлено, що за останні 30 років урагани стали значно сильнішими. За даними метеоролога К. Іменьюела, потужність сучасних ураганів у Тихому й Атлантичному океанах зросла приблизно на 50% у порівнянні з тими, що спостерігалися в 1970-х рр. За сезон 2004 р. над Карибським басейном і США пройшло 15 тропічних штормів, 9 із яких сталі ураганами – сила вітру перевищувала 119 км/годину. В сезоні 2005 р., як очікується, над регіоном пройдуть також 15 штормів, із яких не менше 8 отримають статус урагану.

Шквальні бурі й *смерчі (торнадо)* виникають у теплу пору року на могутніх атмосферних фронтах. *Шквали* - це горизонтальні вихори із швидкістю вітру до 60-80 м/с, часто з могутніми зливами й грозами, тривалістю від декількох до 30 хвилин. Шквальні бурі охоплюють великі території завширшки до 50 км, проходять відстань в 20-200 км, а їх руйнівна дія визначається швидкістю вітру.

Смерч (у Північній Америці він має назву *торнадо*), - це могутнє вирвоподібне атмосферне утворення, яке опускається з основи купчасто-дощової хмари у вигляді темної вирви або хобота й має майже вертикальну вісь, невеликий поперечний перетин і дуже низький тиск у центральній його частині (рис. 3.1). Він супроводжується грозою, дощем, градом і якщо досягає поверхні землі, завжди завдає значних збитків.

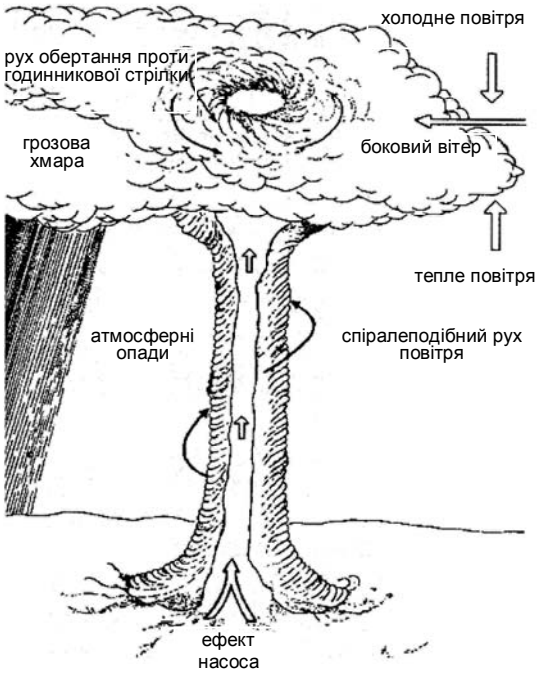

Рис. 3.1. Схема утворення смерчу [18]

Смерч утворюється при нестійкому стані атмосфери, коли повітря у верхніх шарах дуже холодне, а в нижніх тепле. Відбувається інтенсивний повітрообмін, що супроводжується утворенням вихору величезної сили. Звичайно, не можна сказати, що смерч виникає в кожній грозовій хмарі. Як правило, смерч утворюється на межі фронтів – в перехідній зоні між теплими й холодними повітряними масами. Прогнозувати смерчі поки не вдається, й тому їх поява буває несподіваною.

Ширина вирви смерчу від декількох метрів до 2-3 км, висота - в середньому декілька сотень метрів. Середня швидкість поступального руху смерчу досягає 50-60 км/годину, довжина шляху проходження – від сотень метрів до десятків кілометрів. Час існування смерчу є досить невеликим – від декількох хвилин до декількох годин. Його руйнівна сила полягає в тому, що обертання повітря в конусі смерчу проходить із надзвуковою швидкістю (800-1200 км/годину), тому він, звичайно, супроводжу-

ється гулом, дуже схожим на гуркіт реактивного двигуна літака. Розріджене повітря, що виникає всередині смерчу, настільки потужне, що йому вдається піднімати в повітря різні важки предмети, зривати дахи, виривати з корінням дерева, звалювати будинки тощо.

Особливо руйнівні смерчі (торнадо) спостерігаються в США. Щорічно реєструється від 450 до 1500 торнадо, число жертв у середньому складає близько 100 чоловік за рік. За 35 років з 1916 по 1950 р. в цій країні було зареєстровано 5204 торнадо, в яких загинуло 7951 чоловік, збитки склали приблизно 500 млн. дол.

Атмосферні вихори відносяться до швидкодіючих катастрофічних процесів. Смерчі формуються за 20-30 хв., час їх існування, звичайно, 10-30 хв., а в США воно збільшується до 7,5 годин. Смерчі можуть розвиватися на локальному й регіональному рівнях, площа руйнування від 1 до 400 км^2.

На території України урагани та шквальні бурі можуть виникати в будь-яку пору року, але найчастіше в серпні-вересні. Небезпечні рівні ураганних вітрів можливі на більшій частині території України, але найбільш імовірні вони в Карпатах, в горах Криму та на Донбасі. Наприклад, ураган, який виник 23 червня 1997 р. над Волинню, наніс величезні збитки регіону. Було пошкоджено 3,5 тис. житлових будинків, 1,38 тис. промислових і сільськогосподарських будівель; було порвано дроти 266 ліній електропередач, вийшло з ладу 129 електропідстанцій; травмовано 92 і загинуло 9 чоловік.

Шквальні бурі та шквальні вітри можуть виникати в будь-яких місцях України, але найчастіше бувають у степовій, лісостеповій зоні та Поліссі. Один раз на 3-5 років шквали виникають у Вінницькій, Волинській, Дніпропетровській, Донецькій, Житомирській, Кіровоградській, Київській, Одеській, Львівській, Харківській, Херсонській областях та на території АР Крим. Шквальні вітри, які пронеслись над Україною в середині квітня 1999 р., залишили без енергозабезпечення 122 населені пункти Рівненської, 184 – Тернопільської, 47 – Чернівецької, 171 – Хмельницької, 48 – Львівської та 26 – Житомирської областей.

В Україні рідко складаються умови для формування смерчів, в основному це явище спостерігається в серпні. За останні 20 років зареєстровано 34 випадки. Найбільш характерні вони для степової зони та центрального Полісся. Невеликі смерчі спостерігаються майже щорічно і мають локальний характер.

Пилові бурі є своєрідною формою прояву атмосферних вихрових процесів і одночасно пов'язані з проявом дефляційних процесів - видуванням і перенесенням піщаних, пилуватих і соляних часток.

Для виникнення пилової бурі треба, щоб ґрунт був рихлий, сухий, без трав’яного або будь-якого снігового покриву та швидкість вітру має скла-

дати не менше 20-30 м/сек. Пилові бурі часто виникають на периферії антициклону і переносять пил на сотні й тисячі кілометрів. Висота підйому пилу може досягати 2-3 км, але найчастіше це – від 1 до 1,5 км. Одна пилова буря в змозі перенести до 25 км^3 ґрунту, а вага бурі може досягати 50 млрд. т ґрунту. Нерідко могутній потік піску й пилу суцільною стіною мчить із швидкістю до 60 км/годину фронтом до 500 км.

Пилові бурі за кольором та складом ґрунту, який переноситься, можуть бути: *чорні* (чорноземи), *бурі та жовті* (суглинок і супісок), *червоні* (суглинок із домішками окисів заліза) та *білі* (солончаки).

Найбільша кількість пилових бур спостерігається в Середній Азії, Південному й Західному Казахстані, на Мангишлаку, в Північному Прикаспію. В Середній Азії виникає до 800 пилових бур на рік. В даний час найбільше джерело пилу - Арал. На космічних знімках помітні шлейфи пилу, які тягнуться в сторони від Аралу на багато сотень кілометрів. Загальна маса пилу, що переноситься вітром у районі Аралу, досягає 90 млн. т за рік.

Шкода, яку приносять пилові бурі, виражається в захворюванні великої рогатої худоби, шкідливому впливі на сільськогосподарські культури тощо. Розбурханий пил завдає також шкоди будівлям, деревам і людям. Пилова буря вимітає верхній, найбільш родючий шар ґрунту.

Пилові бурі відносяться до числа короткочасно (епізодично) діючих процесів, оскільки їх тривалість складає від 15 хвилин до кількох діб. Ці процеси можуть виявлятися як на локальному рівні, коли сіль розноситься із солончаку і засолює навколишні ґрунти, так і на регіональному, коли екологічні наслідки особливо небезпечні.

На території України пилові бурі найчастіше виникають на півдні в Херсонській та Миколаївській областях. У степах, які розорані, на територіях, що не мають природної рослинності, вітер руйнує поверхневий шар ґрунту, перетворюючи його в тонкий пил. Цей пил піднімається в повітря і переноситься на багато сотень км. Під час великої пилової бурі у квітні 1928 р. в степових і лісостепових районах України вітер підняв із площі біля 1 млн. км^2 більше 15 млн. т чорнозему. Висота хмар пилу над Україною досягала 750 м. Потужність чорноземного шару в степових областях України після цієї бурі зменшилась на 10-15 см, а чорноземний пил був перенесений у західному напрямку та випав на площі понад 6 млн. км^2 у Прикарпатті, Румунії та Польщі. В 1960 р. пиловими бурями був охоплений весь південь України площею понад 5 млн. га, при цьому в Запорізькій і Херсонській областях та в Криму були повністю знищені посіви на площі близько 500 тис. га. Пилові бурі 1969 р. охопили площу на півдні України понад 350 тис. га., висота хмар пилу досягала 2 тис. м, а швидкість пересування – 200-300 км/добу.

За останні 40 років пилові бурі на території України спостерігались 16 разів. Тривалість пилових бур становила від 15 хвилин до кількох діб. Вони переважно відбувались в березні - вересні, після сухої осені та малосніжної зими, а взимку – тільки 1-2 рази за десятиріччя. Найчастіше пилові бурі спостерігались в степовій зоні, в середньому, 3-8 днів за рік, в районі Херсону-Дніпропетровську-Мелітополю – до 9-12 днів, а на південному заході країни – в середньому 1 раз за рік.

Повінь – це значне затоплення місцевості за рахунок підйому рівня води в річці або озері, частіше за все пов'язане зі сніготаненням або інтенсивними зливовими дощами й обумовлено своєрідним режимом опадів, які спостерігаються щороку в один і той же сезон.

Тривалість повені змінюється від 10-15 днів на малих річках до 3-4 місяців на великих. На рівнинних річках повінь настає внаслідок сніготанення (*весняна повінь*), на гірських – унаслідок танення снігу (*літня повінь*).

Повінь є багатовекторним процесом і має велику перемінну факторів від року до року (запас та інтенсивність танення снігу, вологість верхнього шару ґрунту, потужність льодового шару на поверхні ґрунту тощо), причому в різних ландшафтах однієї й тієї природної зони роль цих факторів неоднакова. Тому хоча велика весняна повінь, звичайно, відбувається після багатосніжної зими, нерідко, повінь буває не дуже високою й навпаки, після середньосніжної зими повінь є значною.

На гірських річках повінь виявляється не чітко, для них більш характерним є паводковий режим. Найбільш страшні та руйнівні повені трапляються на річках завдяки раптовому та сильному підйому води. Таке короткострокове й неперіодичне збільшення витрат води на річках унаслідок короткочасних інтенсивних злив називають *паводок*; при короткочасному інтенсивному сніготаненні можуть формуватись *зимові паводки*.

Паводок – це явище, яке характеризує режим річки, коли витрати води переважають пропускну здатність річки. Паводки, на відміну від сезонних повеней, не приурочені до певного сезону року.

Причинами виникнення паводків є численні опади (або дуже тривалі або короткочасні інтенсивні), швидке танення снігу, льодові затори, аварійні ситуації тощо.

Паводок характеризується відносно короткочасним підвищенням рівня води під час злив або зливових дощів. Тривалість паводків – від декількох годин до декількох діб.

Звичайно, паводки відбуваються в заплавах річок, що являють собою майже плоску ділянку долини, яка межує з річкою й складена осадовими відкладами, які відклалися в ті періоди, коли річка виходила з берегів.

Повені особливо небезпечні для країн, розташованих на низовинних рівнинах із малими абсолютними відмітками, значну частину яких скла-

дають дельтові землі, де великого впливу на розвиток повеней надають нагонні явища.

В сільськогосподарських районах повені супроводжуються ерозією землі, тобто зниженням ресурсного потенціалу території, загибеллю посівів, руйнуванням іригаційних систем, шляхів, загибеллю худоби, забрудненням місцевості. В цих випадках правомірно говорити не тільки про загрозу життя людей, але і про глибоке порушення екосистеми в цілому.

В містах і населених пунктах вода також завдає збитку спорудам усіх типів, транспорту, інженерним комунікаціям, річковому господарству, устаткуванню тощо.

Повені завдають величезної шкоди біоті й людині, загрожуючи 3/4 поверхні Землі. За статистикою з 1000 повеней 100 мають катастрофічні наслідки.

За даними ЮНЕСКО, від повеней в XX ст. загинуло 9 млн. чоловік. Згідно дослідженням фахівців, найбільше число жертв від повеней у світі (виключаючи СРСР) за 20-річний період (з 1947 по 1967 рр.) припадає на Азію - 154 тис. чоловік, потім Європу – 10,5 тис. загиблих; в Африці, Південній Америці та Карибському регіоні було зареєстровано по 2-3 тис. жертв.

Вважається, що найкатастрофічна повінь XX ст. - це морська повінь, яка відбулася в Бенгальській затоці (Бангладеш) у листопаді 1970 р. – площа затоплення склала 7,5 тис. км^2, а число загиблих, за неофіційними даними, досягло 1 млн. чоловік.

За даними К.Кондратьева та ін. (1995), тільки за період з 1981 по 1988 рр. на Землі відбулося 5 великих повеней (Індія, Перу, Бангладеш і Китай - двічі), під час кожної з яких загинуло понад 2 тис. чоловік.

На більшості річок України спостерігається весняна повінь (березень-квітень). Найбільш вірогідними зонами можливих повеней на території України є:

у північних регіонах – басейни річок Прип'ять, Десна та їх притоки. Площа повені лише в басейні р. Прип'ять може досягати 600-800 тис. га;

у західних регіонах – басейни Верхнього Дністра (площа може досягти 100-130 тис. га), річок Тиса, Прут, Західний Буг (площа можливих затоплень 20-25 тис. га) та їх притоки;

у східних регіонах – басейни р. Сіверський Донець із притоками річок Псел, Ворскла, Сула та інші притоки Дніпра;

у Південному й Південно-Західному регіонах – басейни приток Нижнього Дунаю, р. Південний Буг та її притоки.

Високі повені найбільш притаманні річкам Дніпро, Дністер, Дунай та Сіверський Донець. Вони супроводжуються затопленням значних тери-

торій та спричиняють необхідність часткової евакуації людей і тварин, завдають значних матеріальних збитків.

Для річок Карпат і Кримських гір більш характерним є паводковий режим.

Найбільш яскравим прикладом катастрофічної повені на території України може бути снігові та дощові повені на річках Закарпаття. Тільки під час дощової повені на початку листопаду 1998 р. було затоплено 118 населених пунктів Закарпатської області, 6754 домівки, зруйновано 795 будівель, евакуйовані 24340 осіб. Через повінь 46 районів західних областей було відключено від електропостачання, пошкоджено 22 мости та 338,8 км автошляхів. Прямі матеріальні збитки від повені становили до 810 млрд. грн.

Землетрус – це раптове звільнення 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 (гіпоцентрі). *Гіпоцентром* (або фокусом) землетрусу називають умовний центр осередку на глибині, а *епіцентром* - проекцію гіпоцентру на поверхню Землі. Осередок землетрусу завжди має деякій об'єм, тому на поверхні створюється зона максимальної сили землетрусу, яка має назву *плейстосейстова область*. Поверхня, у всіх точках якої сила землетрусу однакова, називається *ізосейсмічною поверхнею*. При перетинанні поверхні Землі, ізосейсмічні поверхні утворюють лінії, що мають назву ізосейсти й які з'єднують точки рівних струсів під час даного землетрусу (рис. 3.2).

Основними характеристиками землетрусів є глибина осередку, магнітуда та інтенсивність енергії на поверхні землі.

Глибина осередку землетрусу, звичайно, перебуває в межах від 10 до 30 км, а в деяких випадках вона може бути значно більша (300-700 км).

Магнітуда характеризує загальну енергію землетрусу і є десятковим логарифмом амплітуди найбільшого коливання земного кору, яке зафіксоване при проходженні сейсмічної хвилі того або іншого типу, з внесенням стандартної поправки, що враховує відстань від епіцентру. Розрізняють 3 види магнітуди: ріхтеровську (локальну) магнітуду M_L, магнітуду по об'ємних подовжніх хвилях m_b і магнітуду по поверхових хвилях Ms.

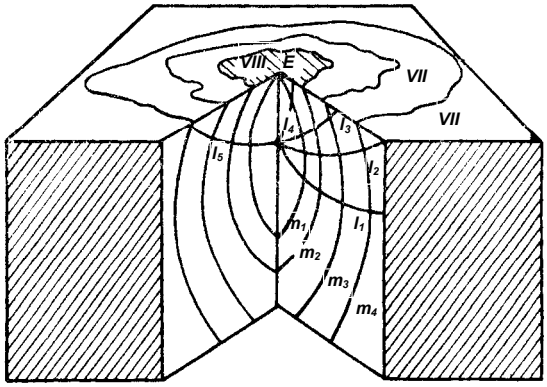

Рис. 3.2. Блок-діаграма розповсюдження землетрусу [44]

H – гіпоцентр; *E* – епіцентр; *EH* – глибина осередку землетрусу; m_1, m_2, m_3, m_4 – послідовне положення хвильового фронту; l_1, l_2, l_3, l_4 – сейсмічне проміння; *VI*, *VII*, *VIII* – ізосейсти

Магнітуда за Ч. Ріхтером вимірюється від 0 до 9. Магнітуда 0 означає землетрус із максимальною амплітудою 1 мкм на відстані 100 км від епіцентру. При магнітуді, що дорівнює 5, спостерігаються невеликі руйнування будівель. Спустошливий поштовх має магнітуду 7. Найсильніші із зареєстрованих землетрусів досягають величини 8,5-8,9 за шкалою Ріхтера. В даний час оцінка землетрусів у магнітудах застосовується частіше, ніж у балах.

Інтенсивність – це якісний показник наслідків землетрусів, що характеризує розмір збитку, кількість жертв і психогенне сприйняття людьми наслідків землетрусів. У країнах СНД використовується 12-бальна шкала інтенсивності Медведєва-Спонейера-Карника (MSK-64). Згідно цій шкалі, прийнята наступна градація інтенсивності землетрусів: I-III бала – *слабі*; IV-V – *відчутні*; VI-VII - *сильні* (руйнуються ветхі споруди); VIII - *руйнівні* (частково руйнуються міцні будівлі, падають фабричні труби); IX - *спустошливі* (руйнується більшість будівель); X - *знищуючі* (руйнуються мости, виникають зсуви та обвали); XI - *катастрофічні* (руйнуються всі споруди, змінюється ландшафт); XII - *згубні катастрофи* (викликають зміни рельєфу місцевості на великій території).

Щорічно на Землі відбувається від 300 до 500 землетрусів, силою 7 балів і вище, із яких, в середньому, один землетрус є катастрофічним і

десять сильно руйнівних. Першість за кількістю землетрусів утримують Японія та Чилі – понад 1000 у рік, або 3 на добу.

Землетруси переважно відбуваються у вигляді серії поштовхів, головний з яких, має найбільшу магнітуду. Сила, число та тривалість поштовхів суто індивідуальна для кожного землетрусу.

Землетруси небезпечні тим, що вони відносяться до швидкодіючих геологічних процесів. Помітний струс поверхні землі від головного поштовху триває від 30 до 60 сек., або навіть до 3-4 хв. Більш слабкі поштовхи можуть тривати з інтервалами в декілька діб, тижнів, місяців та навіть років.

Геофізики виділяють два головних сейсмічних пояси Землі - *Середземноморський*, що охоплює південь Євразії від Португалії до Малайського архіпелагу, та *Тихоокеанський*, що облямовує береги Тихого океану. Вони включають молоді гірські пояси – Альпи, Апенніни, Карпати, Кавказ, Гімалаї, Крим, Кордильєри, Анди, а також рухомі зони підводних окраїн материків.

Землетрус - це лихо з прямою і непрямою (вторинною) дією на природне середовище у вигляді обвалів, цунамі, снігових лавин тощо. Воно викликає величезне число жертв і великі матеріальні збитки. По числу жертв землетруси поступаються тільки повеням і ураганам. За даними Геологічного товариства США (U.S. Geological Survey), найстрашніший землетрус в історії людства відбувся в 1556 р. в Китаї. Точна кількість жертв невідома, проте вважається, що загинуло більше 830 тис. чоловік. 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. Загальний збиток від руйнування будівель у Каракасі при землетрусі в 1967 р. перевищив 100 млн. дол., при цьому загинуло 250 чоловік. Виключно важким по своїх соціально-економічних наслідках був Спітакський (9-10 балів за шкалою MSK) землетрус 7 грудня 1988 р., коли число загиблих перевищило 25 тис. чоловік, а збитки склали понад 8 млрд. крб.

Сильні землетруси спричинять до серйозних змін природного середовища. Еколого-геологічні наслідки виражаються перш за все в зміні топографії земної поверхні в результаті зміни конфігурації вододільних поверхонь і гірських хребтів, утворенні нових прибережних і підводних рівнин, утворенні грабенів і ровів, тріщин із значним розтягуванням тощо. При Гобі-Алтайському 12-бальному землетрусі в 1957 р. хребет Гурван-Сайхан висотою до 4 тис. м і протяжністю в 257 км був піднятий і зсунутий на схід. Утворилися численні розривні порушення, грабени шириною

від 800 м до 3,5 км, тектонічні рови з глибиною до 19 м, вододільна ділянка р. Бітут протяжністю 3 км і шириною 1,1 км опустилася на 328 м. До числа найсильніших землетрусів нашого часу відносяться події, що відбулися 14 листопаду 2001 р. в горах Куньлунь, на південному заході Тибету. В результаті поштовху, магнітуда якого досягала рідкісної величини - 8.1 за шкалою Ріхтера, утворився розрив у земній корі, довжина якого на поверхні перевищувала 400 км.

До теперішнього часу ще не вдається надійно передбачити місце, час і силу землетрусів, а оцінка вірогідності майбутніх поштовхів, особливо сильних, в багатьох регіонах виявляється далекою від реальності. Це підсилюється швидким зростанням міського населення, особливо в країнах, що розвиваються, де якість проектів і будівництва, дотримання будівельних норм, надійність оцінки сейсмічної небезпеки дуже низькі. В результаті число жертв землетрусів рівної сили в містах, що розташовані в розвинутих країнах, у сотні раз менше, наприклад, при двох землетрусах у густонаселеній Каліфорнії (Ломо-Прієта, 1989 р. і Нортрідж, 1994 р.) загинули 130 чоловік, а при двох поштовхах такої саме сили у Вірменії (Спітак, 1988 р.) загинуло більше 25 тис. чоловік та на Сахаліні (Нафтогорськ, 1995 р.) - більше 2 тис. чоловік. За даними "GeoHazards International", існує висока імовірність землетрусу, силою не менше 9 балів за шкалою MSK, поблизу однієї зі столиць держав Середньої Азії у найближчі 20 років. При нинішньому стані споруд у цих містах від нього може загинути від 25 тис. до 75 тис. чоловік.

Але і в розвинутих країнах землетруси руйнують дороги, мости і найнадійніші будівлі зі сталевим каркасом, переривають подачу води та електроенергії, викликають вибухи й пожежі. Один із недавніх і вражаючих прикладів - Каліфорнійський землетрус 17 січня 1994 р. з магнітудою 6,8 і епіцентром у Нортріджі поблизу Лос-Анджелеса. При поштовху загинули 63 людини. Але за рівнем завданого збитку (понад 30 млрд. доларів) цей землетрус став "найдорожчим" за всю історію США. При поштовху були зафіксовані неймовірно високі вертикальні й горизонтальні прискорення коливань, а велика частина аварій була пов'язана з розрідженням ґрунтів і зсувами.

По сейсмічному районуванню України близько 120 тис. км^2 її території з населенням понад 11 млн. чоловік знаходиться в зоні можливих землетрусів силою 6 - 9 балів (за шкалою MSK).

У XX ст. найбільш руйнівні землетруси на території України (7 – 8 балів за шкалою MSK) були зафіксовані в 1927 р. на південному березі Криму в Ялті (епіцентр – у Чорному морі); в 1977 та 1986 рр. – на півдні Одеської області (епіцентр – у Східних Карпатах, на території Румунії).

Сейсмоактивні зони (Закарпатська, Карпатська - гори Вранча, Кримсько-Чорноморська та Південно-Азовська) оточують Україну з півдня та південного заходу.

Закарпатська зона характеризується проявом землетрусів, які відбуваються у верхній частині земної кори на глибинах 6-12 км з інтенсивністю в епіцентрі 7 балів, що швидко затухає на близькій відстані.

Найбільші землетруси, вплив яких відчувається на значній частині території України, мають епіцентри у двох сейсмічно активних зонах - Кримсько-Чорноморській та Карпатській (гори Вранча), які розташовані на ділянці стику Південних (Румунія) та Східних (Українських) Карпат. *Карпатська зона* характеризується виникненням землетрусів на великих глибинах, що спричиняють землетруси в епіцентрі в Румунії, Болгарії та Молдові, силою до 7 – 8 балів. Глибокофокусність землетрусів зони Вранча обумовлює їх слабке затухання з відстанню, тому більша частина території України перебуває в 4 – 6-бальній зоні впливу Карпатської сейсмоактивної зони.

Кримсько-Чорноморська зона характеризується виникненням землетрусів на глибинах від 10-12 до 20-30 км та на відстані 25-40 км від узбережжя Кримського півострова. Інтенсивність землетрусів може досягати 8 – 9 балів.

У сейсмічному плані найбільш небезпечними областями в Україні є Закарпатська, Івано-Франківська, Чернівецька, Одеська та АР Крим.

Техногенна діяльність людини за останні роки призвела до суттєвої знижки сейсмічної стійкості понад 70% території України та збільшила сейсмонебезпеку за рахунок стимуляції схилових гравітаційних процесів, розвитку техногенного карсту, підтоплення тощо.

Найбільше знизилась сейсмостійкість ґрунтів на півдні України, де приріст сейсмічності в Одеській, Миколаївській та Херсонській областях складає від 1 до 3 балів, а загальна небезпека підвищилась до 8 балів. В Донецькій й Луганській областях приріст у 2 бали збільшив сейсмонебезпеку до 6 – 7 балів. У раніше сейсмічно спокійних Дніпропетровській, Запорізькій та Кіровоградській областях приріст сейсмічності в 3 бали призвів до високої й стійкої сейсмонебезпеки у 8 балів. Сейсмічність у західних областях України також піднялась: у Прикарпатті – до 9 балів та у Рівненській області, де розташована Рівненська АЕС – до 8 балів (при нормативі для зони розташування атомних електростанцій в 4-5 балів). Зростання сейсмічності на 2 бали призвело до того, що навіть на території м. Києва сейсмонебезпека в даний час складає 7 балів.

Виверження вулканів одне з найгрізніших і значних явищ природи. З діяльністю вулканів в історії Землі зв'язують вимирання окремих видів тварин і виникнення нових. Багато дослідників зв'язують епохи зледеніння четвертного періоду з вулканічними циклами й навіть вулканічну ак-

тивність розглядають як одну з причин переходу від людиноподібної мавпи до людини. Виверження вулканів породжують стихійні лиха для всього живого, руйнують цілі міста, перетворюють рельєф і річкову мережу, впливають на грунтово-рослинний покрив і змінюють ландшафт, а отже, і ресурс геологічного простору в цілому.

У світі налічується приблизно 4 тис. вулканів, із них діє - 540. Прояв сучасного вулканізму звичайно приурочений до областей альпійської складчастості. Майже 80% вулканів, що діє, 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.

Найсильнішим виверженням історичного часу вважається виверження вулкана Тамбора на острові Сумбава в Індонезії в 1815 р. Первинна висота вулкана (4000 м) після вибуху зменшилася до 2850 м. В атмосферу було викинуто понад 100 км^3 гірських порід, утворився величезний кратер розміром 6 х 6,5 км і глибиною 700 м. Загальне число загиблих склало декілька десятків тисяч чоловік.

В XX ст. найкрупніша вулканічна катастрофа відбулася в березні 1956 р. на Камчатці. Виверження носило вибуховий характер, в результаті була знесена вершина вулкана Безіменний, а його висота зменшилася на 200 м. Загальний об'єм викинутого на висоту до 45 км попелу перевищив 0,5 млрд. м^3. На відстані понад 10 км товщина шару вулканічного піску й попелу досягала 0,5 м.

До чинників вулканічної діяльності, що мають руйнівну силу, відносять вибухову хвилю, лавові потоки, вулканічні аерозолі, пірокластичні потоки, пекучі 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. *За характером* вони можуть бути незворотно катастрофічними, пригноблюючими або стимулюючими. Особливо значними виявляються механічна й термічна дії. Сила дії вказаних чинників залежить від типу виверження, кількості вулканогенного матеріалу, його розмірів й температури; усі ці величини зменшуються по мірі збільшення відстані від вулкана.

Виверження вулканів *за часом дії* можуть бути: швидкими, імпульсними, тривалістю до декількох днів, а можуть, епізодично повторюючись, продовжуватись на протязі достатньо тривалого часу.

Екологічні наслідки та розмір матеріального збитку від вулканічної діяльності залежатимуть від того, на якому рівні вона виявляється - регіональному або локальному. При регіональних масштабах дії особливо

гостро встають питання прогнозу виверження й уживання дієвих заходів по попередженню й порятунку людей і матеріальних цінностей.

На території України присутні тільки процеси грязьового вулканізму, які локалізовані в її південний частині – на Керченському півострові та прилеглій акваторії Азовського моря. Серед діючих грязьових вулканів виділяються два основні види – із постійним спокійним режимом виверження та з активними викидами на протязі кількох діб, що супроводжуються вибухами та локальними землетрусами.

Існують данні про активізацію грязьових вулканів у зоні Південно-Азовського розлому, що сприяє виникненню нових островів і мілин в акваторії Азовського моря та Керченської протоки й може стати причиною погіршення судноплавства.

Снігопади. Сильні снігопади приводять до швидкого збільшення висоти сніжного покриву і можуть супроводжуватись тривалим перенесенням і перевідкладенням великих мас снігу. Вони найбільш характерні для Росії, півночі США, Канади, Японії й ряду високогірних районів.

Снігопади на рівнинних територіях досить умовно можна віднести до катастрофічних процесів, оскільки випадки загибелі людей одиничні. Основні екологічні наслідки пов'язані з дискомфортом мешкання, що особливо гостро відчувається в містах, де снігопади перешкоджають роботі транспорту, іноді через них доводиться закривати школи й промислові підприємства.

В січні 2005 р. через сильні снігопади впродовж двох діб у Тернопільській, Львівській, Рівненській та Житомирській областях випала майже місячна норма опадів; були закриті 5 аеропортів - в м. Запоріжжя, Кіровоград, Кривій Ріг, Миколаїв і Хмельницький; понад 700 населених пунктів були недоступними через снігові замети, а в північних і західних областях був повністю припинений рух автотранспорту на автошляхах місцевого значення; у 17 областях України в результаті сильних снігопадів, налипання мокрого снігу й поривів вітру, залишились без електрики 381 населений пункт.

Снігопади за тривалістю відносяться до швидкодіючих процесів, що тривають максимум декілька днів; за площею розвитку вони є регіональними, екологічні наслідки їх дії охоплюють території, що дорівнюють місту, району, області.

На території України сильні снігопади найчастіше спостерігаються в Карпатах, а також у лісостеповій та степовій зонах. На території Закарпатської, Івано-Франківської та Львівської областей снігопади бувають щорічно протягом січня-лютого, а в прилеглих районах до Карпат іноді й у травні.

В основному, на території України кількість снігових опадів складає 20-30 мм, іноді сягає до 40-70 мм. У Карпатах в окремих випадках випа-

дає більше 100 мм. Один раз на три роки великі снігопади можна спостерігати на території АР Крим, Вінницької, Київської, Чернівецької та Черкаської областей, один раз на п'ять років - на території Запорізької, Дніпропетровської, Сумської, Тернопільської, Рівненської, Миколаївської та Чернігівської областей.

Цунамі (від японського слова, що означає, "велика хвиля, яка заливає бухту") є довгоперіодичними морськими гравітаційними хвилями, що володіють великою руйнівною силою. Виникнення цунамі частіше за все пов'язано із сильними підводними (90% від загальної кількості цунамі) або прибережними землетрусами. Але можуть бути й інші причини їх виникнення, 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 тощо.

При виникненні потужного підводного землетрусу миттєві деформації ділянки дна океану (вертикальна компонента миттєвого зсуву порід може сягати декілька метрів) викликають раптовий удар із боку дна по величезному об'єму водної товщі (на поверхні океану виникає динамічний "горб" висотою близько 10 м і вширшки біля 100 км), що призводить до виникнення коливальних рухів та утворення хвиль цунамі. Спочатку вони мають невелику (декілька десятків см) висоту і значну швидкість (від 50 до 1000 км/годину), причому хвилі цунамі настільки довгі, що у відкритому морі з кораблів вони як хвилі майже не сприймаються. В прибережній мілководній зоні швидкість хвилі зменшується, різко зростає її висота (до 5-10 м, а іноді й до 40 м) і крутизна переднього фронту – в результаті хвиля перекидається, здійснюючи колосальні руйнування на березі.

Основними характеристиками цунамі є: магнітуда цунамі, інтенсивність та швидкість руху хвилі. *Інтенсивність* і *масштаби цунамі* характеризуються шкалою, яку склав англійський сейсмолог Н. Амбрейсіз: 1 бал – *дуже слабе* (хвиля фіксується лише приладами); 2 бали – *слабе* (може затопити плоске узбережжя; його помічають лише фахівці); 3 бали – *середнє* (плоске узбережжя затопляється; легкі судна можуть бути викинути на берег; портові споруди можуть отримати невеликі пошкодження); 4 бали – *сильне* (узбережжя затопляється; прибережні споруди ушкоджуються; крупні парусні й невеликі морські судна можуть бути викинуті на берег, а потім змиті в море; можливі людські жертви); 5 балів – *дуже сильне* (прибережні території затоплені; хвилеломи й моли сильно пошкоджені; крупні судна викинуті на берег; є людські жертви; великий матеріальний збиток); 6 балів - *катастрофічне цунамі* (повне спустошення узбережжя й приморських територій; суша затоплена на значний

простір углиб від берега моря; найкрупніші судна пошкоджені; багато людських жертв).

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

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

Відомо близько 1 тис. випадків виникнення цунамі (понад 100 мали катастрофічні наслідки), які проявилися в повному руйнуванні й змиві інженерних споруд і рослинного покриву на узбережжі. Землетрус з епіцентром на південний захід від Лісабона в листопаді 1755 р. викликав цунамі з висотою хвилі до 30 м, яка зруйнувала і майже змила місто. З 20 тис. будівель було знищено 15 тис., загинули близько 50 тис. чоловік.

В 1983 р. при сильному виверженні вулкану обрушилася в морі частина острова Кракатау площею 21 км^2. Гігантська хвиля цунамі, що утворилася при цьому, висотою до 35 м, змила три десятки міст на Яві й Суматрі і відібрала життя 36 тис. чоловік.

Найсильнішим катастрофічним цунамі планетарного масштабу було цунамі, яке виникло 26 грудня 2005 р. В Індійському океані відбувся найсильніший підводний землетрус, гіпоцентр якого був зареєстрований поблизу північного краю о-ва Суматра на глибині близько 30 км. За шкалою Ріхтера його сила була оцінена магнітудою 9, що відносить його до розряду найкрупніших природних катастроф. В історії планети спостерігалися землетруси і з більш великими магнітудами - до 9,5, але ніколи ще не виникало такого довгого осередку, який протягнувся на 1300 км. Земна поверхня була розламана східчастим розломом величезних розмірів, а вертикальна складова переміщення уздовж цього розлому спровокувала жахливої сили удар по товщі води знизу, що привело до утворення гігантського цунамі. Уже через годину одиночна хвиля величезної протяжності подолала половину відстані між Суматрою й Шрі-Ланкою, а через дві години обрушилася на узбережжя Шрі-Ланки та Індії. На протязі наступних шести годин цунамі дісталося до Сомалі на африканському узбережжі та перейшло в Атлантичний океан. На сході хвиля "перелилася" у Тихий океан і дійшла до узбережжя Канади. Фактично на протязі доби це цунамі охопило своїм впливом весь Світовий океан.

Висота хвиль цунамі досягала на півночі о-ва Суматра 34 м, швидкість потоків води складала 400-500 км/годину, дальність затоплення перевищувала 5 км.

За даними Наукового центру по епідеміологічних катастрофах (CRED) загальна кількість загиблих і зниклих без вісті в 12 потерпілих від цунамі країнах Індійського океану (Індонезія, Шрі-Ланка, Таїланд, Мальдіви, Сомалі, Мьянмар, Малайзія, Індія тощо) перевищує 305 тис. чоловік, причому найбільша кількість жертв припала на Індонезію (понад 200 тис. чоловік). За оцінками ООН не менше 500 тис. чоловік було поранене, 1 млн. залишились без даху над головою та 2 млн. перебували на межі голоду. Сукупні економічні втрати 12 країн від цунамі оцінюються, в цілому, більш ніж в 10 млрд. дол.

В масштабі всієї Землі інтервал повторення найкрупніших цунамі, за даними Д. Ейджера, складає в середньому 10 років, хоча для окремих ділянок узбережжя Світового океану він зростає до 100 років. Велика небезпека цунамі обумовлена тим, що це процес швидкодіючий, має катастрофічний характер, а негативні наслідки його дії розповсюджуються на цілі регіони. Небезпека цунамі та можливі екологічні наслідки особливо зростають у зв'язку з активним освоєнням шельфу Світового океану, тому найважливішою проблемою є не тільки короткостроковий прогноз цунамі, який, в деяких випадках, уже дає позитивні результати, але і довгостроковий.

Цунамі траплялися й на Кримському узбережжі України. В Чорному морі, наприклад, за відомостями різних джерел, за останні 2 тис. років било відзначено 26 випадків цунамі, більша частина яких була пов'язана із землетрусами. Деякі з них - Сухумі (20 р. н. е.), Севастополь (109 р. н. е.), Варна (543 р. н. е.) - від сильного цунамі загинуло декілька поселень і міст, Босфор (557 р. н. е.), Євпаторія (1341 р.) - "прийшла морська хвиля і принесла шкоду невимовну", Форос (1427 р.), Туреччина (1598 р.) тощо, які супроводжувались хвилями цунамі заввишки від 2 до 3 м. Сильний землетрус 1927 р. (7-8 балів за шкалою MSK), епіцентр якого знаходився в морі на південь від Ялти, викликав довгі (до 100 км) хвилі - цунамі. Швидкість їх була така велика, що через півтори години вони дійшли до узбережжя Болгарії. Але, завдяки тому, що висота хвиль була невеликою (близько 1 м), вони були відзначені тільки приладами та ніяких пошкоджень не заподіяли.

Узбережжя Криму є областю локальної підвищеної сейсмічності. За 1853-1966 рр. тут спостерігалося 82 землетруси з магнітудою від 5 до 9 за шкалою Ріхтера. Зона осередків землетрусів розташована уздовж континентального схилу безперервною смугою від Севастополя до Феодосії з максимальною активністю у Ялти. Учені вважають, що імовірність

виникнення на узбережжі Чорного моря сильного землетрусу (й як наслідок - цунамі) така: 7 балів буває раз в 100 років, 8 балів - в 500 років і 9 балів - раз у тисячоліття.

Зсуви – це зміщення на схилах гірських порід різного складу, будови й об'єму з переважанням механізму ковзання по наявній поверхні чи зоні (або той, що виникає в процесі руху), коли зсувні зусилля більше міцності порід (рис. 3.3). Для поняття "зсув" існує понад 150 визначень і багато різних класифікацій, а загалом кожне конкретне руйнування схилів є неповторним явищем, яке має індивідуальні риси, що визначаються місцем, масштабами, характером, часом прояву та багатьма іншими факторами.

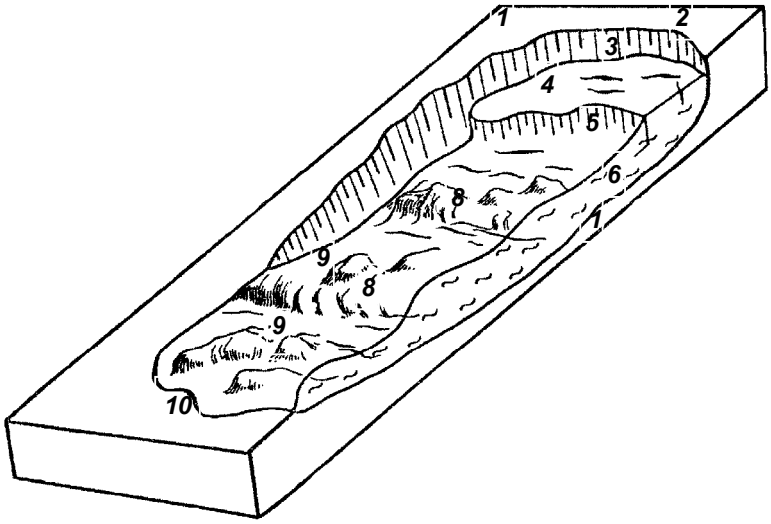

Рис. 3.3. Будова зсуву [31]

1 – зсувний цирк; *2* – бровка головного уступу; *3* – уступ головний; *4* – вершина зсуву; *5* – уступ внутрішній; *6* – тіло зсуву; *7* - поверхня сковзання; *8* – нерівності рельєфу поверхні (вали, бугри тощо); *9* – тріщини поперечні, повздовжні та ін.; *10* – підошва зсуву.

Основними *зсувоутворюючими факторами* є геологічні, геоморфологічні, гідрогеологічні та ландшафтно-кліматичні, на які накладається техногенна діяльність людини. За даними міжнародної статистики, 80% сучасних зсувів тим чи іншим чином пов'язані з діяльністю людини.

Зсуви широко розвинуті на берегах річок, морів і озер у платформних областях, де при субгоризонтальному заляганні порід є витримані гори-

зонти глинистих відкладів, що обумовлюють утворення *зсувів видавлювання* (детрузивних), які відрізняються великими об'ємами, блоковою будовою та швидкими переміщеннями. В гірсько-складчастих областях (Кордильєри, Гімалаї, Альпи, Кавказ, Забайкальє тощо) широко розвинуті *зсуви ковзання* (консеквентні) блокової будови, зсув яких відбувається по контакту шарів або по яких-небудь ослаблених зонах, часто з великою швидкістю. Зустрічаються вони і на платформах. Велике розповсюдження отримали *в'язкопластичні* (деляпсивні) *зсуви* водонасичених уламково-глинистих мас, включаючи *зсуви-потоки* (південний берег Криму), *зсуви в'язкого розрідження* лесових порід (гірські і передгірські райони Середньої Азії) і малолітифікованих глин (узбережжя Норвегії, Кавказу).

Еколого-геологічні наслідки зсувних процесів пов'язані або з похованням під ґрунтовою масою людей, тварин та інженерних споруд, або з порушенням ландшафту й деформацією споруд.

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, в яких виникають явища повзучості, видавлювання й випливання.

На узбережжі 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. При цьому утворюються потужні зсуви-потоки з великою швидкістю зсуву, що часто приводять до катастрофічних наслідків. В 1994 р. на півдні Киргизії в Ошській та Джалалл - Абадській областях після рясних снігопадів (що перевищили 2-3 річні норми) у лесових породах зійшли зсуви-потоки об'ємом від 500 м^3 до 1,5 млн. м^{3,} внаслідок чого загинуло 115 чоловік. Певну підготовчу роботу вчинили сильні землетруси, які відбулися в цьому районі в 1992-1993 рр.

Вважають, що найкрупнішим у світі за кількістю зсувного матеріалу (маса 50 млрд. т, об'єм 20 км^3) був зсув, що відбувся понад 2 тис. років тому на південному заході Ірану. Зсувна маса обрушилася з висоти 900 м (гора Кабір-Бух), перетнула долину річки Саїдмаррех шириною 8 км, перевалила через хребет заввишки 450 м і зупинилася в 17 км від місця виникнення. Зсув покрив територію площею понад 165 км^2 із периметром 70 км. При цьому за рахунок перекриття річки утворилося озеро завдов-

жки 65 км і глибиною 180 м. Найруйнівними з коли-небудь зареєстрованих були зсуви, що відбулися в 1920 р. в Китаї у провінції Ганьсу на заселених лесових терасах, що привело до загибелі 100 тис. чоловік.

За даними К.Кондратьєва та ін. (1995), за період з 1981 по 1989 рр. тільки від одного з майже сотні катастрофічних зсувів загинули більше тисячі чоловік (Еквадор, 1987). За цей же період найбільше число потерпілих було в Непалі в 1987 р. - 35 тис. чоловік. В результаті масової активізації зсувів у Чечні та Інгушетії (узимку і весною 1989 і 1998 рр.) без притулку лишилося близько 27 тис. чоловік.

Зсуви не тільки загрожують всьому живому, спричинюють до загибелі людей та худоби, але й 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, вони утворюються раптово, мають велику швидкість пересування (до 1 м/хв.) і становлять пряму загрозу життю людини. При тривалому періоді підготовки зсуву, коли розвиток процесу йде поволі й нерівномірно, він звичайне не є несподіваним і не становить безпосередньої небезпеки для людини, але і в цьому випадку може привести до порушення природного середовища і до значного матеріального збитку. Наприклад, тільки в 2002 р. збитки від зсувів у Дніпропетровської області склали 35 млн. грн., у Луганської – 22 млн. грн. та у Чернівецької – близько 20 млн. грн.

За особливостями геологічної будови значна частина України належить до зсувних зон (крім Поліської низовини). Згідно з регіональним картуванням зсувів та створеним за цими роботами кадастром, в межах України виділено більше 20 тис. зсувних геосистем. У цю кількість не увійшли зсуви в межах лінійних об’єктів, гідротехнічних комплексів та інших природно-техногенних геосистем спеціального призначення. Крім цього зсуви поширені майже в 200 містах та селищах міського типу (тільки в м. Києві зсувні процеси охоплюють до 40 км^2 зсувонебезпечних схилів, де зафіксовано 170 зсувів загальною площею 0,32 км^2), що створює постійну загрозу виникнення надзвичайних ситуацій та небезпеки для життєдіяльності населення. Прикладом може бути гігантський зсув, що відбувся у квітні 1999 р. в районі с. Костінци Чернівецької області. Від Сопа-гори зсув дійшов до південно-західної частини села, його швидкість досягала 10-15 см/годину, глибина – від 15 до 2 м, а площа дорівнювала 5 км^2. В результаті 200 мешканців с. Костінци були вимушені залишити свої будинки, із яких 40 було повністю зруйновано, а понад 60 постраждали частково.

В основному, зсуви притаманні західним областям України, узбережжю Чорного та Азовського морів, характерні для зон тектонічних утво-

рень, високих терас, уклонів ерозійних систем, правих берегів річок і водоймищ.

За останні декілька десятків років площі зсувонебезпечних територій України збільшились майже в 5 разів і найбільшого поширення набули у Закарпатській, Івано-Франківській, Чернівецькій, Миколаївській, Одеській, Львівській, Полтавській, Харківській областях та на Південному березі Криму. Значною мірою зсувами охоплені береги каскаду Дніпровських водосховищ та узбережжя Чорного й Азовського морів.

Селі (від арабського слова, що означає, "бурхливий потік") - це тимчасові грязекам'яні 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 (від 2 до 10 м/сек.). Селевий потік за декілька годин може винести стільки твердих уламків, скільки річка, яка дренує цей водозбір, за 25-120 років.

Селі виникають у наслідок інтенсивних і тривалих злив, бурхливого танення льодовиків або сезонного снігового покриву, обвалення в русло гірських річок великої кількості пухко-уламкового матеріалу, прориву гребель водосховищ, а також землетрусів.

Головною й визначальною характеристикою селю є склад і відношення твердого матеріалу до рідини, із яких власне складається сель. Тому за характером селі поділяють на *грязьові* (суміш води з ґрунтом при незначній концентрації каміння, об'ємна вага складає 1,5-2 т/м^3); *грязекам'яні* (суміш води, гравію та невеликого каміння, об'ємна вага складає 2,1-2,5 т/м^3) та *водокам'яні* (суміш води з переважанням великого каміння, об'ємна вага складає 1,1-1,5 т/м^3).

Об'єми селів можуть сягати від сотень тисяч до мільйонів кубічних метрів, а розміри уламків твердого матеріалу до 3-4 м у поперечнику та з масою до 200 т.

Селеві процеси поширені у всіх гірських районах земної кулі. 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 *середній потужності*, 100-900 тис. м^3 - *значної потужності* і більше 1 млн. м^3 - *катастрофічним*. 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 відсутністю на схилах лісу і трав'яного покриву.

Селеві потоки звичайно формуються в басейнах невеликих гірських річок або тимчасових водотоків. Водозбірний басейн, в межах якого від-

бувається формування селів (при цьому рух селів здійснюється по головному руслу), називається *селевим басейном*.

В будові селевого басейну виділяють такі основні зони (рис. 3.4):

1. Зона зародження – верхня частина басейну, яка представлена водозбірною воронкою або льодовиковим цирком, де формується сель. Це область крутих схилів й активного руйнування порід.

2. Зона транзиту, яка займає середню і нижню частину басейну. В межах цієї частини в основному здійснюється транспортування селевих мас по руслу, але часто має місце додаткове живлення селю уламковим матеріалом і часткове відкладення селевих мас.

3. Зона відкладення або розвантаження селю, яка звичайно розташовується в гирловій частині басейну, де ухили зменшуються й енергія потоку падає. Тут утворюється скупчення уламкових мас (твердої складової) селевого потоку у формі гряд, терас і конусів виносу.

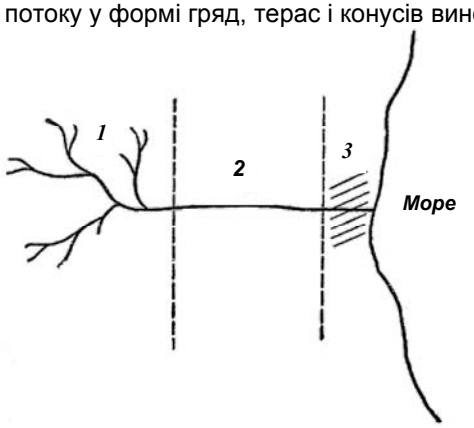

Рис. 3.4. Зони сельового басейну [3]:

1 – площа водозбору; *2* – канал стоку; *3* – район конуса виносу

Ця схема в природі часто порушується. Наприклад, багато свіжих селевих басейнів на крутих і коротких схилах гірських хребтів майже не мають зони транзиту – обширна воронка, де відбувається руйнування та знос продуктів вивітрювання відразу переходить в широкий конус виносу біля підніжжя хребта. Дуже часто верхів'я селевих басейнів виступають в якості лише водозборів, а формування селю відбувається в руслі, в середній або навіть в нижній течії, за рахунок розмиву дна і берегів. Така будова характерна для багатьох дрібних селевих басейнів високогір’я, верхів'я яких складені виходами скельних порід, що є стійкими до вивітрювання.

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

Катастрофічні селі й селі значної потужності становлять серйозну загрозу для населення і часто приводять до великих людських жертв. В Японії у вересні 1945 р. в м. Кура, яке розташовано у вузькій долині, в результаті найпотужнішого селю викликаного зливовими дощами, при проходженні тайфуну "Макурадзаки" загинули 1154 чоловік. В 1970 р. в Перу під грязекам'яною масою було поховано м. Юнгай з 20 тис. мешканців. Дуже могутні грязекам'яні селеві потоки, які були спровоковані виверженням вулкану Ел-Руїз у Колумбії в 1985 р., стали причиною загибелі 23 тис. жителів м. Армеро.

Слід пам'ятати, що сель може виникнути і внаслідок техногенної діяльності людини. 13 березня 1961 р. у районі Бабиного Яру в м. Києві прорвало земляну дамбу, що утримувала понад 3 млн. $м^3$ суміші лесового ґрунту з водою. В результаті, катастрофічний грязьовий сель понісся вниз до Куренівки. Потік зносив будинки, зрізав стовпи електропередач та дерева. Початкова висота грязьового валу досягала 14 м, а швидкість його пересування – 5 м/сек. Була занесена частина житлових будинків між вул. Фрунзе та вул. Новокостянтинівською на площі понад 30 га. Об'єм грязьової маси, що була винесена на цю площу, склав понад 600 тис. $м^3$. Загинуло понад 1,5 тис. жителів міста, а відновлювані роботи тривали понад півроку.

Величезну шкоду селі наносять залізничним і автомобільним дорогам, що перетинають селеві басейни, пошкоджують і руйнують опори і прогінні будови. Винесений селем матеріал завалює дорожнє полотно, забиває входи в тунелі, отвори мостів і труб, надовго виводячи їх із ладу. Сели заносять іригаційні канали, руйнують і ушкоджують гірські електростанції й водозабори, лінії зв'язку й газопроводи, туристичні табори, тобто приводять до дискомфорту мешкання людей і великих матеріальних збитків.

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.

В Україні площа ураження селевими потоками становить понад 3% від усієї території. В Закарпатті селеві потоки поширені на 40% території, в Івано-Франківській області – на 33%, в Чернівецькій області – на 15% та в Криму – на 9%. Найбільшого розповсюдження селеві процеси набу-

ли в Карпатах (виявлено 219 селевих басейнів) та Кримських горах. Переважають дрібні селі, генезис водної складової - зливовий. Основна причина селевої активності – велике господарське освоєння гір, перш за все зведення лісів. Під вплив селевих потоків у Карпатах і Криму підпадає понад 30 населених пунктів, шляхи сполучення та мережі комунікацій.

Снігові лавини – це раптовий зсув великих мас снігу зі стрімких гірських схилів унаслідок порушення стійкості снігу. Лавини є одним із найпоширеніших і небезпечних природних явищ гірських країн.

Дія лавини на людину, біоту і господарські об'єкти визначається її потенційною енергією, яка залежить від висоти падіння й об'єму снігової маси. Обвалення або схід лавини пов'язаний із зменшенням внутрішнього зчеплення в сніжному покриві на гірських схилах або із зменшенням зчеплення з підстилаючою поверхнею. Відбувається це, перш за все, внаслідок швидкого приросту висоти сніжного покриву до величини, що перевищує критичну (разове випадання до 70 мм опадів), або за рахунок температурного або вітрового розпушування снігу. Різниця температур нижнього й верхнього шарів снігу викликає міграцію водяної пари в сніжній товщі, перекристалізацію частини снігу і поступове зменшення щільності нижнього шару в 2-3 рази і більше до досягнення критичної величини. Аналогічні процеси можуть бути обумовлені перепадом вологості повітря в товщі снігу і над ним (при сухих вітрах). Збільшення вологості сніжного покриву від 0 до 20% при таненні або випаданні дощу зменшує величину зчеплення приблизно в п'ять разів.

Розрізняють два основних типи снігових лавин – пилові та пластові. *Пилові лавини* утворюються безформною сумішшю снігового пилу. Під час руху знизу додається все новий і новий сніг, і лавина збільшується. *Пластові лавини* відділені площиною сковзання від основи. Вони виникають, як зсуви і зсуваються у вигляді пласта по старому снігові, що залягає нижче.

За характером руху розрізняють 3 типи снігових лавин: *осови* – сніжні зсуви, які скочуються по всій поверхні схилу; *лоткові лавини* – рухаються по формах рельєфу та *плигаючи лавини* - які вільно падають із виступів.

Руйнівна здатність лавини пов'язана з великим тиском, який вона надає на перешкоди, що зустрічаються на її шляху. Величина тиску залежить від типу лавини, її розміру, швидкості руху та щільності снігу. Суха лавина, в якій весь сніг рухається у зваженому стані, на ділянках максимального розгону при середній швидкості від 70 до 100 км/годину можуть чинити на перпендикулярну перешкоду тиск величиною до 250 кПа. Якщо лавина захоплює кам'яні брили, то цей тиск може перевищити 1 МПа. Перед швидкою сухою лавиною через значне стиснення повітря утворю-

ється повітряна хвиля, тиск якої може досягати 5 кПа. Лавина чинить і вертикальний тиск, який може досягати половини від величини тиску по напрямку руху.

Руйнівні наслідки від проходження лавини характеризуються тим, що при тиску 10 кПа руйнуються дерев'яні й дрібні кам'яні споруди, 100 кПа - вириваються з коренями дорослі дерева, 1 МПа - пошкоджуються або руйнуються навіть бетонні будівлі. Чим більше об'єм лавини, тим скрутніше можуть бути наслідки. Якщо лавина невелика (об'ємом 10-100 м^3), то вона може зламати гілки дерев, видавити вікна, може поранити, засипати й убити людину, велика лавина об'ємом від 100 тис. до 1 млн. м^3 валить ліс, руйнує кам'яні споруди і металеві конструкції.

Лавинна небезпека більшою мірою пов'язана з високими схилами середньої крутизни (від 30 до 40 градусів), із потужністю свіжого снігу більше 30 см або лежалого – не менше 70 см, а в малосніжні зими - із схилами північно-східної – північної - північно-західної експозиції. Найбільш лавинонебезпечні V-подібні долини, жолоби та схили під ними.

Найповнішою генетичною класифікацією снігових лавин є класифікація В. Акуратова, яка включає такі класи і типи лавини:

І. Клас сухих (холодних) лавин. Такі лавини звичайно складаються з сухого снігу; сходять переважно взимку; шляхи сходу строго не обмежені – можуть сходити по рівному схилу та частково по повітрю. Вони мають максимальну швидкість, можуть утворювати повітряну хвилю. До класу сухих відносять 4 типи лавин – лавина зі снігу, що тільки випав; лавина зі снігу завірюх; лавина, зв'язана з перекристалізацією снігу й утворенням шарів глибинної паморозі (сили зчеплення в яких слабшають) та лавини температурного скорочення сніжного покриву.

ІІ. Клас мокрих (теплих) лавин. Формуються таки лавини з вологого або мокрого снігу; сходять вони переважно весною; шляхи сходу постійні; рух здійснюється по нижніх горизонтах снігу або по ґрунту; швидкість руху менше, ніж у сухої лавини; дія зв'язана, головним чином, з тиском важких (просочених водою) мас снігу. До класу мокрих відносять 3 типи лавин – лавина, що виникає в результаті радіаційної відлиги південних (сонячних) схилів; лавина, пов'язана з відлигою й весняним сніготаненням та ґрунтова лавина.

Схід лавини, що приводить до загибелі людей або до значних екологічних наслідків, відбувається у світі в середньому не рідше одного разу на рік, із середнім інтервалом у кожному гірському районі не більше 20 років. Вони можуть бути наслідком або недостатньої вивченості чинників лавинної небезпеки, або усвідомленого ухвалення ризику, коли вартість протилавинних споруд виявляється більшою, ніж збитки від лавини.

Особливо небезпечно раптове пробудження рідко діючих лавинних осередків, де сліди лавини на місцевості вже зникли.

Найбільш яскравим прикладом лавинних катастроф нашого часу є трагедія, що сталася під час першої світової війни на австро-італійському фронті в Альпах. Схід лавин на засніжених гірських перевалах призвів до загибелі понад 10 тис. солдат.

Причиною виникнення лавини часто є екстремально тривалі й рясні снігопади або разове випадання за добу до 50 см снігу в холодних районах і до 100 см у теплих. В районах із морським кліматом, таких як Скандинавія, Камчатка, Сахалін, лавинні лиха пов'язані з приходом глибоких циклонів.

Велика частина лавини негативно впливає на природне середовище; ступінь дії на людей і господарські об'єкти залежить від освоєння території. На таких добре освоєних територіях, як Швейцарія з високою щільністю населення, з 10 тис. лавиносходів 3 тис. загрожують різним господарським об'єктам (30%); в США з 10 тис. лавиносходів - 1 тис. (10%) представляє загрозу; в Киргизії з 30 тис. лавиносходів конкретну загрозу представляє лише 1 тис. (3%). Така ж залежність спостерігається і за кількістю жертв. Середнє число загиблих від лавин за рік у Швейцарії складає 25 чоловік (1940-1970 рр.), в Австрії - 36 (1949-1970 рр.), в Японії - 27 (1916-1937 рр.). За даними різних авторів, число жертв від лавини за кожне п'ятиріччя зростає приблизно на 10%, а розмір збитку - на 5%. Швидке освоєння гірських територій, у тому числі під зимові види спорту, роблять особливо гострою проблему розвитку системи попередження й прогнозу лавин, профілактичного їх скидання, будівництва протилавинних споруд.

На території України снігові лавини поширені в гірських районах Карпат і Криму. Наприклад, у лютому 2005 р. в Закарпатській області внаслідок сильних снігопадів зійшли чотири снігові лавини. За даними МНС, лавина об'ємом до 100 м^3 зійшла в с. Діловому Рахівського р-ну на ділянці автодороги державного значення Мукачево-Рогатин; лавина об'ємом до 80 м^3 зійшла в с. Підчумаль Міжгірського р-ну на автодорозі обласного значення; в Тячівському р-ні між с. Усть-Чорноє та с. Червоне на автодорозі місцевого значення зійшла лавина об'ємом до 50 м^3, а також у Хустському р-ні в с. Вільшани - об'ємом до 120 м^3. На щастя, жертв і потерпілих не було.

Обвал – це 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*) (рис. 3.5).

Обвали утворюються при втраті стійкості гірських порід, переважно скельних і напівскельних, під дією сили тяжіння, гідростатичного тиску

води або різних струсів. Часто обвали готуються під тривалою дією процесів вивітрювання.

Еколого-геологічні наслідки обвалів пов'язані з ударною силою окремих брил і крупних блоків порід з утворенням завалів.

Рис. 3.5. Схема виникнення обвалу й вивалення [31]

1 – канал; *2* – дорога

Обвали переважно поширені в гірських областях, перш за все альпійської складчастості, таких як Крим, Кавказ, гори Середньої Азії, Сибіру, Далекого Сходу тощо. На рівнинних територіях дрібні обвали можуть відбуватися на крутих берегах річок, озер і морів у результаті ерозії або абразії основ схилів, формування відповідних ніш із нависаючими над ними козирками гірських порід, які врешті-решт обвалюються в прибережну частину русла річки, озерного або морського узбережжя.

Вірогідність виникнення особливо крупних обвалів зростає на територіях із глибокорозчленованим рельєфом, із збільшенням висоти й крутизни схилів, із порушенням порід тріщинами середньої щільності тощо. Створенню крупних і грандіозних обвалів сприяють сильні землетруси. Руйнівна сила порід, що обрушилися, зростає із збільшенням висоти падіння, оскільки від цього залежать швидкість падіння й сила удару.

Обвали крупного масштабу можуть привести до істотної зміни ландшафту. Так, в результаті Гобі-Алтайського землетрусу 4 грудня 1957 р. із силою в епіцентрі 12 балів із г. Хуреньонь за системою широтних тріщин обрушилася маса гірських порід об'ємом понад 200 млн. $м^3$. Обвал зрізав майже половину гори, утворивши вертикальний обрив висотою близько 300 м.

На ділянках розвитку обвалів постійно існує постійна загроза для життя й діяльності людей, для збереження та нормального функціону-

вання інженерних споруд. Прикладом може бути трагедія, що відбулася 21 червня 2005 р. у с. Кача поблизу Севастополя в результаті обвалу морського берега. Люди, що відпочивали під крутим берегом, опинилися під 8 м завалом ґрунту. Рятівники витягнули з-під завалу тіло 16-річної дівчини, громадянки Росії. Ще одна потерпіла з важкими травмами була відправлена в лікарню.

Обвали приносять великий матеріальний збиток лінійним спорудам; перш за все, представляють загрозу для експлуатації автомобільних і залізничних доріг та для безпеки руху транспорту. Втрати від обвалів, частіш за все, пов'язані з необхідністю розчищення завалів, відновлення дорожнього полотна й зруйнованих інженерних споруд на дорогах, із перервою руху транспорту. Вивали навіть з укосів, починаючи з висоти 10-12 м, майже завжди викликають пошкодження й руйнування полотна доріг.

Обвали на дорогах нерідко супроводжуються людськими жертвами. Катастрофічні наслідки бувають від обвалів, які досягають дна долини та надходять до озера або іншого великого водоймища й стають причиною утворення гігантських хвиль.

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

На території України більшість сучасних обвалів (понад 80%) пов’язані з антропогенним фактором – вони виникають в основному при неправильному проведенню робіт, при будівництві та гірських розробках.

Провали – це процеси, що 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.

Переважна частина провалів просторово пов'язана з територіями розвитку закарстованих порід. Особливо широко поширені провальні явища в Пермській області, в Башкирії, у Прикаспії, в Донбасі, у ряді районів Східного Сибіру й Середньої Азії. Розміри провалів обумовлені перш за все величиною порожнини, глибиною її залягання, складом і потужністю покривних відкладів.

Карст у карбонатних породах не завжди приводить до утворення провалів, але вони можуть досягати значних розмірів. В Середній Азії у межах плато Устюрт карстові провали, пов'язані з вилуговуванням слабодислокованих мергелів і вапняків неогену, мають характер колодязів ді-

аметром 20-30 м, глибиною 20-40 м (іноді до 100 м). Провали, пов'язані з крейдяним карстом, зустрічаються рідко й, звичайно, невеликі за розміром.

Провали дуже часте явище в області розвитку сульфатного й соляного карсту. В районах розвитку гіпсового карсту провали частіше за все характеризуються діаметром 10-12 м, глибиною декілька метрів, в одиничних випадках діаметр досягає 60 м, глибина - 30 м. До числа найкрупніших відносяться провали, що виникли в 1939 та в 1957 рр. Перший - Анташській провал у р-ні Альметьевська в Татарії мав глибину 52 м, а другий - поблизу с. Венець Горьківської області - глибину 25-27 м і діаметр 90 м.

Ще більш небезпечними є провали в районах розвитку соляного карсту у зв'язку з великою швидкістю розчинення солей.

Різку активізацію провальних процесів викликає будівництво цивільних і промислових споруд, залізниць, інтенсивний відбір підземних вод й особливо розробка родовищ корисних копалин підземним способом. Наприклад, у США в штаті Алабама відбулося понад 4 тис. штучно викликаних провалів та осідань земної поверхні, пов'язаних з активізацією карсту. Окремі вирви досягли 50-60 м у діаметрі та до 30 м глибиною. Утворення цих провалів пов'язують з інтенсифікацією відбору підземних вод.

Провали також можуть утворюватись в результаті обвалення покрівлі підземних виробок. Вони дуже різні за формою й розмірам, що визначається глибиною виробки, об'ємами гірських порід і руд, що видобуті з надр, геометрією рудних покладів або вугільних пластів:

мульдоподібні провали виникають після розробки пластових покладів середньої (1,5-3 м) і більшої потужності, горизонтального, хвилястого або пологопохилого залягання. Мульда зсуву гірських порід знаходиться в зоні прогинання покрівлі (рис. 3.6). При великій потужності й крутому падінні покладу можливо формування мульдоподібних терасованих провалів, мульда зсуву в цьому випадку буде приурочена до зони прогинання або обвалення;

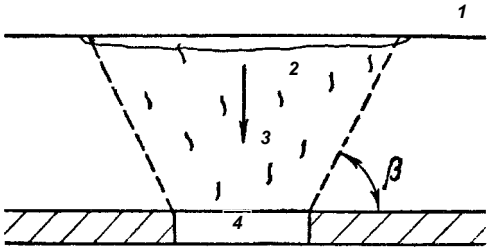

Рис. 3.6. Схема утворення мульди зсуву [3].

1 – земна поверхня; *2* – поверхня мульди зсуву; *3* – масив порід, що деформується; *4* – підземна виробка; *β* – кут зсуву

каньоноподібні провали утворюються над виробленим простором потужних полого або круто падаючих покладів, мульда зсуву в цих умовах завжди знаходиться в зоні обвалення;

кільцеві провали можуть виникати на місці розробки штокоподібних круто падаючих покладів.

Провали, перш за все, становлять безпосередню загрозу для інженерних споруд. В результаті провалів часто втрачаються цінні сільськогосподарські землі, ускладнюється їх розорювання й ефективне використання 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 вирвах утворюються озера.

На території України поширення провалів техногенного походження пов’язане з розробками родовищ солей (Прикарпаття, Донбас), сірки (Передкарпаття), вугілля (Донбас), нафти та газу (Дніпровсько-Донецька западина), а також обумовлене гідромеліоративними роботами у межах поширення закритих форм карсту. Небезпечним наслідком дії техногенних провалів є руйнування дамб, обвалення та осідання залізничних насипів, руйнування територій уздовж магістральних каналів, при спорудженні водосховищ і на зрошувальних площах (такі процеси відбуваються в р-нах Каховського водосховища та на Північно-Кримському каналі).

3.2.2. Небезпечні процеси

Посухи є характерними для пустельних, степових і лісостепових територій і виникають у зв'язку з недостатньою кількістю або повною відсутністю опадів, що викликає висушування ґрунтів, зниження рівня підземних вод, а також значне зниження рівня води у водоймищах іноді до повного їх пересихання. Виникненню посухи часто сприяють сильні сухі віт-

ри (суховії), при яких відчувається дуже великий дефіцит вологості повітря. Малий запас ґрунтової вологи призводить до того, що починає чахнути й засихати рослинність, гинуть посіви.

Інтенсивність посухи визначається величиною втрати урожаю: при втраті до 20% - *незначна*, від 20 до 50 % - *середньої сили*, понад 50% - *сильна посуха*. В лісостеповій зоні посухи бувають 1-2 рази за 10 років, у степовій - 5-6 разів за 10 років.

Особливо сильні посухи бувають в Африці, на Близькому Сході та в Центральній Азії. Постійно піддається загрозі посухи й голоду Індія. Дві найсильніші посухи в цій країні були в 1965-1966 і в 1987 рр. В останньому випадку, коли в сезон мусонних дощів випало лише 19% від звичайної норми опадів, посухою було охоплене 63% території країни. Було знищено 58,6 млн. га зернових, постраждало 285 млн. чоловік. На подолання наслідків посухи було витрачено 14,7 млн. рупій.

В 1970-1974 рр., посухи в Африці стали причиною загибелі 1793 тис. чоловік. Жорстока посуха також була в 1991-1992 рр., коли більше 20 млн. жителів десяти країн-членів співтовариства Південної Африки знаходилися на межі "серйозного ризику". За період із січня 1992 р. по березень 1993 р. було зареєстровано 100 тис. випадків захворювання холерою, із яких 60 тис. були зі смертельним наслідком.

Посухи змінюють умови життєдіяльності людини, створюючи несприятливий вплив на природне середовище через супутні процеси, такі як пилові бурі, ерозія ґрунтів, пожежі тощо.

Посухи відносяться до короткочасних (епізодичних) процесів, які, звичайно, тривають на протязі одного, рідко декількох сезонів. Дія посухи регіональна, вона, звичайно, охоплює територію однієї або низки країн регіону.

На території України посухи найчастіше відбуваються в південних і східних степових районах. Нестача опадів на протязі довгого часу при підвищеній температурі повітря в теплий період року обумовлює виникнення в Україні весняних, літніх і осінніх посух. Весняні посухи спостерігаються у квітні-червні, частіше всього на півдні Херсонської області й охоплюють переважно невеликі площі. Найчастішими є літні посухи (у липні-серпні), переважно в прибережних районах і на півночі Криму. Осінні посухи (у вересні-жовтні) найбільш характерні для південних районів Одеської, Миколаївської, Херсонської та Запорізької областей.

В 1921-22 рр. р-ни Південної України (Донецька, Запорізька, Катеринославська, Миколаївська та Одеська губернії) охопила сильна посуха, наслідком чого став голод, що забрав життя сотень тисяч людей.

В наш час, колосальні за своїми масштабами посухи були в південних і центральних областях України (1999, 2000, 2003, 2004 рр.). За оцін-

ками фахівців, найжорстокішою посухою за повоєнні роки була посуха 2003 р., що охопила більшу частину території України, коли загинуло 65% посіві ярових.

За статистикою й кліматичними тенденціями, ймовірність виникнення посухи в Україні досить велика – в південних районах вона буває раз на 2 роки, на іншій території країни – раз на 4-5 років.

Опустелювання є негативним природним або антропогенним процесом, що веде до зменшення продуктивності земель і потім навіть до повної її втрати. Процеси опустелювання виражаються в деградації рослинного покриву, надмірному засоленні ґрунтів, в розвитку вітрової ерозії, що веде до наступу пісків і засипання продуктивних земель й населених пунктів.

Природні пустелі й напівпустелі займають більше 1/3 земної поверхні. На цих землях мешкає понад 15% населення світу. Пустелі - це території з вкрай посушливим континентальним кліматом, які звичайно, отримують у середньому всього 150–175 мм опадів за рік. Випаровування з них набагато вище, ніж їх зволоження. Обширі масиви пустель розташовуються по обидві сторони від екватора, між 15° і 45° північної широти, а в Середній Азії й Казахстані пустелі досягають 50° північної широти. *Пустелі* - природні утворення, що відіграють певну роль у загальній екологічній збалансованості ландшафтів планети. В результаті діяльності людини до останньої четверті XX ст. з'явилося ще понад 9 млн. км^2 пустель, а всього вони охопили вже 43% від загальної площі суші. Близько 1/6 населення світу страждає від цього процесу.

“І якщо ерозію можна назвати недугою ландшафту, то опустелювання - це його смерть”, - цитата з докладу Продовольчої й сільськогосподарської організації ООН (ФАО). Процес опустелювання отримав таке широке розповсюдження, що став предметом спеціальної Конвенції ООН “Про боротьбу з опустелюванням у тих країнах, що потерпають від серйозної посухи та/або опустелювання, особливо в Африці”, яка була прийнята в Парижі 17 червня 1994 р. і яку підписали уряди понад 170 держав. Враховуючи важливість проблеми опустелювання для світу, Генеральною Асамблеєю ООН 17 червня було проголошено, як Всесвітній день боротьби з опустелюванням і посухами, а 2006 р. оголошено Міжнародним роком пустель та опустелювання.

Опустелювання одночасно є соціально-економічним і природним процесом, воно загрожує приблизно 3,2 млрд. га земель, на яких мешкає понад 700 млн. чоловік. Процеси опустелювання поширені на заході США, в Північній Африці, в Австралії та Азії. За даними ООН, тільки в Північній Африці пустеля щорічно віднімає у людей понад 100 тис. га корисних земель. У країнах Азії 135 млн. га богарних земель є схильними до опустелювання, 29,3 млн. чоловік, що мешкають у цьому районі,

страждають від сильного й 26,2 млн. чоловік - від помірного опустелювання.

На території країн СНД до процесів опустелювання схильне Приаралля, Прибалхашья, Чорні землі в Калмикії й Астраханській області та деякі інші райони. Усього з цією проблемою зіткнулися 130 держав земної кулі. За даними вчених США, втрати від наступу пустель щорічно складають 10 млрд. дол. (2-3 дол. на 1 людину планети).

Як правило, розвитку процесів опустелювання сприяє поєднання декількох чинників, спільна дія яких різко погіршує екологічну ситуацію – це сухість і континентальність клімату, глобальна аридизація суші, великі площі розповсюдження рихлих слабозв'язних відкладів, розвиток малопотужних малогумусних легкоруйнуючихся ґрунтів, підвищена засоленість підземних вод і ґрунтів, розріджена рослинність. Установлено, що 87% збільшення території опустелювання обумовлене антропогенними факторами і лише 13% - факторами природного походження.

Деградація рослинного покриву *в аридних областях* (яким притаманний сухий клімат з високими температурами повітря й малою кількістю атмосферних опадів), що приводить до опустелювання, виявляється в зміні рослинності від лугових співтовариств на напівпустельні (полин), її пригніченості й розрідженості. Причиною може бути перш за все природно й антропогенно обумовлене засолення ґрунтів, яке викликане капілярним підняттям до поверхні й випаровуванням ґрунтових розчинів в умовах жаркого сухого клімату. Наслідком цих процесів є поступове збіднення ґрунту гумусом і мінеральними речовинами, зниження продуктивності екосистеми, формування великих площ засолених ґрунтів і солончаків та повне виведення земель із господарського обороту. На цей тип опустелювання часто накладаються дефляційні процеси, різко погіршуючи екологічну обстановку.

Опустелювання шляхом *вітрової ерозії* зв'язано з тим, що вітер при швидкості більше 4 м/сек. приводить до руху піщані частки. Переміщення піску відбувається у вигляді барханів, дюн, барханних і дюнних ланцюгів. Напрям і швидкість пересування барханних ланцюгів залежать від напряму, швидкості й тривалості вітру. На швидкість також впливають об'єм і механічний склад піску, ступінь зволоженості та наявність рослинності.

При поступальному типі пересування піски займають всі нові площі, просуваючись за рік місцями на декілька десятків метрів. Площа рухомих пісків у пустельній зоні Середньої Азії складає приблизно 5%. На південній околиці Кизилкуму поступальний рух барханних ланцюгів при висоті 4-5 м складає близько 12-15 м/рік. В Західно-Туранської низовині, де

площа рухомих пісків досягає більше 26 тис. га, вони часто засипають дороги, споруди, нафтові промисли і зрошувані землі.

Такі природні типи опустелювання, як деградація рослинності і надмірне засолення ґрунтів є довготривалими процесами, хоча техногенна дія може істотно їх прискорювати. У просторовому плані процес опустелювання, судячи з площі розвитку, є планетарним. Під впливом техногенних дій цей процес може виявлятися і на регіональному і на локальному рівні. Опустелювання шляхом вітрової ерозії, що веде до наступу пісків, залежно від вітрового режиму може проявлятися у вигляді як довготривалого (особливо на краю внутрішньоконтинентальних пустель), так і короткочасного (епізодичного) процесу, а в просторовому плані він частіше є регіональним. З процесом опустелювання пов'язані інтенсивне й регіональне за площею зниження якості геологічного простору.

На території України тільки зона кліматичного опустелювання займає понад 35% від її площі, а найбільш небезпечними з точки зору опустелювання є південні регіони,

Дефляція (від пізнелат. deflatio – здування, розвівання) - це процеси пов'язані з видуванням піщаних, пилуватих і соляних часток ґрунту, їх перенесенням і накопиченням на суміжних територіях. Дефляційні процеси можуть реалізуватися або у вигляді *пилових бур*, 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 посухи, при високих температурах і слабої в'язкості ґрунтів, які представлені тонкозернистими пісками, супісками, легкими суглинками й лесами та якщо ґрунт незакріплений рослинністю.

Величезний вплив на розвиток дефляції надають антропогенні чинники, які різко активізують ерозійні процеси – це знищення рослинності, нерегульований випас худоби, неправильне застосування агротехнічних заходів тощо.

Особливо небезпечні наслідки вітрової ерозії на територіях, де відбувається накладення процесів опустелювання й техногенних дій. Зокрема, областю екологічного лиха визнане Південне Приаралля, де поява осушеного дна Аралу площею 26 тис. км^2 із сильно засоленими рихлими ґрунтами привело до винесення в атмосферу щорічно від 40 до 150 млн. т солей і як наслідок - до засолення й зміни ґрунтів навкруги Аралу та різкого погіршення умов життя людей. Насиченість повітря пилом і сіллю привела до збільшення числа різних захворювань: серцево-судинних хвороб - в 1,6 раза, туберкульозу - в 6 разів, рака стравоходу - в 7-10 разів. Загальна смертність зросла в Каракалпакії за останні 10 років в 15 разів. Відбувся масовий відтік населення з регіону. Це є наочним при-

кладом регіональної втрати ресурсу геологічного простору для майже всіх видів господарської діяльності й зниження його якості на великих прилеглих територіях.

На території України понад 5,9 млн. га орних земель уражені вітровою ерозією ґрунтів. Пилові бурі, які за останні 100 років виникали в лісостеповій зоні України 23 рази, а за останні 40 років - 16 разів, знесли мільйони тонн родючих ґрунтів у Луганській, Донецькій, Запорізькій, Дніпропетровській, Херсонській областях та в Криму. В 1973 р. під час пилової бурі в Новотроїцькому р-ні Херсонської області шар ґрунту був знятий більше, ніж на 10 см, що значно зменшило врожайність у цьому регіоні.

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 моря приводить до великомасштабних екологічних наслідків, пов'язаних із відступом берега, із переведенням частини суші в акваторії, що приводить місцями до затоплення міст і населених пунктів. Відомо про зниклі під водою 28 міста на Йоркширському узбережжі Великобританії, які бачили римські легіонери, в Чорному морі з-під водної товщі видні стародавні споруди Цхума (Сухумі).

Подібні проблеми виникли у наш час у зв'язку з підйомом рівня Каспію, що почався в 70-х р. XX сторіччя. Уже затоплені великі площі сільськогосподарських земель, більше 30 родовищ нафти й газу тільки в межах Казахстану, а також сотні кілометрів автодоріг і залізничних колій. Створилася реальна загроза затоплення цивільних і промислових споруд у прибережній зоні, руйнування берегових захисних споруд.

Підйом рівня морів викликає посилення процесів абразії, активізацію зсувних процесів з усіма наслідками для природного середовища та погіршення екологічної ситуації у зв'язку із забрудненням підземних вод.

Підйом рівня будь-якого водоймища приводить до підпору ґрунтових вод і підвищенню їх рівня, до водонасичення ґрунтів і підтоплення території, що призводить до підтоплення основи будівель і споруд й відповідно до їх деформації, до затоплення підвалів, підземних комунікацій тощо. Підтоплення території в аридних областях приводить до засолення ґрунтів.

Зниження рівня моря також викликає певні екологічні наслідки. Так, зниження рівня Каспійського моря в 1930-1970 рр. спричинило до переміщення північного узбережжя на 100 км і супроводжувалось зменшенням водних ресурсів у пониззях річок, активізацією їх донної ерозії, зни-

женням рівня ґрунтових вод на всьому узбережжі. В умовах аридного клімату це приводить до активізації процесів опустелювання, істотно змінюючи умови життєдіяльності біоти й людини.

Яскравим прикладом негативних екологічних наслідків для природного середовища від зниження рівня моря, викликаного геологічними, кліматичними та антропогенними чинниками, є район Аральського моря й затоки Кара-Бугаз-Гол. Зниження рівня Аралу привело до осушення його соляного днища площею більше 26 тис. км^2 і утворення солончаків; засолення води в Аралі спричинило до зникнення риби. На всьому узбережжі Аралу різко погіршилися умови життя населення. Змінилися природні умови в дельтах річок, що впадали до Аралу. Висохнула велика частина озер, на місці плавнів з'явилася спочатку лугова рослинність, а по мірі подальшого зниження рівня ґрунтових вод і засолення ґрунтів - напівпустельна рослинність.

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

В Україні інтенсивне підтоплення території спостерігається, починаючи з 60-70-х рр., у зв’язку зі створенням Дніпровського каскаду водосховищ. Наприклад, тільки в зоні впливу Каховського водосховища напірний рівень підземних вод піднявся над рівнем води в Дніпрі з 2-3 м в 1952-1954 рр. до 14-16 м в 1961-1963 рр. і надалі не знижувався. Зарегулювання стоку р. Дніпро призвело до підвищення рівня ґрунтових вод на 6-10 м на відстань понад 30 км на лівобережжі та на 20 км на правобережжі. На незахищених масивах у зонах впливу водосховищ площі підтоплених земель становлять 90 тис. га, а на незахищеному мілководді - близько 133 тис. гектарів. Нині в зонах водосховищ підтоплене понад 100 міст та селищ міського типу. З цим процесом також пов'язані такі негативні явища, як трансформація земель, деградація рослинного й тваринного світу, замулення та заболочення, евтрофікація водойм тощо.

Яружна ерозія – це процес розмиву тимчасовими водотоками зв'язних і пухких гірських порід на схилі з утворенням одиничних, витягнутих уздовж схилу глибоких крутосхильних форми рельєфу або цілої системи негативних форм рельєфу - *ярів*.

В будові ярів виділяють наступні геоморфологічні елементи (рис. 3.7): *вершина* – точка на схилі або вододілі, до якої дійшов яр під час свого розвитку; *ложе* – поглиблення, по якому стікає вода й вище якого круто вгору підіймаються схили (найбільш низькі відмітки ложа приурочені до тальвегу); *устя* – місце початку яра, яке розташоване в нижній частині

схилу, де почався розмив; *базис ерозії* – відмітка, яка співпадає з рівнем річки, озера, струмка або іншого виходу водотоку.

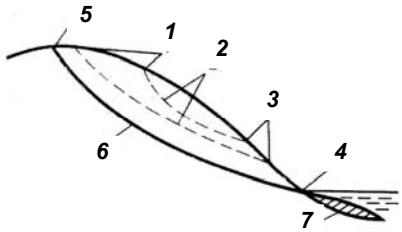

Рис. 3.7. Геоморфологічні елементи яру

1 – вершина; *2* – ложе; *3* – устя; *4* – базис ерозії; *5* – вододіл; *6* - положення профілю рівноваги; *7* – конус виносу

В своєму розвитку яр проходить 4 стадії:

I. *Стадія вимоїни* – початкова стадія яроутворення, під час якої в результаті дії струменистої ерозії на схилі утворюється вимоїна. Це поглиблення трикутного або трапецеїдального перетину невеликої протяжності й глибини. Початок вимоїні або промоїні може дати будь-яка виїмка на схилі (наприклад, уторована доріжка, колія тощо).

II. *Стадія врізу яру вершиною* – активна стадія зростання яру. У вершині яру, під впливом розмиву стікаючої води, утворюється уступ. На цій стадії схили яру круті, майже прямовисні; устя знаходиться значно вище за базис ерозії; ухили дна значні, й по дну в більшості випадків тече струмок. Яр розгалужується, в усті утворюється конус виносу.

III. *Стадія профілю рівноваги*, на якій яр своєю вершиною досягає вододілу, а устя – базису ерозії. Площа водозбору яру та ухили його дна перестають збільшуватися.

IV. *Стадія балки*, на якій яр, повністю припиняє свою ерозійну діяльність. Схили балки пологі, зарослі травою, чагарником і деревами, її ширина досить велика, а ухили дна малі.

В плані яри мають форму звивистих і гілкуватих систем, які розчленовують поверхню схилів і вододілів на величезних просторах, завдяки примикаючих до них відвершків різних порядків (рис. 3.8).

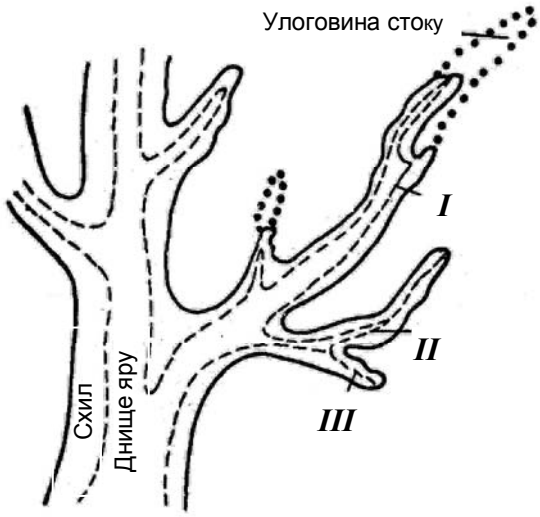

Рис. 3.8. Основні елементи діючого яру в плані (за І.Головим [31].)

І-ІІІ – відвершки І, ІІ та ІІІ порядків.

Площа ярів тільки на території Російської рівнини складає понад 5 млн. га і продовжує збільшуватися. Підраховано, що щоденні втрати ґрунтів через розвиток ярів досягають 100-200 га. Яружна ерозія найбільш широко поширена в лісостеповій і степовій зонах, у межах північно-західної частини Північного Причорномор'я, на правобережних крутосхильних ділянках долин Дністра, Південного Бугу, межиріччя Дунай-Дністер тощо, де щільність ярів змінюється від 25 до 100 на 100 км^2 із перевищенням на окремих ділянках цієї величини. Швидкість розвитку ярів не перевищує 1-2 м/рік.

Розвитку яружної ерозії перш за все сприяє широке розповсюдження покривних відкладів, представлених пилуватими супісками й суглинками, рідше пісками. 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 відбувається 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 тощо. У

великих індустріальних містах зростання ярів відбувається швидше. Відомо, що водний стік із заасфальтованої території у середньому удвічі вище, ніж у природних умовах. Серед міських ярів 80-95% мають техногенне походження. Причому швидкість росту у техногенних ярів вище, ніж у природних, і складає від 7-8 до 30 м за рік. Як наслідок - утрата таких цінних у містах земельних ресурсів. Причому іноді техногенні яри займають до 10-20% міської площі.

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 довжину за рахунок об'їздів, обмежують машинну обробку землі. Виноси рихлого матеріалу в результаті ерозії створюють певні незручності для господарської діяльності населення, перекриваючи луги, городи та 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 та знижують їх родючість. Збільшуючи ухили поверхні, яри сприяють інтенсивному змиву ґрунтового покриву з ріллі, тобто ерозії ґрунтів.

Проте найбільш значущім екологічним результатом прояву яружної ерозії є скорочення площі сільськогосподарських угідь, особливо ріллі й садів, та зниження родючості ґрунтів у зоні порушення їх режиму вологості. Для деяких районів розвитку чорноземів опосередкована дія на людину процесу лінійної ерозії виходить за рамки дискомфорту мешкання та може кваліфікуватися й як кризове, й як таке, що вимагає невідкладних масштабних природоохоронних заходів. Яружна ерозія - типовий процес, що приводить до локальної втрати ресурсу геологічного простору зі всіма виникаючими екологічними наслідками.

Інтенсивною яружною ерозією уражено 18% території України (за даними Держкомзему, площа ярів становить 141 тис. га), переважно у Хмельницькій, Вінницькій, Чернівецькій, Одеській, Київській, Черкаській, Кіровоградській областях та АР Крим. Наприклад, тільки в межах Кіровоградської області яружна ерозія розвинена на площі 5440 км^2, що складає 22% від її загальної території; кількість ярів – 16448, площа 7057 га, довжина 2665 км; густота яружної розчленованості для окремих ділянок становить 3,2 - 3,4 км/км^2; площове враження 11 - 12 га/км^2, а кількість ярів 15 - 20 од./км^2. Найбільш великі яри досягають у довжину від 2 до 2,7 км, глибина їх врізу 10 - 15 м, інколи 20 - 25 м.

Водна ерозія ґрунтів відбувається в результаті площинного змиву під дією тимчасових водних потоків і приводить до руйнування верхнього найродючішого гумусового горизонту ґрунтів.

Водна ерозія є справжнім бичем землеробства у нас у країні та у світі – до неї є схильними 31% суші. В США еродовані біля 40% всіх сільськогосподарських земель, а в посушливих районах світу ще більше - 60% від загальної площі (із них 20% сильно еродовані).

Розрізняють такі форми водної ерозії ґрунтів – площинну, струменисту та глибинну. *При площинній ерозії* відбувається порівняно рівномірний змив ґрунту під впливом стоку води, яка не встигає всмоктуватись. *При струменистій ерозії* створюються неглибокі промоїни, а *при глибинній* – відбувається розмив потоками води ґрунтів і гірських порід. Найбільш широко ці процеси протікають в умовах степу й лісостепу.

Ерозійний потенціал територій збільшується із зростанням крутизни й довжини схилів, він 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 дрібнозему 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 зі зростанням умісту гумусу, міцності структурних зв'язків, із зменшенням ступеня водопроникності. Вона зростає в такому ряді: дерново-підзолисті ґрунти - сірі лісні чорноземи. Для дерново-підзолистих ґрунтів, розвинутих на легких покривних суглинках, при зменшенні вмісту гумусу в 3 рази коефіцієнт еродованості (і відповідно змив ґрунтів) зростає в 1,5 раза.

Як і у випадку дефляції, умови для прояву водної ерозії створюють природні чинники, а основною причиною її розвитку є виробнича та інша діяльність людини. Зокрема, поява нової важкої сільгосптехніки, що руйнує структуру ґрунту, - одна з причин активізації водної ерозії в останні десятиріччя. Іншими негативними антропогенними чинниками є знищення рослинності й лісів, надмірний випас худоби, відвальна обробка ґрунтів тощо.

Змив ґрунту веде до деградації гумусового горизонту, до зменшення вмісту в ґрунті органічної речовини, азоту й інших мінеральних речовин, необхідних для живлення рослин. В результаті погіршується структура ґрунтів. Усе це призводить 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. У просторі ці процеси виявляються як на регіональному (у межах певної грунтово-рослинної зони), так і на лока-

льному (конкретна ділянка схилу) рівнях. З масштабом розвитку ерозійних процесів пов'язана і значущість наслідків їх впливу на природне середовище й на зміну екологічної ситуації. Залежно від цього вони можуть відноситися до небезпечних або несприятливих процесів.

За останні 30 років площа еродованих земель в Україні зросла майже в 1,5 рази. Інтенсивною ерозією уражено 18% території країни, від водної ерозії та дефляції потерпає понад 17 млн. га. В Донецькій області еродовано 70% ґрунту, в Луганській - 61,6%, в Одеській - 56%. В цілому збільшення площі еродованих земель складає щорічно близько 80 тис. га, а збитки через ерозію оцінюються понад 9 млрд. грн. Найбільш уражені водною ерозією землі в центральному та південно-східному регіонах країни.

За даними Укрземпроекту на кінець 1990-х рр. в Україні площа змитих орних земель складала 12148,6 тис. га. Частка змитих земель сільського господарства в Луганській області досягла 84%, в Донецькій - 62%, в Одеській, Кіровоградській та Харківській - до 49%.

Карстовий процес полягає в розчиненні й вилуговуванні гірських порід підземними водами, що рухаються, з утворенням своєрідних поверхневих форм рельєфу і підземних порожнин у вигляді порожнин, каналів, галерей, печер тощо (рис. 3.11). 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 300-400 м. У межах Російської плити він розвинутий на південному схилі Балтійського щита, на периферії Московської синеклізи, у районі Жигулівського підняття; він також поширений у Карпатах, Криму, на Кавказі, Уралі. На Сибірській платформі карст приурочений до північного схилу Алданського щита, до Тунгуської й Вілюйської синекліз, до Ангаро-Ленського прогину. Широко представлений він у Казахстані й Середній Азії.

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 карстових процесів частіше за все до присхило-

вих частин долин і зменшення закарстованості масивів порід із глибиною й у бік вододілу.

Карстові процеси за своїми еколого-геологічними наслідками відносяться до розряду небезпечних. 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 із формами у вигляді вирв, ярів сліпих балок, замкнутих улоговин розміром до десятків і сотень квадратних кілометрів. Їх поява впливає й на інші компоненти ландшафту, змінюється характер рослинності, типи ґрунтів, гідрографія. Злиття вирв 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 закарстованих породах, що залягають під їх руслом.

При заляганні розчинних порід на глибині серед нерозчинних утворюється підземний карст у вигляді порожнин, каналів, печер тощо. 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, часто солоних хлоридно-сульфатних джерел із дебітом, що досягає десятків кубічних метрів у секунду. Тому 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 соляного карсту.

Карстові процеси приносять значний непрямий матеріальний збиток як на стадії проектування, так і експлуатації споруд. Це пов'язано з тим, що закарстовані породи не завжди є надійною основою й середовищем для розміщення інженерних споруд, можуть виникати деформації й провали будівель, великі притоки води в підземні виробки й котловани, які 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.

Карст багато в чому визначає якість й сам ресурс підземного та наземного геологічного простору на територіях, що складені розчинними породами, а отже, й їх еколого-геологічні умови.

На понад 60% території України поширені процеси карстоутворення, причому 27% території охоплені відкритими формами (вирви, колодязі, провали тощо). Карст розповсюджено на площах, де розвинуті гірські породи, що карстуються (карбонатні, сульфатні та соленосні), в межах Волинської, Рівненської, Донецької, Луганської, Хмельницької, Тернопільської, Вінницької, Миколаївської областей та АР Крим.

Абразія (від лат. abrasio - зіскоблюю)- це процес руйнування берегів озер і морів під дією хвиль, течій, приливів і відливів, який приводить до зміни контурів берегової лінії та до її переміщення у бік суші (рис. 3.9).

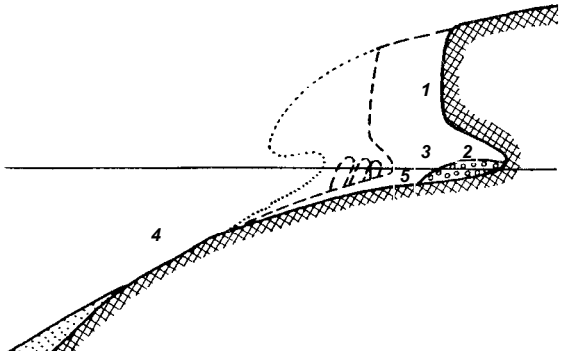

Рис. 3.9. Схематичний профіль абразійного берегу [44].

1 – береговий обрив; *2* – хвилеприбійна ніша; *3* – пляж; *4* – підводна абразійна тераса; *5* – притулена підводна акумулятивна тераса

Абразійні процеси широко розвинуті на узбережжі Балтійського, Середземного, Азовського та інших морів, на Кримському й Кавказькому узбережжі Чорного моря та на озері Байкал.

Інтенсивність абразії обумовлюється, в основному, розміром і режимом водоймища, складом, будовою й станом порід, що складають узбережжя, морфологією берега. *Руйнівна сила* вітрової хвилі залежить від її висоти, тобто маси води і швидкості, із якою хвиля ударяється в берег. *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, що особливо наочно виявляється на Південному березі Криму

Дуже нестійкі до руйнувань райони узбережжя, що 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 наявністю процесів, що знижують міцність порід берега, таких як старі й 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 та 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 й вузький пляж. В тих випадках, коли на рівні хвилеприбою залягають слабі породи, формується нависаючий карниз. Берег стає нестійким, розвиваються як обвально-осипні, так і обвальні процеси, на схилі вище за обрив виникають тріщини. В результаті абразії змінюються контури берегової лінії й відбувається її переміщення у бік суші.

Швидкість відступу берегового уступу напряму пов'язана зі складом порід. На Чорноморському узбережжі в лесових породах швидкість відступу берегового уступу складає, в середньому, 2-7 м/рік, (іноді до 20 м/рік); в алювіально-морських слабозцементованих пісках, глинах і суглинках - 2-5 м/рік, (іноді до 10 м/рік); середньорічний розмив обвальних накопичень - від 0,3 до 3 м/рік; аргіліти й алевроліти теригенного флішу руйнуються зі швидкістю від 5 до 30 см/рік. Це веде до прямих матеріальних збитків, пов'язаних із перенесенням шосейних і залізничних доріг на узбережжі, із деформацією або повним руйнуванням житлових і промислових об'єктів, портових споруд, побудованих на берегах морів і озер. Такі руйнування можуть набути й катастрофічного характеру.

Абразія є локальним чинником зміни якості ресурсу геологічного простору особливо значущого в курортних зонах узбережжя південних морів.

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 узбережжя значної протяжності. В той же час ці процеси

можуть виявлятися й на локальних ділянках, де створюються для цього сприятливі умови.

Прибережна смуга Азовського й Чорного морів у межах України займає до 2870 км (із них піддаються абразії до 60%), має виняткову рекреаційну цінність, відрізняється підвищеною щільністю населення та динамічним економічним розвитком. Берегова смуга внутрішніх водосховищ та інших поверхневих водних об'єктів України становить майже 15 тис. км, із яких більше 16% мають високий рівень ураженості абразійними процесами.

За даними моніторингу протяжність берегів, що зазнають абразійних процесів, за останні 30 років збільшилася від 2 до 5 разів, і найбільша їх активізація спостерігається в АР Крим, Одеській й Миколаївській областях. Довжина берегів, вже зруйнованих абразією на Чорному морі, дорівнює 914 км, а на Азовському – 253 км, що загалом складає 40% від загальної довжини їх берегової лінії.

3.2.3. Несприятливі процеси

Просідання - це здатність лесових порід зазнавати вертикальну деформацію під дією власної ваги породи або під спільним впливом ваги породи й додаткового навантаження від споруди при замочуванні водою. Треба відмітити, що при відсутності зволоження, просідаючи різновиди не відрізняються своєю поведінкою від аналогічних за складом лесовидних глинистих порід.

Для лесових порід, здатних до просідання, характерні такі особливості складу і властивостей: однорідність і нешаруватість; мала вологість; високий уміст пилуватих часток із розмірами 0,05-0,005 мм (40-50% і більше) і карбонатів - переважно кальциту (до 15-20%); присутність водорозчинних солей – сульфатів і хлоритів (до 3 - 5%); висока пористість (40-55%%). Лесові породи підрозділяється на два види - просідаючі при природному тиску, й на ті, що проявляють просідання при додаткових навантаженнях. Лесові породи, для яких не характерні перераховані вище ознаки, відносять до *лесовидних*.

Лесові породи зустрічаються на всіх континентах, але найбільшого поширення вони набули в Європі, Азії та Америці. За підрахунками К. Кейльгака, при середній потужності лесу 10 м загальна площа, зайнята лесовими породами на земній кулі, складає 19 млн. км^2. Північна межа розповсюдження лесів опускається в Європі до 60^0 північ. ш., в Азії вона проходить набагато північніше, а південна межа досягає 28^0 північ. ш. У тропічних і субтропічних областях леси не зустрічаються. На території країн СНД площа, покрита лесовими породами, складає близько 34%

від їх континентальної частини. Леси залягають суцільним покривом на більшій частині України (понад 65%) і півдні європейської частини Росії. Великі площі покриті лесовими породами в Середній Азії, Казахстані, Східному, Південному і Західному Сибірі. Досить часто вони зустрічаються в Білорусі, Поволжьє, Якутії та інших районах.

Леси - це молоді відклади четвертної системи, що виникли в недавній геологічний час (не більше 1,5 млн. років тому назад), а в певних фізико-географічних умовах вони можуть утворюватись прямо на очах людини, наприклад, в результаті діяльності пилових бур. За умовами залягання леси повсюдно розташовуються у вигляді покривів (тобто не перекриті іншими відкладами).

Потужності лесових порід коливаються від декількох сантиметрів до десятків і навіть сотень метрів. В північних районах, де лесові відклади розвинуті лише на окремих ділянках, їх потужність складає 5-10 м, а в районах суцільного розповсюдження (на півдні України, Північному Кавказі) вона підвищується до 30-50 м і більше. Найбільш потужні розрізи лесових порід (до 100-200 м) знайдені в міжгірських западинах на території Середньої Азії.

З сучасної точки зору, основою *механізму просідання* лесових порід, є два взаємозв'язані явища, які розвиваються при зволоженні лесів й дії зовнішнього навантаження. По-перше, відбувається різке зниження енергії взаємодії мінеральних зерен і глинисто-пилуватих агрегатів на контактах, втрата структурної міцності внаслідок перетворення перехідних контактів у коагуляції, руйнування цементаційних контактів і зникнення капілярних сил. По-друге, відбувається розпад глинисто-пилуватих агрегатів, якій супроводжується формуванням своєрідних дефектів у мікроструктурі лесів, і виникають умови для взаємного зсуву структурних елементів. Таким чином, в результаті просідання відбувається стулення частини макропор і більшості крупних міжагрегатних мікропор, що призводять до ущільнення зволоженої частини товщі порід. Таким чином, *просідання* є складним фізико-хімічним процесом, що відбувається під впливом багатьох факторів – специфічної структура, будови порового простору, особливого характеру структурних зв’язків, властивостей породи, характеру та інтенсивності зволоження тощо.

У зв'язку з широким розповсюдженням лесових порід проблема боротьби з просіданням цих порід в основі інженерних споруд є дуже актуальною. Адже при промочуванні лесу відбувається просідання і різке зменшення міцності ґрунту (під *ґрунтом* розуміють будь-яку гірську породу, що є предметом інженерної діяльності людини). При цьому спостерігається втрата стійкості основи, її інтенсивне осідання й часто видавлювання водонасиченого лесового ґрунту з під фундаменту споруди, що, звичайно, приводить до повного або часткового руйнування будівель,

дамб, шляхів тощо. За оцінками фахівців, до 45% вартості робіт при будівництві цивільних і промислових об'єктів на лесових ґрунтах витрачається на комплекс заходів, що запобігають деформації споруд через просідання. За даними М. Харькиної, просідання лесових ґрунтів у результаті підтоплення відбувається в 563 містах Росії; разовій економічний збиток від цього складає – 30 млн. дол., а середній річний - 600-800 млн. дол.

Визначення загальної деформації основ споруд при будівництві на лесових породах визначається як сума величин осідання й просідання ґрунтової товщі. При визначенні просідання від додаткових навантажень фундаментів споруд, його величина залежить від ширини фундаменту і регламентується СНиПом 2.02.01-83 (ДБН В.1.1-5-2000). *Ґрунтові умови ділянок*, складених лесовими ґрунтами, просідання яких відбувається під впливом природного навантаження, розділяють на 2 типи:

1 тип - ґрунтові умови, в яких можливе, головним чином, просідання ґрунтів від зовнішнього навантаження, а просідання ґрунтів від природного навантаження відсутнє або не перевищує 5 см;

2 тип - ґрунтові умови, в яких крім просідання ґрунтів від зовнішнього навантаження можливе їх просідання від природного навантаження й розмір його перевищує 5 см.

В залежності від того, до якого типу належить та чи інша ділянка, призначають різний комплекс заходів, щоб запобігати утворенню деформацій просідання або усунути просідання лесових ґрунтів.

Просідання за своїми еколого-геологічними наслідками відноситься до розряду скоріше несприятливих, ніж до небезпечних або катастрофічних процесів. Процеси просідання можуть істотно змінити умови життєдіяльності людини через деформацію й ускладнення експлуатації інженерних споруд (рис. 3.10).

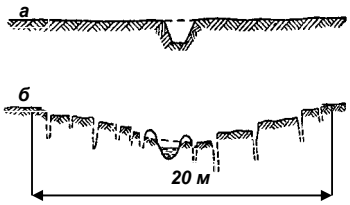

Рис. 3.10. Схема руйнування території вздовж зрошувального каналу під дією просідання лесових порід (за Г.Мавляновим [31])

а – до просідання; *б* – після просідання

Просідання приносить значний матеріальний збиток як на стадії проектування, так і експлуатації споруд. Це зв'язано з тим, що просідання лесових порід, які є ненадійною основою й середовищем для розміщення інженерних споруд, може викликати деформації й руйнування будівель, їх крени тощо.

В залежності від типу ґрунтових умов, інтенсивності додаткового навантаження та перезволоження просідання може розвиватися поволі протягом відносно тривалого часу, або з великою швидкістю, що збігається з термінами будівництва й експлуатації споруд. За площею розвитку просідання відноситься до регіонального рівня, охоплюючи великі площі в межах території розвитку лесових порід, а за дією – до локального рівня .

Просідання багато в чому визначає якість й сам ресурс геологічного простору на територіях, які складені лесовими породами, а отже, й їх еколого-геологічні умови.

В Україні лесові ґрунти займають більше 65% від території країни. Практично вся територія Одеської, Миколаївської, Херсонської, Запорізької, Дніпропетровської, частково Харківської, Вінницької та Полтавської областей складена просідаючими ґрунтами першого та другого типу складності умов будівництва. Просідання лесових ґрунтів виникають навіть при незначному (2-5%) збільшенні вологості і змінюються в широких межах - від 0,1 до 2,5-3 м. У зв'язку з просіданням лесових ґрунтів починається осідання поверхні землі, що викликає нерівномірне осідання фундаментів і, як наслідок, нерівномірні деформації, крени, недопустимі тріщини й навіть руйнування наземних конструкцій, будинків та споруд, нерідко створюючи критичні ситуації. В Україні дія процесів просідання призвела до деформації понад 10 тис. будинків і споруд. Тільки в Запоріжжі від просідання лесової основи фундаментів деформовано 900 будівель, а вежа обласного радіотелепередавального центру нахилилася майже на 40 см.

Заболочування – це процес довготривалого перезволоження ділянок земної поверхні, на яких на протязі більшої частини року спостерігається надлишок вологи, що скупчується на поверхні землі або насичує ґрунт рослинного шару і підгрунтові горизонти. Звичайно, такі ділянки земної поверхні покриті вологолюбною болотяною рослинністю. Ділянки поверхні, де в результаті заболочування відбувається накопичення рослинних залишків і утворився торф із потужністю не менше 30 см, називають *болотами* (рис. 3.11).

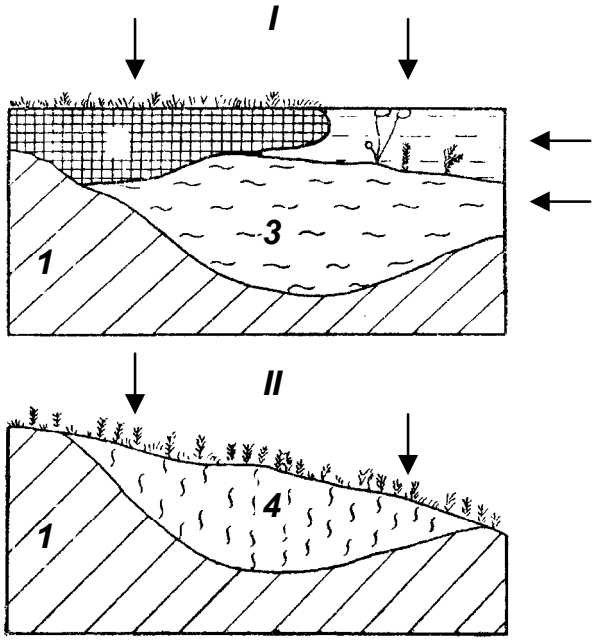

Рис. 3.11. Схема болота та заболоченої місцевості [3].

I – болото; *II* – заболочена місцевість;
1 – мінеральне дно; *2* – торф; *3* – мул; *4* – заболочений ґрунт
(стрілки показують джерела живлення)

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. Заболоченими є великі простори Мещерської, Молого-Шекснінської, Поліської, Причорноморської, Прикаспійської й інших низин. Аналогічна картина спостерігається і в Сибіру, де заболочена величезна територія Західносибірської низовини. Заболоченими також виявляються заплави і пригирлові частини в долинах крупних річок.

Процеси заболочування істотно змінюють природне середовище й умови життєдіяльності людини. Відбувається повна зміна характеру рослинності, надмірне зволоження погіршує повітрообмін ґрунту і шкідливо відображається на деревної, чагарникової і трав'янистої рослинності. Відбувається поступове пригноблення й відмирання одних форм і розвиток інших, вологолюбних трав'янистих рослин (осока, очерет тощо) та пригноблювання сосни й моху. Заболочування завдає збиток лісовому господарству, погіршує водний режим ґрунтів рослинного шару та перешкоджає отриманню високих і стійких урожаїв, іншими словами, знижує якість природного ресурсу.

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 й 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 як локально - в невеликих западинах і зниженнях, так і носити яскраво виражений регіональний характер.

В цілому заболоченість території України не дуже велика – близько 2% від усієї площі, й тільки в північній частині країни (на Поліссі) цей показник досягає 6%.

Бічна та донна ерозія - ці процеси 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. Співвідношення глибинної й бічної ерозії змінюється на різних стадіях розвитку річкової долини. В початкових стадіях переважає глибинна ерозія, коли водний потік прагне виробити свій подовжній профіль, який характеризується значними нерівностями. Річка прагне згладити ці нерівності стосовно рівня моря або озера, в які вона впадає. Рівень басейну, куди впадає річка, визначає глибину ерозії річкового водного потоку і називається *базисом ерозії*. Він є загальним для всієї річкової системи. Поступово в нижньому перебігу річки ухил подовжнього профілю зменшується, наближаючись до горизонтальної лінії, зменшується швидкість течії і, отже, затухає глибинна ерозія.

В залежності від переважання дії бічної або донної ерозії змінюється будова річкових долин. Коли річка знаходиться у стадії *донної ерозії*, вона має характерний східчастий подовжній профіль, що складається з 3

частин: на ділянці, що примикає до базису ерозії, врізування русла закінчено, річка виробила профіль на рівні нового базису ерозії (*AB* на рис. 3.12). На ділянці *BC*, яка розташована вище по течії, річка продовжує посилено поглиблювати русло. Ця ділянка круто падає, на неї зосереджена вся ерозійна робота річки. Вище за цю ділянку врізування ще не починалося. Це рівноважна ділянка старої долини *CD*, але ця рівновага тимчасова; врізування русла поступово розповсюджується і на неї, поки не дійде до витоків річки. Якщо річка прорізає товщу чергуючихся порід різної міцності, то результати врізування можуть бути дуже нечіткими. Наприклад, у тому разі коли річка розмиває глинисті сланці, прорвані трьома діабазовими дайками (рис. 3.12, *г*).

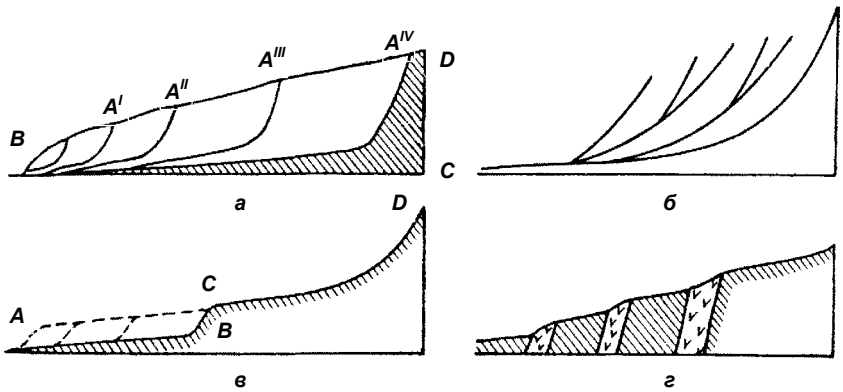

Рис. 3.12. Схема дії річкової донної ерозії [44].

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.

В результаті *бічної ерозії* відбувається інтенсивне руйнування правих берегів річок північної півкулі (згідно правила Бера). Внаслідок цього праві береги річок звичайно мають піднесений або навіть гористий характер, тоді як ліві їх береги дуже часто є широко розвинутими низовинними заплавами, вигладженими ерозією. На лівих заплавних берегах річок часто виникають своєрідні закрути – *меандри*. Під впливом бічної ерозії долина річки поступово розвивається завширшки (рис. 3.13).

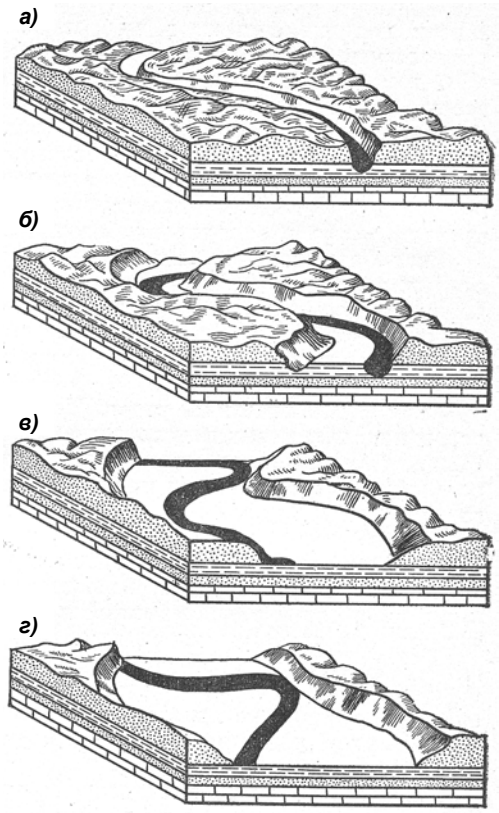

Рис. 3.13. Розширення річкової долини внаслідок дії бічної ерозії [31]

а–г – послідовні стадії розвитку

Переважання бічної ерозії приводить до меандрування річки та до появи великих закрутів, долина характеризується широкими терасами, заливними луками на заплаві, старицями й озерами зі значною потужністю алювіальних відкладів.

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 кількох 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 залізничних доріг, лінії зв'язку й електропередач, газо- і нафтопроводи, промислові споруди й житлові будинки, сільськогосподарські угіддя, сади й городи.

Ерозійна діяльність річок на території України підвищується в напрямку з півночі на південь. На півночі країни й у лісовій зоні відсутні місцеві глибокі базиси ерозії, розвитку ерозії перешкоджає практично повсюдно розвинутий рослинний покрив. Тому при достатньому й надмірному зволоженні та малорозчленованому рельєфі процеси ерозії розвинені слабо. Бічна ерозія виявляється лише у руслах річок Західний Буг і Стир. Вона найбільш інтенсивна в місцях меандрування, де розвинуті вертикальні обриви висотою від 6-7 до 10-15 м.

В лісостеповій і особливо степовій зонах, при їх майже повному безлісі, а також при великій розораності схилів, наслідки від ерозії набувають місцями великі розміри. Сприяють розвитку ерозії і широко поширені леси та лесовидні ґрунти, що легко піддаються розмиву. В межах Подільської височини бічна ерозія набула розвитку в середній і нижній течії річок Золота Липа, Коропець, Стрипа, Серета, Нічлава, Свіна та їх притоків. На таких ділянках відбувається активна переробка заплавних відкладів, надзаплавних терас, а місцями й корених схилів. В межах Придніпровської височини розвитку бічної ерозії на річках Сула, Псел та правобережжі Ворскли сприяє втрата стійкості схилів й активізація зсувних процесів. Меандрування русла викликає розмив правих і лівих берегів.

Суфозія (від лат. suffossio - підкопування) – це процес хімічного і механічного руйнування та виносу потоками підземних вод окремих компонентів і крупних мас дисперсних й зцементованих уламкових порід, у тому числі тих, що складають структурні елементи скельних масивів.

Частіше за все процеси суфозії приурочені до тонко- і дрібнозернистих пісків і особливо до лесів, які мають низьку здатність чинити опір ерозійної дії підземних вод (рис. 3.14).

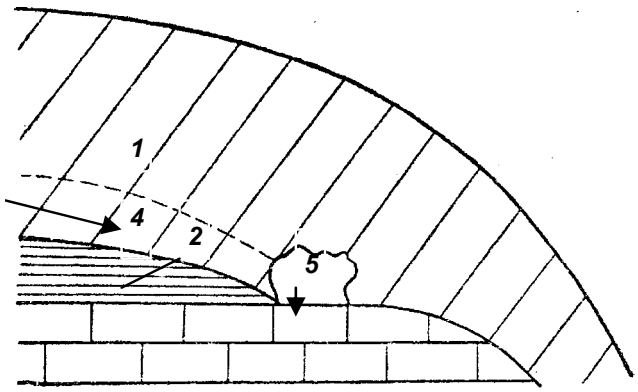

Рис. 3.14. Суфозійна порожнина в лесових породах, які залягають на черепашкових вапняках в долині р. Темернік в м. Ростов-на-Дону (за В.Ананьєвим [3])

1 – лесові породи; *2* – водотривка глина; *3* – черепашковий вапняк; *4* – потік ґрунтових вод; *5* – суфозійна печера

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 вирв.

Суфозія відноситься до геологічних процесів, початкові стадії розвитку яких, як правило, протікають під землею й приховані від прямого спостереження. Процес "відкрито" заявляє про себе в той катастрофічний момент, коли на поверхні землі або під фундаментом споруди раптово утворюються викликаний їм зсув, провал або осідання ґрунту.

Суфозійні процеси розвинуті в Поволжі, Красноярську, Середній Азії тощо. В дельтах Амудар'ї й Сирдар'ї поверхневі провальні вирви в лесових породах мають розміри від 0,3 х 1 м (глибина 0,1-0,15 м) до 4 х 6 м (глибина 2 м); розмір печер досягає 6 х 28 м (глибина 3 м). Іноді провальні вирви стуляються й утворюються "провальні яри". Близько розташовані вирви з'єднуються горизонтальними ходами з утворенням цілих полів. Площа таких полів на східному узбережжі Сарикамишського озера досягає десятків квадратних кілометрів, а коефіцієнт ураженості змінюється від 0,18 до 0,60. В долинах р. Гульбіота й Іляк у лесових породах середньочетвертинного віку протяжність крупних порожнин досягає 400 м. Глибина ураженості суфозійними процесами - до 30 м.

В останні роки посилилась техногенна активізація суфозійних процесів у містах, промислових і гірничовидобувних центрах, а також у прибережних зонах рівнинних водосховищ. Взаємодія суфозійних процесів з об'єктами промислового й цивільного будівництва нерідко приводить до серйозного збитку і навіть до катастрофічних наслідків. Так суфозійний зсув, що утворився в 1983 р. в м. Кургані, й був спровокований витоками з водонесучих комунікацій, викликав руйнування житлового будинку й загибель людей.

В 1986 р. в одному з передмість м. Бразіліа відбулись масові провали поверхні землі, які були обумовлені таким небезпечним різновидом суфозії, як підземна ерозія, що привело до руйнування понад 50 житлових будинків.

У східних штатах США пов'язана з карстом суфозія, яка була викликана інтенсивною експлуатацією підземних вод і супроводжувалась утворенням провалів, починаючи з 1940-х рр. постійно руйнує житлові й промислові будівлі та об'єкти інфраструктури. Тільки в 1980 р. збиток від руйнування товарного складу в м. Россвілл (штат Джорджія) склав понад 1,4 млн. дол.

В понад 100 будівель в одному з житлових районів Єревану в 1970-х рр. відбулись деформації у результаті хімічної суфозії, причому деякі з них прийшли в аварійний стан і були знесені.

За оцінкою А.Рогозина, в кінці минулого століття негативні наслідки від процесів суфозії спостерігалися в 958 містах Росії, а викликаний ними орієнтовний середньорічний економічний збиток складав 0,5 млрд. рублів у цінах 1990 р.

Не дивлячись на приведені вище та інші відомі факти, є всі підстави вважати, що основний збиток, обумовлений суфозією, пов'язаний не стільки з великими аваріями та катастрофами, скільки з практично постійними або тими, що періодично повторюються, дрібномасштабними негативними діями техногенних суфозійних процесів на об'єкти, наприклад - руйнуванням асфальтових покриттів.

Необхідно також відзначити одну парадоксальну обставину - суфозія нерідко є побічним результатом застосування заходів щодо захисту від інших геологічних процесів, при цьому знижуючи ефективність інженерного захисту і, викликаючи нові непередбачені проблеми. Досить часто зустрічається суфозійний винос порід у пошкоджені протизсувні дренажні штольні, що супроводжується виникненням провалів, та підземна ерозія, яка активно розвивається на контакті гірських порід із конструктивними елементами берегозахісних споруд, що приводить до їх руйнування. Спостерігається також утворення суфозійних порожнин і провалів при замочуванні лесових порід, яке використовується як захід проти про-

сідання, та формування стійких суфозійних каналів у цементному камені, якім заповнюють карстові порожнини.

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 зі значними нерівномірними осіданнями будівель і споруд, їх деформацією і навіть руйнуванням при утворенні підземних порожнин.

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

На території України суфозійні процеси розповсюджені на багатьох ділянках Подільсько-Буковинської, Західно-Поліської, Південно-Східної, Донбаської та Рівнинно-Кримської карстових областей. Головна причина виникнення суфозійних деформацій на цих територіях – надмірний водовідбір або водовідлив при виконанні гірничих роботах.

3.3. Вплив діяльності людини на геолого-динамічні умови території

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 перш за все наносять екологічний та економічний збиток самому людському суспільству, наприклад, руйнують інженерні споруди, забруднюють повітря, поверхневі й підземні води тощо. Зростаючі масштаби господарської діяльності та поява все нових видів техногенного впливу викликає потужній вплив на всі компоненти природного середовища. Це проявляється в глобальній зміні клімату, порушенні кругообігів води в природі, скороченні площ лісових насаджень, зміні складу атмосферного повітря, забрудненні суші 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 фізичних полів Землі* - гравітаційного, геотермічного, магнітного, електричного та інших. Змінюються гідрогеологічні умови, підсилюється хімічне й бактеріологіч-

не 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, просідання 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 й кар'єрного водовідливу, істотного збитку ресурсному потенціалові територій завдає й *зміна гідрогеологічних умов*. Формування крупних депресійних 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 спів ставити з природними, що підпали під вплив вивітрювання або інших природних процесів. Розвиток будівельної техніки дозволив різко підвищити об'єми перемі-

щених техногенних ґрунтів, наприклад, на окремих ділянках будівництва їх об'єм може досягати десятків мільйонів кубічних метрів. 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 відмінного від первинного складу, 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.

3.4. Геодинамічні та інженерно-геологічні критерії 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 критеріїв і показників, які можна розбити на 4 основні групи:

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

критерії та 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 агломерації, специфіка яких визначається високою щільністю населення й концентрацією матеріальних цінностей людського суспільства. *Ботанічні і ґрунтові критерії* є найбільш інформативними поза зоною територій інтенсивного промислового використання, де природа ще знаходиться в більш-менш природному стані. *Геодинамічні та інженерно-геологічні*

критерії оцінки придатні для територій будь-кого типу освоєння, тому їх необхідно розглянути більш детально.

Геодинамічні та інженерно-геологічні критерії використовуються для оцінки еколого-геологічного стану рельєфу і підземного простору літосфери, а також для оцінки розвитку природних і антропогенних геологічних процесів. Усі нижче перераховані критерії оцінки є договірними, часто не мають строгого наукового обґрунтовування і часто не підтверджені нормативними документами. За своєю суттю вони є близькими до експертних оцінок. Сказане відноситься і до рекомендованих градацій указаних критеріїв оцінки, що свідчить про їх достатню умовність і можливу територіальну мінливість.

Площинні критерії оцінки. Для рельєфу і підземного простору у якості критеріїв зміни їх стану можна запропонувати два показники: площу й глибину порушення. Ранжирування цих критеріїв за класами станів приведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Оцінка стану еколого-геологічних умов
по особливостях рельєфу і підземного простору [50]

Критерій 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 (наприклад, СНиП 2.01.15-90). На підґрунті їх врахування та останніх розробок ВСЕГІНГЕО запропонована така шкала оцінок (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Оцінка стану поверхні літосфери за розвитком геологічних процесів [50]

Критерій оцінювання	Стан еколого-геологічних умов			
	задовільний	умовно задовільний	незадовільний	катастрофічний
Площина 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 небезпек	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

Реалізовуючи на практиці запропоновані в табл. 3.2 критерії 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 (див. розділи 6.4 та 6.5 цього підручнику).

Динамічні критерії оцінки. Важливість і актуальність використання динамічних критеріїв оцінки разом із статистичними (площі, об'єми тощо) обґрунтована вище. Проте в даному випадку доводиться констатувати, що розроблених динамічних критеріїв 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. 3.3).

Таблиця 3.3

Динамічні показники стану геологічного середовища за швидкістю зміни площинних критеріїв оцінки [50]

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 ступень 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 $C_ф$.

Розділ 4.
ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ ГЕОХІМІЧНІ ПОЛЯ
(основи екологічної геохімії)

На сьогодні практично неможливо уявити проведення будь-яких екологічних досліджень без використання геохімічних методів вивчення довкілля. Саме геохімія, основною особливістю методології якої є вивчення міграції атомів в різних процесах і системах, є ідеальним інструментом для вивчення зв'язків в екосистемах (за визначенням А.Тенслі, під екологічною системою розуміють будь-яку єдність, що включає всі організми на якійсь ділянці і взаємодіє з фізичним середовищем таким чином, що потік енергії створює певну трофічну структуру, видове різноманіття і кругообіг речовин всередині системи). Усталена в геохімії практика вивчення трьох аспектів міграції – змін речовини, енергії та інформації, є наразі абсолютно адекватною до вимог сформульованого ще В.І.Вернадським закону єдності організм - середовище (життя розвивається в результаті постійного обміну речовинами і інформацією на базі потоку енергії в сукупній єдності середовища і населяючих його організмів), а також до низки інших ключових екологічних законів: рециклічності, постійного відновлення ресурсів, розвитку довкілля, екологічної відповідності, екологічної кореляції, синергізму, максимуму біогенної енергії, фізико-хімічної єдності живої речовини тощо.

Геохімія вивчає ті ж системи (абіогенні, біогенні, біокосні та техногенні) що й інші науки про Землю, головна відмінність її полягає в тому що вона вивчає їх (системи) на атомарному рівні. Природні системи відрізняються від лабораторних умов 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. Відтак не дивно що саме геохімічна екологія, 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. Щоправда, формування цілої низки прикладних розділів екології (інженерна екологія, екологія міст, екологія агрохімічна, промислова, радіаційна, енергетична, рекреаційна тощо) завдає чималого клопоту класифікаторам наук, оскільки екологічна теорія і практика природокористування тут сходяться настільки близько, що розвести їх надзвичайно складно. В будь-якому разі прикладна геохімія є щонайповніше задіяною нині в різноманітних екологічних дослідженнях і з деякими її поняттями ми познайомимося в цьому розділі.

4.1. 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. Ще В.І.Вернадський відзначав що елемент може входити до складу гірських порід і мінералів, природних вод і газів, магм і живої речовини, а також перебувати в стані розсіяння.

Домінуючим, безумовно, є мінеральний вид знаходження, який може бути реалізований як утворенням власних мінералів, що характерно переважно для поширених типоморфних елементів, так і у вигляді мікровключень мінералів рідкісних елементів в породоутворюючих мінералах (мікровключення рудних мінералів в біотиті, наприклад). 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 (в елементарній та оксидній формах - магнетит в бактеріях, наприклад). При мінеральному виді знаходження елементу його здатність до міграції визначається не лише хімічними властивостями елементу а й стійкістю мінералу в умовах системи. Так, міграційні здатності калію і натрію, а також їх вплив на фізико-хімічні параметри середовища у випадку входження до складу алюмосилікатів і евапоритів суттєво відмінні.

Не менш різноманітним за формами реалізації є безмінеральний (розсіяний) вид знаходження елементів, який охоплює всі агрегатні стани речовини. До найпоширеніших його проявів належать:

- твердофазні ізоморфні та неізоморфні розчини (до 20% від загальної кількості атомів розсіяних елементів заповнюють ультратріщини та дефекти в кристалах);
- справжні й колоїдні розчини у внутрішньокристалічних твердих, розплавних, рідких та газоподібних включеннях, в плівкових, підземних та поверхневих водах, у складі живих організмів;
- сорбований стан в природних колоїдах, сорбція на гранях і ребрах мінералів, стінках пор;
- пари й гази в грунтовому і приповерхневому повітрі;
- металорганічні сполуки живих організмів.

Дуже важливе геохімічне значення має те, що розсіяні елементи не беруть участі в побудові кристалічних граток. 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). Якщо фіксація елементу M здійснюється відразу кількома речовинами (Q, R, S), то доцільним є використання валового коефіцієнту розподілу:

$$\bar{k}_M = \alpha \cdot k_M{}^Q + \beta \cdot k_M{}^R + \gamma \cdot k_M{}^S \qquad 4.1$$

де α, β і γ – є мольними частками осадження речовин Q, R і S, відповідно. В ідеальному випадку коефіцієнти розподілу мають визначатися ще й як функції температури, тиску та складу.

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):

$$P_X = \frac{1}{b} \cdot \frac{db}{dt} \qquad 4.2$$

У випадку коли інтенсивність міграції не змінюється з часом, кількість елементу (b) в будь-який момент часу (t) може бути розрахована за співвідношенням:

$$b = b_0 \cdot e^{P_X (t - t_0)} \qquad 4.3$$

де b_0 відповідає кількості елементу в системі в момент часу t_0.

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 і сил кристалізації, вулканів, тектонічних сил тощо. Механічна міграція залежить переважно від розміру часток мінералів і порід, їх густини, швидкості руху вод, вітру. Хімічні властивості елементів практично не мають значення, і такі різноманітні елементи, як калій, кремній і алюміній, входячи до складу підхопленої вітром піщинки ортоклазу ($K_2Al_2Si_6O_{16}$), мігрують з однаковою швидкістю. 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.

Провідними процесами *фізико-хімічної міграції* в верхній частині літосфери 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.

Геохімічний ефект реакцій *гідролізу*, суть яких полягає в реакції H^+ та OH^- з катіонами і аніонними групами мінералів порід та подальшому утворенні нерозчинних (глинисті мінерали) чи рухливих водорозчинних форм, має, без перебільшень, планетарний масштаб: суша поступово збагачується іонами H^+, які накопичуються в складі глинистих мінералів (їх можна розглядати як важко розчинні слабкі кислоти, наприклад - каолініт - $H_2Al_2Si_2O_8 \cdot H_2O$), а в океан, разом з катіонами металів, поступають іони OH^-, збільшуючи тим самим його лужність. За образним висловлюванням Келлера “Суша є кислотною частиною цієї реакції, а океан – лужною”. Гідроліз посилюється із зменшенням мінералізації вод та при зростанні температури. Зміна pH середовища при гідролізі пов’язана з утворенням слабко розчинних речовин, що веде до зв’язування іону H^+ чи OH^-. В реакціях гідролізу аніонів pH зростає із зменшенням константи дисоціації кислоти, а в реакціях гідролізу катіонів - зменшується тим сильніше, чим меншою є константа дисоціації лугу. Оскільки ж реакції гідролізу аніонів і катіонів є взаємопов’язаними, то pH системи буде тим нижчим, чим вищого значення досягне відношення констант дисоціації відповідних кислот та лугів.

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 відновленням, 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. В загальному ж випадку в зоні гіпергенезу в ролі окислювачів виступають: 1) речовини, атоми яких мають високі значення електровід'ємності - C - 2,55, N - 3,04, O - 3,44, S - 2,58, Cr - 1,66, Mn - 1,55, Mo - 2.16, Sb - 2,05, I - 2,66, W -2,36; 2) іони з дефіцитом електронів (наприклад, прості катіони у вищих ступенях окислення - Fe^{3+}, Mn^{4+}, Mn^{3+}, Ti^{4+}, Cu^{2+}, S^{6+}); 3) складні кисневі аніони, які містять катіон в значній ступені окислення - H_2O (H^+), SO_4^{2-}(S^{6+}), CO_2 (C^{4+}), NO_3^- (N^{5+}), NO_2 (N^{4+}), VO_4^{3-}(V^{5+}), CrO_4^{2-}(Cr^{6+}) тощо.

Відновниками в геологічному середовищі є атоми і іони здатні віддавати електрони, а саме: 1) елементи які мають найменшу електровід'ємність - Li - 0,98, Na - 0,93, Mg - 1,31, K - 0,82, Ca - 1,00, Rb - 0,82, Sr - 0,95, Cs - 0,79, Ba - 0,89 тощо; 2) іони, ступінь окислення яких може зрости - Fe^{2+}, S^{2-}, Mn^{2+}, Ge^{2+}, Cr^{3+}, V^{3+}, As^{2-}, Cu^0, Al^0 тощо; 3) складні аніони в яких катіон не має вищого ступеню окислення - SO_3^{2-}(S^{4+}), NO_2^- (N^{3+}) тощо; 4) атомарний водень, органічні речовини. Найважливішими відновниками в зоні гіпергенезу є органічні кислоти, Fe^{2+} та вільний водень.

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

---

[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 градусів Цельсія), тобто окислення водню до іонів H^+: **H_2->$2H^+$+$2e^-$**. 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.

середовища, а окисних (лімоніт, ярозит тощо) - про окислювальні. Про відновні умови можуть свідчити також мінерали Mn^{2+}, V^{3+}, Cr^{3+}, сульфіди, уранові черні, а про окислювальні - мінерали Mn^{4+} (піролюзит, вад), ванадати, арсенати, молібдати, вольфрамати, хромати, уранові слюдки, карбонати і сульфати.

За О.І.Перельманом [39] за величиною окислювально-відновного потенціалу виділяються наступні типи середовищ: 1) ультраокислювальні (присутні Cr^{6+}, Se^{6+}, U^{6+}, Mo^{6+}, V^{5+}, N^{5+},Tl^{3+}, Mn^{4+}, Ti^{4+}, Fe^{3+}, Co^{3+}, Cu^{2+}) характерні для лужних грунтів сухих степів і пустель, содових озер; 2) окислювальні (Fe^{3+}, Mn^{4+}, U^{6+}, Mo^{6+}, Cu^{2+}) – типові для океанів, річок, озер з вільною аерацією; 3) слабко окислювальні (Fe^{3+}, Mn^{2+}, U^{6+}, Mo^{6+}, Cu^{2+}) - характерні для підземних вод в скельних породах; 4) слабко відновні (Fe^{3+}, Fe^{2+}, Mn^{2+}) - властиві магмі та деяким підземним водам; 5) відновні (Fe^{2+}) - які домінують в сірководневих мулах морів та солоних озер, болотах, а також в сірководневих гідротермах та на Місяці; 6) сильно відновні (Fe^{0}, Si^{0} Al^{0}) – що, мабуть, характерні для земного ядра, низів мантії, метеоритів, а також деяких газотерм в земній корі (з Al^{0}).

Величину вірогідного окислювально-відновного потенціалу підземних вод при різних концентраціях компонентів можна розрахувати за формулою:

$$Eh = E^0 + \frac{0,059}{n}\lg\frac{a_{ок}}{a_{від}} - \frac{0,059\,m}{n}pH \qquad 4.4$$

де E^0 – стандартний потенціал реакції, n, m - число електронів і протонів, що беруть участь в реакції; $a_{ок}$, $a_{від}$ - активності окислених і відновлених форм компоненту. Це ж рівняння можна застосовувати при визначенні співвідношень між концентраціями окислених і відновлених форм компонентів за відомих значень Eh та для побудови діаграм стійкості мінералів та комплексних іонів в координатах Eh-pH.

Окислення і відновлення можуть відбуватися і при негативних, і при позитивних значеннях окислювально-відновного потенціалу підземних вод. Наприклад, близьке до нейтрального середовище з Eh, рівним +0,3 В, є окислювальним для з'єднань сірки, міді, заліза, але не є таким для з'єднань марганцю, велика частина активності якого в цих умовах знаходиться в двовалентній формі. Але кисле середовище (pH<2) при Eh=+0,7 В є формально відновним для заліза (для окислення до Fe^{3+} в цьому середовищі необхідний Eh=+0,77 В) і окислювальним для міді, оскільки для її відновлення в кислому середовищі необхідний Eh=+0,16 В. Тобто класифікація природних геохімічних обстановок на окислювальні і відновні є коректною лише якщо йдеться про конкретні

елементи.

Оскільки природні окислювально-відновні процеси відбуваються за участі H^+ то Eh, при якому відбувається окислення з'єднань якого-небудь елементу, зменшується із зростанням pH. Так як при збільшенні pH потенціали багатьох систем зменшуються швидше, ніж потенціал кисню, то процеси окислення багатьох речовин в лужному середовищі відбуваються легше і енергійніше, ніж в кислому. Наприклад, двовалентне залізо дуже легко окислюється в тривалентну форму в лужних водах (Eh<0), але дуже важко в кислих (Eh>0,700 мВ).

Компоненти хімічного складу, вплив яких на величину окислювально-відновного потенціалу підземних вод є вирішальним, називають потенціал формуючими. Щоб виконувати роль потенціал формуючої системи хімічні елементи змінної валентності повинні мати значну масу в породах і підземних водах, а реакції їх різновалентних форм з різновалентними формами інших елементів повинні відбуватись досить швидко і термодинамічно зворотно. Віднесення певної окислювально-відновної системи до потенціал формуючої передбачає, що розрахований за нею окислювально-відновний потенціал повинен відповідати його реальним значенням. Загальними потенціал формуючими системами є система кисню та система сірководню, наявність яких формує сильно окислювальну та сильно відновну обстановки, відповідно. В безкисневих і безсульфідних водах, потенціал формуючими можуть бути система заліза, система водню, система органічних речовин тощо.

Потенціал формуючі системи є «керуючими» для другорядних систем елементів зі змінною валентністю, оскільки останні вимушені «пристосовуватись» під основну потенціал формуючу систему, а їх фізико-хімічний стан в підземних водах трансформується під впливом окислювально-відновного потенціалу основної системи.

Виключне значення *комплексоутворення* 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.

Процеси *гідратації*, супроводжуючись суттєвим зростанням об'єму мінералів, не тільки сприяють руйнуванню порід, але й можуть спровокувати виникнення неотектонічних порушень різного роду (складкоутворення, розривні дислокації тощо, характерні для місць розвитку гіпс-ангідритових товщ). Одночасна ж дія на сульфіди гідратації та окислення призводить до формування вільної сірчаної кислоти, зі створенням сильно кислої обстановки.

Інтенсивність розвитку *карбонатизації*[2] залежить від кількості розчиненого у воді вуглекислого газу, не зв'язаного в карбонатах та бікарбонатах, тобто від кількості вільної (агресивної) вуглекислоти. Найлегше під дією вуглекислоти розчиняються карбонати двовалентних металів (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}). Процес карбонатизації звичайно супроводжує процес гідролізу алюмосилікатів. В результаті спільної дії цих процесів алюмосилікати втрачають лужні і лужноземельні метали, які (в формі розчинних карбонатів) переходять в розчин. В свою чергу, карбонати лужних металів сприяють переходу в розчин додаткових кількостей лужних металів у вигляді добре розчинних силікатів калію та натрію і утворенню кремнезему. В результаті спільної дії карбонатизації та гідролізу алюмосилікати втрачають лужні і лужноземельні метали, а також значну кількість SiO_2, формуючи розрізи складені нерозчинними гідроокислами алюмінію та заліза, водними силікатами Mg, Fe, Ni, Co та Al, а також кремнеземом. Загалом, в приповерхневій зоні літосфери вуглекислота є одним з найбільш агресивних реагентів, і здатна розчиняти навіть циркон.

Зона взаємодії літо-, гідро- атмо і біосфери є головною областю зародження і найбільш активної дії *колоїдних* систем, які утворюються тут 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 концентрацій).

Утворення золей значно розширює здатність елементів до міграції. Так, наприклад, більшість дослідників вважає що основна маса Si, Al, Fe, Mn та ряду інших елементів мігрує в поверхневих водах у вигляді колоїдних систем і дебатуються лише конкретні форми та склад таких

---

[2] *Карбонатизація* - процес взаємодії карбонатних та бікарбонатних іонів з гірськими породами та мінералами.

систем (гідрати, кислоти, солі тощо). Разом з головними компонентами колоїдів мігрують, у вигляді ізоморфних домішок всередині міцел та сорбованих іонів на їх поверхні, і елементи-домішки.

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. Так, енергія поглинання двовалентних катіонів монтморилонітом зменшується в ряду Pb>Cu≥Ca>Ba≥Mg>Hg, а каолінітом - в ряду Hg>Cu>Pb. Величезний ефект використання сорбційного ефекту дає при використанні сорбентів для обеззаражування середовища від шкідливих домішок: осадження As, Mo, Cu, Se тощо на $Fe(OH)_3$, MnO_2.

Надзвичайно важливим для формування геохімічних аномалій є *взаємне осадження* колоїдів, яке відбувається при зустрічі різнозаряджених міцел. В загальному випадку позитивний заряд несуть колоїди гідроокисів Zr^{4+}, Ti^{4+}, Th^{4+}, Ce^{4+}, Cd^{2+}, Cr^{3+}, Al^{3+}, а негативний – колоїди кремнезему, сульфідів As, Sb, Cd, Cu і Pb, елементарних S, Au, Ag, Pt, гідроокислів Mn^{4+}, U^{6+}, V^{5+}, Sn^{4+}, Mo^{5+}, W^{5+}. Водночас, знак міцел гідроокислів ряду елементів може змінюватись в залежності від параметрів середовища - так, міцели $[Fe(OH)_3]_n$ можуть мати склад або $[Fe(OH)_3]\cdot Fe^{3+}$, або $[Fe(OH)_3]\cdot(OH)_n^{n-}$. У випадку від'ємного заряду міцел $Fe(OH)_3$ (який може виникнути в результаті часткової сорбції таких аніонів як $HSiO_3^-$, HPO_4^{2-}, VO_4^{3-} тощо), вони відштовхують від себе однойменно заряджені частки MnO_2, $UO_2\cdot(OH)_2$ тощо. А це значить, що утворені лімоніти будуть "чистими" від домішок марганцю та урану навіть у випадку утворення на території уранових родовищ. Якщо ж заряд міцел $Fe(OH)_3$ є позитивним, то їх золь енергійно поглинає MnO_2, утворюються залізо-марганцеві лімонітові конкреції, в яких часто осаджується і уран.

Величезний вплив на поведінку багатьох рудних та рідкісних елементів мають органічні колоїди, в першу чергу гумінові (гумус), які не тільки стабілізують нестійкі мінеральні колоїди, але й містять велику кількість дуже активних функціональних груп (карбоксильних, спиртових, карбонільних, хінонних, фенольних тощо), завдяки чому здатні обмінювати іони H^+ на K, Na, Ca, Mg, Cu, Zn, U та інші метали, накопичуючи їх аж до досягнення промислових концентрацій.

Поширеність рідкісних і розсіяних елементів у земній корі визначалася багатьма дослідниками, зокрема Ф.У.Кларком, В.М.Гольдшмідтом,

В.І.Вернадським, О.Е.Ферсманом, Л.Г.Аренсом, С.Р.Тейлором, О.П.Виноградовим, К.Г.Ведеполем. Числові значення вмістів елементів в земній корі за пропозицією О.Е.Ферсмана одержали назву *кларків* (на честь Ф.У.Кларка, який першим достатньо повно і точно оцінив хімічний склад земної кори). Легко зрозуміти що значне розмаїття типів порід, відмінність геологічного положення, існуючі флуктуації складу створюють труднощі для отримання надійних оцінок середнього складу кори. Навіть більша однорідність океанічної (порівняно з континентальною) кори, у зв'язку з меншою вивченістю, не дуже полегшує процедуру оцінки.

Для отримання даних про середній склад земної кори дослідниками використовувались 3 основні підходи (та їх комбінації): підрахунок за наявними аналізами порід; підрахунок за аналізами з врахуванням поширеності порід; непряма оцінка (наприклад, шляхом визначення співвідношень основних та кислих порід за середнім складом осадків що утворились при звітрюванні цих порід). Всі ці підходи забезпечують відносно точну оцінку складу континентальної кори, вклад якої (як джерела речовини) в формування геохімічних полів середовища мешкання є вирішальним.

На сьогодні найчастіше користуються кларками земної кори за О.П.Виноградовим, за С.Р.Тейлором і К.Г.Ведеполем (табл.4.1).

Таблиця 4.1.

Поширеність елементів в земній корі (за [61])

Елемент	T&M	W	K_B	Елемент	T&M	W	K_B
Li	13	18	32	Ag	0,08	0,07	0,07
Be	1,5	2,4	3,8	Cd	0,098	0,1	0,13
B	10	11	12	In	0,05	0,05	0,25
C	200	1990	230	Sn	2,5	2,3	0,25
N	20	60	19	Sb	0,2	0,3	0,5
O	455900	468900	470000	Te		0,005	0,001
F	625	525	660	I	0,5	0,8	0,4
Na	22700	24020	25000	Cs	1	3,4	3,7
Mg	31500	22570	18700	Ba	250	584	650
Al	83100	80860	80500	La	16	30	29
Si	258800	284600	290000	Ce	33	60	70
P	1050	790	930	Pr	3,9	6,7	9
S	260	697	470	Nd	16	27	37
Cl	130	472	170	Sm	3,5	5,3	8
K	9300	20760	25000	Eu	1,1	1,3	1,3
Ca	52200	39770	29600	Gd	3,3	4	8
Sc	30	16	10	Tb	0,6	0,65	1,9
Ti	5330	4120	4500	Dy	3,7	3,8	5
V	230	98	90	Ho	0,78	0,8	1,7
Cr	185	126	83	Er	2,2	2,1	3,3

Еле-мент	T&M	W	K_B	Еле мент	T&M	W	K_B
Mn	1380	780	100	Tm	0,32	0,3	0,27
Fe	69800	44590	46500	Yb	2,2	2	0,33
Co	29	24	18	Lu	0,3	0,35	0,8
Ni	105	56	58	Hf	3	4,9	1
Cu	75	25	47	Ta	1	1,1	2,5
Zn	80	65	83	W	1	1	1,3
Ga	18	15	19	Re	0,0004	0,0004	0,0007
Ge	1,6	1,4	1,4	Os	0,000005	0,00005	
As	1	1,7	1,7	Ir	0, 0001	0,00005	
Se	0,05	0,12	0,05	Pt		0, 0004	
Br	2,5	1,0	2,1	Au	0,003	0,0025	0,0043
Rb	32	78	150	Hg	0,08	0,04	0,083
Sr	260	333	340	Tl	0,36	0,52	1
Y	20	24	20	Pb	8	14,8	16
Zr	100	203	170	Bi	0,06	0,085	0,009
Nb	11	19	20	Th	3,5	8,5	13
Mo	1	1,1	1,1	U	0,91	1,7	2,5
Pd	0,001	0,004	0,013				

Примітка: T&M – кларк верхньої частини континентальної кори за Taylor, S.R. і McLennan, S.M.. (1995), W - кларк верхньої частини континентальної кори за Wedepohl, K. H. (1995), K_B – кларк земної кори за О.П.Виноградовим (1962); все в 10^{-4}% мас.

Як бачимо, 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 є *типоморфними*[3]. Найпоширенішим елементом є кисень, атоми якого складають до 47% маси земної кори і близько 90% об'єму. Саме ця обставина дала Гольдшмідту можливість (і право) назвати земну кору *оксисферою.*

Верхня частина континентальної земної кори збагачена, порівняно з мантією, Li, Be, B, F, Na, Al, P, K, Ti, Ga, As, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, In, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Hf, Ta, W, Au, Hg, Tl, Pb, Bi, Th, U, і збіднена - C, Mg, S, Cl, Cr, Fe, Co, Ni, Ru, Rh, Pd, Te, Yb, Re, Os, Ir, Pt. Тобто, збагачення фіксується в першу чергу по літофільним, в тому числі жаростійким елементам, а збіднення – по летким і сидерофільним елементам.

Як ми вже бачили, поширеність елементів у земній корі охоплює величезний діапазон значень. За їх вмістом всі елементи можна розділити на декілька груп, і тоді виникає ряд несподіваних для наших повсякденних уявлень співвідношень. Наприклад, у земній корі Cu менше ніж Zr,

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

Hg менше ніж TR, Pb менше ніж Ga, Ni у декілька разів менше ніж Rb, Sn у 30 разів менше ніж V, а Sc у 200 разів більше ніж Ag.

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)*[4]. 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 та мінералах зустрічаються в незначних кількостях. Такі елементи називаються рідкісними розсіяними, їх роль в системах і процесах завжди другорядна (Ra, Sc, Cd, In, Hf, Ga тощо). Чим більший кларк елементу, тим, за подібних хімічних властивостей, вищий його вміст в природних водах, а отже, і більша імовірність утворення насичених розчинів, осадження мінералів. У мінералах рідкісні катіони звичайно зв'язуються з поширеними аніонами, а рідкісні аніони - з поширеними катіонами. Тому в ландшафтах відомі сульфати, карбонати, фосфати рідкісних металів і селенати, ванадати, арсенати поширених катіонів. Певним узагальненням даного інформаційного блоку 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 % 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.

Дуже своєрідним, малопотужним, але надзвичайно важливим, самим верхнім горизонтом літосфери є *грунт* – пухкий поверхневий прошарок земної кори, що несе на собі рослинний покрив, якому властива родючість і який безупинно змінюється під впливом клімату, біологічних чинників, рельєфу місцевості тощо. Одна з основних сучасних концепцій ґрунтознавства, що ґрунтується на ідеях В.В.Докучаєва і В.І.Вернадського, полягає в тому, що ґрунт є необхідним компонентом

---

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

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.

На сьогодні відомо більше сотні типів ґрунтів (середній склад наведено в табл. 4.2). 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 грунтів залежить від складу материнських порід та 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 грунту) до вмісту цього елемента в ґрунтоутворюючій породі: $K_{ea}=C_г/C_{мп}$. Значення $K_{ea}<0,5$ відповідають інтенсивному винесенню елемента з грунту; $0,5<K_{ea}<1,5$ - слабкому виносу або відсутності перерозподілу елементу; при $K_{ea}>1,5$ відбувається істотна акумуляція елементу в ґрунті. З геохімічних позицій розрізняють *елювіальні* і *супераквальні* ґрунти.

Елювіальні ґрунти утворюються на вододілах і схилах при глибокому заляганні ґрунтових вод. Міграція хімічних елементів у елювіальних ґрунтах складається з двох протилежних процесів - накопичення і виносу. Накопичення здійснюється головним чином у результаті життєдіяльності рослин, які поглинають з атмосфери CO_2, а з ґрунтів і гірських порід, що залягають під ними - необхідні хімічні елементи, у тому числі рідкісні метали. Після відмирання рослин і мінералізації їх залишків верхня частина ґрунтів збагачується цими елементами. У такий спосіб хімічні елементи як би перекачуються з ґрунтоутворюючих порід і нижніх горизонтів ґрунтів у верхні, перегнійні, горизонти.

Основними особливостями перегнійних горизонтів є максимальна біологічна активність та вимивання хімічних елементів і їх сполук. Відтак при геохімічних дослідженнях в їх складі звичайно виділяють 3 підгоризонти: A_0 – дернина, лісова підстилка, луговий або степовий по-

крив, який повністю або частково складається з розкладених органічних залишків; A_1 – власне перегнійно-акумулятивний, або гумусовий прошарок, найбільш збагачений мінералізованою органічною речовиною; A_2 – елювіальний прошарок (або інакше – горизонт максимального вимивання), із якого в результаті вилуговування виносяться легко рухомі мінеральні й органічні речовини.

Таблиця 4.2.

Середні вмісти хімічних елементів в ґрунтах (P), океанічних (S) та річкових (R) водах і в атмосфері (A)

Елемент	P	S	R	A	Елемент	P	S	R	A
H		10,6	11,0	0,03	Rb	0,006	$1,2\times10^{-5}$	$1,5\times10^{-7}$	
He		7×10^{-10}		0,00052	Sr	0,035	0,00077	6×10^{-6}	
Li	0,003	$1,8\times10^{-5}$	$1,2\times10^{-5}$		Y		$1,6\times10^{-9}$	8×10^{-10}	
Be		$2,2\times10^{-10}$	5×10^{-7}	1×10^{-8}	Zr	0,03	$1,2\times10^{-9}$	9×10^{-9}	
B		0,00045	$1,8\times10^{-6}$		Mo	0,0003	$1,1\times10^{-6}$	5×10^{-8}	
C	2	0,0026	0,00026	0,048	Ag		2×10^{-9}	3×10^{-8}	
N	0,1	0,00087	0,00085	75,0	Cd	5×10^{-5}	6×10^{-9}	2×10^{-9}	
O	49,0	86,0	89,0	23,15	Sn		$4,5\times10^{-7}$	4×10^{-8}	1×10^{-6}
F	0,02	0,00013	$5,3\times10^{-7}$	1×10^{-6}	Sb		$2,3\times10^{-8}$	8×10^{-10}	
Ne		$1,6\times10^{-8}$		0,00125	I	0,0005	$5,7\times10^{-6}$	5×10^{-9}	
Na	0,63	1,07	0,00053	0,00011	Xe		6×10^{-9}		$3,6\times10^{-5}$
Mg	0,6	0,128	0,00031	0,0001	Cs	0,0005	3×10^{-8}	$3,5\times10^{-9}$	
Al	7,13	$2,9\times10^{-8}$	5×10^{-6}	0,0003	Ba	0,05	$1,4\times10^{-6}$	6×10^{-6}	
Si	33	0,00027	0,0005	0,0004	La		6×10^{-10}	$1,9\times10^{-9}$	
P	0,08	6×10^{-6}	$1,2\times10^{-5}$		Ce		7×10^{-11}	$2,4\times10^{-9}$	
S	0,05	0,087	0,00028	0,00265	Pr		7×10^{-11}	5×10^{-10}	
Cl	0,01	1,92	0,00047	0,00012	Nd		3×10^{-10}	$1,8\times10^{-9}$	
Ar		6×10^{-5}		1,28	Sm		6×10^{-11}	4×10^{-10}	
K	1,36	0,04	0,00015		Eu		2×10^{-11}	1×10^{-10}	
Ca	1,37	0,041	0,0015	0,0002	Gd		9×10^{-11}	6×10^{-10}	
Sc		6×10^{-11}	4×10^{-10}		Tb		2×10^{-11}	1×10^{-10}	
Ti	0,46	7×10^{-10}	1×10^{-6}	1×10^{-6}	Dy		1×10^{-10}	5×10^{-10}	
V	0,01	$1,7\times10^{-7}$	8×10^{-8}	1×10^{-7}	Ho		4×10^{-11}	1×10^{-10}	
Cr	0,002	$1,9\times10^{-8}$	1×10^{-7}	2×10^{-7}	Er		1×10^{-10}	4×10^{-10}	
Mn	0,085	$1,9\times10^{-9}$	$8,2\times10^{-7}$	1×10^{-6}	Tm		2×10^{-11}	1×10^{-10}	

Елемент	P	S	R	A	Елемент	P	S	R	A
Fe	3,8	$2,9\times10^{-9}$	5×10^{-6}	0,0003	Yb		1×10^{-10}	5×10^{-10}	
Co	0,0008	$1,9\times10^{-10}$	2×10^{-8}	7×10^{-8}	Lu		2×10^{-11}	1×10^{-10}	
Ni	0,004	$4,7\times10^{-8}$	5×10^{-8}	2×10^{-7}	Hf		2×10^{-11}	$2,5\times10^{-10}$	
Cu	0,002	$1,5\times10^{-8}$	$1,5\times10^{-7}$		W		1×10^{-9}	$1,6\times10^{-11}$	
Zn	0,005	$3,7\times10^{-8}$	3×10^{-6}	7×10^{-6}	Re		7×10^{-10}	4×10^{-11}	
Ga	0,001	$1,2\times10^{-10}$	9×10^{-9}		Au		2×10^{-12}	1×10^{-11}	
Ge	0,0001	$4,8\times10^{-9}$	9×10^{-9}		Hg	3×10^{-6}	1×10^{-11}	7×10^{-9}	
As	0,0005	$1,2\times10^{-7}$	$1,7\times10^{-7}$	1×10^{-6}	Tl		1×10^{-9}	$3,5\times10^{-11}$	
Se	1×10^{-6}	$1,5\times10^{-8}$	3×10^{-10}		Pb	0,001	3×10^{-10}	1×10^{-9}	2×10^{-5}
Br		0,0067	2×10^{-6}		Ra	8×10^{-11}	1×10^{-14}		
Kr		$3,1\times10^{-8}$		0,00029	Th	0,0006	2×10^{-12}	1×10^{-8}	
Rb	0,006	$1,2\times10^{-5}$	$1,5\times10^{-7}$		U	0,0001	3×10^{-10}	$1,9\times10^{-11}$	

Примітки: P - середній вміст хімічних елементів в грунтах за О.П.Виноградовим (1965); S - середній вміст хімічних елементів в океанічній воді за White, W.M. (2001); R - середній вміст хімічних елементів в річковій воді за White, W.M. (2001); A - кларк атмосфери за Meson (1966) та Bowen (1966); все у % маси за [32, 39, 61].

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

Стрибок вмістів мінеральних речовин може відбуватися на відстані декількох сантиметрів ґрунтового розрізу. Ця особливість істотно впливає на результати геохімічних пошуків. У залежності від будови вертикального профілю і виразності тих або інших горизонтів ("підгоризонтів") виділяють декілька типів і підтипів ґрунтів. До основних належать чорноземні, підзолисті, болотисті і засолені. Поширення на поверхні суші чорноземних і підзолистих ґрунтів підпорядковується фізико-географічній зональності, болотних і засолених - визначається, крім того, місцевими ландшафтно-геохімічними умовами.

На території України найбільш розвинуті підзолисті (у межах поліської

частини) і чорноземні (у лісостеповій і степовій частинах) ґрунти. Суть процесу "опідзолювання" полягає в глибокій руйнації кислими водами силікатної й алюмосилікатної складової ґрунту і вимиванні з верхніх його горизонтів солей і колоїдних часток. Опідзолені ґрунти характеризуються кислою реакцією (pH = 4,4-5,6). Для чорноземів же характерна слабка вилугованість - з них постійно вимиваються тільки легко розчинні солі, а важко розчинні - карбонати Ca, Mg - вимиваються тільки з верхніх горизонтів на порівняно невелику глибину. Характерною рисою чорноземів є також збагачення гумусом, що пояснюється слабким розкладанням органічних залишків. Величина pH чорноземів лісостепу коливається від 4,9 до 7,3, а степових відмін – від 5,6 до 8,0.

Супераквальні ґрунти утворюються при близькому заляганні ґрунтових вод (солончаки, болотні і лугові ґрунти). У них, поряд із біогенною акумуляцією і вилуговуванням, має місце накопичення хімічних елементів із ґрунтових вод внаслідок капілярного підняття, величина якого залежить від літології ґрунтоутворюючих порід (від перших сантиметрів в крупно зернистих пісках до 6-12 м в легких глинах). Крім того, вода і розчинені в ній солі можуть легко переміщуватись вверх на значну відстань через ненасичені вологою відклади і вище за капілярну смугу. Це пов’язано з рухом води по поверхні мінералів (плівкової води) і найбільш різко виражено в так званій зоні аерації - між дзеркалом ґрунтових вод і поверхнею.

Акумуляція металів у ґрунтах у результаті виносу їх капілярними і плівковими водами відчувається не тільки в супераквальних, але й у елювіальних ґрунтах, особливо в аридних умовах.

Таким чином, 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.

Головним джерелом накопичення металів у ґрунтах є ґрунтоутворюючі материнські породи. Вміст в них рідкісних, розсіяних і кольорових металів обумовлює рівень концентрації цих елементів в ґрунтах. Під впливом ґрунтоутворюючих процесів порушується первісний рівень концентрацій, змінюється характер сполучення і розподілу їх по профілю ґрунту, але все це відбувається на фоні, утвореному материнським субстратом ґрунту. Ґрунти з нормальним вмістом рідкісних, розсіяних і кольорових металів становлять більшість ґрунтів світу. Підпорядковане положення займають ґрунти з дещо підвищеним або заниженим (щодо до нормального) вмістом. Ґрунти з надлишковим вмістом того або іншого елемента частіше усього пов’язані з зонами рудопроявів.

В залежності від типу ґрунтів змінюється розподіл металів в межах ґрунтового профілю і з'являються ті чи інші горизонти накопичення металів. Саме цей фактор визначає глибину відбору проб при металометричній зйомці. Інструкція з геохімічних пошуків рекомендує для ґрунтів різного типу наступні глибини відбору проб: під горизонтом торфу в торфово-болотних ґрунтах; на глибині 0–20 см в солончаках, малогумусних кам'янистих і дерново-підзолистих грунтах; на глибині 20-40 см – в типових, карбонатних, та солонцюватих чорноземах; на глибині 50-100 см – в сірих лісових, лугових сірих і чорноземних, вилугуваних чорноземних ґрунтах.

Як показник міграційної активності елементу в різних типах ґрунтів і їх горизонтів використовується коефіцієнт накопичення - відношення вмісту елементу в даному типі ґрунту або його горизонту до вмісту цього елемента в ґрунтоутворюючій породі: $K_н=C^{гр}/C^{пор}$ та елювіально-акумулятивний коефіцієнт ($K_{еа}$).

$$K_{еа} = 1 - \frac{C_B{}^{гр} \cdot C_A{}^{пор}}{C_A{}^{гр} \cdot C_B{}^{пор}} \qquad 4.5$$

де $C_{A,B}{}^{гр}$ і $C_{A,B}{}^{пор}$ - концентрація "нерухомого" елементу А і мігруючого елементу В в ґрунті і породі (в % об'єму). Цей коефіцієнт відповідає відносній втраті елементу. При використанні подібних коефіцієнтів слід пам'ятати що в ландшафті немає абсолютно нерухомих елементів. Всі елементи мігрують, хоча і з різною швидкістю. Часто один і той же елемент рухається під впливом різних чинників в різних напрямках.

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.

Ключовими параметрами природних вод ще В.І.Вернадським було запропоновано вважати їх мінералізацію та склад. Оскільки морська вода складає близько 98% маси гідросфери в вузькому розумінні цього слова, то можна вважати, що середній склад гідросфери загалом відповідає середньому складу морської води (див. табл. 4.2).

Типоморфними іонами морської води за стандартної хлорності (19‰) і солоності (35‰) є $C1^-$, Na^+, SO_4^{2-}, Mg^{2+}, Ca^{2+}, K^+, HCO_3^-, Br^-, Sr^{2+}, F^- (в порядку зменшення концентрацій). Концентрації у водах таких поширених у літосфері елементів як Si, Al, Ti, P, а також всіх рідкісних і розсіяних елементів невеликі. Зокрема, вміст Ni, Co, Cu, Mo, Zn, U та інших рудних елементів у водах звичайно не вищий за 10^{-5}…10^{-7} г/л. Крім іонів, розчинені речовини знаходяться у виді молекул і колоїдних часток. Особливо велика роль розчиненої органічної речовини. Відзначається також міграція речовин у зваженому стані у виді тонкого завису і більш значних часток. Таким чином, природні води є сполученням справжніх розчинів (іонних і молекулярних) із колоїдними розчинами і суспензіями.

У морській воді завжди розчинена більша або менша кількість газів - при 0°С 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 іонів (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 витримується співвідношення $Ca^{2+}>Mg^{2+}>Na^+$ і $HCO_3^->SO_4^{2-}>Cl^-$, однак можливі і інші варіанти складу. 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 тощо.

Склад атмосферних осадків залежить від близькості до моря, напрямку і сили повітряних течій, вологості місцевості і засоленності ґрунтів, висоти над рівнем моря, близькості до індустріальних центрів тощо. В межах України [13] за рік з атмосферними осадками в середньому випадає понад 12 т/км^2 солей, а pH дощової води коливається від

3,9 до 7,7.

Рівень впливу тих чи інших чинників на склад вод може змінюватись в часі і просторі. Зокрема, мінералізація річкових вод Полісся та лісостепу значно зростає в меженний період, оскільки в цей період домінує найбільшою мірою залежить від складу ґрунтових вод. Мінералізація ж річок сухих степів досягає максимуму на початку паводку, що пов'язано із змивом та розчиненням першими масами води різноманітних солей (на цей же період припадає максимум концентрацій Na^+ і Cl^-), накопичених за рік на поверхні басейну живлення. При домінуванні снігового живлення мінімум мінералізації спостерігається взимку, льодовикового - в період найбільшого танення льоду, а у випадку дощового – спостерігаються часті мінімуми мінералізації. В період максимальних видатків мінералізація води річок басейнів Чорного та Азовського морів змінюється від 50 мг/л в верхів'ї до 500 мг/л в усті, а в меженний період - від 300 мг/л до 3000 мг/л. Одночасно із зміною мінералізації змінюється і хімічний склад вод – від гідрокарбонатного в верхів'ях до сульфатного в приморській частині басейну.

Склад озерної води формується як результат рухомої рівноваги між всіма видатковими (стік, бризки, фільтрація, осадкоутворення) і дохідними (притоки, атмосферне осадження, ґрунтові води) складовими сольового балансу. Неоднорідність за складом може провокуватись різкою відмінністю мінералізації та температури вод що поступають з різних джерел.

Хімізм ґрунтових вод сильно залежить від їхньої рухливості. Вільні гравітаційні води знаходяться в тріщинах, значних порожнинах. Вони легко стікають під впливом сили тяжіння, відносно швидко переміщуються по водоносних горизонтах, і є, так само як річкові води, нерівноважними.

Практично нерухомі порові води (ґрунтові, мулові і породні розчини) тісно зв'язані з твердою фазою поверхневими силами капілярного або колоїдного характеру (плівкова вода, капілярна вода тощо) і часто знаходяться в рівновазі з нею. У порових розчинах виявлені мікроорганізми, у тому числі чисельні представники групи тіонових бактерій, що окисляють сульфіди. Це дає підставу в деяких випадках робити висновок про переважно біогенний характер формування складу порових розчинів.

Підземні води, які тривалий час перебувають в контакті з кристалічними й осадовими породами, набувають слабко лужної реакції. У той же час ґрунтові розчини, унаслідок збагачення органічними кислотами, мають слабко кислу реакцію. Можна припустити, що при проникненні на глибину підземні води набувають лужної реакції, проте при виході на поверхню, через змішування з ґрунтовими розчинами, втрачають лужність.

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.

На основі статистичної обробки матеріалів і співставлення середнього хімічного складу літосфери із середнім хімічним складом мінеральної частини рік Б.Б.Полинов прийшов до висновку, що елементи які мігрують у водних розчинах, мають різну рухливість. За ступенем рухливості в річкових водах Б.Б.Полинов виділяв п'ять груп хімічних елементів: 1) енергійного винесення (Cl, Br, J, S); 2) легкого винесення (Ca, Na, Mg, K); 3) рухливі (Si в алюмосилікатах, P, Mn); 4) інертні або малорухливі (Fe, Al, Ti); 5) практично нерухомі (Si в уламковому SiO_2). Ідеї Б. Б. Полинова відносно міграційних властивостей елементів розвинув О.І.Перельман, який запропонував використовувати для характеристики міграційної здатності елементів в конкретних умовах *коефіцієнт водної міграції*:

$$K_X = \frac{m_X * 100}{a * n_X} \qquad 4.6$$

де: m_X - вміст хімічного елементу в водах що дренують масив; n_X - вміст хімічного елементу в породах які дренуються цією водою; а - величина мінерального залишку у річковій або ґрунтовій воді.

Своєрідною колоїдною системою, а точніше - аерозолем, є атмосфера, яка, крім азоту, кисню, аргону і вуглекислого газу (див. табл.4.2.), 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 осадками 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 і грунтове 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.

Найскладнішою для опису є *біогенна міграція*, яка не може не може аналізуватися тільки на основі загальних законів фізики і хімії. 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 хемо-

синтезу 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. Оскільки біомаса продуцентів (близько 2,4 трлн. тон в розрахунку на суху речовину) різко переважає біомасу консументів (не більш як 24 млрд. тон) та редуцентів (до 12 млрд. тон), то склад біосфери достатньо точно можна оцінити по фітомасі (табл. 4.3).

Таблиця 4.3.

Біофільність, біогенність та біогенна контрастність хімічних елементів, їх середній вміст в живій речовині і золі рослин

елемент	W	$К_{ЖР}$	$ККЖР$	$К_{ЗР}$	$Б_З$	$К_{ЗКР\ max}$	$Б_С$	$К_Б$
H	0,2	10,5	53					
Li	0,0018	6×10^{-5}	0,03	0,0005	0,3	0,4	220	800
Be	0,00024	4×10^{-6}	0,02	$2,7\times10^{-5}$	1,1	0,2	830	740
B	0,0011	0,001	0,9	0,07	64	1,8	1600	25
C	0,199	18	90					
N	0,006	0,3	50					
O	46,89	70,0	1,5					
F	0,053	0,0014	0,03	0,003	0,06	1	20	350
Na	2,40	0,2	0,08	2	0,8	31	13	16
Mg	2,26	0,04	0,02	5,5	2,4	35	16	6
Al	8,09	0,005	0,0006	1,5	0,2	27	3,3	18
Si	28,46	0,21	0,007	5,9	0,2	40	1,4	6,8
P	0,079	0,071	0,9	5	63	12	150	2,4
S	0,0697	0,05	0,72	7	100	12	170	1,7
Cl	0,047	0,02	0,42	2,5	53	49	1000	20
K	2,08	0,3	0,14	12,5	6	50	25	4,0
Ca	3,98	0,5	0,13	9	2,3	32	8	3,6
Ti	0,412	0,0013	0,003	0,05	0,12	3,7	9	75
V	0,0098	6×10^{-5}	0,006	0,0048	0,5	0,2	20	40
Cr	0,0126	7×10^{-5}	0,006	0,0028	0,2			
Mn	0,078	0,0096	0,12	0,7	9	15	190	20
Fe	4,46	0,01	0,002	0,3	0,07	51	12	170
Co	0,0024	4×10^{-5}	0,017	0,0015	0,6	0,1	40	70
Ni	0,0056	8×10^{-5}	0,014	0,0056	1,0	7,9	1400	1400

елемент	W	$К_{ЖР}$	$ККЖР$	$К_{ЗР}$	$Б_З$	$К_{ЗКР\ max}$	$Б_С$	$К_Б$
Cu	0,0025	0,00032	0,13	0,02	8	3	1200	150
Zn	0,0065	0,0003	0,05	0,125	19	21	3300	170
Ga	0,0015	2×10^{-6}	0,001	0,0023	1,5	0,005	3,3	2,2
Ge	0,00014	0,0001	0,7	0,005	36	0,02	140	4,0
As	0,00017	6×10^{-6}	0,04	0,0003	1,8	1,5	8800	5000
Se	$1,2\times10^{-5}$	2×10^{-6}	0,17					
Br	0,0001	0,0016	16	0,009	90	1	10000	110
Rb	0,0078	0,0002	0,03	0,045	5,8	0,8	100	18
Sr	0,033	0,0016	0,05	0,2	6,0	10	300	50
Y	0,0024	0,00011	0,05	0,0001	0,04	0,03	13	300
Zr	0,0203	3×10^{-5}	0,001	0,0005	0,02	0,02	1	40
Nb	0,0019			5×10^{-5}	0,03	0,1	55	2000
Mo	0,00011	2×10^{-5}	0,18	0,0016	15	0,2	1800	125
Ag	7×10^{-6}	$1,2\times10^{-6}$	0,2	0,0001	14	0,06	8600	600
Cd	0,00001	2×10^{-7}	0,02	0,0003	30	0,01	1000	33
Sn	0,00023	1×10^{-5}	0,04	0,00087	3,8	0,05	220	55
Sb	3×10^{-5}	2×10^{-7}	0,007	0,00012	4,0	0,01	330	85
I	8×10^{-5}	$1,2\times10^{-5}$	0,2	0,003	38	1	12500	330
Cs	0,00034	6×10^{-6}	0,02	0,0003	0,9	0,1	300	330
Ba	0,0584	0,0009	0,02	0,06	1,0	5	85	85
La	0,003	3×10^{-5}	0,01					
W	0,0001	1×10^{-6}	0,01					
Au	$2,5\times10^{-7}$	1×10^{-8}	0,04					
Hg	4×10^{-6}	5×10^{-7}	0,13	9×10^{-5}	23			
Pb	0,00148	0,0001	0,07	0,0035	2,4	3,6	2400	1000
Ra	1×10^{-10}	5×10^{-12}	0,05	$2,6\times10^{-10}$	2,6	$3,2\times10^{-7}$	3200	1200
Th	0,00085			5×10^{-5}	0,06	0,1	120	2000
U	0,00017	8×10^{-7}	0,005	5×10^{-5}	0,3	0,7	4100	14000

Примітки: W – кларк верхньої частини континентальної кори (у % маси) за Wedepohl, K. H. (1995); $К_{ЖР}$ - середній вміст хімічних елементів (у % маси) в живій речовині за О.П.Виноградовим з доповненнями В.В.Добровольського та О.І.Перельмана (1999); $ККЖР$ – біофільність елементу (кларк концентрації в живій речовині); $К_{ЗР}$ - фоновий вміст хімічних елементів (у % маси) в золі рослин за О.І.Перельманом та М.С.Касимовим (1999); $Б_З$ - загальна біогенність ($Б_З$= $К_{ЗР}$/W); $К_{ЗКР\ max}$ – максимальний вміст хімічних елементів (у % маси) в золі рослин континентів за О.І.Перельманом (1975); $Б_С$ – максимальна спеціальна біогенність ($Б_С$=I_{X1}/W); $К_Б$ - біогенна контрастність ($К_Б$=$Б_С$/$Б_З$). Укладено за [32, 39, 60].

Живі організми в основному складаються з елементів які утворюють газоподібні (повітряні мігранти) і розчинні (водні мігранти) з'єднання. Тому 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%. 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.* Як бачимо (табл.4.3), найбільша біофільність характерна для вуглецю, менш біофільними є водень та азот. Близькими за біофільністю є аніоногенні елементи - O, Cl, S, P, B, Br тощо. Найменш біофільними є Fe, Ti, Ga, Zr, Al. Водночас, окремі види організмів здатні створювати високі концентрації елементів які зазвичай містяться в розсіяному стані. Так, в сухому залишку деяких видів водоростей вміст йоду досягає 1,2%, грибки аспергіли (пліснява) містять до 0,3% міді, вміст урану в сухій масі хлорели досягає 0,4%, бактерія Bacillus subtilis осаджує з розчину на своїх стінках мікрокристали чистого металевого золота, бактерії Aquaspirillum magnetotacticum містять ланцюжки магнетосом - скупчень магнетиту діаметром до 500Å (вони слугують цій бактерії для орієнтації в просторі) тощо.

Для характеристики біогеохімічних особливостей окремих організмів, їх здатності до накопичення елементів використовують показник загальної біогенності – відношення середніх вмістів елементів в золі рослин континентів до кларків верхньої частини земної кори. Аналогічні показники для організмів окремих систематичних груп називають спеціальною біогенністю. Коефіцієнт біологічного поглинання (відношення концентрацій елементу в золі рослини та в грунті) і спеціальна біогенність залежать від фази вегетації, віку організму, складу грунту тощо, змінюючись для рослин одного виду в 100-1000 разів.

Переваження в ландшафтах певних систематичних груп організмів,

величезна розмаїтість клімату і геологічної будови визначають своєрідність хімічного складу живої речовини конкретних ландшафтів, її відмінність від середнього складу живої речовини Землі. Так, жива речовина солончаків збагачена натрієм, хлором і сіркою, у живій речовині степів багато кальцію, але мало алюмінію, заліза і марганцю, а організми вологих тропіків, навпаки, бідні кальцієм і багаті алюмінієм.

З іншого боку, вміст більшості елементів у золі суттєво відрізняється від їх середнього вмісту в ґрунті, оскільки рослини поглинають елементи вибірково. І дійсно, вміст макроелементів у рослинах визначається в першу чергу не складом субстрату, а систематичним положенням - сімейством, родом і видом, до якого належить дана рослина. За час формування виду окремі його представники росли на різних субстратах, у зв'язку з чим хімічний склад золи відображає не стільки склад гірської породи або ґрунту, на якому тепер росте ця рослина, скільки склад порід і ґрунтів, на яких росли попередні покоління представників даного виду, особливо в епоху видоутворення. Якщо коефіцієнт біологічного поглинання перевищує 1, то елемент накопичуються в рослинах, а якщо він менший - тільки захоплюються. За інтенсивністю біологічного поглинання всі елементи можна розділити на чотири групи: інтенсивного накопичення (P, S, Cl, I, Br), середнього накопичення (B, Ge, Zn, Ca, Mg, K, Sr, Na), сильного захоплення (Mo, Cu, Ag, Mn, Sn, Ga, Ni, Co, Pb, Ba, Ra, As, F) і слабкого захоплення (Cr, V, Si, Be, Cs, Li, Rb, Ti, Al, Fe, Cd, Sb, Y, Th, Zr, U, Nb).

Відмінність інтенсивності поглинання хімічних елементів рослинами з ґрунту, водних розчинів та повітря стає очевидною при порівнянні рослинно-ґрунтового (РГК - відношення вмісту хімічного елементу в золі рослини до його вмісту в ґрунті), рослинно-водного кореневого (РВК - відношення вмісту елементу в золі рослини до його вмісту у водному розчині) та рослинно-газового некореневого (РГНК - відношенню вмісту хімічного елементу в золі до його вмісту в повітрі) коефіцієнтів. Значення РГК змінюється в діапазоні від 0,001 до 300, РВК - від 10^2 до 10^5, а РГНК - від 10^4 до 10^7. Отже найбільш інтенсивно елементи поглинаються з газової фази, слабше - з розчину і ще слабше - з твердої фази. Та все ж головним джерелом елементів для рослин є тверда фаза ґрунтів. Тільки для найбільш розчинних з'єднань (Cl, SO_4^{2-}) головним джерелом служить вода. Для деяких газоподібних з'єднань основним джерелом служить повітря (CO_2, можливо, NH_3 та інші гази).

Процес накопичення елементів не є безкінечним, його обмежує «фізіологічний бар'єр поглинання», який є різним для різних елементів. У тих випадках, коли він високий (наприклад, для радію) вміст елементу росте із збільшенням його концентрації в ґрунті, а в тих випадках коли він низький (наприклад, для урану) - організми швидко насичуються і

перестають поглинати елемент із навколишнього середовища. Отже, хімічний склад організмів залежить від їхньої природи (систематичного положення) і геохімічних особливостей ландшафту. Для макроелементів головне значення має систематичне положення: фізіологічні особливості організмів у період видоутворення закріпилися спадкоємністю, і надалі тварини і рослини стали (в будь-яких умовах) брати те, що їм необхідно, навіть із бідних ґрунтів і водойм.

Нерідко відносно високий вміст елементів у середовищі викликає різноманітні зміни у фізіології і морфології, що згодом закріплюються спадковістю. Так з'являються пригніченні форми, варієтети, а потім і нові види організмів: «цинкова», «літієва», «селенова» та інші флори, поширені в районах розвитку порід, збагачених відповідними елементами. Види рослин і тварин, мігруючи, розселяються на нових просторах з іншими природними умовами, частина старих їх властивостей зникає. Але багато особливостей хімічного складу залишаються, проявляючись у різноманітних місцях перебуваннях. Нерідко вміст окремих елементів у таких рослинах у десятки і сотні разів перевищує їх вміст в інших рослинах того ж біоценозу. За образним висловом О.П.Виноградова: «...хімічний склад організму береже ознаки свого походження».

Важливими доля розуміння біогенної міграції є поняття дефіцитних і надлишкових елементів. Дефіцитними називаються такі елементи, додавання рухомих форм яких у ландшафт збільшує щорічну продукцію живої речовини (П). У більшості випадків бракує саме рухомих форм, у той час як загальний (валовий) вміст елементу може бути достатньо великим. У різних ландшафтах установлений дефіцит O, N, P, K, Ca, Mg, Co, I, F, Mo, Mn і інших елементів. Надлишковими називаються такі елементи, видалення яких із ландшафту збільшує П (Cl, S, Na, Cu, Ni, Fe, F і ін.).

Вплив живих організмів на міграцію елементів не обмежується їх концентруванням. Вихідні речовини фотосинтезу - CO_2 і H_2O - на земній поверхні не є ні окислювачами, ні відновниками. Але в ході фотосинтезу це "нейтральне середовище" роздвоюється на протилежності: виникає сильний окислювач - вільний кисень і сильні відновники - органічні сполуки. Поза організмами розкладання CO_2 і H_2O можливе тільки за високих температур, наприклад, у магмі. Вуглець і водень органічних сполук, а також вільний кисень, що виділився при фотосинтезі, "зарядилися" сонячною енергією, піднялися на більш високий енергетичний рівень, стали "геохімічними акумуляторами".

Вуглеводні та інші продукти, переміщуючись з листя у стебла і корені, вступають у складні реакції, у ході яких створюється вся розмаїтість органічних сполук рослин (білки, жири, алкалоїди тощо). Однак, рослини

складаються не тільки з C, H, O, але також із N, P, K, Ca і багатьох інших хімічних елементів, які вони одержують вже не з повітря, а з ґрунту або з води (для водних рослин). У навколишньому середовищі хімічні елементи знаходяться переважно у виді простих мінеральних з'єднань, а у рослинах вони входять до складу складних, багатих енергією органічних сполук (наприклад, N і S містяться в білках, P - у нуклеопротеїнах), і також є геохімічними акумуляторами. Цей процес називається біогенною акумуляцією мінеральних з'єднань. Завдяки біогенній акумуляції елементи з води і повітря переходять у менш рухомий стан, тобто їх міграційна спроможність знижується.

Фотосинтез і хемосинтез, а також інші процеси утворення живої речовини формують склад ґрунту, вод і атмосфери ландшафту та визначають геохімічну обстановку. Вилучаючи CO_2 з атмосфери і насичуючи її киснем, рослини частково змінюють склад надземної атмосфери. Літнє «цвітіння» озерної води збагачує її киснем за рахунок фотосинтезу і збіднює вуглекислим газом. Одночасно реакція води стає лужною. Організми енергійно поглинають нітрати, фосфати, калій і інші дефіцитні елементи, зменшуючи їх вміст в поверхневих водах. Рослини виділяють різноманітні летючі органічні з'єднання - фітонциди, що мають бактерицидні властивості («хімічна зброя»). Рослини, разом з транспірованою ними водою, виділяють в атмосферу P, Ca, Mg, K, Cu, Hg, I, Zn і т.д. Дощі змивають з'єднання цих елементів із листя, у зв'язку з чим вміст багатьох металів у листі після дощу зменшується в 2-5 разів, а дощова вода стає більш мінералізованою (до 100-300 *мг/л),* її pH знижується до 2,5-4,5.

Консументи виконують ключову формотворчу функцію щодо налагодження потоків речовини та енергії в екосистемах, а редуценти, перетворюючи органічні рештки в неорганічну речовину, створюють сприятливі умови для життєдіяльності продуцентів автотрофів, замикаючи таким чином кругообіг речовини та енергії в біосфері.

З точки зору геохімії геологічному середовищу (в прийнятому нами значенні терміну) властиві певні специфічні характеристики, головними з яких О.І.Перельман [39] вважає наступні:

1) Найвища динамічність і найбільша різноманітність взаємодій літосфери, гідросфери, атмосфери і біосфери (тобто - твердої речовини, рідини, газоподібної речовини та живої матерії). Саме тут найбільш активно, порівняно з іншими зонами Землі, відбуваються процеси змін гірських порід, утворення нових, відмінних від сформованих на великих глибинах, мінеральних комплексів. Хімічні та біогеохімічні реакції є дуже швидкоплинними, їх фізико-хімічні рівноваги залежать від постійних коливань температури, тиску, вологості, географічного положення, розвитку процесів життєдіяльності організмів, зміни спрямованості геохімічних

процесів (окислення і відновлення, гідратація, дегідратація тощо).

2) Надзвичайне розмаїття мінеральних форм знаходження речовини, представлених: стійкими до руйнації (або тими які ще не встигли зруйнуватися) первинними мінералами; проміжними продуктами вивітрювання (гідромусковіти, гідрохлорити тощо); колоїдними продуктами розпаду силікатів (гелі кремнезему, глинозему, оксидів заліза, марганцю тощо); кристалічними продуктами цього розпаду в формі мінеральних солей лужних і лужноземельних металів; продуктами колоїдного синтезу і біогеохімічних реакцій.

3) Утворення живої речовини, яка є гігантським акумулятором сонячної енергії, що зберігається не лише в вугіллі, торфі, нафті тощо, але й у всіх вадозних мінералах вуглецю та інших елементів.

Так, для денної поверхні характерна різка і швидка зміна температури (по декілька разів впродовж доби), яка не лише викликає механічне руйнування порід і мінералів, але й змінює швидкості перебігу хімічних реакцій. Особливо сильна зміна швидкості реакцій характерна для температури близької до 0°С, коли, при переході води з рідкого в твердий стан, більшість природних хімічних реакцій різко вповільнюється. Коливання температури обумовлює рух розчинів по капілярам (зокрема у ґрунтах), а разом з тим й переміщення легко летючих сполук (газів, йоду, ртуті тощо) і легкорозчинних солей (утворюються сольові ореоли розсіяння). Навіть незначне зменшення зовнішнього тиску викликає посилену дегазацію (CO_2, H_2, O_2, Не та ін.) води, а також порід і мінералів, а раз так, змінюються напрямок і швидкість багатьох реакцій, особливо у водних розчинах.

Концентрація елементів, їх іонів та сполук в поверхневій частині літосфери може змінюватись в значно ширших межах ніж це характерно для ендогенних систем. Так, ні в одному з ендогенних процесів натрій не досягає таких концентрацій як в ропі солених озер, при цьому в тих же озерах можуть бути присутні шари практично прісної води.

Взаємодії в геологічному середовищі можна розділити на гомогенні (взаємодії в розчинах) та гетерогенні. Гомогенні взаємодії в розчинах є рівноважними в термодинамічному сенсі, відбуваються під домінуючим впливом диполів молекул води та розчиненого кисню, і включають [60]:

- слабкі взаємодії (комплексоутворення та інші переходи взаємної координації атомів);
- хімічні реакції (гідролізні, окисно-відновні тощо) з утворенням нових зв'язків між атомами;
- конформаційні взаємодії (процеси з участю полімерних утворень, важливі при формуванні кір вивітрювання і присутності в розчинах Si

і Al, яким властива полімеризація, в результаті чого утворюються гіпергенні структури силікатів і алюмосилікатів).

Гетерогенні взаємодії характерні для пар мінерал-розчин та для підсистем мікроорганізм-розчин-мінерал. В першому випадку визначальними є взаємодії напівпровідниковий мінерал - іонний провідник (електроліт) та мінерал-діелектрик - іонний провідник (електроліт), які контролюються донорно-акцепторними взаємодіями в межах подвійного електричного шару. Підсистеми другого роду (мікроорганізм - іонний природний провідник - напівпровідниковий мінерал та мікроорганізм - іонний природний провідник - мінерал-діелектрик) характеризуються нерівноважною термодинамікою. Визначальну роль в них відіграють донорно-акцепторні взаємодії у комплексі з осмотичними (дифузійними) процесами.

Концентрація речовин в водних системах значною мірою залежить від розчинності сполук елементів, окислювально-відновного потенціалу та лужно-кислотних умов середовища (див.рис.4.1). Прийнято вважати, що потенціал формуючою системою завжди буде та, яка має максимальну “завантаженість”, тобто коли окислена і відновлена форми даної пари знаходяться в приблизно рівних концентраціях і дана пара кількісно домінує над всіма іншими в даній системі.

Наприклад, якщо в мулі відбувається редукція бактеріями сульфатів з утворенням сірководню, а мулова вода характеризується високим вмістом Fe^{2+} і Fe^{3+} , концентрації яких приблизно рівні, то саме системою Fe^{2+}-Fe^{3+} , буде визначатися ОВП. Це буде справедливим доти, поки система сірководню не збільшить в достатній мірі різницю концентрацій Fe^{2+} і Fe^{3+} , при цьому біологічний чинник може працювати як поверх системи Fe^{2+}-Fe^{3+}, так і поверх іншої.

Біологічний чинник може виступати як в ролі каталізатора, який або прискорює або вповільнює перебіг природних хімічних процесів, так і в якості потужного чинника процесу перетворення речовини, який відбувається наперекір термодинамічній обстановці (всупереч Eh-pH умовам середовища, наприклад).

Таким чином, окислення H_2S->SO_4^{2-} сірчаними бактеріями не порушує природний (тобто суто хімічний) процес окислення, а лише прискорює. Сірчані бактерії в цьому випадку є каталізаторами процесу, який встановлює відповідність між активністю іону S^{2-} та термодинамічними умовами середовища. Сульфат-редукуючі бактерії ж виступають в ролі перетворювачів, формуючих H_2S всупереч термодинамічним умовам середовища (такий процес самочинно в зоні гіпергенезу відбуватися не може).

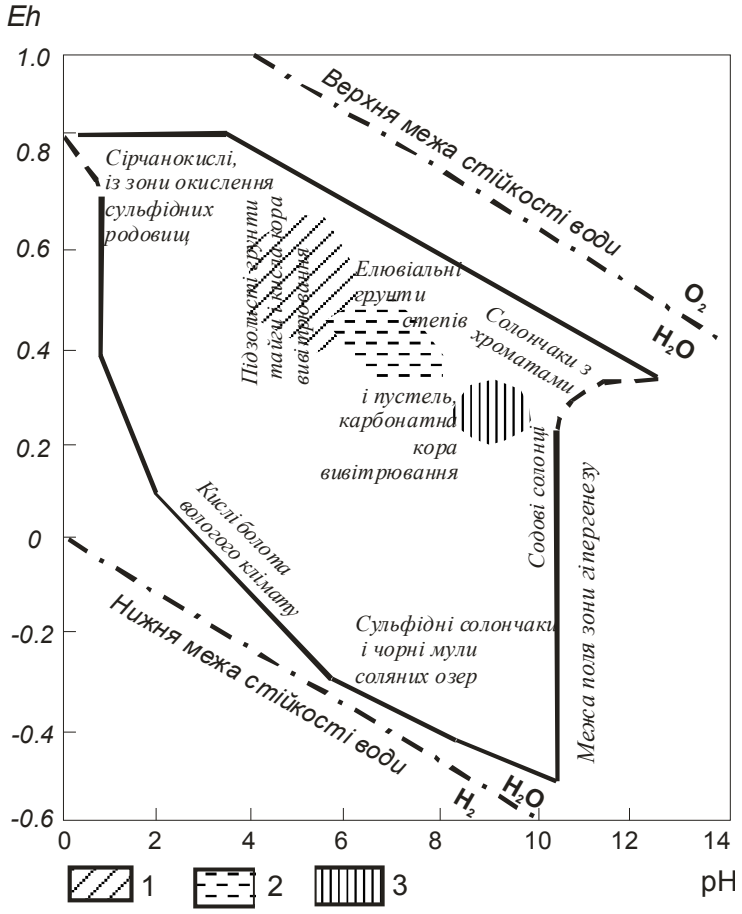

Рис. 4.1 Характеристики природних ландшафтів за Eh і pH

1 – дощові води; 2 – річкові води; 3 - звичайні морські води

Вплив живої речовини на перебіг геохімічних процесів важко переоцінити – вона виступає каталізатором хімічних реакцій (саме завдяки діяльності силікатних бактерії 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. Згідно біоенергетичних уявлень (Джоунс та ін., 1982; Рубін, 1984; Іванов, Стебнікова, 1987) мікроорганізми, переважно бактерії, є надскладною системою нерівноважних процесів, які контролюються кінетичними і осмотичними параметрами, та регулюються багатошаровими клітинними мембранами. Вони є системоювеликої кількості окислювально-відновних реакцій, які забезпечують організм подачею електронів і іонів - продуктів деструкції мінералів, вуглекислотою, киснем і органікою. З загибеллю організму ця система стрибкоподібно припиняє своє функціонування, перетворюючи живий організм в пасивно взаємодіючу з довкіллям органічну речовину.

До найтиповіших природних біокосних реакцій в межах біосфери слід зарахувати формування кір вивітрювання гірських порід, комплекс процесів в зонах окислення родовищ корисних копалин, формування грунтів тощо (див. табл.4.4).

Обробка отриманих геохімічних даних базується на таких ключових поняттях як **геохімічне поле, геохімічний фон, геохімічна аномалія**. Найбільш коректним є опис *геохімічного поля* як простору що охарактеризований кількісними вмістами хімічних елементів [46]. Визначення геохімічного поля як “геохімічно однорідної області, єдність якої обумовлена значним просторовим накопиченням якої-завгодно групи чи асоціації елементів” [50, с.204] є дуже близьким (за виключенням вимоги значного накопичення елементів) до ферсманівського визначення геохімічної провінції. Таке трактування поняття “геохімічного поля” вносить додаткові просторові і генетичні обмеження, які навряд чи можна вважати виправданими, оскільки вони суттєво звужують поняття “поля”.

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.

Таблиця 4.4.

Специфічні риси провідних біокосних процесів
(за Л.К.Яхонтовою, [60])

Тип біокосного процесу	Специфічні риси процесу	Головні механізми масообміну	Особливості енергообміну	Характер біокосних взаємодій
Окислення родовищ корисних копалин	Висока роль напівпровідників их мінералів, окислювально-відновних реакцій, електродних та гальванічних процесів	Процеси екстракції, окислення, розчинення та осадження новотворів за високої активності компонентів	Високо енергетичні екзотермічні реакції деструкції мінералів	Активна участь хемоавтотрофних і сульфатредукуючих бактерій, що використовують енергію окислення сульфідів
"Пластове окислення"	Висока роль розсіяних в осадовій породі напівпровідників их мінералів, окислювально-відновних реакцій та електродних процесів	Процеси екстракції, окислення, розчинення та осадження новотворів	Екстенсивні, відносно низько енергетичні екзотермічні процеси	Активна участь хемоавтотрофних мікроорганізмів, що використовують енергію окислення сульфідів
Формування кори вивітрювання	Окислювально-гідролізна деструкція мінералів-діелектриків	Гідролізні та обмінні реакції і процеси осадження новотворів	Низько енергетичні процеси деструкції мінералів за активної участі сонячної радіації	Висока роль фотосинтезуючих, гетеротрофних і нітрофікуючих мікропорганізмів, що використовують енергію деструкції мінералів та окислення CO_2
рунтоутворення (педогенез)	Окислювально-гідролізна дес.-трукція мінералів-діелектриків з підвищеним ефектом сезонності процесів	Гідролізні процеси і комплексоутворення за участі органічних лігандів	Інтенсивні біоенергетичні процеси з активною участю сполук вуглецю в умовах сонячної радіації	Специфічні біоценози і трофічні взаємодії макро- і мікроорганізмів за активної участі вищих організмів

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[5]. 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*[6] 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 відбувається 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 почина-

---

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

[6] 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 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]. Відтак, концентрація елементу в кожній точці (x, y, z) геохімічного поля залежить від його вихідної (на момент утворення мінералу, породи, геологічного тіла) кількості (M_{oj}) в системі, часу який минув від початкового моменту (t), змін кількості елементу в системі (ΔM_j) та енергетичного потоку в даній точці за цей період (A):

$$C_j = f(M_{oj}, \Delta M_j, t, A, x, y, z) \qquad 4.7$$

Зрозумілою є необхідність дискретного опису геохімічного поля по основним компонентам довкілля – літосфері, гідросфері та атмосфері, з виділенням відповідних фонових та аномальних рівнів концентрації. Середні (фонові) значення вмістів хімічних елементів в грунтах, океанічних та річкових водах і атмосфері наведені в табл.4.2.

Водночас, врахування взаємодії лише трьох фаз речовини (тверда речовина, рідина і газ) недостатньо для створення коректної моделі міграції елементів в зоні *гіпергенезу*[7], утворення якої власне й є основними об'єктами досліджень екологічної геохімії. Адже в цій специфічній зоні на існуючі співвідношення (інваріантність, моноваріантність та біваріантність) між числами компонентів і фаз, та можливими змінами температури і тиску суттєвим чином впливає життєдіяльність організмів, які є одночасно і донорами і акцепторами енергії, каталізаторами реакцій та носіями речовини. Опис їх взаємодії з іншими компонентами неможливий без вивчення відображення геохімічного поля в біологічних системах.

Поняття *геохімічного фону* є одним з базових 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[8]. Фон відповідає "нормальному" розподілу елементів сформованому за відсутно-

---

[7] Гіпергенез - це сукупність поверхневих процесів, яка включає вивітрювання, ґрунтоутворення, осадконакопичення, біогенез, та інші явища, пов'язані з руйнуванням і новоутворенням (мінеральної) речовини, міграцією хімічних елементів та їх сполук в верхній частині земної кори, на поверхні Землі, в гідросфері і в атмосфері (за К.Г.Лукашовим, 1971).

[8] 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

сті 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. Вільним від значної кількості методичних недоліків є спосіб розрахунку геохімічного фону за загальним вмістом хімічного елементу в досліджуваній геохімічній системі. В цьому випадку кларк елементу є геохімічним фоном земної кори, а будь-яке відхилення від фонового рівня є результатом диференціації речовини і може бути обґрунтовано з позицій хімічної термодинаміки.

На жаль, такий спосіб розрахунку мало придатний для широкого вжитку оскільки передбачає наявність детальної інформації про кількісне співвідношення всіх компонентів системи та концентрацію елементів в них, що не завжди можливо. Саме тому геохімічний фон визначають, як правило, за модальним[9] 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 типоморфних 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.

---

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

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. При цьому, єдиного підходу до вирішення питання яке відхилення від фону ($C_Ф$) є "значимим", тобто які значення параметру задовольняють вимогам аномальності, на сьогодні не існує. З точки зору класичної математичної статистики при нормальному законові розподілу аномальні значення повинні відрізнятись від фонових на потроєну величину середньоквадратичного відхилення фону з врахуванням похибок аналізів ($\sigma = \sqrt{\sigma^2_{\text{природн}} + \sigma^2_{\text{техн}}}$), тобто концентрація елементу має бути або меншою за $C_Ф$-3σ (від'ємна аномалія) або більшою за $C_Ф$+3σ (позитивна аномалія). Водночас, при вирішенні конкретних завдань в геохімії часто використовують інші, і менш і більш жорсткі (5σ, 2σ, σ тощо) критерії виділення аномального рівня концентрацій. В кожному конкретному випадку домінуючим чинником є очікувана величина корисного сигналу за якого можлива надійна ідентифікація досліджуваного явища чи процесу. При логнормальному[10] розподілі, який, як багатьма вважається, є більш характерним для рідкісних і розсіяних елементів, використовується той же спосіб підрахунку аномального рівня концентрацій, однак середнє квадратичне відхилення розраховують за логарифмованими значеннями параметру (σ_{lg}):

[10] Існування логнормального закону розподілу елементів в природних об'єктах є дискусійним. Ряд геохіміків пропонує вважати подібний розподіл полімодальним, кожна з мод якого відображає певний енергетичний стан ділянки системи.

$$C_A \geq C_\Phi \cdot (antlg\, \sigma_{lg})^{\frac{t}{\sqrt{m}}} \qquad 4.8$$

де *t* відповідає обраному рівню жорсткості при виділенні аномалій (*t*>0, чим вищі значення параметру, тим вищий нижній рівень аномальних значень і менша вірогідність віднесення до аномалій фонових значень), а *m* – кількість точок, якими зафіксована аномалія.

Характеристичними параметрами аномалій є також їх ефективні (виявлені) розміри (ширина по профілю, площа та об'єм простору з аномальними концентраціями) та контрастність (γ). Остання визначається за величиною фону, середнім квадратичним відхиленням і максимальними значеннями концентрацій (параметрів) в аномаліях:

$$\gamma = \frac{\lg C_A - \lg C_\Phi}{\sigma_{lg}} \qquad 4.9$$

Надійним критерієм аномальності досліджуваної сукупності (площі) є полімодальність емпіричних розподілів які відображають різні рівні концентрування елементу. Розділення геохімічних полів на фонові та аномальні ділянки може бути виконане також при виділенні закономірних зональних структур геохімічних полів.

В будь-якому випадку надійність ідентифікації аномальних ділянок геохімічного поля в першу чергу залежить від правильності визначення геохімічного фону. Найбільш традиційним шляхом встановлення фонових значень при зйомці та пошуках є створення однорідних вибірок і визначення в їх межах параметрів розподілу елементів. Попри поширеність такого підходу він не позбавлений ряду суттєвих методичних недоліків. Зокрема:

- однорідність вибірки на першому етапі визначається якістю геологічної документації, яку важко співставити у випадку залучення інформації з різних джерел;
- застосування параметричної статистики є виправданим у випадку коли закон розподілу відомий заздалегідь, що неможливо, оскільки реальні дані звичайно анормальні та полімодальні;
- набір даних дуже часто "обрізаний" зверху та знизу, або містить проби з аномально високими концентраціями.

Відтак, висновки зроблені по результатам застосування параметричних методів є достатньо умовними. Серед непараметричних методів в геохімії зарекомендували себе робастні методи, які передбачають застосування різноманітних вагових функцій, в результаті чого аномальним значенням надається мала вага і мінімізується їх вплив на статистичні оцінки. І хоча вірогідність того що фонові проби будуть

визнані аномальними (і навпаки) оцінити неможливо, застосування методів непараметричної статистики дозволяє отримати статистичні оцінки розподілу з вужчими довірчими межами ніж параметричні. Так, середнє квадратичне відхилення по одній і тій же вибірці з 25 проб, визначене параметричним і непараметричними методами, відрізняються, як правило, в 3-8 разів.

В реальних геологічних об'єктах визначення фону ускладнюється тим що фонове геохімічне поле, зазвичай, є змінним. Ці зміни можуть бути як безперервними (значення параметрів є функцією координат), так і дискретними (розриви суцільності геохімічного поля на бар'єрах). Для виділення аномальних сукупностей в таких умовах застосовують регресійний і факторний аналіз, метод "мобільної" медіани тощо. Так, в ландшафтній геохімії часто розраховують фон за основними елементарними геохімічними ландшафтами (недоліки цього підходу не потребують окремого висвітлення). Дещо інший варіант було запропоновано О.Г.Марченко (1985), за яким, для введення в порогові значення аномалій змінних поправок, що враховували б ландшафтну мінливість геохімічних полів, слід розраховувати регресію вмістів елементів на певні "ландшафтні" головні компоненти. Для реалізації цього підходу організується спеціальна матриця середніх вмістів елементів в характерних ландшафтних умовах.

Як вже відмічалося, аномально високі і аномально низькі вмісти є маловірогідними, тож в момент припинення або ослаблення дії антиентропійних чинників такого потоку розпочинаються самочинні реакції розсіяння і утворюються *вторинні (епігенетичні) ореоли розсіяння*, тобто області підвищених концентрацій елементів які виникли в результаті епігенетичних по відношенню до рудного тіла (збурюючого об'єкта) процесів. На відміну від первинних ореолів концентрація елементів у вторинних ореолах завжди вища за фонову, хоча рівень такого перевищення може бути дуже незначним. Розміри вторинних ореолів звичайно значно більші за розміри збурюючих чинників – вони сягають сотень метрів і навіть кілометрів. Форма знаходження елементів у вторинних ореолах найчастіше є безмінеральною (адсорбція глинами тощо).

Вторинні ореоли класифікують звичайно за компонентами середовища в яких зафіксовані області підвищених концентрацій: *літохімічні* - в породах, корах вивітрювання і грунтах; *гідрогеохімічні* - в підземних та поверхневих водах; *атмохімічні* - в підземній і надземній атмосфері; *біогеохімічні* – в організмах.

Природні літохімічні аномалії зумовлені геолого-структурними особливостями району, його металогенією, мінеральним складом та петрогеохімічними особливостями порід, а також фізико-хімічними умовами

міграції елементів і їх комплексних з'єднань. Крім того, в районах тектоно-магматичної активізації часто спостерігають аномальні вмісти елементів, які є не відповідними літологічному та формаційному складам вивчених геологічних тіл. Такі аномалії є відображенням потужних енергетичних потоків які формують асиметричний розподіл набору елементів у всіх породах в межах свого впливу. І дійсно, підвищені концентрації Bi, As, Sb, Hg, Sn, Be, Li, F тощо, часто є свідченням відкритості геологічної системи. Для позначення простору, у всіх породних відмінах якого спостерігається концентрування однієї і тієї ж групи хімічних елементів, було введене поняття "прозорої геохімічної зони" (В.С.Певзнер та ін., 1997), а відповідні наскрізні елементи часто називають "нехарактерними", підкреслюючи цим відсутність видимого зв'язку із складом порід і домінуючий вплив хімічного потенціалу цілком рухомих компонентів. При цьому, звичайно, не можна говорити про повну відсутність впливу фонового геохімічного поля, оскільки і потік наскрізних елементів і склад порід зони завжди формуються під впливом геохімічного поля вищого рівня.

Рівні концентрації елементів в центральній частині ореолів розсіяння над родовищами можуть перевищувати фонові у 10-15 і, навіть, у сотні разів. В таких випадках можна говорити про існування екстремальних еколого-геохімічних ситуацій. Типові асоціації хімічних елементів, що концентруються в деяких типах рудних родовищ та їх ореолах розсіяння наведені в табл. 4.5. Переважна більшість цих елементів є сильними токсикантами (табл. 4.6).

Таблиця 4.5.

Асоціації хімічних елементів що що концентруються в деяких типах рудних родовищ та їх ореолах розсіяння (за С.В.Григорян, 1987)

Тип родовищ	Геохімічна асоціація
Апатитові	P-Sr-Ce-La-Y-Yb-Zr-Nb-Mo-Pb-Ba-Sn-Ni-Co-Zn-Cr-V-Sc-Ga-Mn
Рідкіснометалеві пегматити	Li-Pb-Cs-Nb-Sn-Ta-W-Be-As
Залізорудні (скарнові)	Mn-Pb-Cu-Zn-Ni-V-Sn-Sr-B-Zr-Mo-Co-Fe-Ti-Cr-Y-Sc
Вольфрам-молібденові (скарнові)	Ba-Ag-Pb-Zn-Sn-Cu-W-Mo-Co-Ni-Be-V-Y
Вісмутові (скарнові)	As-Pb-Ag-Zn-Co-Cu-Bi-Ni
Поліметалічні (скарнові)	Sb-Cd-Ag-Pb-Cu-Ni-Bi-Co-Mo-Sn-W-Be
Мідисті пісковики	Cu-Ag-Pb-Ba-Bi-W-Cr-Zn-Mo
Мідно-нікелеві	Cu-Ni-Co-Ba-Pb-Zn-Ag-Bi-Sn-Be-W-Zr
Мідно-молібденові	Cu-Mo-As-Ag-Pb-Zn-Bi-Co-Ni-Be-W
Оловорудні	Sn-Pb-As-Cu-Bi-Zn-Ag-Mo-Co-Ni-W
Ртутні	Hg-Ba-Ag-Pb-Zn-Cu-Co-Ni-Sn-Mo-W

Золоторудні	Au-Sb-As-Ag-Pb-Zn-Mo-Cu-Ni-Bi-Co-Ni-W-Be
Свинцево-цинкові	Ba-As-Cu-Ag-Pb-Zn-Co-Ni-Be-V

Укладено за [50]

Літохімічні (як, зрештою, і інші) аномалії можуть проявлятися не лише значною зміною вмістів елементів, але й зміною їх форм знаходження. В ряді випадків саме аномалії такого роду є причиною виникнення екологічних загроз (окислення малорухливих сульфідів металів в зонах окислення сульфідних родовищ до легко розчинних сульфатних сполук тощо).

Міграція вод через рудні тіла, розмив останніх текучими поверхневими і грунтовими водами утворюють гідрогеохімічні аномалії, що містять підвищені концентрації елементів в розчиненому стані. В утворенні гідрогеохімічних ореолів розсіювання в ландшафтній оболонці найактивнішу роль відіграють річкові і ґрунтові води, глибинні води джерел, що промивають родовище, нафтові води в районах нафтових структур, джерела, що виходять на поверхню в районах сучасного вулканізму.

Таблиця 4.6.

Токсичність елементів різних геохімічних класів (за В.В.Івановим, 1998 із змінами [50])

Група небезпеки	Сидерофільні	Халькофільні	Літофільні	Атмофільні
1а	^{n}Ru,	Cd, Hg, Tl,	Be, ^{n}Sr, ^{n}U, ^{n}Cs, ^{n}I,	^{n}Rn, ^{n}Kr,
1б	Co*, Ni*, ^{n}C^, C^, As", Sb",	^{n}S, Te, Pb, Se,	B, F, Cl, ^{n}Na, ^{n}Rb, ^{n}K, ^{n}Ca, Cr, V, ^{n}Nb, P, ^{n}Th, Ba,	O,
2-3	Sn*, Mo", Ge*, W^, Ga*, Os, Pt,	S, Ag, Cu, In, Zn, Mo, Bi,	Li, Si, Al, Sr, Mn, Cs, REE, Sc,	
4	Fe*, Rh,		K, Na, Rb, Mg, Ca, Ta, Nb, Ti,	N,

Примітки: 1) Sn* - Халькофільні і літофільні в земній корі; Mo" - халькофільні в земній корі; W^ - літофільні в земній корі. 2) ^{n}C – Найбільш біологічно активні радіотоксичні нукліди; C – високотоксичними є окремі з'єднання.

Природні гідрогеохімічні ореоли розсіяння часто формуються при випарному концентруванні грунтових вод і розчиненні евапоритів, що обумовлює появу значних кількостей добре розчинних хлоридів і сульфатів натрію та кальцію. До речі, саме з водами суттєво натрового складу пов'язана значна частина гідрогеохімічних аномалій миш'яку та бору. Значну роль відіграють процеси комплексоутворення – зростання концентрацій фульво- і гумінових кислот, а також фтору інтенсифікує розчи-

нення твердої фази та більш активне надходження в водне середовище Fe^{3+}, Fe^{2+}, Hg^{2+}, Be^{2+}. вмісти яких, в результаті, можуть суттєво перевищувати ГДК.

Атмохімічні ореоли розсіяння газів ендогенного походження контролюються регіональними і локальними проникними зонами. У складі глибинних флюїдів, як правило, представлені CO_2, H_2, Ar, He, Hg, Rn, вуглеводні, сірчані сполуки, цианіди, леткі з'єднання важких металів тощо. Парогазові глибинні потоки, що мігрують ослабленими тектонічними зонами, містять значні кількості пари практично всіх елементів. Так, за даними В.В.Виноградова (1997), в одній з тектонічно-активних зон Карелії через перетин 10 $см^2$ за добу з глибинними флюїдами поступило близько 12 мкг свинцю і 250 мкг алюмінію.

За особливостями накопичення хімічних елементів виділяються два види біогеохімічних ореолів: груповий, коли підвищеним вмістом елементу характеризуються всі рослини даної місцевості, і *видовий* (*селективний*) - підвищений вміст характерний лише для певного виду рослин. Існування останнього виду ореолів обумовлене суперпозицією впливів наступних чинників: концентрації і форми знаходження елементу в живлячому середовищі (відмінне в різних видів); наявності (відсутності) у виду (або органу) рослин порогів поглинання елементів. Перелічені чинники можуть обумовити 1000-кратну відмінність концентрацій хімічних елементів, навіть без врахування видової спеціалізації, неспівпадіння фаз вегетації тощо.

Пошуки, при яких шляхом визначення вмісту хімічних елементів в ендогенних та екзогенних компонентах ландшафту визначаються первинні ореоли та вторинні ореоли розсіяння, а за ореолами оконтурюються області накопичення елементів (родовища, джерела забруднень тощо) отримали назву *геохімічних пошуків*. Методи геохімічних пошуків виділяються у відповідності до об'єкту – літохімічні, гідрогеохімічні, атмохімічні та біогеохімічні. Такий поділ зумовлений в першу чергу різною інерційністю та ємністю відповідних компонентів середовища, що відображається, зокрема, і в значних відмінностях методик що застосовуються при опробуванні порід, вод, газів і організмів, а також в різних рівнях фонових концентрацій (табл.4.2-4.3). Побудовані за результатами пошуків карти ізоконцентрат дозволяють виділяти різні типи геохімічних аномалій та фонових ділянок в компонентах середовища. Їх порівняння дає можливість ідентифікувати процеси міграції які призвели до концентрування елементів.

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, гідрогеохіміч-

них, газогеохімічних, біогеохімічних, педогеохімічних тощо є недоцільним, воно просто фіксує формування ореолів розсіяння, відповідно, в породі, воді, газовій фазі, живих організмах, грунтах.

Позитивні геохімічні аномалії, як правило, приурочені до *геохімічних бар'єрів*. За визначенням О.І.Перельмана геохімічний бар'єр 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 концентрація елементів. Це зона, де одна геохімічна обстановка заміняється іншою: зменшення простору, який зайнятий обстановкою, призводить до переходу кількості в якість, перетворенню обстановки в бар'єр (і навпаки). Розміри бар'єрів можуть бути самими різними - виділяють макро-, мезо- і мікробар'єри. Так, у дельтах зона змішування прісних річкових і солоних морських вод є макробар'єром шириною в сотні і тисячі метрів (при довжині рік і морських акваторій у тисячі кілометрів). Рудні тіла у водоносних горизонтах артезіанських басейнів мають ширину в десятки і сотні метрів при довжині (по падінню) водоносних горизонтів у тисячі і десятки тисяч метрів (мезобар'єри). Рудні прожилки потужністю в декілька сантиметрів і міліметрів відносять до мікробар'єрів.

На геохімічних бар'єрах утворюються рудні тіла більшості родовищ, поняття про бар'єри є однією з методологічних основ вивчення геохімічних аномалій і, відповідно, воно має велике значення для розробки методики геохімічних пошуків. Вивчення бар'єрів також важливе в боротьбі з забрудненням навколишнього середовища, при організації підземного вилуговування руд, закріпленні ґрунтів у будівництві, при вирішенні інших практичних задач.

У земній корі відбувається суміщення і комплексування різноманітних геохімічних процесів, у зв'язку з чим виділяються комплексні бар'єри, які утворюються в результаті накладання двох або декількох взаємозалежних геохімічних процесів. Виділяються також двосторонні бар'єри, що формуються при русі різних елементів до бар'єру з різних сторін. На двосторонньому бар'єрі відбувається осадження різнорідної асоціації хімічних елементів. Вирізняють також латеральні бар'єри, які утворюються при русі вод у субгоризонтальному напрямку, наприклад на межі фацій, і радіальні (вертикальні) бар'єри, що формуються при вертикальній (знизу нагору або зверху вниз) міграції розчинів у зонах розломів, корах вивітрювання тощо. У залежності від засобу масопереносу вирізняють дифузійні та інфільтраційні бар'єри. В. С. Голубєв розробив поняття про рухомий геохімічний бар'єр - бар'єр переміщується повільніше фільтрації води. При такому механізмі у воді перед бар'єром підвищується вміст хімічних елементів.

Інтенсивність накопичення елементу (наприклад, рудоутворення) збільшується з ростом контрастності (S) і градієнту бар'єру (G).

$$S = m_1/m_2 , \qquad 4.10$$

$$G = dm/dl \approx (m_1-m_2)/l , \qquad 4.11$$

де l - ширина бар'єру, а m_1 і m_2 – значення геохімічних показників до і після бар'єру.

Концентрація елементу на бар'єрі залежить від співвідношення осаджених "рудних" та "нерудних" компонентів. Якщо на бар'єрі осаджується тільки корисний компонент, то весь вільний простір (пори, тріщини тощо) буде заповнений рудними мінералами і руда буде багатою. Навпаки, якщо разом з рудними мінералами осаджуються інші (наприклад, SiO_2, $CaCO_3$, $CaSO_4$ тощо), то вони можуть "пригнітити" рудний процес і, незважаючи на високий вміст металу в рудоносному розчині, отримана руда буде бідною.

У основу класифікації геохімічних бар'єрів покладені відмінності в міграції(див. табл. 4.7).

Таблиця 4.7.

Найважливіші природні геохімічні бар'єри

(за О.І.Перельманом [39])

Клас бар'єру	Характеристика змін на бар'єрі	Концентрування елементів
1. Механічні бар'єри		
Водний (повітряний)	Більш спокійна механічна міграція	Fe, Ti, Zr, C, Cr, Nb, Th, Ta, Sn, Pd, Au, Ru, Ir, W, Hf, Os, Pt, Ph - алмазні, золоті, платинові, торієві, цирконові, титанові та інші розсипи
2. Фізико-хімічні бар'єри		
Окислювальний	Зростання Eh	Fe, Mn, S - в болотних та озерних рудах, сірчаних родовищах
Відновний сірководневий	Пониження Eh і зростання вмісту S^{2-}	Fe, V, Zn, Ni, Co Cu, Pb, U, As, Cd, Hg, Ag, Se, (Re, Be) – епігенетичні родовища урану, мідисті пісковики
Відновний глейовий	Пониження Eh	U, Se, Cu – епігенетичні родовища урану, самородна мідь в болотах
Сульфатний	Зростання вмісту SO_4^{2-}	Ba, Sr, Ca – барит і целестин
Карбонатний	Зростання вмісту CO_3^{2-}	Ca, Fe, Ba, Sr - Кальцит, вітерит, стронціаніт, сидерит

Клас бар'єру	Характеристика змін на бар'єрі	Концентрування елементів
Лужний	Зростання pH	Fe, Ca, Mg, Mn, Sr, V, Cr, Zn, Cu, Ni, Co Pb, Cd – вторинні ореоли в карбонатних породах на ділянках окислення сульфідних руд
Кислий	Зменшення pH	SiO_2, Mo, Se, U - руди епігенетичних родовищ, вторинні ореоли, зкрем'яніння деревини
Випарний	Зростання рівня мінералізації та випаровування води	R^+, R^{2+}, U, Mo, Cl, S, F, J, Br, Zn, N в випарних аномаліях
Адсорбційний	Контакт малоактивних вод з сорбентами	R^+, R^{2+}, P, S, V, Cr, Zn, Ni, Co, Cu, U, As, Mo, Hg, Ra – вторинні ореоли металів в торфах і глинах
Термодинамічний	Зміна температури, загального тиску та парціального тиску газів	Накопичення широкого переліку елементів в різноманітних процесах
3. Біогеохімічні бар'єри		
(класи не виділені)	різна	O, C, H, Ca, K, N, Si, Mg P, S, Na, Cl, Fe, Ba, Sr, Mn, B, F, Zn, Rb, Cu, V, Ge, Ni, As, Co, Li, Mo, J, Se, Ra – вторинні ореоли і безрудні аномалії в гумусовому горизонті ґрунтів, акумуляція гуано тощо

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 осадків. 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.

4.2. 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.

В зонах впливу виробничої діяльності людини представлені процеси техногенної міграції, успадковані від біосфери, але істотно змінені в ноосфері, а також процеси техногенної міграції, невластиві біосфері. Так само, як і в природі, у ноосфері відбувається біологічний кругообіг, хімічні елементи мігрують у водах і атмосфері. Тому і для ноосфери 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 ноосфері. 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.

У результаті зрошення пустель, осушування боліт, повороту річок, будівництва гідростанцій, використання підземних вод змінюється і кругообіг води. Затрачуючи енергію на опріснення морської води, очищення водопровідної води, зменшення її жорсткості тощо, людство виступає в ролі антиентропійного чинника.

Водночас, для ноосфери 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). Атоми з них мігрують на тисячі кілометрів, перетинають океани і континенти. Речовина розпорошується, переходить у більш дисперсний, а отже, і більш при-

датний для міграції стан при будівництві каналів, доріг, обробці ґрунту тощо - понад 1 км^3 на рік. Середній склад ноосфери наведений в табл. 4.8.

Таблиця 4.8.

Середній вміст елементів в ноосфері
(у %, за М.Ф.Глазовським, 1987)

Елемент	Концентрація	Елемент	Концентрація	Елемент	Концентрація
Li	0,0019	Ca	1,6	Br	0,0026
Be	0,0001	Ti	0,26	Sr	0,024
B	0,05	V	0,007	Y	0,002
N	0,12	Cr	0,005	Zr	0,0012
F	0,035	Mn	0,04	Mo	0,00011
Na	1,1	Fe	2,2	Ag	0,00005
Mg	0,9	Co	0,001	Cd	0,0000016
Al	6,1	Ni	0,0046	Sn	0,00049
Si	16	Cu	0,0028	I	0,0054
P	0,05	Zn	0,0046	Ba	0,0036
S	0,17	Ga	0,0017	Au	0,007
Cl	0,69	Ge	0,00011	Hg	0,000018
K	1,6	As	0,0003	U	0,00019

Примітка: при розрахунку в склад ноосфери були включені - жива речовина, гідросфера, атмосфера до висоти 80 км і верхня частина літосфери. Укладено за [39].

Окислювання органічних речовин в ноосфері 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 ноосфери металевий стан заліза, нікелю, хрому, ванадію і багатьох інших елементів не відповідає фізико-хімічним умовам земної кори. Людина тут зменшує ентропію і їй приходиться витрачати багато сил, щоб одержати і утримувати дані елементи у вільному стані. 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.

Новим для земної кори є і виробництво атомної енергії, одержання

радіоактивних ізотопів. Нарешті, невідповідною біосфері є міграція, що підпорядковується соціальним законам (експорт-імпорт і т.д.). 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[11] - 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.

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» ноосфери 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).

---

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

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, роль якої у вирішенні даних питань надзвичайно велика.

М.А.Глазовська запропонувала вважати *незабрудненими* такі біокосні системи, в яких коливання концентрації і баланс форм знаходження техногенних 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: у автотранспортній галузі це Pb, Cd, Hg, Zn; в теплоенергетиці – B, Be, Mo, As; в гальванічному

виробництві – Cd, Bi, Sn, Ag, Pb, Cu, Cr, Zn, Ni; в кольоровій металургії – W, Sb, Cd, Hg, Pb, Bi, Zn, Cu, Ag, Zn, As, Mn тощо. 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 осадків 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 осадках 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.

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[12] 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 і розсіюються; 2) арени місцевої акумуляції (закриті) – міграція замкнена в середині системи, винесення забруднення не відбувається, вихідна структура міграційних потоків території повністю змінюється (такі випад-

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

ки 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.

У всіх випадках і загальний характер геохімічних процесів і їх кінцеві результати в межах різних типів арен можуть суттєво відрізнятися. Понад те, часто спостерігаються своєрідні геохімічні "інверсії" – формування замкнутих арен активної сольової акумуляції в областях гумідного клімату, наприклад.

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

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+}.

Ще одним фундаментальним поняттям, яке використовується для прогнозування стану довкілля є стійкість природних систем. 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).

Найбільш загальним показником прогнозної інтенсивності техногенних впливів на середовище є кларки, 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, кількості, форм) можуть порізному 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.

Одним з базових принципів оцінки впливу техногенних чинників на природні системи є принцип геохімічної сумісності (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 нафтою і газовим конденсатом, можуть бути як несумісними з природною обстановкою, тобто не формувати високих концентрацій (відкриті арени в умовах гумідного клімату) і навпаки, формувати техногенні геохімічні аномалії (бути сумісними в умовах арідного клімату і закритих арен).

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 ноосферної концентрації (C_n) та регіонального сумарного коефіцієнту ноосферної концентрації (C^s_n):

$$C_n=\sum C_i/N_{ni} \qquad 4.12$$

$$C^s_n=\sum D_k \cdot C_{nk} \qquad 4.13$$

де: C_i – вміст компонентів в даному продукті; N_{ni} - кларки відповідних компонентів в ноосфері (біосфері); i та k – кількість аномальних елементів, D_k – техногенний тиск різних продуктів виробництва на досліджуваній території.

Найвищі значення C_n властиві вугіллю, при використанні якого як палива в навколишнє середовище надходить надлишкова кількість не менш як 25 елементів, в тому числі важких та радіоактивних металів. В межах України найвищі значення C^s_n фіксуються в Донбасі (Ф.Я.Саприкін, 1984), де найвищими є й кларки ноосферної концентрації.

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 (E), 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.

Так, у великих адміністративних центрах значення Е змінюються від 0,1 до 0,7 тон·людину$^{-1}$·рік$^{-1}$, а в невеликих промислових містах величина цього параметру зазвичай перевищує 1 тон·людину$^{-1}$·рік$^{-1}$ (в Лисичанську до 3 тон·людину$^{-1}$·рік$^{-1}$). Небезпечність екологічної ситуації в містах оцінюється за порівнянням рівнів забруднення депонуючих середовищ і емісійного навантаження (див. табл. 4.9).

Безумовно, геохімічна характеристика міст буде неповною без врахування природних обстановок – подібні за виробництвом, населенням і інфраструктурою міста тундри і пустель будуть суттєво відмінними за умовами міграції і концентрації елементів: 1) найсприятливішими для населення за рівнем атмосферного забруднення є приморські міста, а найнебезпечнішими – улоговинні та передгірні населені пункти; 2) забрудненість ґрунтів може суттєво змінюватись в межах міста в залежності від поєднання окислювально-відновних та кислотно-лужних умов; 3) рівні концентрацій елементів в ґрунтах, водах і приземному шарі атмосфери залежать від геохімічної спеціалізації ґрунтоутворючих порід. За рівнями вмісту токсичних елементів в корінних, ґрунтоутворючих породах і ґрунтах О.І.Перельман виділяє: І – фонові міста з близькокларковими концентраціями більшості елементів (переважно міста на четвертинних відкладах); ІІ – субаномальні ланшафти з підвищеними вмістами окремих елементів в літогенній основі; ІІІ – міста з природноаномальними літогеохімічними умовами, збудовані на територій родовищ де високі природно-обумовлені концентрації токсичних елементів створюють достатньо високий рівень забруднення міського ландшафту. Екологічна небезпека в таких випадках різко зростає при видобутку і переробці корисних копалин.

Не слід також забувати що в міських агломераціях виділяється величезна кількість енергії, зростають обсяги запилення, випаровувань і стоків, інтенсифікуються окислювальні процеси і формується аномальний режим атмосферної міграції. В містах частіше, ніж в сільській місцевості, випадають дощі, спостерігаються грози і хмарна погода, формуються тумани. Все це призводить до утворення суцільного аномального геохімічного поля складної будови, характерними ознаками якого є накопичення сірки, кальцію, елементів групи заліза та халькофілів.

Обсяги атмосферних перенесень забруднюючих речовин в зимовий період зручно оцінювати за складом снігового покриву, геохімічні

аномалії в якому, завдяки високій сорбційній здатності снігу, в десятки разів перевищують площу міської забудови і значно контрастніші за атмосферні аномалії. Моніторинг снігового покриву дозволяє отримати інформацію щодо просторового розподілу найбільш рухомих водорозчинних форм хімічних елементів та форм, пов'язаних з мінеральними та органомінеральними носіями. За результатами аналізів звичайно розраховують коефіцієнти відносного техногенного навантаження (K_P, б/р) та показники загального пилового навантаження ($P_{заг}$, мг·км$^{-2}$·добу$^{-1}$):

$$P_{заг}=C\cdot P_n \qquad 4.14$$

$$K_P= P_{заг}/(C_ф\cdot P_{nф}) \qquad 4.15$$

де P_n і $P_{nф}$ – пилове навантаження та фонове пилове навантаження (кг·км$^{-2}$·добу$^{-1}$); C і $C_ф$ – концентрація і фонова концентрація досліджуваного елементу (мг/кг).

В залежності від складу викидів та трансрегіональних переносів, снігові води можуть мати як кислу (при надходженні оксидів сірки), так і лужну (за рахунок розчинення пилу техногенних карбонатів) реакцію. Дуже контрастними є аномалії розчинних і мінеральних форм важких металів і ароматичних вуглеводнів.

Таблиця 4.9.

Геохімічні розряди міст (за М.С.Касимовим, 2002)

Сумарний показник забруднення (Z_C, у/о) і пилове навантаження ($P_{заг}$, кг·м$^{-2}$·добу$^{-2}$)	Бальна оцінка небезпеки забруднення				
	E<0,3	E=0,3…1	E=1…2	E=2…3	E=3…5
1. Низький: $Z_C\leq16$, $P_{заг}\leq200$	1	2	3	4	5
2. Середній помірно-небезпечний: $Z_C^{грунт}$=16…22, $Z_C^{сніг}$=64…128, $P_{заг}$=250…450	6	7	8	9	10
3. Високий небезпечний: $Z_C^{грунт}$=32…128, $Z_C^{сніг}$=128…256, $P_{заг}$=450…800	11	12	13	14	15
4. Дуже високий надзвичайно небезпечний: $Z_C^{грунт}$=>128	16	17	18	19	20

Примітка: E - Коефіцієнт емісійного навантаження (тон·людину$^{-1}$·рік$^{-1}$). Укладено за [50].

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.:

$$Z_C=\sum K_C-(n-1) \qquad 4.16$$

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

Речовини, що входять до складу викидів М.А.Глазовська поділяє на дві великі групи: нетоксині і слабкотоксичні елементи з високими кларками, які змінюють лужно-кислотні та окислювально-відновні умови грунтів (Fe, Ca, Mg, луги, кислоти, сірководень і метан); біохімічноактивні високотоксичні полютанти з низькими кларками (Hg, Cd, Pb, Sb, Se). Найвищі рівні забруднення грунтів важкими металами спостерігаються в містах з кольоровою та чорною металургією. Для міст з підприємствами хімічної промисловості характерне сильне забруднення сірководнем, ацетоном, фтором, аміаком тощо. Розмір аномалій залежить від типу забруднювача – для металургійних заводів та ТЕЦ радіус ореолу переважно не перевищує 5-10 км, а для автотранспорту – всього 0,1-0,2 км, при цьому якщо центральна частина аномалії звичайно має поліелементний склад, то ближче до периферії домінують окремі елементи, найчастіше Pb та Zn.

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 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).

На відміну від снігового покриву біоіндикація дозволяє оцінити забруднення переважно періоду вегетації. На регіональному фоні рослин-

ний покров міст утворює переважно слабко і середньо контрастні аномалії з специфічної спеціалізацією.

Одною з основних форм техногенної деформації міського середовища є забруднення вод промисловими та комунально-побутовими стоками – навіть, так звані, умовно чисті стоки містять високі вмісти забруднювачів що в десятки разів перевищують ГДК. Забрудненими є також стічні води з міської території, хімічний склад яких відображає загальний стан її забруднення. Насиченість міського середовища синтетичними забруднювачами (ПАР, ПХБ) посилює міграцію частини важких металів у зв'язку з їх входженням до складу розчинних комплексів (Cd, Ni).

І.А.Авессаломова пояснює специфічність техногенних аномалій *районів видобутку корисних копалин*: 1) переміщенням значних мас гірських порід та їх наступним перерозподілом в відвалах; 2) руйнуванням хвостосховищ під дією ерозійних, селевих, еолових та інших природних процесів; 3) відкачкою вод з рудника та скидами з об'єктів облаштування родовища. 4) втратою речовини з пилом практично на всіх етапах технологічного циклу. До цього переліку слід додати, безумовно, зміну умов (Eh-pH) існування як переміщених породних мас, так і порушеного гірського масиву, звичайним наслідком чого є перехід важкорозчинних сульфідних форм важких металів в добре розчинні сульфати. На радіальних відновних (піритних) бар'єрах формуються зони вторинного поліметалевого збагачення, а на окислювальних – осаджується залізо. В грунтових покривах поблизу більшості видобувних підприємств, крім специфічних елементів даного родовища, накопичуються Bi, Sc, TR, Li, Be, Y, Hg, Cd, Ce тощо. В районах видобутку нафти і газу спостерігається зростання солоності поверхневих і підземних вод, засолення і деградація ґрунтів. У вуглевидобувних районах відбувається забруднення транзитних і депонуючих середовищ широким набором мікроелементів, змінюється газовий склад.

Як правило, в районі розташування гірничо-видобувних підприємств виділяється кілька зон техногенної трансформації природних комплексів: 1) зона повної деградації грунтово-рослинного шару з високими вмістами металів у всіх компонентах довкілля; 2) зона безпосереднього впливу, в повітрі над якою вмісти забруднювачів перевищують ГДК в десятки разів; 3) зона сильного забруднення повітря, ґрунтів, снігу, і рослинності, в якій скорочується перелік забруднюючих речовин, а їх концентрації на порядок менші ніж в попередньому випадку; 4) зона помірного латерального забруднення. Фонові ландшафти зазвичай відстоять від видобувних підприємств не менш як на 15-20 км.

Процеси *агротехногенезу* призводять до інтенсифікації біологічного кругообігу, зростає винесення речовини за межі території з урожаєм, привносяться додаткові обсяги речовин для ліквідації дефіциту мікро і макрокомпонентів. В загальному випадку всі засоби хімізації є потужним чинником забруднення. Особливо небезпечним є використання нестандартизованих добрив – осадків стічних вод, твердих побутових відходів тощо, які є основними джерелами надходження важких металів. Дуже інтенсивне забруднення відбувається і при використанні фосфорних добрив, які містять найширший перелік елементів домішок. Так, в суперфосфаті містяться значні кількості фтору та кадмію (до 100 КК), миш'яку (десятки КК), ітрію, стронцію, міді, свинцю та рідкісноземельних елементів.

Практично повсюдно фіксується трансформація грунтово-геохімічної структури території в результаті забруднення ґрунтів. Зокрема, накопичення полютантів в верхній частині ґрунтового профілю призводить до виникнення різкої радіальної диференціації всіх типів ґрунтів, в тому числі чорноземів, для яких в фонових ситуаціях характерний рівномірний розподіл елементів по ґрунтовому профілю.

При перекритті зон впливу підприємств різного профілю в комплексній аномалії проявляється асоціація елементів-індикаторів тих підприємств, викиди яких вирізняються високими концентраціями домішок. За наявності концентрованих викидів відносно чистих від домішок мас (викиди цементних заводів, наприклад) відмічається обернена залежність між пиловим навантаженням і концентрацією елементу в твердій фазі випадінь. Загальна будова комплексних аномалій в ґрунтах, визначається, з одного боку, загальною масою елементу що поступає в систему з викидами, а з іншого – міграційною здатністю елементів.

4.3. 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. Адже 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.

Для оцінки впливів полютантів на організм найчастіше використовують гігієнічні нормативи – граничні допустимі концентрації (ГДК). 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: 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 концентрацією, 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 інтер-

валом 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.

За межами нормального інтервалу концентрацій хімічних елементів виникають мутації, які можуть закріплюватись на генетичному рівні, формуючи нові сорти (“селенові”, “цинкові”), породи і, навіть, види. Вже це підкреслює важливість мікроелементів для організмів. Поглинені організмом метали можуть виступати в ролі ферментних активаторів або інгібіторів (Zn, Mn, Fe, Cd, Co, Ni, Hg, Re, Cs, Li, La, Al тощо). Іони кальцію не тільки входять до складу кісткових і сполучних тканин, але й активують ферменти, беруть участь в передачі нервових імпульсів і регулюють проникність клітинних мембран. Залізо, мідь, магній і марганець необхідні для утворення еритроцитів тощо.

Водночас, вважається, що якщо видобуток певного елементу випереджує його природні темпи переносу в біогеохімічному циклі в 10 разів і більше, то такий елемент повинен розглядатися, як забруднювач. Для багатьох металів ця норма вже перевищена в 15-20 і більше разів. Так, техногенна частка міді й цинку в атмосфері складає вже 75%, кадмію і ртуті – 50%, нікелю – 30%, кобальту – 10%. Найбільш висока емісія до атмосфери характерна для свинцю – до 80%.

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 і 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. В загальному випадку токсичність неорганічних

з'єднань зменшується в ряду: нітрати > хлориди > броміди > ацетати > йодиди > перхлорати > сульфати > фосфати > карбонати > фториди > гідроксиди > оксиди.

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.

Слід зазначити, що живі організми мають певні механізми деінтоксикації по відношенню до важких металів. Так, у відповідь на токсичну дію іонів свинцю, кадмію і ртуті, печінка й нирки людини збільшують синтез металотіонінів – низькомолекулярних білків, до складу яких входить цистеїн. Високий вміст в останньому SH-груп забезпечує зв'язування іонів металів у стійкі комплексні сполуки.

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. В атмосфері важкі метали присутні у формі органічних та неорганічних сполук у вигляді пилу й аерозолів, а також в газоподібній формі (ртуть). Основні механізми виведення важких металів з атмосфери – вимивання з осадками і осадження на підстилаючу поверхню. У водних середовищах важкі метали присутні в трьох формах: підвішеній, колоїдній і розчинній. Остання представлена вільними іонами й розчинними комплексними сполуками з органічними та неорганічними лігандами. Сорбція металів донними відкладами залежить від особливостей складу й вмісту органічної речовини. Рівні вмістів важких металів в ґрунтах залежать від окислювально-відновних та кислотно-лужних властивостей, водно-теплового режиму та геохімічного фону. Зазвичай, зі збільшенням кислотності ґрунтів, рухливість елементів зростає, що призводить й до зростання токсичності, яка на кислих ґрунтах завжди вища, ніж на нейтральних і лужних. Домінуючими формами знаходження важких металів в ґрунтах є водорозчинна, іонообмінна та неміцно адсорбована. Мала рухомість важких металів у більшості ґрунтів дозволяє очищати територію видаленням забрудненого шару. Видалення металів із застосуванням хелатоутворюючих реагентів створює потенційну небезпеку забруднення підземних вод. Ефективним засобом зниження концентрації рухомих форм важких металів є вапнування кислих ґрунтів з метою збільшення лужності.

Вплив важких металів на живий організм залежить від присутності інших важких металів. Можливі типи взаємодій: адитивність, синергізм, антисинергізм і антагонізм. Так, суміш цинку та міді є в п'ять разів більш токсичною, ніж можна передбачати, сумуючи їх дію як окремих елементів. Токсичність свинцю посилюється дефіцитом кальцію, а літію – дефіцитом натрію. Цинк і кадмій діють адитивно. Кальцій і стронцій, берилій та магній є антагоністичними парами.

Оскільки одним з основних шляхів надходження токсикантів в організм людини є трофічний, то небезпека для здоров'я людини посилюється у випадку вживання їжі приготовленої з організмів що адаптувалися до підвищених вмістів забруднювачів в середовищі.

Одним з найнебезпечніших для здоров'я металів є ртуть. Її роль в біосфері зросла виключно в результаті діяльності людини – потік ртуті в атмосферу лише завдяки розробці покладів корисних копалин і викидів зріс на 60%. В водних системах ртуть присутня в елементній та іонній (хлориди) формах. Найтоксичнішою є метилова ртуть, яка формується при взаємодії іонів ртуті з коферментами бактерій. Джерелами ртуті є збагачувальні виробництва, ртутні батареї, барвники, люмінесцентні лампи (одна лампа містить близька 150 мг ртуті і здатна забруднити 500 тис. $м^3$ повітря на рівні ГДК).

Виробництво і споживання свинцю є стабільно високим, його річний видобуток перевищує 30 млн. тон. Витрачається свинець переважно у виробництві акумуляторних батарей, тетраетилсвинцю та тетраметилсвинцю, а також у будівництві й електротехніці. Металевий свинець при взаємодії з киснем і водою окисляється до гідроокису, який лужних середовищах формує розчинні плюмбіти: $Pb(OH)_2+OH^-\text{->}PbO_2^{2-}+H_2O$. При насиченні вод вуглекислим газом утворюються добре розчинні гідрокарбонати. Інтенсивність сорбції-десорбції залежить від вмісту органічних речовин і властивостей середовища – за відсутності розчинних комплексоутворюючих форм свинець повністю сорбується при pH>6. В атмосферних осадках фоновий вміст свинцю складає 1-50 мкг/л, досягаючи 1000 і більше мкг/л в промислових районах. В організм людини попадає з забрудненої атмосфери, з питною водою, при вживанні в їжу забруднених рослин і м'яса, а також при використанні глазурованого посуду. Неорганічні з'єднання свинцю є нефротоксикантами, порушують обмін речовин, провокують захворювання мозку, дезактивують ферменти, заміщують кальцій в кістках тощо. Органічні сполуки свинцю є ще більш токсичними.

Кадмій вважається ще токсичнішим за свинець і віднесений ВОЗ до числа найбільш небезпечних для здоров'я людини речовин. Щороку видобувається понад 20 тис. тон кадмію, який використовується в гальваніці, виробництві полімерів, пігментів, акумуляторів. Небезпечними є всі

хімічні форми кадмію, при цьому з організму він виводиться дуже повільно – не більш як 0,1% отриманої дози за добу. Кадмій може заміщати цинк в біохімічних процесах, порушуючи їх нормальний перебіг. Отруєння кадмієм призводить до ураження ЦНС, дисфункції статевих органів, зміни тиску крові, утворення каменів в нирках, гострих кісткових болей тощо.

На сьогодні існують сотні органічних сполук які, нагадуючи природні (а відтак засвоюються організмом), все ж є небіодеградуючими - в організмі немає ферментів здатних їх розчепити. 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.

На сьогодні накопичились вже досить значні обсяги інформації про хвороби викликані аномальним геохімічним полем, одне з таких зведень наведено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10.

Хвороби і синдроми біогеохімічної природи
(за А.П.Авцином та ін., 1983)

Хвороби (синдроми)	Природні біогеохімічні аномалії
Мономікроелементози	
Алюмінієва хвороба	Надлишок Al
Арсеноз	Надлишок As
Молібденова подагра	Надлишок Mo
Нікелева екзема і нікелеві дерматози; хронічний токсикоз	Надлишок Ni
Сатурнізм (анемії, енцефалопатії)	Надлишок Pb
Селеноз (артрити, алопеція, ламкість нігтів)	Надлишок Se
Флюороз	Надлишок F
Хромовий токсикоз (дерматити, рак шкіри)	Надлишок Cr
Хромдефіцитний синдром	Дефіцит Cr
Цинкдефіцитний синдром	Дефіцит Zn
Полімікроелементози	
Зоб ендемічний	Дефіцит I; надлишок Mn і F за дефіциту Mo; надлишок Co за відносного дефіциту I
Карієс зубів	Дефіцит F; надлишок Mn за дисбалансу інших елементів
Хвороби сечового міхура	Надлишок Ca; надлишок Si за дефіциту Co, Mo, B, Zn
Остеохондистрофія, вітамін-	Надлишок Sr і Ca

Д-резистентний рахіт	
Селендефіцитна міокардіопатія	Дефіцит Se за надлишку Co і дисбалансу інших елементів
Хвороба Кашина-Бека	Дефіцит Ca за надлишку Sr; надлишок P за дефіциту Ca і дисбалансу інших елементів

Примітка. Укладено за [50].

4.4. 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 самоочистки і визначення буферних ємностей тощо. Достовірний прогноз змін стану довкілля навіть на короткострокову перспективу вимагає здійснення екологічного моніторингу, невід'ємною складовою є 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 рештах 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 (див. табл. 4.11).

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.

Таблиця 4.11.

Вміст (в 10^{-12}) парникових і сірковмісних газів та галогенвуглеводнів в шарах льоду льодовика о.Галіндез і атмосфері (за М.С.Базилевською, 2005)

Сполука	Нижня частина льодовика (вік – близько 3700 років)	Верхня частина льодовика (вік 12-70 років)	Стандарт повітря та атмосфера над Південним океаном
CO_2 (10^{-6})	2600	10850	360
CH_3Cl	7930	4430	500-830
C_2H_5I	480	1000	0,1
CH_3CCl_3	0	1000	50-60
CS_2	6700	16800	2-20
$CHClF_2$	5	170	120-170
CF_2Cl_2	40	1000	520-560
$CFCl_3$	70	380	250-340
CCl_2FCClF_2	40	125	80-90
$CClF_2CClF_2$	0	10	10-15

Оціночні критерії при проведенні досліджень формуються на основі санітарно-гієнічних (див. табл.4.12) та геохімічних (в тому числі біогеохімічних) уявлень.

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 відносно 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".

Таблиця 4.12 .

Загальна оцінка еколого-геологічних умов на основі забруднення компонентів літосфери (за В.Т.Трофімовим, та Д.Г.Зілінгом [39])

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

Геохімічні критерії, в основу яких покладено вчення про кларки, 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 грунтів прописані в відповідних нормативних документах. Крім прямих критеріїв (рівні концентрацій забруднювачів, див. табл. 4.13) для оцінки стану грунтів використовують широкий набір розрахункових показників, серед яких найчастіше використовують вже згадуваний коефіцієнт сумарної забрудненості (див табл. 4.14).

Таблиця 4.13.

Укрупнені показники оцінки техногенної забрудненості ґрунтів з кількісним ранжируванням значень по класам станів (за [50])

Критерій оцінки	Стан еколого-геологічних умов			
	Задовільний	Умовно задовільний	Незадовільний	Катастрофічний
Вміст легко розчинних солей, % мас.	<0,6	0,6-1,0	1,0-3,0	>3,0
Вміст токсичних солей, % мас.	<0,3	0,3-0,4	0,4-0,6	>0,6
Вміст пестицидів, ГДК	<1,0	1,0-2,0	2-5	>5
Вміст полютантів, ГДК	<1,0	1,0-3,0	3-10	>10
Вміст нафти і нафтопродуктів, % мас.	<1,0	1,0-5	5-10	>10

Таблиця 4.14.

Орієнтовні оцінки стану забруднення грунтів в системі ґрунт - людина (за Ю.Є.Саєтом, згідно [50])

Ступінь забруднення	Z_c	Характеристика стану
Допустима	<16	Низькі показники захворюваності дітей, мінімальна кількість функціональних відхилень
Помірно-небезпечна	16-32	Підвищений рівень загальної захворюваності населення
Небезпечна	32-128	Високий рівень загальної захворюваності населення, ріст кількості дітей з хронічними захворюваннями та функціональними порушеннями
Надзвичайно небезпечна	>132	Високі рівні захворюваності всіх груп населення, порушення репродуктивних функцій жінок

Примітка: Z_c - коефіцієнт сумарного забруднення важкими металами

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

$$K_{СГ} = \frac{M_T - (M_n - M_1)}{M_T} \qquad 4.17$$

де M_1 – початковий запас речовини в певному об'ємі грунту, M_n – запас речовини при повторному вимірюванні. Величину M_T найчастіше оцінюють за даними сноухімічної зйомки.

Кількісну оцінку еколого-геологічного стану донних осадків доцільно здійснювати з використанням індексів геоакумуляції (Г.Мюллер, 1979):

$$I-geo_n = \log_2 \frac{C_n}{1{,}5 \cdot B_n} \qquad 4.16$$

де C_n – концентрація елементу n в донних відкладах, B_n – геохімічний фон по елементу n.

Підземні води. Прямі критерії 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 критерій 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 двох прямих критеріях: їх якості і площі забруднення.

На завершення слід додати наступне. В методу кларків, на якому, зрештою, базуються вище перелічені критерії 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 той же час, складна радіальна і латеральна структура природних екосистем вимагає визначення характеру взаємозв'язків елементів в компонентах і підсистемах, тобто структур фонового і аномального геохімічного поля.

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. Тож дуже перспективними є моделювання просторово-часових змін складу і стійкості екосистем та їх компонентів, а також аналіз, на основі вивчення потоків і балансів речовини та енергії, а також кругообігу елементів, функціонування екосистем. Саме реалізація таких підходів дозволить розробити основні підходи до оптимізації ноосфери, тобто створення оптимальних техногенних ландшафтів.

Розділ 5.
ПРИРОДНІ І ТЕХНОГЕННІ ГЕОФІЗИЧНІ ПОЛЯ
(основи екологічної геофізики)

У цьому розділі у скороченому вигляді використані матеріали, які наведені В.Т.Трофімовим і Д.Г.Зілингом за участю А.Т.Жигаліна при характеристиці ними геофізичної екологічної функції літосфери [50], а також дані із робіт Богословського В.А., Вахромеева Г.С. [4, 8], Вижви С.А. [10]. *Під геофізичною екологічною функцією літосфери ці дослідники розуміють функцію, що відображає властивості геофізичних полів літосфери природного і техногенного походження впливати на стан біосфери і здоров'я людини.* Цю функцію слід розуміти як "здатність" літосфери забезпечувати і підтримувати на поверхні планети і в приповерхневій її частині енергетичні умови, придатні для існування живих організмів.

Енергетичний вплив навколишнього середовища на живі організми реалізується через геофізичні поля різної природи – природні (космічного і земного походження) і техногенні. Всяке відхилення від „звичних навколишніх умов” може нести з собою небезпеку виникнення негативних для біоти наслідків або безпосередньо в момент впливу, якій змінює ці умови (при значних змінах), або через значні проміжки часу (віддалені наслідки) у випадку менш значимих змін. Реакцією живих організмів у відповідь на вплив являється адаптація (повна або часткова, короткочасна або стійка) або патологічні зміни в них, що є свого роду „платою” за життя в неадекватних за своїми параметрами умовах, у тому числі і енергетичними, відмінними від нормальних для даної форми життя.

Виходячи з цього, об'єктом вивчення при дослідженні геофізичної екологічної функції літосфери є природні і техногенні геофізичні поля, їх аномальні прояви аж до формування так званих геопатогенних зон, а предметом дослідження – взаємодія полів з біотою і вплив, який вони надають на стан біоти в цілому і, зокрема, на здоров'я людей.

5.1. Природні геофізичні поля та їх аномалії

Гравітаційне поле і його аномалії. Гравітаційне поле Землі слід розглядати як один з основних видів геофізичних полів, хоча в строгому значенні літосфера в її межах не може вважатися джерелом гравітаційного поля зважаючи на незначний внесок в його формування. Проте про неї слід обов'язково згадати, оскільки саме літосфера безпосередньо контактує з гідросферою і атмосферою. Тільки завдяки сильному гравітаційному полю на Землі утримуються гідросфера і атмосфера, що забезпечує існування життя.

В цілому гравітаційне поле Землі характеризується великою складністю структури і просторовою мінливістю, що визначаються особливостями розрізу густини окремих її частин, взаємним розташуванням і розмірами тіл, які гравітують, на фоні загального планетарного поля сили тяжіння. 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)·10^{-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 3,4·10^{-4} м/с^2, можлива величина вікових змін сили тяжіння протягом року імовірно складає до 1,0·10^{-4} м/с^2.

Останніми роками вся більша увага звертає на себе прояв тих чинників зміни сили тяжіння на поверхні літосфери, що обумовлені інженерною діяльністю людини – вилученням з надр Землі значної кількості корисних копалин, штучним зниженням або підвищенням рівня підземних вод, створенням великих водосховищ, будівництвом крупних міських агломерацій. Зміни сили тяжіння у зв'язку із здійсненням подібних заходів 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. Правомірно говорити про опосередкований через геологічні процеси вплив на біоту гравітаційних аномалій техногенного походження.

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. Багато фізичних тіл на Землі і у тому числі деякі гірські породи, що складають літосферу і мають власний магнетизм, набувають під впливом домінуючого магнітного поля планети індукованого магнетизму. Тому 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 $n \cdot 0{,}1$ *А/м* на рік. Крім таких "повільних варіацій", спостерігаються більш стислі в часі (від долі секунди до декількох діб) 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. Земля є гігантською енергетичною машиною, в якій різні види енергії – пружної, гравітаційного стиснення, приливного тертя і радіоактивного розпаду – перетворюються тим або іншим шляхом в теплову енергію і обумовлюють температурний режим її надр. 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, розташованими у внутрішніх сферах планети.

Розподіл температури і джерел тепла в надрах планети і, особливо, в приповерхневій її частині має фундаментальне значення. Дійсно, всі властивості речовини Землі на всіх її структурних "поверхах", будь то в'язкість, пружність, електропровідність, намагніченість, що відіграють важливу роль у формуванні геофізичних полів, частково, а іноді і значною мірою залежать від температури на тій глибині, де ця речовина зна-

ходиться. 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.

Джерелами, що підтримують температурне поле Землі в цілому і в межах верхніх її шарів – літосфери, є зовнішні (космічні) і внутрішні (планетарні) процеси. До числа зовнішніх процесів відносяться сонячна радіація, випромінювання, що надходять від далеких зірок, енергія метеоритів, які падають на Землю, гравітаційна дія Місяця і Сонця. Внутрішніми джерелами теплової енергії є ядерні реакції усередині Землі і в першу чергу в межах літосфери, гравітаційна диференціація речовини усередині планети, уповільнення швидкості її обертання, екзотермічні (що йдуть з виділенням тепла) хімічні реакції, кристалізаційні і поліморфічні трансформації і фазові переходи, приливне тертя, релаксація пружних напружень і тектонічні рухи.

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. Більш того, в межах території великих міст і промислово–міської агломерації сумарний потік з надр складає всього близько 28% загального теплового потоку, який досягає земної поверхні, тоді як приблизно 72% його приходиться на частку техногенезу, який формуєє істотний тепловий вплив на оточуючий літосферний простір і пов'язану з ним біосферу.

Температурні поля та тепловий режим урбанізованих територій відмінні від природних умов унаслідок порушення режиму поглинання сонячного тепла із–за задимленості атмосфери, тепловиділення промислових об’єктів, втрат нагрітої води із комунікацій. В результаті у геологічному середовищі урбанізованих територій спостерігаються теплові аномалії з перевищенням фону до 10 і більше градусів. Рівень річного приросту теплової енергії у великих містах досягає 10^9 Дж/км^2, а в межах міської

території на глибинах до 50 м спостерігається стійка тенденція до формування геотермічних аномалій з перевищенням над фоновими на 5–10^0С, які виходять за адміністративні кордони міста (при нагріванні підвищуються фільтруючі властивості дисперсних гірських порід, змінюється в`язкість, пластичність, міцність, вологоємність, збільшується агресивність до бетону, елементів конструкцій, збільшується небезпека хімічної і біохімічної корозії). Зміна теплового режиму підвищує агресивність ґрунтів відносно комунікацій і підземних споруд, змінює режим підземних вод і розвиток біоти.

Таким чином, у формуванні температурного поля у верхніх шарах літосфери, де воно є істотним екологічним чинником, беруть безпосередню участь як природні джерела, що знаходяться зовні і усередині Землі, так і штучні, які розташовані в межах самої верхньої освоєної людиною частини літосфери.

Електричні і електромагнітні поля і їх аномалії. У літосферному просторі Землі існують різноманітні електричні і електромагнітні поля, що розрізняються за своєю природою і інтенсивністю прояву. За генетичною ознакою джерела, яке створює поля електричних струмів, вони підрозділяються на природні і штучні (техногенні), а по відношенню до літосферному простору як до середовища–носія – на зовнішні і внутрішні.

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

Добре відомі природні електричні поля електрохімічної, термофільтраційної, фільтраційної і іншої природи, які можна відносити до категорії квазіпостійних або поволі змінних полів. Електричні поля, що спостерігаються на поверхні Землі і зобов'язані своїм існуванням протіканню в реальних геолого–геохімічних умовах рудних і деяких інших родовищ електрохімічних окислювально–відновних процесів, можуть створювати природні потенціали в межах 20–1800 мВ при фонових значеннях, характерних для природних електричних полів різної природи, 5–100 мВ.

Особливий вид земних електричних полів представляють термофільтраційні поля, що виникають в породах різного типу, за винятком рихлих піщано–глинистих водонасичених утворень. Ідентифікаційна ознака полів цього виду – зміна електричного потенціалу залежно від добових варіацій температури в приповерхневій частині геологічного розрізу від 40 до 400 мВ.

Природне електричне поле фільтрації обумовлено рухом підземних вод через пористі гірські породи. Своїм походженням електрофільтраційні поля зобов'язані існуванню подвійного електричного шару на межі твердої і рідкої фаз гірської породи, що розглядається в даному випадку як двофазна система. Величина потенціалу фільтрації може досягати 40–200 мВ і залежить від цілого ряду чинників: перепаду тиску у фільтруючому пласті, електричного опору фільтрату, підстилаючих і перекриваючих водопровідний шар гірських порід, в'язкості флюїду, а також структурних особливостей геологічного простору, в межах якого реалізується процес фільтрації. Електричні поля фільтрацій мають, як правило, стійкий зв'язок з геоморфологічною і літолого–гідрогеологічною обстановкою областей, де вони спостерігаються.

В межах верхньої частини літосфери часто створюються умови, які є сприятливими для появи дифузійно–адсорбційних потенціалів, що виникають на контактах порід різного літологічного складу або унаслідок зміни хімічного складу вод, що насищають породи одного і того ж літологічного різновиду. Як правило, дифузійно–адсорбційні електричні поля, величина потенціалу яких може досягати 100 мВ, спостерігаються на пове-

рхні в області контактів піщаних і глинистих порід, а також у межах ділянок зміни мінералізації підземних вод.

Суттєву роль у формуванні енергетичного поясу поблизу поверхні Землі має атмосферна електрика (електростатичне поле), що грає велику роль і як екологічний чинник. Атмосферна електрика проявляє себе у вигляді спостережуваних нами наступних феноменів: блискавок, "сухих грозових розрядів" (зірниць), вогнів св. Ельма.

У разі електростатичного поля Землі ми маємо справу з гігантським конденсатором, обкладинками якого є земна поверхня і шар іоносфери. Силові лінії поля атмосферної електрики направлені зверху від позитивно заряджених шарів іоносфери вниз до негативно зарядженої поверхні планети. Рух позитивних зарядів вниз і зустрічний рух негативних зарядів приводить до виникнення струму провідності, середня величина щільності якого складає близько $2{,}9 \cdot 10^{-20}$ А/м^2. Між атмосферою і поверхнею Землі існує різниця потенціалів, що складає біля поверхні Землі величину до 100 В/м. Однак під час грози вона може досягати 40 кВ/м.

В атмосфері завжди присутні іони (аероіони) обох знаків (полярностей). В середньому на 1 м^2 поверхні планети приходиться приблизно $6{,}7 \cdot 10^9$ елементарних зарядів. Вимірювання показують, що в більшості випадків переважають позитивні аероіони. Кількісно співвідношення аероіонів обох полярностей оцінюється за величиною так званого коефіцієнта уніполярності – безрозмірного відношення числа позитивних аероіонів до числа негативних ($q = n^+/n^-$). При середній концентрації позитивних іонів $8 \cdot 10^2$ іон/см^3 і негативних іонів $7 \cdot 10^2$ іон/см^3 величина q складає 1,14.

Спостереження показують, що в нормальних умовах в 1 см^3 повітря в приповерхневому шарі атмосфери міститься $(1–1{,}4) \cdot 10^3$ аероіонів обох знаків. В крупних містах концентрація аероіонів збільшується до $1{,}5 \cdot 10^3$ в 1 см^3 і, що має велике значення з позицій екології, в основному за рахунок "важких аероіонів", що шкідливо дію на живі організми. Значне збільшення числа іонів спостерігається в атмосфері так званих "електрокурортів" – до $3{,}7 \cdot 10^3$ іон/см^3, а також поблизу водопадів і в зоні морського прибою – $(5–10) \cdot 10^4$ іон/см^3. При цьому співвідношення кількості позитивних і негативних аероіонів варіює, що відображається на коефіцієнті уніполярності, який змінюється від 1,0 в місцевостях, які відносяться до "електрокурортів", до 1,25 в крупних містах, промислових центрах і т.п.

Хоча з назви "атмосферна електрика" слідує, що згадуване електростатичне поле властиво атмосфері, проте роль літосфери у формуванні поля цього вигляду достатньо велика. Насичення повітря іонами відбувається унаслідок розпаду радіоактивних речовин, що знаходяться у

воді, ґрунті і гірських породах. Радіоактивне випромінювання ґрунту і гірських порід є, разом з космічним і сонячним корпускулярним видами випромінювання, природним іонізатором повітря в приземному шарі атмосфери. Локальними іонізаторами служать гранітні породи, сланці, металеві руди, не говорячи вже про уранвміщуючі гірські породи.

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). „Нормальними” в радіаційному відношенні прийнято рахувати гірські породи, в яких зміст радіоактивних елементів урану–238 (продуктом розпаду якого є радон–222) і торію–232 (в результаті розпаду якого утворюється радон–220, або торон) не перевищує $2{,}5 \cdot 10^{-6}$ кг/кг (2,5 кларка). Вміст урану в породах в кількості 0,001% створює аномалію радіоактивності, що характеризується потужністю дози випромінювання в 0,05 мкГр/год (5 мкР/год), а підвищення вмісту урану до 2% обумовлює поле радіації на рівні 100 мкГр/год (10^4 мкР/год). Радіаційний фон у вугільних і інших "неуранових шахтах" фіксується на рівні 0,04–0,06 мкГр/год (4–6 мкР/год), але може досягати 2,97 мкГр/год (297 мкР/год).

Гірські породи, такі як вапняки, доломіт, ультраосновні магматичні породи створюють поле в $n \cdot 0{,}01$ мкГр/год, кислі магматичні породи, деякі глинисті породи і поверхневі моренні відкладення – на порядок вище – до $n \cdot 0{,}1$ мкГр/год.

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.

5.2. Техногенні геофізичні поля

Техногенні геофізичні поля, як правило, обумовлені "відходами" промислового виробництва, побічним продуктом сучасних технологій. Літосфера по відношенню до полів такого роду є середовищем–носієм і передавачем енергії від джерела поля до об'єкта впливу. При цьому може мати місце як роздільна, так і комплексна реалізація цієї її якості. У цьому значенні можна говорити про техногенні геофізичні поля літосфери. Якщо об'єктом впливу є живі організми і у тому числі людина, техногенні геофізичні поля набувають значення екологічного чинника, потрапляють в полі зору екологічної геофізики і стають предметом аналізу при вивченні геофізичної екологічної функції літосфери.

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.

Техногенні геофізичні поля, як і їх природні аналоги, мають тісний зв'язок з геологічною будовою верхніх шарів літосфери до глибини проникнення впливу людини. Йдеться в більшості випадків про шар потужністю 50–300 м, в межах якого зміни, що вносяться техногенними геофізичними полями в енергетику геологічного простору, можуть виявитися найбільш помітними. Порівняння характеристик техногенних геофізичних полів з відповідними параметрами їх природних аналогів показує, що, як правило, вони за рівнем у декілька разів, а іноді і на декілька порядків перевершують фонові (природні) значення. Необхідно підкреслити, що роль геофізичних полів як екологічного чинника зростає в межах промислово–міської агломерації, де спостерігається максимальна концентрація населення і де найбільшої гостроти досягають суперечності у відносинах між техносферою і біосферою.

Природні і техногенні геофізичні поля достатньо тісно взаємодіють у верхній частині літосфери. Багато з них взаємодіє з космічними полями, зокрема, з полями іоносферного походження. В.Т.Трофімов і Д.Г.Зілинг [ ] наводять дослідження академіка Ф.А.Летнікова, якій виділяє три типи взаємодії полів.

Перший тип взаємодій обумовлений перетіканням енергії між глибинами Землі і іоносферою по зонах глибинних розломів або ж високогра-

дієнтними системами на контактах геологічних тіл з різними фізичними властивостями.

Багаторічне вивчення зон глибинних розломів показало, що деякі з них виявляються генераторами потоків іонізованих частинок і низькочастотного електромагнітного випромінювання. Такі розломи формуються при високих температурах і тиску, при поступовому охолодженні речовини в таких зонах відбувається його диференціація, і породи набувають тонкосмугастої структури. Струмопровідні прошарки, складені однією групою мінералів, що включають залізо, титан, марганець, магній, чергуються з шарами діелектриків, які сформовані мінералами групи кремнію, алюмінію, калію і натрію. В надрах земної кори виникають гігантські за розмірами флюїдизовані конденсатори вширшки до 10–15 км і протяжністю до декількох сот кілометрів. Над такими активними геологічними структурами фіксуються проникаючі високо в атмосферу потоки іонізованих частинок, електромагнітні низькочастотні випромінювання, а також газові еманації і інфразвукові хвилі. Потужність цих лінійних полів настільки велика, що у відносно спокійному атмосферному режимі вони екранують проходження купчастих хмар, а над ними відбувається розмивання покриву суцільних хмарних мас, що добре спостерігаються на космічних знімках.

Взаємодія геофізичних і іоносферних полів може обумовлювати формування утворень, що світяться, над зонами глибинних розломів.

Такі взаємодії (першого типу) відповідають, на думку Ф.А.Летнікова, ситуації перетікання енергії між двома енергоактивними зонами: астеносферою в надрах Землі і іоносферою, що оточує планету. Енергія переноситься відповідно до градієнта температур. Оскільки астеносфера має більш високий енергетичний потенціал, перенесення енергії над зонами розломів в приземному шарі атмосфери повинне бути направлено вгору від поверхні Землі.

Особливо цікаво формування високоградієнтних зон на межах геологічних тіл, що відрізняться за густиною і іншими параметрами. На відстані в декілька сот метрів постійно існує перепад гравітаційних, магнітних і електромагнітних параметрів. Виникає коливальна система з годинними, добовими і більш тривалими періодами зміни багатьох геофізичних параметрів. Такий режим, поза сумнівом, позначиться на самопочутті людей. Ще більше це виявлятиметься при глобальних збудженнях планетарних полів, у взаємодії з якими функціонують дані структури.

Другий тип обумовлений характером і ступенем взаємодії геомагнітного поля Землі з канальними природними або техногенними полями. Вони викликають збудження геомагнітного поля і істотно позначаються на стані біоти в цілому і людини, зокрема.

Третій тип – ця взаємодія електромагнітних, магнітних і інших природних полів з техногенними полями. Це приводить до виникнення електромагнітного поля з абсолютно новими властивостями, яких не було у „первинних полів”. Особливу небезпеку в цьому плані представляє близькість техногенних джерел електромагнітних випромінювань і зон глибинних розломів, що підживлюються електричною енергією в межах міст. Взаємодія полів цих двох джерел може викликати виникнення самостійних просторово–часових структур, які генерують власні поля зовсім з іншими частотними характеристиками.

Що стосується питання взаємодії природних геофізичних, техногенних і іоносферних полів, слід підкреслити два принципово важливих положення, що пов'язані з впливом таких взаємодій на людину.

Перше. З погляду фізики і електрохімії людина – електролітична батарея, що складається на 70–75 % з електроліту (кров, лімфа, різні рідини і т.д.). Це відкрита, динамічна, неврівноважена система, яка самоорганізовується. Вона існує тільки за умови обміну речовиною і енергією з навколишнім середовищем. Всі живі організми – носії біоелектричних і біомагнітних полів. Зміна динамічних і енергетичних параметрів цих полів може привести до розвитку незворотних явищ, десинхронізації роботи окремих органів і неузгодженості біоритмів людини.

Друге. Особливо небезпечні, на думку Ф.А.Летнікова, для людини сінергетичні ефекти при взаємодії космічних і геофізичних полів природного (геологічного) і техногенного походження, коли потужність резонатора багато разів перевершує сумарний енергетичний потенціал систем, що його породили. Такі ситуації характерні для сучасних мегаполісів з дуже високим рівнем споживання енергії, де відбувається генерація полів різної природи і їх кооперативний, сінергетичний вплив на людину. Доведено, що такі поля з аномальними енергетичними характеристиками безпосередньо впливають на кору головного мозку і вищу нервову діяльність, руйнуючи імунну систему людини.

5.3. 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.

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 пері-

одами 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. Серед цих процесів – концентровані коливання нейтральних молекул, іонів і хімічних речовин в клітинах і тканинах, мембранні процеси, коливання електричної активності і збудливості тканин, ритмічні зміни нейронної і мультиклітинної активності, концентраційні коливання ферментів, гормонів, елементів крові і різних інших біологічних компонентів. У людини з впливом геофізичних полів пов'язані також і мозкові ритми, судинні хвилі, зміни вегетативних фізіологічних параметрів, психічних функцій і ін.

Як приклад впливу геофізичних полів на живі організми в процесі їх еволюції можна привести дані дослідження варіацій *магнітного поля Землі* з періодом 8000, 600, 60, 22 і 11 років. Було встановлено, що розміри скелета тварин і людини збільшуються в періоди зменшення інтенсивності магнітного поля в 8000–річному циклі. Ці періоди акселерації спостерігалися двічі – з VI тисячоліття до н.е. до середини IV тисячоліття до н.е. і з середини I тисячоліття н.е. по теперішній час. Хвилеподібні зміни чисельності населення добре корелюються з 600–річним циклом варіацій магнітного поля, а зміна росту людини – з 60–річним і 22–річним циклами, останній з яких є „повним магнітним циклом” – цикл зміни магнітної полярності Сонця.

Особливості впливу геофізичних полів на живі організми обумовлені не тільки просторово–часовою структурою цих полів, але і особливостями будови організмів. Так, здатність організмів реагувати на електромагнітне поле Землі може бути обумовлена наявністю у них в клітинах скупчень магнетиту органічного походження. Такі скупчення знайдені у голубів, бджіл, молюсків і у людини. Крім того, організм сам є джерелом магнітного поля, яке взаємодіє із зовнішнім полем. Магнітні поля живого ор-

ганізму створюються іонними біострумами, найдрібнішими феромагнітними частинками, що потрапили в організм випадковим чином, і неоднорідністю магнітної сприйнятливості різних органів і тканин, що проявляє себе в умовах накладення зовнішнього магнітного поля. Напруженість магнітного поля живих організмів украй мала в порівнянні з геомагнітним полем і через це може підпасти під вплив навіть дуже слабих змін останнього. Більш того, встановлено, що зменшення діючого магнітного поля на чотири–п'ять порядків приводить до загибелі клітин.

Геомагнітне поле Землі (ГМП) – середовище мешкання всіх живих організмів. Воно є носієм інформації про навколишній простір. За даними палеонтологів, інверсії магнітних полюсів приводили до катастрофічного вимирання багатьох видів ще і тому, що хоча здатність сприймати інформацію про ГМП зараз втрачена людиною, але вона добре виражена у мікроорганізмів, рослин, птахів, риб, мешканців морів і океанів і т.д. Саме геомагнітне поле, як і киснева атмосфера Землі, – середовище проживання людини. Тривале екранування живих організмів від дії ГМП приводить до негативних, іноді незворотних, наслідків. Саме зміни природного геомагнітного поля переносяться людиною найбільш хворобливо.

Наявність сильного *гравітаційного* поля не тільки дозволяє Землі утримувати навколо себе могутній газовий шар (атмосферу) і водну оболонку (гідросферу), забезпечувати круговорот води і рух льодових мас по поверхні планети, але і є одночасно одним з основних чинників, які визначають активність геологічних і біологічних процесів, що забезпечують існування життя. Гравітаційна залежність живих організмів оцінюється по характеру їх реакції на зміну величини і напряму вектора поля тяжіння. Гравітаційний вплив стає потенційно значущим вже для тканинних клітин і мікроорганізмів, розміри яких перевищують 10 мкм. Проте для комах і для інших дрібних біологічних об'єктів фізіологічне значення гравітації є неістотним, оскільки вони без видимих наслідків здатні переносити стократні перевантаження.

Для великих представників тваринного світу, у тому числі і для людини, зміни величини і напряму дії поля тяжіння є дестабілізуючими чинниками. Так, при значному збільшенні поля сили тяжіння зменшується рухова активність, знижується кількість рідини, що виводиться з організму, вміст азоту і калію.

В той же час спостерігається збільшення кількості споживаної їжі і енергії, зростає вміст в організмі води, натрію, кальцію і фосфору. Зворотна за знаком зміна гравітаційного поля приводить до зменшення потреби в їжі і енергії, зниженню кількості води в організмі, вмісту натрію, кальцію і фосфору. Звичайно, такого роду зміни повною мірою виявляються при значних варіаціях сили тяжіння, які можуть мати місце, наприклад, при здійсненні космічних польотів або при спеціальних випробу-

ваннях на центрифузі. Проте не виключено, що подібні ефекти, хоча і у меншій мірі, можуть виявлятися в умовах „земних варіацій” гравітації, що супроводжують переміщення уздовж лінії меридіану з середніх широт у високі і навпаки, а також зміні висоти над рівнем моря

Температура поблизу поверхні Землі коливається від –88 до +58°С. Це говорить про те, що середня температура, при якій протікають життєві процеси і яка складає від 0 до +40°С, практично завжди підтримувалася на більшій частині земної поверхні протягом геологічно довгого часу. Сучасні дослідження показують, що температурні межі життя мають інтервал від –200 до +100°С.

Велику роль в життєзабезпеченні грає температурний режим поверхневих і підземних вод. При підвищенні температури води можуть відбуватися порушення природної рівноваги екологічних систем водоймищ і водостоків. Так, летальні (порогові) значення температури для деяких промислових риб в річках і водоймищах складають 37,0–37,8°С, а для більшості водних організмів це 25–35°С. Для синьо–зелених водоростей верхньою межею служить температура 80°С. Для мікроорганізмів лімітуючими виявляються значення температури 80–100°С. Верхні граничні значення температури є більш критичними, ніж нижні, хоча багато організмів поблизу верхньої межі толерантності функціонують з підвищеною інтенсивністю. Одне і те ж перевищення природної температури води над нормальними значеннями може залежно від місцевих умов впливати на біологічні процеси, працювати як негативно, так і позитивно. Підвищення температури води до певних меж може навіть стимулювати життєдіяльність флори і фауни відкритих водоймищ, оскільки у відповідь на зміну зовнішніх умов екологічна рівновага через деякий час встановлюється на новому рівні.

В той же час температурне поле є одним з чинників, що визначає межу гомеостазу, а значить і межі виживання біоти. І в цьому плані область гомеостазу представляється достатньо вузькою. Так, пониження середньої температури на поверхні планети на 3–4°С або підвищення її на 3–3,5°С загрожує наслідками, з якими сучасна цивілізація може і не справитися. В першому випадку такими наслідками може бути формування на континентах Землі майже суцільного крижаного панцира і значне скорочення кількості вільної води. В другому, – навпаки, вода може покрити величезні простори і різко скоротити місця мешкання для тих представників тваринного і рослинного світу, які пристосовані до „сухопутного життя”.

Електромагнітний вплив на біосферу розглядається у більшості випадків як чинник прямої екологічної дії. Тривала систематична дія інтенсивних електромагнітних полів промислової частоти і радіочастот на

людський організм може викликати серйозні ускладнення у функціонуванні практично всіх систем, що забезпечують життя, оскільки електромагнітні поля впливають на біологічні процеси в живих організмах, починаючи з клітинного рівня. Слід мати на увазі, що створюваний Сонцем потік електромагнітного випромінювання на домінуючій частоті 200 Мгц характеризується при „спокійному Сонці" щільністю потоку 10^{-20} Вт/м^2, що збільшується при спалахах до 10^{-16} на декілька секунд або хвилин і до 10^{-18} – на декілька годин. В той же час в гірських породах і у відкритих водоймищах і морях електромагнітні поля швидко затухають до безпечного для людини рівня.

Вчені знайшли значущу кореляцію параметрів біоритмів людського мозку і його електрокардіограми з динамікою електромагнітного фону. Ця залежність створює основу для постановки питання про не передбачувані наслідки подальшого зростання напруженості електромагнітних полів для здоров'я біологічних об'єктів. Але природа цього впливу дотепер не розпізнана і не діагностована.

Індивідуальність кожного організму, тим більше в різному електромагнітному середовищі, виявлятиметься в різній чутливості, різноманітті форм відклику і видів реакцій біологічних об'єктів на малі і ультрамалі впливи різноманітних електромагнітних систем. Не виключено, що в деяких випадках невеликі порції короткочасного електромагнітного впливу позитивно позначатимуться на стані живих організмів, тоді як тривала дія може привести до важких наслідків.

В ході еволюції, знаходячись переважно в межах відкритого простору, людина пристосувалася до стаціонарного фонового електромагнітного випромінювання. Різкий перехід людства до життя в замкнутому просторі, ізольованому від фонових випромінювань, також може порушити хід природних біологічних процесів в організмі.

Людський організм – чітко синхронізована коливальна система. Всі фізико–хімічні процеси в ньому відбуваються в автоколивальному режимі, коли в добовому циклі синхронно змінюється склад крові, функції внутрішніх органів, сприйнятливість до ліків і отрут та ін.

Найбільш небезпечні для людини такі ситуації, коли потужність резонатора в багато разів перевершує сумарний енергетичний потенціал систем, що його породили. Сінергетичні ефекти при взаємодії космічних, техногенних і геологічних полів можуть зумовити різні форми генерації і розповсюдження хвиль. Просторово–часові дисипативні структури стають генераторами електромагнітних хвиль і фізичних полів. Хвильові характеристики цих систем можуть вступати в резонанс з частотою коливань або довжиною хвиль випромінювань людини. Тоді відбувається порушення загального її стану як стаціонарної системи, яка прагне зберегти гомеостаз. У ослабленого ж організму може виявитися „наркотична

потреба” в повсякденному енергетичному підживленні від зовнішнього джерела. Дія полів на людину – один з чинників виведення її із стану гомеостазу. Реагуючи певним чином, організм прагне зберегти стан гомеостазу, жорстко запрограмований за мільйони років його розвитку. Це – консервативна система з украй незначним „коридором” відхилення від стану гомеостазу, набагато меншим по відношенню до інших життєво важливих параметрів, наприклад, концентрації кисню в повітрі.

Аналіз дії впливу електромагнітних і низькочастотних акустичних коливань (інфразвуку) на людський організм приводить до одного убивчого висновку – всі ці коливання різною мірою безпосередньо впливають на кору головного мозку і вищу нервову діяльність, руйнуючи імунну систему людини, особливо дітей.

Цікава екологічна роль *електростатичного* поля, що виявляється в нижніх приземних шарах атмосфери і значною частиною генерується літосферою. Живий організм на всіх стадіях його розвитку є „приймачем” аероіонів (іонів повітря), що чинять на нього фізіологічний вплив. Під дією потоків негативних аероіонів при „сприятливих дозах” виникають добре помітні позитивні ефекти – збільшується проростання насіння рослин, швидкість їх росту і кількість сирої маси. Разом з тим передозування впливу тих же негативних іонів на рослини викликає помітне пригноблення фізико–хімічних процесів, що в них відбуваються.

Кажучи про реакцію людського організму на існування електростатичного поля (атмосферної електрики), слід зазначити, що загальне самопочуття, увага, працездатність, функціональний стан основних систем життєзабезпечення знаходяться практично в прямій залежності від концентрації і полярності аероіонів. Експериментально встановлено, що негативні аероіони (в основному це іони кисню повітря) сприяють посиленню життєдіяльності організму, тоді як позитивні аероіони в більшості випадків впливають негативно на організм, а при значній концентрації здатні завдати йому певної шкоди. Повітря, позбавлене аероіонів обох полярностей, може сприяти виникненню серйозних захворювань.

Радіоактивне поле, або поле іонізуючого випромінювання, є чинником, що може справляти як дратівливу, так і вражаючу дію. До категорії „дратівливої дії” слід відносити і ті сприятливі ефекти, які встановлені при аналізі дії малих доз опромінювання на живі організми.

Основна частина природного радіаційного фону, що спостерігається на поверхні планети і в приповерхневих шарах літосфери, зобов'язана своїм походженням, в основному, випромінюванню радіонуклідів, які утворилися разом із Землею, ввійшли до складу її порід і розподілилися в об'ємі земної кори. Радіоактивні гази радон–222 і радон–220 (торон) забезпечують приблизно 40 % дози опромінювання, з яким доводиться

стикатися населенню планети. Слід відзначити, що інтенсивність іонізуючого випромінювання глобально і істотно підвищилася в результаті спроб людини використовувати атомну енергію. Достатньо сказати, що близько 10 % енергії, реалізованої в ядерній зброї, представлено залишковою радіацією. Випробування ядерної зброї привнесли в атмосферу значну кількість радіоактивних речовин, у тому числі і таких, які раніше не існували в природі. В подальшому більша їх частина випала у вигляді радіоактивних опадів, що були поглинені літосферою, яка стала, таким чином, джерелом додаткового іонізуючого випромінювання.

В різних частинах поверхні Землі і біосфери природний радіаційний фон може розрізнятися в 3–4 рази і більше. Найменшою інтенсивністю (10^{-3}–10^{-2} мГр/рік) характеризується фон над поверхнею моря, найбільшою (до 0,9 мГр/рік) – на великих висотах в горах, складених гранітними породами. В районах, де поширені руди з великим вмістом природних радіонуклідів, радіаційний фон, як правило, вище в 100–1000 разів, ніж на прилеглих і віддалених територіях. Річна ефективна еквівалентна доза, що фіксується на поверхні планети, варіює від 2 до 20 мЗв (*зіверт* (Зв) – в СІ одиниця еквівалентної дози випромінювання; 1 мЗв = 1 мГр). Ці величини характеризують межі діапазону природного радіаційного фону, при якому існувало і розвивалося все живе на планеті.

Іонізуюче випромінювання впливає на живі організми дратівливо і вражаюче. Підвищення рівня випромінювання над фоновим або навіть підвищений природний радіаційний фон може розглядатися як мутагенний чинник. В зоні дії могутніх джерел опромінювання (як правило, антропогенного походження) не в змозі вижити жодна тварина або рослина. При потужності дози опромінювання 0,8–2,1 мГр/рік відбувається уповільнення зростання рослин і зменшення видової різноманітності тварин. При збільшенні потужності дози до 4,2–16,7 мГр/рік рослинність пригноблюється і стає сприйнятливою до ураження шкідниками і хворобами. Більш високоорганізовані організми гостріше реагують на радіаційний вплив ніж слаборозвинені. Людський організм відрізняється особливою чутливістю до радіації. Ссавці, таким чином, є найбільш чутливими, а мікроорганізми – найбільш стійкими до радіаційного впливу. Насінні рослини і низькі хребетні займають деяке проміжне положення.

Будь яке відхилення параметрів середовища проживання від „нормальних” (природно, різних для різних представників тваринного і рослинного світу) може спричинити небезпеку виникнення негативних наслідків, які виявляються тим серйозніше, чим більше перевищують межі гомеостазу. Для кожного живого організму існує оптимальне значення рівня одночасної дії декількох чинників, у тому числі і, можливо, в першу чергу енергетичного впливу. Можна чекати, наприклад, що якщо декілька чинників впливають одночасно на різні системи життєзабезпечення організ-

му, то кінцевий біологічний ефект виявляється менш істотним, ніж при дії цих чинників на яку–небудь одну систему.

Одночасний вплив відразу декількох чинників навколишнього середовища (наприклад, температурного поля і поля іонізуючого випромінювання, варіацій геомагнітного, електростатичного і електромагнітного полів і т.п.) може змінити межі толерантності організму до кожного з них. Як правило, при цьому фіксується звуження рамок толерантності, оскільки дія окремих чинників може посилюватися за рахунок негативного впливу на організм інших чинників (сінергетичний ефект).

Проте можливі ситуації, коли дія одного з чинників може виявитися „захисною" відносно дії іншого чинника. Так, постійне магнітне поле, мікрохвильове випромінювання можуть підвищити радіаційну резистентність живого організму.

Останнім часом предметом жвавих дискусій є проблема геопатогенезу. По цій проблемі висловлюються різні, іноді діаметрально протилежні, думки – від беззастережного і безумовного визнання до майже повного заперечення.

Геопатогенез (або природний патогенез) визначається як виникнення стійких патологічних змін в живих організмах, обумовлене особливими геологічними, геофізичними, геохімічними і іншими природними умовами. Він входить до кола питань, що стосуються енергетичної, тобто опосередковані через поля, і речовинної (хімічного і біологічного) взаємодії літосфери і біосфери. І в цій своїй якості геопатогенез може розглядатися як можливий патогенний вплив геологічних, геохімічних і гідро–геохімічних об'єктів і процесів, а також супутніх їм геофізичних полів, на живі організми, що населяють нашу планету. Необхідність наукового вивчення проблеми геопатогенезу виникла у зв'язку з великою кількістю публікацій про „успіхи" біолокації (сучасна назва відомого із стародавніх часів лозоходства) у виявленні на поверхні Землі аномальних зон, які згубно впливають на рослинність, живі організми, на здоров'я людини.

5.4. Геофізичні критерії оцінки еколого–геологічних умов

Питання про критерії 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.

Встановлені наступні граничні значення напруженості електромагнітного поля в кВ/м для населення: 0,5 – в житлових будівлях; 1,0 – в ме-

жах житлової забудови; 10 – на перетині ЛЕП з автодорогами; 15 – в межах сільгоспугідь; 20 – у важкодоступній місцевості. З урахуванням частотного діапазону радіохвиль гранично допустимі рівні електромагнітного поля для населених місць складають: довгі радіохвилі (частота 30–300 кГц, довжина 10^4–10^3 м) – 20 В/м; середні радіохвилі (частота 0,3–3,0 Мгц, довжина 10^3–10^2 м) – 10 В/м; короткі хвилі (частота 3–30 Мгц, довжина 100–10 м) – 4 В/м; ультракороткі (частота 30–300 Мгц, довжина 10–1 м) – 2 В/м. Для магнітних полів, за даними зарубіжних дослідників, допустима величина індукції магнітного поля, в якому може знаходитися людина, не повинна перевищувати 50 000 нТл, тобто напруженості магнітного поля Землі (*тесла* (Тл) – одиниця СІ магнітної індукції. 1 Тл – дорівнює магнітній індукції однорідного магнітного поля, в якому на плоский контур із струмом, що має магнітний момент 1А/м^2, діє максимальний момент обертання в 1Н·м; 1 нТл=10^{-9} Тл).

Для вібраційних полів положення з критеріями оцінки їх дії на біоту ще складніше, оскільки резонансні частоти окремих частин тіла людини відрізняються між собою на 10–20 Гц і, крім того, залежать від вібропереміщення (мм), частоти (Гц) і віброприскорення (м/с^2). Всі ці характеристики повинні входити до складу критеріїв оцінки. Особливо несприятливо діє на людину вібрація з частотами 1–30 Гц [3].

Оцінка дії іонізуючої радіації на живі організми оцінюється в *греях* (Гр), тобто поглиненою дозою, або в *зівертах* (Зв), тобто ефективною еквівалентною дозою. Проте для компонентів літосфери найбільш часто використовуються позасистемні одиниці – рентген (Р), кюрі (Ки) (к*юрі* – позасистемна одиниця активності радіонуклідда; 1 Ки – активність ізотопа в якому за час в 1 с відбувається 3,7·10^{10} актів розпаду, 1 Ки=3,7·10^{10} Бк (*беккерелей*)).

Встановлено порогове значення середньорічної ефективної еквівалентної дози опромінювання в 1 мЗв (0,1 бер – біологічний еквівалент рентгена), якому відповідає щільність радіоактивного забруднення ґрунту цезієм–137 в 1 Ки/км^2 (розробки АН СРСР для районів, потерпілих від аварії на Чорнобильській АЕС)). Нижче за ці значення рівня радіації умови мешкання і трудова діяльність населення не вимагають яких–небудь обмежень. В межах територій, де щільність радіоактивного забруднення ґрунту цезієм–137 перевищує вказаний норматив, виділяються зони відчуження, відселення, мешкання з правом відселення, мешкання з пільговим соціально–економічним статусом.

Відповідно до загальних принципів вибору критеріїв 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 навко-

лишнього 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.

Як граничні значення при розділенні рівня геофізичного впливу або еколого–геофізичного стану навколишнього середовища, у тому числі і літосфери, за вказаними чотирма рівнями 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.

Чотирьохрівнева система комплексної оцінки еколого–геофізичного стану літосфери може служити доброю основою для еколого–геофізичного картографування як способу графічного відображення геофізичних чинників, що впливають на формування екологічної обстановки.

Розділ 6.
МЕТОДОЛОГІЯ ЕКОЛОГО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

6.1. Геоекосистеми і літотехнічні системи

Екологічна геологія досліджує еколого-геологічні системи. Виділяють чотири типи цих систем [50]:

природна еколого-геологічна система реальна;

природна еколого-геологічна система ідеальна;

природно-технічна еколого-геологічна система ідеальна;

природно-технічна 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. Всі роботи направлені на отримання даних про склад, стан і екологічні властивості літосфери і взаємодіючої з нею біоти.

Вивчена еколого-геологічна система першого типу надалі може бути використаний при прогнозних дослідженнях, при яких аналізуються можливі наслідки природних дій. Системи першого типу можуть використовуватися також і при вивченні природно-технічної 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-технічна 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 збереження або поліпшення.

6.2. Оцінка екологічного стану систем

6.2.1. Загальні концептуальні підходи

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].

Перший підхід заснований на прямих кількісних оцінках еколого-геологічного стану формуючих геологічне середовище (літосфера, під-

земні води, геологічні явища, що розвиваються в літосфері). 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. При цьому перший ступінь (клас стану) характеризується значеннями прямих критеріїв оцінки нижче ГДК (фону), другий ступінь - близькими значеннями критеріїв оцінки до ГДК або фону, інші ступені змін перевищують ГДК і фон. Виділення всіх класів станів не має строгого обґрунтовування прийнятих градацій по відношенню до ГДК і фону і, за своєю суттю, всі вони є "договірними". В російських публікаціях і інструктивних геологічних матеріалах при еколого-геологічних дослідженнях на регіональному рівні застосовується трибальна шкала оцінок.

І, нарешті, існує *третій підхід*, які 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 (для геоми) і, відповідно, зони порушень (для біоми) і екосистеми в цілому. В.Т.Трофімовим і Д.Г.Зілінгом [50] рекомендується чотири рівні природно-антропогенних екологічних порушень - норми (Н), ризику (Р), кризи (К) і лиха (Л). 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; зна-

чення 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.

Виділення зон екологічного стану екосистем повинне здійснюватися на основі невеликого числа самих представницьких показників, але обов`язково з використанням і взаємним обліком тематичних, просторових і динамічних критеріїв оцінки.

Всі критерії оцінки повинні бути органічно пов'язані з екологічними особливостями літосфери і враховувати відповідні функціональні залежності між її компонентами і біотою [51].

Стан живих організмів і вплив на них чинників зовнішнього середовища оцінюється, як відомо, виключно по реакції організмів безпосередньо на дію, а також в період післядії. Практично всяке відхилення від норми в навколишніх умовах, в яких існує живий організм, може спричинити за собою небезпеку виникнення шкідливих наслідків. І чим значніше відхилення, тим вище вірогідність настання цих наслідків і тим вони серйозніше. Повною мірою це відноситься і до людського організму.

У свою чергу, реакція екосистем будь-якого рангу залежить від того, якою мірою екологічний стан літосфери є адекватним умовам гомеостазу даної системи. Останній припускає збереження сталості екосистеми в умовах дії ряду чинників. При цьому дія кожного чинника або їх сукупності може бути оцінений як мінімальна, коли він не викликає реакції (збудження) екосистеми, і максимальне, наслідками якого може бути деградація екосистеми в цілому або окремих її компонентів або навіть загибель екосистеми і перехід її в нову якість, по суті справи в нову екосистему. Діапазон між мінімальним і максимальним рівнями діями чинників є

"межа толерантності" екосистеми, тобто той діапазон зміни рівня дії, в межах якої система здатна за рахунок своїх адаптаційних можливостей протистояти дії, яка змінює її внутрішній стан.

Різні 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-технічних 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] у вигляді таблиці (табл. 6.1). 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 критеріїв 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 критеріїв оцінки еколого-геологічного стану літосфери трохи (до 5 разів) 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 критеріїв оцінки еколого-геологічного стану літосфери в 5-10 разів перевищують ГДК і фон;
- *клас катастрофічного стану*, який корелюється із зоною екологічного лиха; значення прямих критеріїв 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 критерії (напри-

клад, вміст елементів в золі рослин) і характер захворюваності населення.

Таблиця 6.1.

Принципова схема взаємопов'язаної оцінки стану еколого-геологічних умов, біоти і екосистеми [50]

Оцінюваний параметр	Категорії (рівні)			
	1	II	III	IV
Екосистема (згідно Б.В.Виноградову)	Екологічна норма	Екологічний ризик	Екологічна криза	Екологічне лихо
Стан літосфери і її компонентів	Задовільний (сприятливий)	Умовно задовільний (відносно не сприятливий)	Незадовільний (вельми несприятливий)	Катастрофічний
Ресурсний вплив	Слабий	Помірний	Сильний	Небезпечний
Геодинамічний вплив	Слабий	Помірний	Помірний	Небезпечний
Геохімічний вплив	Слабий	Помірний	Помірний	Небезпечний
Геофізичний вплив	Слабий	Помірний	Помірний	Небезпечний
Умови життєдіяльності людини	Комфортні	Дискомфортні	Сильно дискомфортні	Небезпечні
Стан здоров`я людини	Здоровий	Напруга	Стомлення	Хвороба
Гігієнічний стан середовища (згідно В.М.Прусакову і К.А.Буштуєву)	Мало небезпечний	Помірно небезпечний	Небезпечний	Над звичайно небезпечний
Якість територіального ресурсу	Висока	Середня (підвищена)	Знижена	Низка
Умови гомеостазу екосистеми	Не викликають реакції (збудження) екосистеми	"Межа толерантності" екосистеми, її здатність протистояти зовнішній дії		Руйнування, загибель екосистеми

При оцінці стану еколого-геологічних умов використовуються показники і критерії різних типів, які можуть бути тематичними, площинними (просторовими) і динамічними. Із змістовної точки зору це біотичні, геологічні, медико-санітарні, соціально-економічні та інші критерії, кожний із яких включає по декілька показників. Серед останніх можуть бути як прямі так і індикаторні показники.

6.2.2. Тематичні критерії

Біотичні тематичні критерії Ці критерії 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 критерії 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 розповсюдженім токсикантом, дія якого на рослини приводить до незворотних фізіологічних і метаболістичних порушень, є двооксид 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 критерії і 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 критеріях може бути виділений ряд стадій порушення екосистем. Зона ризику виділяється, головним чином, по початковій ста-

дії порушення - синатропизації, втраті стадної поведінки, зміні шляхів міграції, реакції толерантності. Подальші стадії порушення виділяються також і за просторовими, демографічними і генетичними критеріями. 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 критерії 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 живі організми. Отже необхідний додатковий аналіз всіх середовищ геоми для оцінки ступеня їх забруднення полютантами і впливу на біоту.

Ґрунтові критерії. 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. Ґрунтово-ерозійні критерії 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).

Біологічно-медичні критерії. Критерії цього типу охоплюють велику групу показників, для яких поки немає систематики, що встояла. В медичній літературі ці показники фігурують під назвами *медико-демографічні, медико-екологічні, медико-геохімічні, медико-біохімічні* і ін.

В даний час з певною часткою умовності у складі біологічно-медичних критеріїв 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 критеріїв - *біосубстратні* (медико-екологічні, медико-геохімічні, медико-біохімічні). Вони характеризують вміст ксенобіотиків в субстратах людського організму і продуктах його фізіологічної діяльності. При використовуванні медичних критеріїв 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) - 50%, включає соціальні і побутові умови, якість і режим харчування, гігієнічну культуру, мікроклімат в сім'ї, фізичне виховання та ін.;

хімічна екопатологія - 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.

Для практичного використання цієї інформації геологами краще всього спиратися на статистичні дані і матеріали диспансеризації по моно- і полімікроелементозним захворюваннях (хворобам, виникаючим від надлишку або недостачі одного або декількох хімічних елементів), для яких встановлені чіткі зв'язки між їх вмістом в природних середовищах і захворюваннями рослин, тварин і людини. Ці захворювання отримали назву маркерних, оскільки відображають природний або техногенне обумовлений дисбаланс елементів в різних компонентах природного середовища, включаючи літосферу. Крім того до екологічно обумовлених захворювань більшість медиків відносить онкологічні, ноозоологічні (епідеміологічні) і втрату імунного захисту організму.

Загальновизнаним положенням при виборі медико-демографічних критеріїв оцінки є пріоритет в аналізі дитячої захворюваності, що визначається більшою територіальною стабільністю мешкання дітей в порівнянні з дорослим працюючим населенням і підвищеною дитячою хімічною гіперчутливістю. Саме тому стан здоров'я дітей вважається одним з найбільш чутливих показників, які відображають зміну якості навколишнього середовища.

До основних медико-демографічних показників оцінки здоров'я населення відносяться: захворюваність, дитячу смертність, специфічні (маркерні) і онкологічні захворювання, які порівнюються з аналогічними показниками на фонових територіях в тих же ландшафтно-кліматичних зо-

нах. Дані показники визначаються роздільно для міського і сільського населення стосовно двох-трьох конкретних фонових (контрольних) територій. Порівняння з середніми величинами по адміністративному регіону (краю, області) неприпустимо. Перевага віддається показникам, розрахованим за 10 років, або їх динаміці за цей період. Для маркерних захворювань може бути зроблено виключення.

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

- співвідношення пола новонароджених; частота недоношеної, природжених вад розвитку дітей, хромосомних хвороб у них; поширеність аномалій скелета, 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.

Ці дані контролюються в часі і повинні зіставлятися з динамікою змін забрудненості абіотичного середовища. В даний час можна визнавати доведеним, що екопатологія дитинства - це перш за все природжені вади, алергічні, хронічні нервово-психічні і соматичні хвороби і онкологічні захворювання. Вона визначається не стільки поширеністю хвороб, скільки їх частотою і тяжкістю протікання.

6.2.3. Просторові критерії

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 незворотне і відноситься до рівня катастрофи. Наприклад, вигоряння лісів на площі в десятки і сотні гектар практично зворотне, і 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 ієрархі-

чни7х рівнів: регіональні -10 000; обласні - 1000; районні - 100; локальні - 10; ендемічні - 1.

На екосистемному рівні ботанічні показники зон екологічного порушення описуються просторовими характеристиками (відносної і абсолютної площею показника 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%. При одній і тій же стадії порушення, виявленого по тематичних критеріях, збільшення відносної площі порушення кваліфікує більш високий рівень небезпеки. Це може бути виражено у вигляді матриці для адміністративного району площею 100-200 тис. га. Так, виділення зон екологічного порушення (Н - норма Р - ризик, К - криза, Л - лихо) території залежно від глибини екологічного порушення і займаної відносної площі (в %) має наступний вигляд (табл. 6.2).

Таблиця 6.2.

Виділення зон порушення екосистеми залежно від глибини екологічного порушення і його площі (за Б.В.Виноградовим) [51]

Ступінь порушення	Зона порушення екосистеми при площі порушення, %			
	<5	5-20	20-50	>50
Норма	Н	Н	Н	Н
Помірне	Н	Н	Н	Р
Середнє	Н	Н	Р	К
Сильне	Н	Р	К	Л

З цього виходить, що навіть сильне порушення, що займає площу менше 5% території, кваліфікує стан екосистеми в межах норми. Але помірне порушення на площі більше 50% території служить підставою для проголошення її зоною екологічного ризику.

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. 6.3).

Таблица 6.3.
Співвідношення зон порушення екосистем з відносною площею різного ступеня порушення (за Б.В.Виноградовим) [51])

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

6.2.4. Динамічні критерії

Перераховані вище статичні критерії виявлення зон екологічного порушення при всій їх очевидності недостатні для об'єктивної оцінки, оскільки вони не відображають істинної картини. Так, відомі біогеохімічні провінції (наприклад, на Українському щиті) можуть бути віднесені за статичними біогеохімічними показниками до зон екологічного ризику. Разом з тим, по динамічних критеріях вони такими не є, оскільки підвищені концентрації металів в ґрунтах і рослинах були там і до антропогена. Тому необхідні і критерії виявлення зон екологічного порушення 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 різнорічної і 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 представительська тривалість спостережень. Вважається що мінімальний термін для визначення лінійної швидкості змін складає 8-10 років, а для

виявлення нелінійної швидкості - 20-30 років. Приклади динамічних показників зон екологічного ризику, кризи і лиха представлені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4.

Значення річних динамічних показників стану екосистеми в зонах екологічного порушення (середнє за 5-8 років безперервних спостережень, за Б.В.Виноградовим [51])

Показники	Екологічна зона			
	Норма	Ризик	Криза	Лихо
Збільшення площі порушених екосистем, %	Менше 0,5	1-2	2-4	Більше 4
Зменшення річної рослинної продукції, %	Менше 1	1,5-3,5	3,5-7,5	Більше 7,5
Збільшення площі збитих пасовищ, %	Менше 2	3-5	5-8	Більше 8
Збільшення площі еродованих земель, %	Менше 0,5	1-2	2-5	Більше 5
Збільшення площі засолених ґрунтів, %	Менше 1	1-2	2-5	Більше 5
Збільшення площі рухливих пісків, %	Менше 0,5	1-2	2-4	Більше 4

6.3. Спеціальні методи екологічної геології

6.3.1. Еколого-геологічне картографування

Це основний метод дослідження просторового розподілу об'ємів геологічного простору з різними еколого-геологічними умовами. *Він заснований на раціональному поєднанні окремих прямих або непрямих наземних методів точкового або лінійного вивчення параметрів еколого-геологічних умов і методів просторової екстраполяції цих даних.* При цьому за звичай використовуються також аерофотоматеріали і дані геофізичних 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 літосфери. Основними об'єктами досліджень є еколого-геологічні системи і, перш за все, 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 верхніх горизонтів літосфери, 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.

Зараз еколого-геологічна зйомка як основний метод еколого-геологічного картографування є обов'язковим видом робіт при здійсненні геологічних знімальних робіт. Отримана в результаті еколого-геологічної зйомки інформація узагальнюється і систематизується. Форма узагальнення інформації при цьому може бути різною, але пріоритет на даний час належить спеціальним картографічним моделям - еколого-геологічним картам. Проте принципи і методи еколого-геологічного картографування не можуть вважатися достатньо розробленими.

Слід підкреслити ще один надзвичайно важливий момент - проведення еколого-геологічної зйомки вимагає дуже високого технічного, економічного, а також спеціального кадрового забезпечення. Враховуючи це, власне екологічну зйомку як самостійний вид робіт доцільно починати в плановому порядку в районах екологічного лиха, на інтенсивно техногенне порушених територіях промислових і гірничодобувних комплексів, крупних промислово-міських агломерацій, на масивах інтенсивного зрошування і ін.

При виконанні еколого-геологічних досліджень, у тому числі і еколого-геологічних знімальних робіт, важливо прослідити весь ланцюжок причинно-наслідкових зв'язків, характерних для еколого-геологічної обстановки системи від конкретного впливу на геологічний компонент природного середовища до екологічних наслідків цього впливу. Здійснення подібних досліджень можливо при чітко сформульованій цільовій задачі, яка зрештою і визначає необхідний комплекс вживаних методів, що становлять основу еколого-геологічного картографування як спеціального методу екологічної геології.

6.3.2. 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 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 ще раз, 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.

Ядром еколого-геологічної обстановки-системи є геологічний компонент природного середовища. Тому вся сукупність причинно-наслідкових прямих і зворотних зв'язків між ним і рештою елементів системи формує область, що лежить у сфері професійних інтересів базової науки - екологічної геології, що володіє достатнім теоретичним і методологічним апаратом для геологічного обґрунтовування вирішення екологічних проблем.

Розвиток такої системи підкоряється, як показав М.Б.Курінов [51], принципу еколого-системної еволюції. Екологічні наслідки впливу безпосередньо впливають не тільки на геологічний компонент природного середовища, але і на підсистему джерел впливу, і корінним чином змінюють стан решти підсистемних елементів.

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.

При виконанні функціонального аналізу Г.А.Голодковська і М.Б.Курінов [51] запропонували відокремлювати три рівні еколого-геологічних систем.

Перший - елементарний рівень базується на конкретному виді дії і одномірному просторі причинно-наслідкових зв'язків, що формується. Наприклад, в результаті дорожнього будівництва відбувається перехоплення поверхневого і підземного стоку, підйом рівня ґрунтових вод, заболочування і підтоплення території. Негативні екологічні наслідки, що виникають при цьому - пригноблення рослинності, зміна біоценозів.

Другий рівень системи виділяється при формуванні двох- трьохмірного простору причинно-наслідкових зв'язків і характеризується складнішою структурною організацією. В цьому випадку екологічні наслідки можуть грати роль самостійного, наведеного джерела впливу на літосферу. Наприклад, у разі підземного поховання промислових стоків в сейсмоактивних районах можливо виникнення наведених землетрусів, які можуть викликати руйнування інженерних споруд з подальшими екологічними наслідками. Ланцюжки причинно-наслідкових зв'язків, що в цьому випад-

ку фіксуються, мають складнішу структуру і можуть мати декілька рівнів, що взаємодіють один з одним.

Третій рівень - системи формуються на базі потужнього, різнопланового джерела дії і утворюють складно організований простір причинно-наслідкових зв'язків. До таких систем, за М.Б.Куріновим, відносяться в першу чергу, крупні урбанізовані центри, райони впливу гірничодобувних центрів, промислові центри металургійної, нафтопереробної, хімічної промисловості і т.п. Дослідження подібних систем базується на принципі декомпозиції, тобто виділенні в рамках системи більш просто побудованих відносно незалежних підсистем, і застосуванні системного аналізу при характеристиці взаємодії окремих підсистем між собою і еколого-геологічної системи в цілому.

В ході функціонального аналізу еколого-геологічної обстановки необхідно оцінити роль значущості екологічних функцій літосфери для соціальних і біологічних об'єктів. ЇЇ ресурсна функція обумовлює наявність і стан ресурсної бази, яка визначає життєвий рівень таких об'єктів. В стійких еколого-геологічних системах еволюція направлена у бік спеціалізації, найефективнішого використання ресурсів. Скорочення, передчасне виснаження ресурсної основи може призвести до деградації соціально-економічних і біологічних об'єктів, що нерідко спостерігалося у минулому. Оцінка ресурсної функції неможлива без урахування еволюції стану природних об'єктів у міру використання ресурсів. Об'єктивні економічні критерії, які використовуються для оцінки ресурсів, необхідно корелювати з погляду надання особливого статусу ресурсам, що є життєво важливими для екологічних систем, розвинутих на тій або іншій території.

При функціональному аналізі величезну увагу повинно надаватися розгляду геодинамічної функції літосфери, зокрема її зміні при техногенній дії. Саме їм обумовлені найбільш швидко протікаючи, так звані антропогенні геологічні процеси, багато з яких є дуже небезпечними для біоти.

В якості основного критерію, який можна використати в ході аналізу для оцінки значущості геодинамічної екологічної функції, на нашу думку, можна прийняти наявність та характер прояву екзогенних і ендогенних процесів, їх вплив на стійкість літосфери, а як наслідок - на стійкість біоти.

В ході проведення функціонального аналізу необхідно весь час пам'ятати, що одна з його задач - розгляд впливу умов життя на фізичне здоров'я, психічну рівновагу, можливість передачі цих якостей потомству і безпека соціальних і біологічних об'єктів. Наявність таких умов контролюється як власне геологічними чинниками (природні аномалії геофізичних і геохімічних полів, геологічні процеси і т.п.), так і техногенними чин-

никами (хімічне, радіонуклідне, електромагнітне забруднення і т.п.). Особливу роль останнім часом набули техногенні чинники.

Збереження екологічної функції літосфери лежить у сфері дотримання діючими і проектованими підприємствами прийнятих на рівні держави норм ГДК, ГДН або фонових значень. В той же час слід підкреслити, що прийняті норми ГДК, ГДН орієнтовані в загальному випадку переважно на людину, і не враховують інтереси біологічних об'єктів в цілому. Все це вимагає уточнення існуючих норм і їх орієнтацію на інтереси біологічних об'єктів.

Г.А.Голодковська і М.Б.Курінов [50] в загальну структуру інформаційного забезпечення функціонального аналізу еколого-геологічної системи включають дані про плани використання території, схвалені управляючі рішення, можливі сценарії розвитку екологічної обстановки. Запропонована ними інформаційна система повинна, за задумом авторів, працювати в інтерактивному режимі. Надаючи готову продукцію безпосередньому користувачу, вона дозволяє вводити нові програми в подальші дослідження. В такій якості функціональний аналіз виступає як ключовий метод не тільки пізнання еколого-геологічної системи, але і інструмент обґрунтовування управління її станом.

6.3.3. Еколого-геологічне моделювання

Зміст цього методу полягає в створенні моделей стану еколого-геологічної системи тієї або іншої території і прогнозу трансформації її при реальних або можливих змінах геологічного компоненту в процесі 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 стану (реальних) і прогнозу (ідеальних), 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.

Метод еколого-геологічного моделювання є важливою ланкою еколого-геологічного моніторингу і корегування ПДМ. Еколого-геологічна модель повинна діяти в системі моніторингу постійно, вона не пов'язана з вирішенням разової цільової задачі. Крім того, слід враховувати, що ПДМ практично єдиний і часто самий реалістичний спосіб вдосконалення системи управління раціональним природокористуванням.

В практиці еколого-геологічного моделювання застосовуються різні типи моделей: вербальні, знакові (картографічні), фізичні (аналогові) і математичні, тобто комплекс традиційних методів моделювання. Вибір конкретного методу обумовлюється специфікою інформаційної бази, задачами дослідження, а також можливостями їх фінансування.

Останнім часом у зв'язку з розширенням можливостей обчислювальної техніки все більше розповсюдження одержує математичне детерміноване та імовірнісне моделювання за допомогою ЕОМ.

Детерміновані моделі засновані на встановлених функціональних зв'язках між залежними змінними (функціями) і аргументами. В рамках детермінованого моделювання застосовуються методи кінцевих елементів, скінченних різниць та ін. Детерміновані моделі мають найбільшу прогностичну здатність [30].

При моделюванні багатофакторних процесів у верхніх горизонтах літосфери у зв'язку з відсутністю строгих математичних описів цих процесів використовується математичний апарат теорії імовірності і математичної статистики. Такі моделі засновані на емпіричних даних і містять, окрім змінних величин і констант, одну або декілька випадкових величин різної природи, які відображають випадкові характеристики властивостей об'єктів літосфери. Імовірнісні моделі найбільш успішно зараз використовуються для об’єктивного “наповнення” детермінованих, тобто імо-

вірнісні моделі доцільно застосовувати при аналізі геологічних полів (полів параметрів). Наступний прогноз поведінки фізичних полів (полів функцій) доцільно виконувати за допомогою детермінованих моделей. Проте слід врахувати, що імовірнісний характер вихідної інформації накладає певні обмеження на достовірність детермінованих гідрогеологічних моделей. У принципі будь-яка детермінована модель, що використовується при еколого-геологічних дослідженнях, стає імовірнісною, якщо в неї вводиться випадкова компонента, яка обумовлена не передбаченою точно функцією багатьох змінних.

Стосовно переваг і недоліків детермінованого та імовірнісного підходів при математичному моделюванні необхідно зазначити наступне. На початку 30-х років минулого сторіччя О.Колмогоров математично обґрунтував, що застосування при дослідженні деякого процесу схеми детермінованого або імовірнісного процесу аж ніяк не пов’язане з питанням про те, чи є власне цей процес детермінованим чи випадковим. Тобто, всюди, де виконуються аксіоми теорії ймовірностей, можна застосувати і висновки з цих аксіом, хоча власне об’єкт може не мати нічого спільного з реальною випадковістю [30].

Особливим, спеціальним видом моделювання в екологічній геології є створення моделей еколого-геологічних систем території, що стійко розвиваються. Такі моделі відносяться до класу ПДМ, параметри яких постійно коригуються в ході еколого-геологічних досліджень, як уточнюються і еколого-геологічні прогнози.

Постійно діюча еколого-геологічна модель - 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) літосфери і її 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 спосіб вдосконалення системи управління в області раціонального використання і охорони верхніх горизонтів літосфери, вирішення еколого-геологічних задач.

Г.А.Голодковська і М.Б.Курінов [51] до базових принципів розробки моделі еколого-геологічної системи, що стійко розвивається, віднесли наступні позиції:

- *принцип цільового використання* - природне середовище повинне використовуватися на основі максимального розкриття закладених в ній корисних якостей; виконання цього принципу повинне базуватися на по-

передній оцінці природних ресурсів, включаючи екологічні функції літосфери і їх вплив на об'єкти соціо- і техносфери;

- *принцип пріоритетів при виробленні еколого-економічної концепції розвитку регіону* - використання того або іншого компоненту середовища не повинне приводити до пригнічення, деградації, знищення природних об'єктів, що мають більш високий ранг якості; на жаль, при будь-якій антропогенній діяльності існуючі екологічні системи зазнають втрати; задача полягає в тому, щоб придбання компенсувало втрати;

- *принцип безпеки* - техногенна, антропогенна діяльність при використанні геологічного компоненту природного середовища не повинна створювати екологічно шкідливе, небезпечне для існування біоценозів і людини середовище або мати довгострокові екологічні наслідки (ідеалістичною є вимога збереження всіх природних біоценозів на засвоєних територіях, проте визначення допустимого рівня змін геологічного компоненту природного середовища за умови мінімального екологічного збитку - задача вельми актуальна);

- *принцип збереження рівня комфортності* - діяльність при формуванні нової або трансформації старої еколого-геологічної системи не повинна знижувати рівень комфортності середовища, не заселеного людиною;

- *принцип розумного компромісу* - необхідний пошук тонкої грані між технічними можливостями виробництва і антропогенним впливом на біоценози; ця задача вельми делікатна і непроста, оскільки "якість життя" населення - це соціальна задача, яку вирішують не тільки фахівці в області геології і екології, але і політики, що відстоюють нерідко кон'юнктурні інтереси.

Процес створення моделі оптимальної еколого-геологічної системи, що стійко розвивається, є у принципі безперервним. Г.А.Голодковська і М.Б.Курінов [51] умовно виділяють в ньому три етапи.

На першому з них визначаються екологічна політика розвитку регіону, режим використання конкретної території. Вирішення цих питань лежить в області державного адміністрування. Підготовка ж матеріалів для подібних рішень повинна включати розгляд і екологічних проблем, пов'язаних з можливими змінами геологічного компоненту навколишнього середовища під впливом природних причин і техногенезу.

Другий етап побудови такої моделі включає опис, “вироблення мовного портрету” моделі, виявлення основних параметрів середовища з погляду економіки, здоров'я і комфорту населення, стану біоценозів, з урахуванням демографічних, енергетичних аспектів, стандартів стану навколишнього середовища, перспектив розвитку регіону і інтересів проживаючих в ньому громадян.

Третій етап - це етап об'єднання результатів дослідження природного середовища, техносфери, соціосфери, біосфери, прогнозів зміни еколого-геологічної ситуації, тобто побудова самої адаптивної моделі оптимальної еколого-геологічної системи, що стійко розвивається. На початковому етапі схематизації інформації вона матиме основні риси, властиві структурним моделям, а на виході повинна, якщо це виявиться можливим, трансформуватися у математичну модель. Побудована таким чином модель підлягає безперервному корегуванню, зіставленню з розвитком ситуаційних відносин на модельованій території.

Проблема корегування прогностичної моделі оптимальної системи, що стійко розвивається, може бути розв'язана за умови безперервного надходження інформації про стан об'єктів літосфери, техносфери, біо- і соціосфери; постійного уточнення окремих прогностичних рішень. Цей рух інформації, з позицій моделювання, представляє взаємозалежний процес, при якому загальне моделювання еколого-геологічної системи і окреме, що стосується деяких її елементів, повинні рухатися назустріч один одному, з одного боку корегуючи приватні моделі в їх зв'язку із загальною екологічною обстановкою, а з іншою - конкретизуючи загальні моделі, як правило, страждаючі зайвою абстрагованістю від багатьох важливих чинників реальної еволюції середовища. Вирішення подібних проблем виконується в процесі еколого-геологічного моніторингу.

6.3.4. Еколого-геологічний моніторинг

Моніторинг як система довгострокових режимних спостережень, оцінки, контролю стану і прогнозу зміни об'єкту є загальнонауковим методом дослідження. Використовується він і при еколого-геологічних дослідженнях як спеціальний метод, що має тут свою специфіку.

Специфіка еколого-геологічного моніторингу полягає не тільки в системі пізнання об'єкту, але і в самому об'єкті дослідження - еколого-геологічній обстановці, яка обумовлює „геологічне життєзабезпечення" й людини, й біоти в цілому через ресурсну, геодинамічну, геохімічну і геофізичну екологічні функції літосфери. Об'єкт дослідження включає систему „літосфера – біота". Виходячи з цього, еколого-геологічний моніторинг може бути як фоновим і вивчати тільки природну еколого-геологічну систему, так і природно-техногенним, в ході виконання якого досліджуються наслідки функціонування літотехнічних систем.

Специфіка еколого-геологічного моніторингу полягає і в його кінцевій меті. Останню можна сформулювати так: оптимізація функціонування еколого-геологічної обстановки-системи. Проте на думку Г.Наумова [37], на сьогодні моніторинг – теж саме, що й аналізи в медицині. За їх допомогою можна поставити правильний діагноз, але неможливо вилікувати хворобу.

Виходячи з цих двох специфічних особливостей, е*колого-геологічний моніторинг – це система постійних спостережень, оцінки, прогнозу стану і зміни еколого-геологічної обстановки-системи, що проводиться за наперед наміченою програмою (яка має можливість коригування) з метою розробки рекомендацій і управлінських рішень, направлених на забезпечення оптимального екологічного функціонування і стійкого розвитку еколого-геологічної обстановки-системи.* Виходячи з цього, підкреслимо, що незалежно від виду еколого-геологічного моніторингу (комплексний – поелементний, державний - галузевий, регіональний - локальний і ін.), характеру інженерно-господарського освоєння території, служб моніторингу, масштабу досліджень головним є встановлення тенденцій розвитку трансформації літосфери і її компонентів, їх екологічних наслідків для людини і біоти в цілому, і на цій основі ухвалення управлінських рішень.

Надзвичайно важливим аспектом в розумінні суті даної системи є індивідуальність змісту еколого-геологічного моніторингу, яка підлягає персональній розробці у кожному конкретному випадку. Це творчий процес, що спирається на весь спектр методичних розробок з даного питання і загальну структурну схему моніторингу, що містить блоки контролю і управління, зв'язані між собою каналами зв'язку, а також блоки автоматизованої інформаційної системи і інженерного захисту; останній включає виробництво очищення компонентів літосфери від забруднення [50].

Суть і зміст еколого-геологічного моніторингу створює система цілеспрямованої діяльності, що складається з впорядкованого набору процедур, організованого в цикли: еколого-геологічних спостережень ($С_I$) оцінки стану системи за наслідками спостережень ($О_I$), еколого-геологічного прогнозу розвитку системи ($П_I$) і управління ($У_I$). Потім еколого-геологічні спостереження доповнюються новими даними на новому циклі, і далі цикли повторюються на новому відрізку часу ($С_2$, $О_2$, $П_2$, $У_2$) і т.д. В такому розумінні еколого-геологічний моніторинг являє собою складно побудовану, циклічно функціонуючу і постійно діючу систему, що розвивається в часі по спіралі.

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

Задачами АІС еколого-геологічного моніторингу є:

- збереження і пошук режимної еколого-геологічної інформації про стан геологічного середовища (літотехнічної системи) в межах еколого-геологічної системи, що вивчається;

- цілеспрямована постійна обробка і оцінка інформації;

- виконання перманентних прогнозів розвитку і стану еколого-геологічної обстановки;

- вирішення оптимізаційних екологічних задач по створенню системи управління екологічною ситуацією, що погіршується із геологічних причин.

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 першої 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, 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 управління, 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.

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.

Рівні організації еколого-геологічного моніторингу у межах держави можуть бути різними – від локального (об’єктового) до національного і глобального.

В рамках екологічної програми ООН поставлена задача об'єднання національних систем моніторингу навколишнього середовища в єдину глобальну міждержавну мережу - "Глобальну систему моніторингу навколишнього середовища" (ГСМОС або GSEM). Це вищий глобальний

рівень організації системи моніторингу. Її призначення - здійснення моніторингу за змінами в навколишньому середовищі на Землі в цілому, в глобальному масштабі.

Глобальний моніторинг - це система стеження за станом і прогнозуванням можливих змін загальносвітових процесів і явищ, включаючи антропогенні впливи на біосферу Землі в цілому. Створення такої системи в повному об'ємі - задача майбутнього.

В Україні згідно із затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 23 вересня 1993 року № 785 "Положенням про державний моніторинг навколишнього середовища" проводитимуть загальний (стандартний), оперативний (кризовий) та фоновий (науковий) моніторинги навколишнього природного середовища. *Загальний (стандартний) моніторинг* - це оптимальні за кількістю параметрів спостереження на пунктах, об`єднаних в інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на підставі оцінки і прогнозу стану довкілля регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях. *Оперативний (кризовий) моніторинг* - це вивчення спеціальних показників на цільовій мережі пунктів у реальному масштабі часу за окремими об`єктами, джерелами підвищеного екологічного ризику в окремих регіонах, які визначені як зони надзвичайної ситуації, а також у районах аварій зі шкідливими екологічними наслідками для забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їхньої ліквідації, створення безпечних умов для населення. *Фоновий (науковий) моніторинг* - це спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими довкілля, а також за характером, складом, круообігом і міграцією забруднюючих речовин, за реакцією організмів на забруднення на рівні окремих популяцій, екосистем і біосфери в цілому. Його провадять у природних і біосферних заповідниках, інших територіях, які охороняються, на базових станціях. Система державного моніторингу довкілля має три рівні: 1) локальний - території окремих об`єктів (підприємств, міст, ділянки ландшафтів); 2) регіональний - у межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів; 3) національний - територія України в цілому.

Якщо торкатись проблеми організації системи моніторингу геологічного середовища України, то, на нашу думку, мають існувати дві мережі моніторингу [24]: 1 – державна мережа комплексного моніторингу, опорні пункти якої можуть бути розташованими більш менш рівномірно по території України, в місцях з мінімальним ступенем техногенного навантаження на навколишнє природне середовище і місцях компактного проживання людей; 2 – системи моніторингу в місцях розташування екологічно небезпечних природних і техногенних об`єктів, які можуть бути

державними або (в більшості випадків) бути організованими підприємствами відповідно до вимог чинного законодавства.

Раціональна організація моніторингу довкілля (насамперед геологічного середовища) і мінеральних ресурсів у місцях використання надр має забезпечувати надходження об'єктивної інформації, аналіз якої є основою для прийняття управлінських рішень на місцевому та загальнодержавному рівнях для вирішення проблем забезпечення України мінерально-сировинними ресурсами, мінімізації впливу на навколишнє природне середовище тих чи інших видів використання надр, попередження негативних екологічних змін довкілля та реабілітації територій.

Моніторинг стану довкілля у місцях використання надр включає такі обов'язкові елементи як: еколого-геологічне картографування, довготривале спостереження за змінами екологічних параметрів довкілля, оцінка та прогноз його екологічного стану. Цей моніторинг 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 місцевому 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 та районним 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.

Найбільш змістовні заходи зі створення в гірничодобувних регіонах дієвої системи моніторингу стану довкілля мають здійснюватись на етапі оцінки екологічної ситуації. На початковій стадії вони за своїм змістом відповідають екологічному аудиту території з визначенням площ розвитку небезпечних природних і техногенних явищ, головних факторів впливу на довкілля гірничодобувних і переробних підприємств, негативних змін гідрогеологічного режиму, тощо. На цьому етапі має здійснюватись загальне формування в регіоні системи моніторингу та пошуки технічних рішень щодо стабілізації екологічної ситуації у регіоні і оптимізації структури гірничодобувного комплексу, а також розробка конкретних технічних проектів, спрямованих на нейтралізацію головних факторів негативного техногенного впливу на довкілля. При цьому значна увага повинна приділятися нейтралізації порушень геологічного середовища, накопичених внаслідок видобутку корисних копалин у минулому.

Найбільш складним в системі моніторингу є створення постійно діючих моделей екологічного стану довкілля (насамперед геологічного середовища) для окремих гірничодобувних районів. Головна їх мета – моделювання наслідків того чи іншого сценарію закриття гірничодобувних підприємств та проведення реабілітаційних заходів.

Зрозуміло, що і саму систему моніторингу, і постійно діючі моделі стану довкілля слід будувати на основі сучасних методів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) і географічних інформаційних систем (ГІС). Нажаль готових науково-технічних розробок систем моніторингу геологічного середовища на базі ДЗЗ і ГІС, які можна безпосередньо застосувати при виконанні регіональних програм екологічної реабілітації, в Україні майже не існує. Робляться тільки перші кроки у цьому напрямку. Методичною основою створення таких моделей можуть бути роботи фахівців геологічного факультету Київського національного університету, УкрДГРІ, УЦМЗР [25].

Моніторинг мінерально-сировинних ресурсів, система якого була добре налагоджена ще за часів Радянського Союзу, не спрацьовує в сучасних умовах швидких змін геологічного середовища. 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.

6.4. Екологічні ризики

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 [29]:

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 більш загальному визначенні (за академіком В.Легасовим), б*езпека* - стан захищеності кожної окремої особи, суспільства, оточуючого людину середовища від небезпек, обумовлених всіма можливими причинами (екологічного, соціально-економічного, техногенного і тощо характеру).

У сучасному суспільстві будь-яка країна намагається побудувати свою систему екологічної безпеки в залежності від того, які екологічні загрози природного і техногенного характеру існують на її території. Мета такої системи – поліпшення стану здоров`я і умов існування людини шляхом попередження негативних змін навколишнього середовища, що дозволяює утримувати стан природних екосистем в умовах гомеостазу – сталого існування екосистем з можливістю їх самовідновлення. При обмежених ресурсах суспільства це реалізується через зниження існуючих екологічних ризиків.

6.4.1. Загальні поняття та визначення ризику

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 [7].

Термін “ризик” використовується як у науковому, так і в повсякденному спілкуванні. Приблизно з 60-х років XX століття ризик стає предметом міждисциплінарних досліджень. Вважається, що об’єктивне існування ризику зумовлене імовірнісним характером багатьох природних, соціальних і технологічних процесів [21]. 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. 6.1.

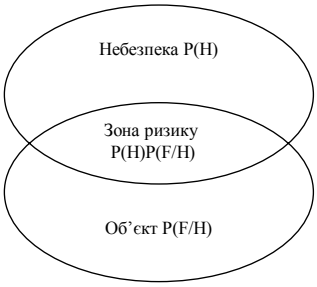

Рис. 6.1. Схема формування ризику від зовнішньої небезпеки
(за О.Л.Рагозіним [41])

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.

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 – тваринного (окрім людини) і рослинного світу, не слід сприймати як негатив – все навколо змінюється природним шляхом. 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.

Таблиця 6.5.

Класифікація рівнів ризику [7]

Категорія	Оцінка рівнів	Ризик (імовірність)
1	Безпечний	$< 10^{-4}$
2	Прийнятний	10^{-4}
3	Небезпечний	10^{-3}
4	Особливо небезпечний	$> 10^{-3}$

Що стосується техногенної діяльності людини (промислової, сільськогосподарської, військової), то частка впливу факторів навколишнього середовища (землетруси, грози і т. ін.) в технологічних та експлуатаційних помилках може досягати 15-25%. Головним показником оцінки ризику такої діяльності має бути ризик (імовірність) виникнення за встановлений час аварійної ситуації R. Між ризиком виникнення аварійної ситуації і ймовірністю безпечної роботи об'єкта Q існує тісний зв'язок:

$$Q = 1 - R.$$

Територія України відносно небезпечна, на ній немає діючих вулканів і є малоймовірними землетруси з катастрофічними наслідками для населення. Не спостерігаються тайфуни і цунамі. Певного клопоту завдають повені, паводки, аномальні метеорологічні явища на зразок сильних опадів чи екстремальних для наших широт температур.

Ризик у техногенній сфері нашої країни досить високий і становить $5.35 \cdot 10^{-4}$ [7]. Водночас у нормативних документах Євросоюзу та Росії значення індивідуального ризику рекомендується приймати не більшим за 10^{-6}.

Основою для визначення можливого ризику від реалізації потенційно небезпечного проекту має бути його комплексний показник для суспільства R_0, який акумулює всю послідовність залежних і незалежних ризиків. При цьому залежні ризики перемножуються, а незалежні – додаються.

$$R_0 = \sum_j \prod_i \left(R_з^i R_н^j \right),$$

де $R_з^i$ - залежні ризики; $R_н^j$ - незалежні ризики.

Велика кількість надзвичайних екологічних ситуацій і катастроф на території нашої держави пов'язана з техногенними змінами геологічного середовища [14]. Це або безпосередньо викликає розвиток екзогенних геологічних процесів (ЕГП), або підсилює небезпеку природного прояву таких процесів. Під небезпекою розвитку ЕГП розуміється ймовірність прояву даного генетичного типу в певному місці в заданий час і з певними енергетичними характеристиками (швидкість розвитку процесу, площа, на якій він проявляється, об`єм гірських порід, залучених у процес, дальність їх переміщення).

Слід розрізняти такі категорії небезпеки: за часом прояву - фонову і реальну; за площею - об`єктну, локальну і регіональну.

Під збитком розуміються негативні наслідки від прояву ЕГП, виражені у фізичних, грошових чи інших еквівалентних одиницях. Збитки можуть бути прямими і непрямими. Прямі і непрямі збитки, у свою чергу, можуть бути економічними, соціальними і екологічними.

Ризик розвитку ЕГП - це ймовірність збитку, і визначається він як похідна (ймовірності) прояву даного генетичного типу ЕГП певного енергетичного класу на очікуваний збиток. Ризик виражається в одиницях вартості або фізичних одиницях і являє собою категорію ймовірнісну.

За аналогією зі збитком слід розрізняти такі категорії ризиків: прямий і непрямий; економічний, соціальний і екологічний.

Крім того, необхідно розрізняти ризики:

а) за площею охоплення - об`єктний, локальний і регіональний;

б) за характером прояву ЕГП - дискретний і неперервний;

в) за повнотою врахування - власний (від однієї генетичної небезпеки) і сумарний (від декількох генетичних небезпек).

Ризик, як і небезпека, величина, що змінюється в часі. У зв`язку з цим, слід розрізняти фоновий (усереднений) ризик і ризик реальний.

Оскільки екзогенні геологічні процеси - найбільш розповсюджена група природних і техноприродних процесів в Україні із максимальною кількістю катастрофічних проявів та високим ступенем ризику процесонебезпечних територій, розробка наукових і методичних основ розрахунку ризику процесонебезпечних територій є одним із пріоритетних завдань для нашої держави.

6.4.2.Науково-методологічні основи оцінки екологічних ризиків

Науково-методологічні основи оцінки екологічних ризиків, пов'язаних з геологічним середовищем, які у стислому вигляді викладені нижче, сформульовані О.Л.Рагозіним [41] та розвинуті і деталізовані С.В.Гошовським, Г.І. Рудьком і Б.М.Преснером [14].

Геологічне середовище є основним індикатором ймовірності виникнення та розвитку відповідного окремого небезпечного техноприродного процесу або парагенезису цих процесів за рахунок техногенного впливу на елементи геологічного середовища.

При розгляді основних чинників, що характеризують динаміку геологічного середовища, необхідно звернути увагу як на його природний стан (природний геоенергетичний потенціал), так і техногенно обумовлений стан (техногенно обумовлений геоенергетичний потенціал).

Небезпечний природний стан визначає сукупність частково реалізованих властивостей і діючих процесів, які вже наносять або при найменшому поштовху, що виводить систему з рівноваги, почнуть наносити збитки. Прикладами такого стану є, з одного боку, більшість процесів у стадії відкритого розвитку (зсув, що рухається, льодовик, діючий вулкан тощо), а з другого - нестійкі напіввідокремлені масиви порід на схилах, накопичення уламкового матеріалу в руслах пересохлих селеносних водотоків, великі масиви швидко танучого снігу на водозборах тощо. Небезпека виникнення і реалізації подібних ситуацій має також відображатися у відповідних методах оцінки ризику.

Залежно від поставлених для розв`язання задач і особливостей джерела та об`єкта небезпеки, показниками ризику можуть виступати ймовірність (повторюваність) негативної події, можливі збитки або комбінована (інтегральна) характеристика збитків і повторюваності. При цьому як негативні розглядаються тільки ті події, що пов`язані з певними втратами (відмовами) об`єкта небезпеки. Їх ймовірність завжди пропорційна і лише в рідкісних випадках дорівнює ймовірності небезпечних дій.

Для територій розвитку небезпечних природних і техногенно-природних процесів (НПТП) простішим видом відмови є будь-який випадок виведення з ладу окремих площ у результаті пошкодження зсувами, селями, абразією та іншими процесами.

Візьмемо за об`єкт небезпеки освоєну частину території таксону площею S_0, при загальній його площі S_t. У межах таксону періодично виникає небезпека (Н), що характеризує площу S_H. Геометрична ймовірність того, що небезпека виникне в освоєній частині таксону дорівнює S_H / S_t, а ймовірність пошкодження будь-якої точки цієї частини S_H / S_0 . Тоді ймовірність одночасної реалізації в просторі подій, що розглядаються,

$$P(S_t S_0) = S_0 S_H (S_t S_0)^{-1} = S_H (S_t)^{-1} \qquad (6.1)$$

Отримана таким чином ймовірність визначає частку можливих втрат об`єкта у випадку реалізації небезпеки. Як видно з виразу (6.1), вона не залежить від площі об`єкта пошкодження, тобто є універсальним показником його реакції на небезпеку. Назвемо цю ймовірність ступенем ураженості території при дії певної небезпеки (Н) або просто ураженістю і позначимо $V_m(H)$. Тоді матеріальні втрати, представлені у вигляді площі, пошкодженої при одиничному проявленні небезпеки, можуть бути визначені як

$$D_m(H) = V_m(H) S_0 = S_H \, S_0 \, (S_t)^{-1} \qquad (6.2)$$

Зміст останнього виразу полягає в наступному. Небезпека у випадку її виникнення в таксоні зачіпає освоєну територію ймовірністю (S_0 / S_t) і при цьому кожний раз пошкоджує площу S_H.

Звідси ризик пошкодження (порушення, виведення з ладу) одиниці площі в межах освоєної частини території S_0 в часі і просторі, небезпека (Н) і повний інтегральний ризик втрат розраховується при цій події відповідно за формулами:

$$R_{sm}(H) = P^x (H) \, V_m(H), \qquad (6.3)$$

$$R_m(H) = P^x (H) \, D_m(H) = R_{sm} \, S_0 \, , \qquad (6.4)$$

де P^x (Н) - повторюваність небезпеки (Н), що чисельно дорівнює її статичній ймовірності.

Формула (3) характеризує матеріальний ризик питомих втрат з одиниці площі як об`єкта, так і всього таксону за одиницю часу, що можна умовно виразити, наприклад, через розмірність га/га-рік, км^2/км^2-рік тощо. Назвемо такий ризик питомим ризиком ураженості території, маючи на увазі необхідність уточнення в кожному випадку, у чому

конкретно полягають наслідки ураження. Питомий ризик пошкодження є досить перспективним показником для картографування і порівняльної оцінки ризику від небезпечних природних та техноприродних процесів (НПТП), які призводять до втрат земельних угідь, особливо при відсутності достовірної інформиації про розміщення і вартість окремих земель.

Повне значення ризику пошкодження, отримане за формулою (6.4), визначає умовну швидкість втрат земель у межах освоєної частини теориторії таксону. Значення збитків і ризику для території всього таксону (якщо він взятий за об`єкт небезпеки) можуть бути отримані за тими ж формулами (6.2, 6.4) після заміни S_0 на S_t :

$$Rm(H) = Vn\ P(Vn)\ P(L)\ Lt; \qquad (6.5)$$

$$CRsm(H) = Rm(H) / S_0 \qquad (6.6)$$

де Vn - лінійна швидкість розвитку процесу; P(Vn) - ймовірність реалізації цієї швидкості; P(L) = Vm(H) = Ln / Lt - геометрична ймовірність лінійного пошкодження (ураження) території при довжині межі розвитку процесу Ln і загальної її довжини - Lt; S_0 - площа території, що оцінюється.

Ризик пошкодження території є основою для визначення інших типів ризику від НПТП, а саме, економічного ризику руйнування земель із розміщеними в їх межах об`єктами господарства. Для цього використовують вираз:

$$R_e(H) = R_m(H)\ d_e\ , \qquad (6.7)$$

де d_e - щільність національного багатства (грн/га, грн/км^2 тощо).

Замінимо в останній формулі d_e на d_p. У результаті отримаємо новий показник соціального ризику ураження населення, який раніше не використовувався для аналізу ризику від НПТП. Він визначає в найзагальнішому вигляді можливість опинитися в зоні катастрофічного розвитку одного або декількох процесів протягом певного часу і, відповідно, понести моральні, матеріальні і фізичні збитки. Даний тип ризику може в перспективі стати одним з основних показників для попередньої оцінки безпеки великих територій, коли, як правило, відсутня достовірна інформація для втрати і ступеня захищеності населення від окремих небезпек.

При картографуванні соціального та інших подібних типів ризику доцільно використовувати їх питомі показники, які безпосередньо характеризують можливі збитки. У розглянутому випадку питомим показником і критерієм для ранжування територій є індивідуальний ризик ураження населення, який визначає ймовірність опинитися в числі

потерпілих для однієї людини з групи ризикуючих в зоні можливого пошкодження. Такий ризик встановлюється за формулою:

$$R_i(H) = R_m(H)\, d_p\, P(I) = R_s(H)\, P(I). \qquad (6.8)$$

де dp - щільність проживання населення; P(I) = 1/m - ймовірність ураження однієї людини з групи, яка опинилася в зоні аварії; m - чисельність цієї групи; $R_s(H)$ - повний соціальний ризик ураження населення.

Розглянуті вище методи аналізу й оцінки соціального ризику від НПТП можуть успішно використовуватися як для оцінки абіотичних природних і техногенно-природних екологічних ризиків (табл. 6.6), так й ризику пошкодження окремих видів рослинного і тваринного світу.

Таблиця 6.6.

Абіотичні природні та техноприродні небезпеки і ризики [14]

Рівень і ознака виділення	Класифікаційне угрупування ризику	
1. Генезис	Природний	Техноприродний
2. Середовище розвитку	Геологічний, гідрологічний, метеорологічний, космічний	Інженерно-геологічний, інженерно-гідрологічний, інженерно-метеорологічний
3. Механізм	Сейсмічний, зсувний, селевий, лавинний, абразійний, карстовий, цунамі, повеней, ураганів тощо	Переробка берегів водосховищ, підтоплення територій, наведеної сейсмічності, техногенних зсувів, селів тощо
4. Масштаб	Локальний, регіональний (підтипи: обласний, районний, економічних зон), суперрегіональний (підтипи: державний, міждержавний, глобальний)	
5. Характер впливу	Одномоментний (підтипи: одноразовий, багаторазовий), перманентний (підтипи: відносно постійний, кумулятивний (збільшується), екстенсивний (зменшується))	
6. Повнота обліку	Власний (від однієї небезпеки), сумарний (від декількох небезпек)	
7. Форма прояву	7.1. Точковий, об`єктний, територіальний 7.2. Прямий, непрямий, повний	
8. Сфери фіксації	Соціальний (підтипи: повний та індивідуальний першого і другого роду), речовинний, економічний, екологічний	
9. Форма вираження	Випадковий, вартісний, комбінований (зведений)	
10. Ступінь попередження	Попереджений, частково попереджений, не попереджений (залишковий)	
11. Індивідуальний ризик, люд/рік	Малий ($<2{,}7.10^{-7}$); невеликий ($2{,}7...3{,}3)10^{-7}$), середній ($(3{,}3)10^{-7}...10^{-6}$), великий ($10^{-6}...10^{-5}$); дуже великий (10^{-5} ..10^{-4}); винятково великий ($>10^{-4}$)	

12. Економічний ризик	Малий (<2); невеликий (2...10); середній (10...20); великий (20...100); дуже великий (100...200); винятково великий (>200) (тис.грн./(га.рік)

Більш детальна оцінка ризику в різних сферах пов`язана з додатковим урахуванням ураженості окремих об`єктів господарств, населення і біоценозів при дії НПТП певної інтенсивності і руйнівної сили. Основна формула для уточненої оцінки економічного ризику руйнування або пошкодження однотипних об`єктів від небезпеки (Н) має такий вигляд:

$$Re(H) = P^x (H)\ Vm(H)\ Ve(H)\ De, \qquad (6.9)$$

де Ve(H) = n1/n - ступінь ураженості (ймовірність втрат) об`єктів при події Н; n1 - кількість або вартість відновлення зруйнованих об`єктів; n - загальна їх кількість або вартість; De - загальна вартість об`єктів із певним ступенем пошкоджень у зоні ураження.

Використання формули (6.9) передбачає роздільну оцінку ризиків руйнування та пошкодження об`єктів. Загальний економічний ризик визначається як багаточленна сума цих ризиків для всіх типів будівель, споруд, одиничних об`єктів і земельних угідь у зоні пошкодження процесом. Аналогічну операцію необхідно проводити при оцінці соціального ризику в результаті різниці в ураженості населення в зруйнованих і пошкоджених об`єктах, а також на відкритій місцевості.

Соціальний ризик від певної небезпеки переважно встановлюється до ймовірності загибелі населення. Хоча можливий більш загальний варіант із встановлення ризику від небезпеки, тобто отримання поранення або втрати особистого майна.

У всіх випадках оцінка соціального й індивідуального ризику загибелі або поранення пов`язана з послідовним встановленням ймовірності ураження і руйнування різних об`єктів, а також перебування певних груп людей в їх межах у момент розвитку небезпеки (фактора зайнятості). У прийнятій термінології остання ймовірність є, по суті, ступенем ураженості населення в часі. Вона встановлюється для типових (із групи) або конкретного індивіду за виразом:

$$V^t_s = t_d\ t_y\ (24 \times 365)^{-1}, \qquad (6.10)$$

де t_d і t_y - тривалість перебування групи людей або особи в межах уражених об`єктів протягом дня і року відповідно. Звідси соціальний ризик загибелі або поранення населення від певної небезпеки (Н) можна знайти за формулою:

$$Rs(H) = P^x (H)\ Vm(H)\ V^t_s(H)\ V^s_s(H)\ Dp, \qquad (6.11)$$

де $V^t_s(H)$ = P1/P - ступінь ураженості населення в межах об`єктів із певною силою руйнування; P1 - кількість людей, що загинули або отримали поранення в межах цих об`єктів; P - загальна кількість людей, що знаходилася в них; Dp - загальна кількість населення в певній зоні (підзоні) ураження.

Перехід від встановлених за формулами (6.9), (6.11) економічних і соціальних ризиків до питомих та індивідуальних значень використовується за допомогою рівнянь (6.6) з (6.8), які використовуються для приблизної оцінки ризиків ураження (табл. 6.7).

Таблиця 6.7.

Основні типи і математичні моделі природного і техногенного ризику (за Рагозіним О.Л. [41])

Ризик		Формула оцінки ризику	Основна одиниця
Матеріальний	Ураження (руйнування, виведення із землекористування) території - повний. Ураження території - питомий	$Rm(H)=P^x(H)\ Dm(H)=Rsm\ S_0$, $Rsm(H)=P^x(H)\ Vm(H)$ $CRsm(H)=Rm(H)/S_0$	га/рік км^2/рік випадків/рік (га/га рік, км^2/км^2 рік)
Економічний	Руйнування територій з об`єктами господарства - повний орієнтовний Руйнування (пошкодження) об`єкта - повний уточнений Руйнування об`єкта - питомий	$Re(H)=Rm(H)\ d_e$ $Re(H)=P^x(H)\ Vm(H)\ Ve(H)\ De$ $CRsm(H)=Rm(H)/So$	грн./рік грн./(га/рік), грн./(км^2/рік)
Соціальний і екологічний	Ураження населення - повний Те саме – індивідуальний Загибель або поранення населення - повний Те саме – індивідуальний	$Re(H)=Rm(H)\ d_e$ $Ri(H)=Rm(H)\ d_p\ P(I)=Rs(H)\ P(I)$ $Rs(H)=P^x(H)\ Vm(H)\ Ve(H)\ x$ $x\ V^t_s(H)\ Dp$ $Ri(H)=Rm(H)\ dp\ P(I)=Rs(H)\ P(I)$	особа/ рік особа/ рік

Усі наведені математичні моделі ризику розроблені для оцінки елементарних негативних ефектів від небезпек певної інтенсивності, що пошкоджують однорідні об`єкти. Сума ризиків елементарних подій для

всіх можливих випадків прояву певної небезпеки, які відрізняються за повторюваністю (швидкістю), інтенсивністю і можливими наслідками, виражає повний окремий ризик від цієї небезпеки як у межах одного, так і всіх об`єктів ураження. Сума окремих ризиків від усіх генетичних типів небезпек, що діють на об`єкт, визначає сумарний ризик прямих втрат у речовинній (матеріальній), економічній, соціальній або екологічній сферах.

Оцінка природних і техноприродних ризиків повинна передбачати аналіз усіх первинних і, по можливості, вторинних наслідків НПТП. При цьому повний сумарний ризик від окремої небезпеки Н може бути визначений таким чином:

$$Rt(H) = Rs\ (P|TCSNH) + Re\ (CS|TNH) + Rec\ (E|TCSNH), \quad (6.12)$$

де Rs, Re, Rec - відповідно соціальний, економічний і екологічний ризик, а індекси в дужках - синергетичні ланцюгові події-втрати (до вертикальної лінії) і дії (наведені після риски в подальшому їх виникненні справа наліво), пов`язані з ураженням первинної (Н) вторинними природними і техноприродними (Н) небезпеками, з руйнуваннями, пошкодженнями (виведенням із ладу) територій (S) і будівельних конструкцій (С), з пожежами, вибухами, викидами і розливанням токсичних речовин та іншими вторинними техногенними небезпеками (Т), із загибеллю і пораненнями населення (Р), а також певних представників тваринного і рослинного світу (Е).

Такий сумарний ризик може бути визначений лише у випадку вираження всіх результатів оцінки в одних економічних показниках. Це - важка задача морального плану. Тому в наш час виправданою є практика роздільної оцінки соціальних, економічних і екологічних ризиків, із наступним комплексним аналізом отриманих результатів і прийняттям управлінських рішень щодо зменшення втрат.

Наведені теоретичні положення дозволяють встановити оптимальну схему аналізу, оцінки і керування ризиком НПТП, що містить такі основні операції, як:

- виявлення і прогноз місця і часу утворення основних НПТП, у тому числі їх типів, інтенсивності, ймовірності, площ можливого ураження;
- районування уражених площ; оцінка ураженості об`єктів господарства і населення при дії НПТП різної інтенсивності;
- прогноз розвитку вторинних небезпек природного і техногенного походження;
- оцінка і картографування окремих і сумарних ризиків від усіх можливих проявів первинних і вторинних небезпек;

- прийняття управлінських рішень із попередження, зменшення і відвертання природних і техногенних небезпек у зонах максимального недопустимого ризику.

Забезпечення захисту населення й об`єктів господарства від небезпечних природних і природно-техногенних процесів є однією з основних функцій будь-якої держави. До недавнього часу практична діяльність із реалізації цієї функції базувалася в більшості країн світу на концепції "абсолютної надійності" будинків, споруд, виробництв і технологічних процесів, що виходила з недопущення катастрофічних втрат за встановлений строк.

У наш час є досить вагомі аргументи для прийняття за основу будівельної та інших видів діяльності концепції "допустимого ризику" замість концепції "абсолютної надійності" будинків, споруд, виробництв і технологічних процесів [14]. Остання в основному на практиці не реалізується через величезні матеріальні витрати.

Наведене вище стосується так званих *фактичних (прямих) ризиків*, які за основу переважно мають імовірність виникнення і подальшого розвитку небезпечних еколого-геологічних явищ або процесів. Проте досить перспективним може бути й інший підхід, якій базується на понятті *стійкості системи* до зовнішніх впливів і потенційно дозволяє визначити *потенційний (непрямий) ризик*, тобто такий ризик, який на даний час ще не знайшов свого фактичного прояву.

Згідно з визначенням М.Д.Гродзинського та П.Г.Щищенка [34], *стійкість геосистеми* полягає в її спроможності в разі впливу зовнішнього чинника перебувати в одному зі своїх станів і повертатися в нього завдяки інертності, а також переходити з одного стану в інший внаслідок пластичності, не виходячи "за рамки інваріанта в течію заданого інтервалу часу". За звичай розглядають *три загальні форми стійкості* – інертність, відновлюваність та пластичність. *Інертність* визначається як здатність геосистеми за дії на неї зовнішнього фактора зберігати свій стан у межах заданої області протягом всього заданого інтервалу часу. *Відновлюваність* – здатність геосистеми повертатися до початковій області станів після виходу з неї. *Пластичність* – наявність у геосистеми декількох областей станів, знаходячись у яких вона має здатність до інертності та (або) відновлюваності та її здатність за дії зовнішнього фактора переходити з однієї такої області до інших, зберігаючи за рахунок цього свої інваріантні ознаки протягом заданого інтервалу часу. Здатність геосистеми залишатися в заданій області станів, а у разі виходу з неї повертатися у цю область протягом часу Δt можна назвати *локальною стій-*

кістю. Явище виходу геосистеми з області нормальних або допустимих станів було запропоновано називати *відмовою геосистеми.*

Відомо, що стійкість будь-якої системи до зовнішніх впливів та її реакція на впливи залежить від того, як такі впливи змінюють існуючий енергетичний стан системи. Отже, стійкість системи характеризується розподілом в ній енергії. За умов тривалих сталих зовнішніх впливів система поступово адаптується до них і досягає стану енергетичної рівноваги. Зміна величини або поява нового фактору впливу на систему призводять до того, що система або залишається у попередньому енергетичному стані (якщо не перевищуються межі її стійкості), або переходить у новий енергетичний стан (якщо такі межі перевищуються). Перехід до нового енергетичного стану займає певний час, після чого система знову повертається до стійкого енергетичного стану, але вже на іншому рівні. В такому разі ризик втрати системою стійкості (ризик зміни енергетичного стану системи), або *непрямий ризик* можна визначити як імовірність переходу системи до нового енергетичного стану внаслідок зміни величини або появи нового фактору впливу на систему.

Саме з таких позицій О.Є.Кошляковим запропоновано визначати ризик втрати стійкості гідродинамічною системою ґрунтових вод. Зовнішні фактори впливу (перед усім, техногенні) порушують її енергетичний стан, внаслідок чого існуюча природна стійка система змінюється (іноді досить суттєво), що при перевищенні меж стійкості призводить до її руйнації (точніше, до початку процесу тривалого формування нового стійкого енергетичного стану системи). Практичним наслідком цього може бути виникнення та розвиток негативних з екологічної точки зору процесів, пов'язаних з ґрунтовими водами (наприклад, процесу підтоплення). Вивчаючи існуючий енергетичний стан конкретної гідродинамічної системи ґрунтових вод та прогнозуючи його зміни (зокрема, за допомогою математичного моделювання), можна оцінити таку систему з точки зору екологічної безпеки з врахуванням ризику при змінах її енергетичного стану.

Енергетичний стан системи підземних вод характеризується розподілом в ній гідродинамічних напорів. Стосовно гідродинамічної системи ґрунтових вод це є розподіл рівнів ґрунтових вод у просторі і часі. Отже, розподіл рівнів ґрунтових вод конкретної гідродинамічної системи може слугуватимуть показником, який потенційно дозволяє оцінити її з позицій прихованого ризику. Розподіл рівнів ґрунтових вод за звичай представляється у вигляді карт гідроізогіпс, які будуються для певних періодів часу за допомогою одного з методів інтерполяції між точками з фактично відомими (або розрахованими на основі математичних детермінованих моделей) величинами рівнів ґрунтових вод. Проте безпосередньо такий вигляд представлення не дає можливості здійснити згадану оцінку. Тому

є доцільним застосування порівняльного аналізу отриманих для різних періодів часу (у тому числі і прогнозних періодів) гістограм розподілу рівнів ґрунтових вод. Вихідними даними для побудови гістограм (формування вибірок) слугуватимуть або рівні ґрунтових вод, що безпосередньо фіксуються в точках спостережень, або результати математичного детермінованого моделювання, або дані існуючих карт гідроізогіпс. Суттєвість зміни стану конкретної гідродинамічної системи ґрунтових вод під впливом зовнішніх факторів може бути встановлена шляхом порівняння вибірок гідродинамічного напору (рівнів ґрунтових вод) для різних періодів часу за допомогою статистичних непараметричних критеріїв (наприклад, критеріїв Колмогорова-Смірнова або Уілкоксона). Довірча імовірність, яка застосовується при такому порівнянні, може слугуватимуть мірою ризику.

6.5. Економічна оцінка екологічних збитків

Проблема економічної оцінки екологічних збитків, пов'язаних з техногенним впливом на літосферу і використанням ресурсів геологічного середовища на даний час в Україні досить актуальна. Це обумовлено значними масштабами техногенно-порушених територій, високою вартістю проведення їх екологічної реабілітації та обмеженими фінансовими можливостями держави. Мінімізація можливих екологічних, економічних і соціальних збитків на територіях має вирішальне значення при плануванні в їх межах будь-якої діяльності, їх екологічної реабілітації. чи прийняті адміністративних рішень. Методологічної основою такого планування має бути оцінка ризиків (складовою яких і є збитки, про що йшла мова вище) та аналіз вигод/витрат (benefit–cost).

Базою для геолого-економічної оцінки екологічних збитків від використання надр мають бути наступні основні критерії:

- втрати майна, промислових, сільськогосподарських, військових і житлових об'єктів;
- унеможливлення (внаслідок негативних змін геологічного середовища) проведення на території господарської діяльності, яка була можлива до використання надр, чи зниження її ефективності;
- втрати природних ресурсів території як у кількісному, так й у якісному виразі;
- погіршення здоров'я та умов життєдіяльності населення;
- незворотні негативні зміни екосистем та скорочення біорізноманіття території.

На жаль методологічна основа геолого-економічних оцінок екологічних збитків при використанні надр розроблена ще недостатньо. Таки оцінки, якщо вони з'являються, дуже часто не враховують негативних змін всіх складових навколишнього природного середовища і всього набору вищезгаданих критеріїв.

В останні роки увага до економічної оцінки екологічних збитків зросла у зв'язку із посиленням ринкових важелів впливу при управлінні народним господарством та намаганням органів державної влади оперувати більш коректними показниками заподіяної шкоди внаслідок порушення природоохоронного законодавства та надзвичайних екологічних ситуацій і катастроф.

Екологічні збитки та їх типізація. Під екологічними збитком розуміють будь-яку шкоду навколишньому природному середовищу з втратою його ресурсів чи якості внаслідок антропогенного впливу чи дії небезпечних для людини і екосистем природних процесів. Вартість цієї шкоди можна оцінити у коштах, що має назву „економічна оцінка екологічних збитків". У цьому випадку під екологічними збитками розуміється вартісна форма шкоди, пов'язаної із деструктивними змінами навколишнього природного середовища. За часом дії збитки поділяються на поточні та прогнозні. Крім того, збитки диференціюються на потенційні, можливі, відвернені. Відшкодування збитку здійснюється відповідно до чинного законодавства юридичними та фізичними особами, які винні у нанесенні шкоди об'єктам навколишнього природного середовища. Але у випадку прояву стихійних природних явищ чи масштабних надзвичайних екологічних ситуацій і техногенних катастроф у великих розмірах витрачаються кошти державного бюджету.

Визначення заподіяних збитків в Україні здійснюють центральні органи виконавчої влади, обласні адміністрації із залученням фахівців-експертів із наукових установ. Дослідження з визначення розмірів збитків переважно спираються на чинну нормативно-методичну систему.

В основу економічної оцінки загального екологічного збитку від забруднення територій покладені питомі збитки, які наносяться при визначеному рівні забруднення умовної розрахункової одиниці (1 тис. чоловік населення, об'єктам житлово-комунального господарства, необхідним для проживання 1 тис. чоловік; 1 га забруднених сільськогосподарських та лісових угідь, 1 млн. грн. основних фондів промисловості, транспорту, зв'язку, розташованих у забрудненій зоні) [56]. До факторів впливу у цьому випадку відносяться: концентрація шкідливих речовин у навколишньому природному середовищі, токсичність забруднювачів, кількість інгредієнтів тощо.

Екологічний збиток можна визначити за деталізованими елементами впливу та укрупнено – за сферами впливу. Деталізований розрахунок

базується на даних об'єкта-аналога, фактичних статистичних матеріалах, експертних оцінках. При укрупненому розрахунку визначають три групи сфер впливу (атмосфера, вода, земля). На даний час по цих сферах впливу існують державні та галузеві оцінки питомого впливу [52].

Зарубіжний досвід визначення екологічних збитків. Міжнародний досвід економічної оцінки екологічних збитків має певну історію та здобутки. В багатьох країнах у ході розробки стратегії екологічної політики була проведена велика робота по визначенню рівня витрат, необхідних для відновлення якості довкілля. Але при цьому виникли значні практичні та методологічні труднощі. Тому у західних розвинених країнах в основу проведення політики охорони довкілля та її фінансування був покладений не критерій вартості відновлення екологічного балансу, а принцип нормативного якісного стану довкілля, досягнення якого забезпечується або системою норм і стандартів на гранично допустимі рівні та склад забруднень, викиди у повітря і скиди у водне середовище, шумів, і т.д., або системою оподатковування підприємств, які порушують встановлені правила природокористування, або поєднанням цих двох методів. [11].

За наявності загальних рис і тенденцій у формуванні концепції екологічної політики, державного управління та економічного механізму регулювання природокористуванням у розвинутих країнах існують відмітні особливості у кожній окремій країні при вирішенні екологічних проблем.

Так, в Японії законодавство та управління в галузі збереження та покращення стану навколишнього природного середовища орієнтовані на розробку в першу чергу стандартів здоров'я, доповнених обмеженнями викидів для окремих галузей промисловості. Особливістю екологічної політики Японії є широке використання системи компенсацій за збитки від забруднення довкілля, які виплачуються потерпілим промисловими фірмами-забруднювачами. У фінансуванні заходів з охорони екологічної рівноваги у Японії значна роль належить приватним фірмам, які вносять близько 50 % коштів на охорону природи від забруднення довкілля.

Екологічна політика Великобританії виходить насамперед із якісних характеристик об'єктів довкілля. Всі викиди підприємства обов'язково оцінюються в широкому діапазоні впливу на довкілля в цілому. Забруднення довкілля в екологічній політиці Великобританії розглядається як один із багатьох компонентів комплексного аналізу змін факторів екології у соціально-економічному розвитку. Вплив господарчої діяльності на екологічну рівновагу оцінюється в залежності від об'ємів викидів, дисперсійних властивостей забруднюючих речовин, даної якості довкілля, видів використання очисного обладнання. У Великобританії визнано, що необхідна оцінка довкілля до початку проектування якогось будівництва,

а пізніше повинен бути періодичний контроль за станом довкілля. В екологічному плануванні та управлінні Великобританії початковий варіант екологічної експертизи порівнюється з іншими варіантами оцінок, що дозволяє більш оптимально визначити параметри антропогенної дії. Це дозволяє уникнути раз і назавжди зробленого висновку, характерного для екологічної експертизи в США.

Екологічна політика Швеції орієнтована на розробку екологічно чистих виробничо-технологічних процесів та обладнання, які сприяють запобіганню та знешкодженню антропогенних забруднень атмосфери, вод, ґрунтів та інших природних об'єктів. [58].

Крім того, в країнах Організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР), до яких входять США, Великобританія, Японія, Франція, Канада, Австралія та ін. при розрахунку економічного збитку від забруднення довкілля основна увага приділяється оцінці збитків від забруднення атмосфери. (При визначенні збитків від забруднення води спеціалісти в країнах ОЕСР вважають, що основна шкода полягає у втраті водою рекреаційної цінності. Шкода, яка наноситься промисловості, незначна). Звичайно вона розглядається як сума збитків здоров'ю людей, матеріалам, рослинності та нерухомості (property damage). В основі розрахунків, як правило, лежить порівняння аналогічних характеристик у забруднених і "чистих" районах. Наприклад, шкода здоров'ю людей визначається наступним чином: виділяються основні види захворювань, пов'язані із забрудненням повітря; розраховується загальний збиток від того чи іншого захворювання (збільшення затрат на медичне обслуговування та затрат, пов'язаних з передчасною смертністю); із загального збитку методами кореляційно-регресивного аналізу виділяється частка збитку, пов'язана безпосередньо із забрудненням повітря.

Для розрахунку збитку матеріалам оцінюється збільшення затрат на виробництво продукції, стійкої до забруднень, і збільшення затрат на більш ранні, у порівнянні зі звичайним терміном служби, відшкодування зіпсованих матеріалів.

При розрахунку збитків рослинності береться до уваги різниця в урожайності культур в "чистих" і забруднених районах.

Оцінка збитків нерухомості дозволяє відображати загальне погіршення повітря, тому в загальному випадку її неправомірно сумувати з іншими оцінками локальних збитків. Її значення може бути отримано шляхом встановлення залежності між зменшенням ринкової вартості помешкань і фізичними, хімічними та економічними параметрами, якими описуються об'єкти у різних районах чи в одному й тому ж районі до і після моменту зміни умов довкілля [57].

Виходячи із зарубіжного досвіду, де при оцінці збитків використовується метод "від прибутку", який є досить ефективним при формуванні

місцевої та центральної природоохоронної політики і який спонукає витрачати кошти на подальші дослідження та практичні кроки з охорони природи, а також сприяє перерозподілу коштів від місць отримання прибутку до підтримання забезпечення формування цього прибутку надалі, в Україні зайва бюрократизація цих процесів не дозволяє вважати аналогічний досвід ефективним [52].

Методологічне забезпечення визначення екологічних збитків в Україні. Дослідження та оцінка вартісних показників впливу антропогенної діяльності на навколишнє природне середовище в Україні розпочались у 1969 році. В той час у м. Суми були започатковані дослідження з оцінки економічних збитків від забруднення атмосфери підприємствами металургійного виробництва. Протягом 1990-х років ці дослідження практично не проводилися і поновились тільки у 2003 році, коли була виконана робота з економічної оцінки екологічних втрат від виробництва національного продукту. Були сформовані наукові основи визначення екологічних втрат виробництва національного доходу в Україні та зроблена оцінка відповідних показників (включаючи питомі чинники на одиницю економічного результату) [35].

Стосовно визначення екологічних збитків від наслідків надзвичайних ситуацій, Міністерством надзвичайних ситуацій України 1997 року був започаткований дослідницький проект із вартісного визначення розмірів збитків від наслідків надзвичайних екологічних ситуацій. У результаті реалізації цього проекту була створена і у 2003 р. затверджена урядом “Методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій техногенного й природного характеру”.

Однією з головних проблем при визначенні пріоритетних природоохоронних заходів в Україні є відсутність коректних методик по визначенню шкоди, завданої довкіллю. Аналіз методик по визначенню збитків від забруднення довкілля показав, що розміри збитків по відношенню до вартості реабілітаційних заходів є дуже заниженими. Особливо заниженими є розміри збитків, розраховані за вітчизняними методиками, в яких використовуються показники мінімальної заробітної плати та неоподаткованого мінімуму доходів громадян.

На даний час чинними методиками по визначенню збитків, завданих довкіллю є:

- *"Методика розрахунку розмірів відшкодування збитків,* заподіяних державі внаслідок порушення законодавства про охорону та раціональне використання *водних ресурсів"* (1995 р.);

- *"Методика розрахунку відшкодування збитків*, заподіяних державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в *атмосферне повітря"* (1995 р.);

- "*Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням* земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства", затверджена наказом Мінекобезпеки України від 27 жовтня 1997 р. № 171, а також

- "*Порядок встановлення нормативів збору за забруднення* навколишнього природного середовища і стягнення цього збору", (затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 1 березня 1999 р. №303).

Кожна методика має свої недоліки і позитивні сторони. Але розміри збитків, які розраховуються за ними, виявляються заниженими, в першу чергу через те, що базовим показником для розрахунків є мінімальна заробітна плата. Цей недолік успадковує і затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 15 лютого 2002 р. № 175 "*Тимчасова методика оцінки збитків від наслідків надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру*".

Для визначення розмірів шкоди, пов'язаної із забрудненням земель, найбільш доцільним є застосування *Методики визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного законодавства*, затвердженої Мінекобезпеки в 1997 р. Вона виходить з грошової оцінки земельної ділянки до забруднення, і введенням до неї системи коефіцієнтів, пов'язаних із ступенем забруднення, складом відповідних речовин та ін.

Цікаві методичні дослідження і розрахунки по визначенню розмірів збитків від використання надр з метою планування реабілітаційних заходів при закритті нерентабельних вугільних шахт проведені у Раді по вивченню продуктивних сил України НАН України [49]. В їх основу покладені розроблені ще 20 років тому "*Временная типовая методика* определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды" (1983 г.) та "*Методические рекомендации* по экономической оценке ущерба народному хозяйству, вызываемого отрицательным воздействием предприятий угольной промышленности на геологическую среду" (1986 г.) з внесенням до них певних коректив. Фактологічною основою досліджень стали матеріали ОВНСів ("Оцінка впливу на навколишнє природне середовище"), що розроблялись в рамках складання проектів ліквідації нерентабельних шахт. В зазначених документах наводиться комплексна оцінка впливів на довкілля, зокрема, вилучення земель, забруднення повітря териконами, забруднення водойм та ґрунтів шкідливими речовинами. Об'єми викидів забруднюючих речовин оцінені до, в період і після ліквідації шахти.

На даний час в Україні відсутня методика визначення екологічних збитків від підтоплення внаслідок закриття шахт, хоча її методологічна

основа зрозуміла. Наприклад, для випадку підтоплення житлової забудову припустимо, що на території підтоплення в 1га розташовано 10 будинків площею 60 $м^2$ кожний. Вартість 1 $м^2$ житлової площі складає 300 грн. Збитки через втрати цієї забудови і необхідність створення адекватної становитимуть близько 180 тис. грн./га. У міській місцевості збитки мабуть можуть бути набагато вищими.

На даний час, у зв'язку з відсутністю загальнодержавних нормативних документів, використовується галузевий нормативний документ "*Порядок возмещения ущерба*, связанного с негативными последствиями ликвидации угольных шахт". Але в даному документі не розглядаються питання визначення збитків, спричинених підтопленням земель, сільськогосподарських угідь тощо.

Питання методичного забезпечення оцінки збитків від підтоплення, в тому числі і у гірничопромислових регіонах, є досить актуальним. Його вирішення має базуватись, звичайно, на всьому комплексі інформації (щодо площі підтоплення та її конфігурації, складу і властивостей ґрунту на підтопленій території, її освоєння – забудова, сільськогосподарські угіддя, тип будівель та споруд, матеріал, який застосовувався для побудови). В той же час назріли питання розробки пофакторних нормативних показників, системи коефіцієнтів (що враховують конкретну специфіку об'єктів), показників питомих втрат тощо, що забезпечать оперативне передпроектне реагування і вибір найбільш пріоритетних і маловитратних заходів. [49].

За попередніми розрахунками, на основі модифікованих методичних підходів до оцінки розміру витрат і вигод шляхом введення процедури дисконтування, були визначені найбільш ефективні і маловитратні природоохоронно-реабілітаційні заходи для кількох вуглевидобувних шахт. На даний час до таких заходів відносяться: гасіння териконів та проведення заходів по захисту території від підтоплення. Такі дослідження необхідно проводити по кожному гірничодобувному підприємству і включати їх до складу розділів ОВНС проекту його роботи чи закриття.

Отже, питання методичного забезпечення оцінки збитків у гірничопромислових регіонах, в тому числі збитків від підтоплення, є досить актуальним. При визначенні розмірів екологічних збитків необхідно враховувати фактор часу, застосовуючи процедуру дисконтування; відмовитись від використання у розрахунках застарілих нормативів типу "неоподаткованого мінімуму доходів громадян" та ін. В той же час назріли питання розробки пофакторних нормативних показників, системи коефіцієнтів (що враховують конкретну специфіку об'єктів), показників питомих втрат тощо.

Необхідно також враховувати міжнародний досвід оцінювання збитків від екодеструктивної діяльності, що спирається на детальні експертні дослідження та прив'язку до сегментів ринку, найбільш вразливих до чинників небезпеки та заподіяної шкоди.

Література

1. Адаменко О.М., Рудько Г.И. Основы экологической геологии. – К., 1995.
2. Андрієвський І.Д. Економічні важелі ощадливого використання мінеральних ресурсів // Стратегічна панорама, 2004, № 2. – с.88-95.
3. Ананьев В.П., Коробкин В.И. Инженерная геология. – М.: Высшая школа, 1973. – 300 с.
4. 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.
5. Болт Б. Землетрясения: Общедоступный очерк. – М.: Мир, 1981. – 256 с.
6. Брэдшоу М. Дж. Современная геология. – Л.: Недра, 1977. – 279с.
7. Буравльов Є.П., Дрозд І.П., Коваль Г.М. Класифікація і управління техногенними ризиками / Екологія і ресурси: Зб. наук. праць. Укр. Ін-т дослідж. навколиш. середовища і ресурсів. К.: УІНСіР РНБОУ, 2003. – Вип.. 7, с.17-25.
8. Вахромеев Г.С. Экологическая геофизика. – Иркутск: Изд–во ИрГТУ, 1995. – 216 с.
9. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. – М., 1989. – 192 с.
10. Вижва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К.: ВГЛ „Обрії", 2004. – 236 с.
11. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды. Одобрена постановлением Госплана СССР, Госстроя СССР и Президиума Академии наук СССР от 21 октября 1983 г. № 254/284/134. – Москва. – 1983. – 96 с.
12. Голуб А.А., Струкова Е.Б. Экономика природных ресурсов. – М.: Аспект Пресс. 1998. – 319 с.
13. Горин Л.Н., Никаноров А.М., Пелешенко В.И. Региональная гидрохимия. – К.: Вища школа, 1989. – 280 с.
14. 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.
15. Довгій С.О., Павлишин В.І. Екологічна мінералогія України. – К.: Наукова думка, 2003. – 150 с.

16. Долін В.В. Самоочищення наземних екосистем Українського полісся від радіаційного забруднення. – Автореф. докт. дисертації, Київ, 2004. – 37 с.
17. Дудкін О.В., Єна А.В., Коржнев М.М. та ін. Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіття України. – Київ: Вид. „Хімджест”, 2003. – 400 с.
18. Желібо Є.П., Заверуха Н.М., Зацарний В.В. Безпека життєдіяльності. – К.: Каравела, 2004. – 328 с.
19. Екологія і ресурси: Зб. наук. праць. Укр.. Ін-т дослідж. навколиш. середовища і ресурсів. К.: УІНСіР РНБОУ, 2003. – Вип.. 7, с.17-25.
20. Іщук О.О., Коржнев М.М., Кошляков О.Є. Просторовий аналіз та моделювання у ГІС. Навчальний посібник за редакцією академіка Д.М.Гродзинського. - ВПЦ „Київський Університет. Київ, 2003. – 240 с.
21. Качинський А.Б. Екологічна безпека України : системний аналіз перспектив покращення /. – К. : НІСД, 2001. – 312 с.
22. Коржнев М.М., Міщенко В.С., Шестопалов В.М., Яковлєв Є.О. Концептуальні основи поліпшення стану довкілля гірничовидобувних регіонів України. – Київ: РВПС України. – 2000. – 75 с.
23. 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.
24. Коржнев М.М., Шестопалов В.М., Яковлєв Є.О. Організація моніторингу при екологічній реабілітації гірничодобувних регіонів України // Вісник КНУ ім. Т.Шевченка, серія „Геологія”, вип.26, 2003. - с. 50-52.
25. Коржнев М.М., Кошляков О.Є., Яковлєв Є.О. та ін. Використання ГІС і ДЗЗ при моделюванні надзвичайних екологічних ситуацій, пов`язаних з геологічним середовищем // Вісник КНУ ім. Т.Шевченка, серія „Геологія”, вип.26, 2003. - с. 52-55.
26. Коржнев М.М. Еколого-економічні проблеми розвитку мінерально-сировинного комплексу України // Геолог України, № 2, 2003, с. 19-23.
27. Коржнев М.М. Сучасні еколого-економічні проблеми розвитку України у зв’язку з асиміляційним потенціалом її геологічного середовища // Наукові записки КНУ ім. Т.Шевченка, т. III. – К: КПВД „Педагогіка” 2004. – с. 129-138.
28. Коржнев М.М., Андрієвський І.Д., Бичок В.Д. Еколого-економічні аспекти моніторингу мінерально-сировинних ресурсів України // Вісник КНУ ім. Т.Шевченка, серія „Геологія”, вип. 29-30, 2004. - с. 24-28.
29. Коржнев М.М. Природно-ресурсні основи розвитку суспільства. Підручник. - ВПЦ „Київський Університет”, Київ, 2004. – 173 с.

30. Кошляков О.Є. Гідрогеологічне моделювання : Підручник – К.: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет, 2003. – 79 с.
31. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.
32. Лукашев К.И. Очерки по геохимии гипергенеза. Минск: Изд-во АН БССР, 1963. - 448 с.
33. Малахов І.М. Техногенез у геологічному середовищі. – Кривий Ріг: ОКТАНТ-ПРИНТ, 2003. – 252 с.
34. Методи геоекологічних досліджень: Навчальний посібник / За ред. М.Д.Гродзинського та П.Г.Щищенка. – К.: ВЦ “Київський університет”, 1999. – 243 с.
35. Методи оцінки екологічних втрат: Монографія / За ред. д.е.н. Л.Г.Мельника та к.е.н. О.І.Карінцевої. – Суми: ВТД “Університетська книга”, 2004. – 288 с.
36. Мищенко В.С. Минерально-сырьевой комплекс Украинской ССР. – К.: Наукова думка, 1987. – 232 с.
37. Наумов Г. Ноосфера в прошлом и будущем // Наука и жизнь. -2004. - №9. – С.92-97.
38. Осипов В.И. Природные катастрофы на рубеже XXI века // Геоэкология. Инженерная геология. Геокринология. – 2001. - №6. – С. 483-488.
39. Перельман А.И., Касимов Б.С. Геохимия ландшафта. Учебное пособие. М.: Астрея-2000, 1999. –768 с.
40. Питулько В.М., Крицук. И.Н. Основы интерпретации данных поисковой геохимии. – Л.: Недра, 1990. – 336 с.
41. 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.
42. Рудько Г.И., Адаменко О.М. Екологічний моніторинг геологічного середовища. – Львів: ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2001. – 260 с.
43. Рудько Г.І. Техногенна екологічна безпека геологічного середовища. – Львів: ВЦ ЛНУ ім. І.Франка, 2001. – 359 с.
44. Серпухов В.И., Билибина Т.В., Шалимов А.И. и др. Курс общей геологии. – Л.: Недра, 1976. – 535 с.
45. Соботович Е.В., Бондаренко Г.М., Кононенко Л.В. Геохимия техногенных радионуклидов. – К.: Наукова думка, 2002. – 332 с.
46. Соловов А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., 1985
47. Солодилов Л.Н. Мониторинг геодинамической обстановки и прогноз опасности землетрясений на контролируемой территории // Тези IV

Міжнародної конференції „Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища”. – К.: ВГЛ „Обрії”, 2003. – С. 15-16.
48. Стан природної та техногенної безпеки в Україні в 2001 р. – К.: Чорнобильінтерінформ, 2002. – 250 с.
49. Сухіна О.М. Методологічні підходи до визначення екологічних збитків від підтоплення // Нагальні питання вирішення проблеми підтоплення ґрунтовими водами територій міст та селищ міського типу: Матеріали Другої науково-практичної конференції 28-31 жовтня 2003 р., м. Харків. - К.: Товариство “Знання” України, 2003. – С. 19 – 20.
50. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. Учебник. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 415 с.
51. Трофимов В.Т. и др. Теория и методология экологической геологии / Под ред. В.Т.Трофимова. – М.: Изд-во МГУ, 1997. - 368с.
52. Хлобистов Є.В. Екологічна безпека трансформаційної економіки / РВПС України НАН України /. – К.: Агентство “Чорнобильінтерінформ”, 2004. – 336 с.
53. Чирва Ю.О., Баб'як О.С. Безпека життєдіяльності. – К.: Атіка, 2001. – 304 с.
54. 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.
55. Шнюков Е.Ф., Шестопалов В.М. Яковлев Е.А. и др. Экологическая геология Украины. Справочное пособие. – К: Наукова думка, 1993. – 407 с.
56. Экология и экономика: Справ. / О.Ф.Балацкий, П.Г.Вакулюк, В.М.Власенко и др.; Под общ. ред. К.М.Сытника. – К.: Политиздат Украины, 1986. – 308 с.
57. Экономические проблемы рационального природопользования и охраны окружающей среды. / Под ред. акад. Т.С.Хачатурова. М., Изд-во Моск. Ун-та, 1982, 198 с.
58. Экономика природопользования /Под ред. акад. Т.С.Хачатурова. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 271 с.
59. Якушова А.Ф., Хаин В.Е., Славин В.И. Общая геология. – М.: Изд-во МГУ, 1988. - 448 с.
60. Яхонтова Л. К., Зверева В. П. Основы минералогии гипергенеза: Учеб. пособие. Владивосток: Дальнаука, 2000. - 331с.
61. White W.M.. Geochemistry. – Washington: Mineral. Soc. Am., 2001. – 700 p.

Навчальне видання

Коржнев Михайло Миколайович
Вижва Сергій Андрійович
Кошляков Олексій Євгенович
Гожик Андрій Петрович
Корнєєнко Сергій Віталійович
Байсарович Ірина Михайлівна
Аксьом Олексій Сергійович
Сухіна Олена Миколаївна

ЕКОЛОГІЧНА ГЕОЛОГІЯ

Підручник
за редакцією доктора геол.-мін. наук М.М.Коржнева

Літературний редактор .....
Комп'ютерна верстка .....

Оригінал-макет виготовлено Видавничо-поліграфічним центром
„Київський університет

Підписано до друку ..... Формат 60х84. Вид. №..... Гарнітура ..... Папір офсетний.
Друк офсетний. Наклад .... Ум. друк. арк. .... Зам. № ..