

ТЕМА 1. ЗАГАЛЬНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ЕКОСИСТЕМ

1.1. Природні системи. Становлення концепції геосистеми

Під природною системою розуміють певну множину елементів природного походження, наявні зв'язки між якими зумовлюють прояв природи в таких якостях і реалізацію нею таких функцій, які без взаємодії елементів були б неможливими.

Природні системи дуже різноманітні. Серед них є такі, що містять елементи з усіх компонентів природного середовища, а саме: маси земної кори, атмосфери, поверхневих та ґрунтових вод, ґрунту, рослинного, тваринного світів і мікроорганізмів. До цього класу природних систем, які можна назвати *полігеокомпонентними*, належать геосистеми, екосистеми й біогеоценози. Їх вивчають такі науки, як сучасне ландшафтознавство, екологія та біогеоценологія.

На планетарному рівні *полігеокомпонентні системи* - це предмет загального землезнавства (науки про географічну оболонку) та глобальної екології (науки про біосферу).

Історично склалися два основні наукові підходи до пізнання таких систем - ландшафтний та екологічний. Результатом їх синтезу і став ландшафтно-екологічний підхід.

Для ландшафтного підходу до дослідження природної реальності характерне уявлення простору як сукупності територіальних одиниць, у межах яких компоненти природного середовища (геокомпоненти) протягом тривалого розвитку пристосувались один до одного, тісно взаємопов'язані і являють собою єдине ціле. Як ціле реагують вони і на зовнішні впливи, зокрема антропогенні. Такі територіальні одиниці в класичному ландшафтознавстві називаються природними територіальними комплексами (ПТК), а за термінологією школи В. Б. Сочави - геосистемами.

З 60-х років у природничих науках, у тому числі й екології, великої популярності набув системний підхід. Предмети своїх досліджень (ПТК та

екосистеми) географи та екологи почали трактувати як системи, знаходити їх системні властивості й описувати в термінах системного підходу. Щоб підкреслити системний характер предмета досліджень ПТК, В. Б. Сочава в 1963 р. запропонував термін „геосистема". Він вважав, що геосистема - це „особливий клас керованих систем, земний простір усіх розмірностей, де окремі компоненти природи перебувають у системному зв'язку один з одним і як певна цілісність взаємодіють з космічною сферою та людським суспільством" (В. Б. Сочава, 1978).

Хоч дефініцію геосистеми цей учений сформулював надто загально, з його праць чітко визначаються ключові позиції концепції геосистеми, яку розвивали його численні послідовники. Основні положення цієї концепції:

- геосистема - матеріальний об'єкт; її складають природні елементи, а антропогенні та людина розглядаються як зовнішнє середовище;
- геосистемою вважається як елементарна ландшафтна одиниця (*фація*), так і геосфера в цілому;
- геосистема виділяється як об'єм простору, в межах якого геокомпоненти мають специфічний характер усіх типів зв'язків;
- є тільки один об'єктивний варіант поділу простору на геосистеми;
- геосистема — категорія динамічна і проявляється за деякий проміжок часу.

Д. Л. Арманд (1975) надавав геосистемам функціонального значення і розумів під ними процеси, які пов'язують між собою окремі регіони або геокомпоненти. Як геосистеми він розглядав атмосферну циркуляцію, колообіг води, органічної речовини тощо. Геосистеми Арманд належать до систем «процес - відгук» та керованих. Конструктивною рисою його концепції є принцип виділення геосистем за певним процесом.

З кінця 70-х років дедалі більшого поширення набуває трактування геосистеми не як матеріального об'єкта, а як його моделі, абстрагованого відображення, уможливної конструкції. Таке розуміння геосистеми поділяють німецькі геоєкологи, Арманд і багато інших.

Ландшафтна екологія як природнича наука розглядає лише природні геосистеми. Виходячи з домінантного та виправданого з методологічної точки зору трактування геосистеми як загального поняття, можна подати таке її широке визначення:

Геосистема — клас полігеокомпонентних природних систем, що виділяються з реального тривимірного фізичного простору як його певний об'єм (реальний чи уявний), у межах якого протягом деякого інтервалу часу природні елементи й процеси завдяки наявному між ними та з зовнішнім середовищем відношенню певного типу (генетико-еволюційному, позиційному, речовинно-потоківому та ін.) упорядковуються у відповідні з цим відношенням структури з характерними інваріантними ознаками та динамічними змінами. Згодом під терміном «геосистема» почали розуміти будь-яку територіальну систему як природного, Мета та завдання навчальної дисципліни

Планування збалансованого природокористування, яке сьогодні набуває особливо важливого значення, повинно базуватися на системному та басейновому підходах. При будь-яких втручаннях людини у природних хід процесів необхідно враховувати навіть віддалені наслідки. Важливого значення при цьому набуває оцінка та управління екологічним станом геосистем. Дисципліна "Антропогенне навантаження на геосистеми" вивчає геосистеми у природному та антропічному аспектах. Особлива увага приділяється соціально-економічним функціям геосистем, їх природному потенціалу та аналізу факторів антропогенного впливу на геосистеми.

Вивчення дисципліни "Антропогенне навантаження на екосистеми" студентами дає наступні компетенції:

знати: поняття екосистем; загальні властивості закономірності еволюції екосистем; закономірності міграції хімічних елементів природного та антропогенного походження в екосистемах; параметри та показники антропогенного впливу на екосистеми; соціальні функції та природний потенціал екосистем; методики оцінки екологічного стану екосистем;

басейновий підхід щодо оптимізації екосистем; форми стійкості екосистем; процеси самоочищення в екосистемах; ландшафтне - екологічні принципи оптимізації екосистем;

вміти: встановлювати основні джерела антропогенного впливу в межах екосистеми; застосовувати на практиці методики оцінки екологічного стану екосистем, стійкості ландшафтно - територіальної структури, небезпеки прояву деградаційних процесів в екосистемах; використовувати ландшафтно - екологічні принципи оптимізації екосистем; здійснити управління екологічним станом басейну малої річки з розробкою комплексу природоохоронних заходів; запропонувати комплекс інженерних заходів для покращення якості поверхневих вод, так і соціального походження. Геосистеми можуть бути неоднакових типів, і виділяти їх можна за різними принципами (за різними системотвірними відношеннями). З таким трактуванням геосистеми згідні Д. Л. Арманд, В. О. Боков, В. С. Преображенський, О. Ю. Ретеюм та інші географи; схиляється до такої думки також І. Крхо, поділяючи геосистеми на природні та соціальні.

1.2. Загальні властивості геосистем

До основних загальних властивостей геосистем належать: територіальність - просторовість, поліструктурність, складність, цілісність, відкритість, динамічність, стійкість, стохастичність.

Територіальність-просторовість - це особливість геосистем, яка відрізняє їх від багатьох систем інших класів, зокрема екосистем. Із зовнішнього середовища геосистеми виділяються як певні ділянки території. Кожну геосистему можна описати метричними показниками (площею, лінійними розмірами) і топологічними (характеризують її розташування щодо інших геосистем або об'єктів іншої природи). Територіальність геосистем дає змогу ефективно використовувати картографічні методи при їх виділенні, зображенні та аналізі.

Фактично геосистеми виділяються не стільки як територіальні (двовимірні), скільки як просторові системи. Проте просторовість властива

багатьом класам систем і взагалі не потребує залежності характеристик системи від розміщення та розмірів території. Структурні, динамічні та інші особливості геосистеми дуже залежать від того, яку саме ділянку земної поверхні (території) вона займає. Тому цю її властивість доцільно називати *територіальністю-просторовістю*.

До геосистем належать природні системи лише певного просторового інтервалу. Лінійні розміри геосистем найменших рангів - кілька метрів, а географічної оболонки, якщо її вважати за геосистему, $10^7 - 10^8$ м по горизонталі та $10^3 - 10^4$ м по вертикалі.

Розмір геосистеми визначає особливості факторів її формування та динаміки, багато інших особливостей, а також методи дослідження. На цій підставі розроблено концепцію просторової розмірності геосистем (Haase, 1973). Згідно з нею, різні ранги геосистем можна узагальнити до 6 класів розмірностей:

1. субтопічний (просторовий масштаб $10^0 - 10^1$ м²);
2. топічний ($10^2 - 10^4$ м²);
3. хоричний ($10^4 - 10^8$ м²);
4. регіональний $10^7 - 10^{12}$ м²);
5. субглобальний ($10^{10} - 10^{14}$ м²);
6. глобальний ($10^{14} - 10^{16}$ м²).

Поліструктурність. Під структурою системи здебільшого розуміють характер поєднання її елементів відношеннями певного типу. Оскільки в тій самій системі можуть бути відношення різних типів, то й поєднання ними елементів також: буде неоднаковим, тобто в одній системі може бути кілька різних структур. Такі системи називаються поліструктурними.

Поліструктурними є, наприклад, суспільні системи. В них виділяють статево-вікову, професійну, етнічну та інші структури, які не збігаються. Ці відношення визначають спосіб поділу системи на її елементи (декомпозицію системи), їх склад та поєднання у підсистеми. Визначення типу відношень, які вважаються структуроформувальними, тобто відносно яких виділяється

структура геосистеми, залежить від аспекту аналізу останньої.

Найзагальнішими аспектами аналізу геосистем є:

- вертикальний (синонім - топічний), де елементами виступають різні фізичні тіла геокомпонентів з відношеннями - вертикальні потоки різних речовин та енергії, генетико-еволюційні та інші;

- територіальний (синонім - хоричний), елементами якого є геосистеми нижчого рангу, досліджуються горизонтальні потоки речовини й енергії між ними, позиційні залежності, генетико-еволюційні та ін.

- часовий (синонім - динамічний), елементи якого поділяють як окремі інтервали часу, а відношення - як послідовність їх змін.

Відповідно поділяються вертикальний, територіальний та часовий класи структур геосистеми.

Аналізуючи вертикальну структуру геосистеми, вважають, що вона однорідна територіальне, але по вертикалі розкладається на різномірні частини (рослинність - ґрунт - гірські породи тощо або різні яруси рослинності - горизонти ґрунту - верстви гірських порід тощо), які пов'язані між собою певними відношеннями. Структури подібного типу називають вертикальними, хоч ця назва не зовсім точно передає їх суть. Під складовими вертикальних структур мають на увазі не так різні за своїм висотним положенням шари геосистеми, як деякі її частини, специфічні в ній за функцією, фізико-хімічними та іншими характеристиками. Такі різні частини можуть займати в геосистемі спільний «висотний поверх» (як, наприклад, трав'янисті рослини та наземні тварини), а деякі - пронизувати весь її вертикальний розріз (гази, волога). Тому термін «вертикальна структура геосистеми» слід вважати дещо умовним.

Аналізуючи вертикальну структуру геосистеми, будь-яку з її складових розглядають як територіальне однорідну, тобто припускають, що її характеристики на певній площі залишаються незмінними (з математичного погляду це просторово зосереджені параметри). Увага акцентується на тому, що зміна значень цих параметрів визначається взаємодією між елементами

вертикального розрізу геосистеми. Насправді ж припущення щодо несуттєвості внутрішньотериторіальних відмінностей може бути справедливим хіба що для геосистеми елементарного рівня - геотопу (фації).

Кожен із загальних аспектів аналізу геосистем реалізується у більш конкретних формах. Наприклад, у рамках територіального аспекту досліджуються такі різні типи відношень, як зв'язок геосистем потоками води, міграцією тварин, їх позиційні, генетико- еволюційні зв'язки і таке інше. Відповідно до цих типів відношень виділяють різні типи територіальних структур геосистеми.

Основні типи структур геосистем за М.Д. Гродзинським, П.Г. Шищенко

Структура геосистем			
Просторові		Часові	
Вертикальні (топічні):	Горизонтальні (хоричні):	Процесні	Зміна станів
Геокомпонентна	Генетико- морфологічна	Гідроморфізації	Добової динаміки
Речовинно-фазова (геомасова)	Позиційно- динамічна	Галоморфізації	Внутрішньорічної (сезонної) динаміки
Просторово-об'ємна (геогоризонтна)	Парагенетична	Інших процесів	Багаторічної (сукцесійної) динаміки
	Басейнова ландшафтна		
	Біоцентрична сітьова		

Складність. Складними вважаються системи, сформовані багатьма елементами різних типів, між якими є різноманітні зв'язки. Ознакою складності системи вважають також неоднозначність її реакції на зовнішні впливи.

Усі ці ознаки притаманні геосистемам. Наприклад, елементи їх вертикальних структур різні за фазовим станом, хімічним складом, наявністю та формою органічного життя, функцією, розміщенням у геосистемі, тощо. Зв'язки між ними також різноманітні й проявляються у таких процесах, як

потоки речовин та енергії, у трофічних, конкурентних та інших відношеннях. Аналогічні властивості й у територіальних та часових структур геосистем.

Складність геосистем зумовлює специфічні підходи до їх аналізу. Річ у тому, що в оцінюванні деяких інтегральних та безпосередньо не вимірюваних показників складної системи постає значна похибка через взаємодію між багатьма різнотипними елементами, навіть за умови точного визначення кожної з їх багатьох характеристик. До таких показників належать, наприклад, ступінь ефективності, стійкість, прогностні оцінки та ін. Л. Заде назвав це принципом несумісності, тобто неможливості поєднати значну складність системи з високою точністю її опису. Досить точно можна описати лише її окремі елементи і зв'язки, але не всю систему як цілість.

***Цілісність** — властивість системи, яка проявляється в тому, що вилучення з неї певного компонента призводить до її кардинальної перебудови або взагалі загибелі, а сам цей компонент окремо від системи або не може існувати, або якісно змінюється.*

Геосистемам притаманна риса цілісності. Наприклад, позбавлення геосистем ґрунту призводить до їх трансформації в цілому: вони не можуть мати рослинності, фактично зникає трофічна структура, формуються специфічні режими - водний, радіаційний, геохімічний та інші. Такої ж радикальної трансформації зазнає територіальна структура геосистеми. Скажімо, через вилучення з неї елементів локальної ерозійної мережі (геосистем лощин, ярів, балок) постає інтенсивне заболочення вододілів, зміна гідрологічного і ландшафтно-геохімічного режимів геосистеми в цілому. У цьому плані цілісність геосистеми значно нижча, ніж у біосистеми (наприклад, окремого організму), яка після технічного вилучення її певних елементів розпадається (гине або псується). У геосистемах може й не бути деяких геокомпонентів (ґрунтів, рослин), однак системні зв'язки між тими, що є, все одно зберігатимуться.

Яскравим виявом цілісності системи може слугувати її емерджентність (синонім - холістичність), тобто наявність таких властивостей, якостей та

функцій, котрих не має жоден із її елементів і котрі можуть виникнути тільки за умови взаємодії цих елементів, але аж ніяк не від самого лише механічного змішування. Як приклад таких холістичних виявів геосистеми можна навести продукційний процес (адже продукування біомаси - це результат складної взаємодії всіх геокомпонентів), колообіги різних субстанцій, здатність геосистеми до самоочищення.

Відкритість. Відкритими є системи, у яких частина елементів має зв'язки з елементами, що не належать до структури цих систем.

З елементів останнього типу складається зовнішнє середовище геосистеми, а зв'язки, які йдуть від них до системи, називають вхідними, входами, зовнішніми сигналами. Крім вхідних, є й вихідні зовнішні зв'язки (виходи, відгуки). Системи, в яких є лише вхідні зовнішні зв'язки і майже немає вихідних, називаються напівзакритими. Закриті ж - це системи без зовнішніх зв'язків, тобто незалежні від зовнішнього середовища. Геосистеми не можна вважати закритими, бо такі вхідні потоки, як надходження сонячної радіації, атмосферні опади тощо, - неодмінна умова їх існування. Проте як напівзакриті можна розглядати деякі типи геосистем, наприклад, акумулятивного геохімічного режиму. Горизонтальними потоками води, вітру, речовини, біотичними міграціями одні геосистеми пов'язані з іншими. Геосистеми відкриті й перед антропогенними навантаженнями.

Зв'язок геосистем із зовнішнім середовищем такий тісний, що їх доволі непросто виділити із зовнішнього середовища. З цією особливістю пов'язана, зокрема, складність визначення вертикальних і горизонтальних меж геосистеми.

Динамічність. Динамічними називаються системи, значення характеристик яких змінюються в часі.

У різні проміжки часу геосистема може перебувати в неоднакових станах, тому її повний опис передбачає виявлення цих станів та послідовності їх змін. Таким чином, геосистеми виділяються не тільки в просторі, але й у часі. З просторово-територіальної точки зору геосистему

виділяють як певний територіальне локалізований об'єм, а з часової - як певний інтервал часу, протягом якого геосистема проявляє свої головні особливості.

Важливою особливістю динаміки геосистем є те, що різні їх характеристики змінюються в часі з різною частотою. Метеорологічні показники дуже мінливі, тоді як властивості геологічної основи геосистеми змінюються дуже повільно. Тому, як і у випадку просторового аналізу геосистеми, запропоновано класифікацію часових розмірностей геосистеми. Прийнято розрізняти добову, сезонну (річну) та багаторічну динаміку. (В. Б. Сочава, 1978; Н. Л. Беручашвілі, 1985; та ін.). Зміни геосистем досліджуються в інтервалі від кількох хвилин до кількох десятків тисяч років, тобто в діапазоні 10^2 - 10^{12} с (В. О. Боков, 1983).

Стійкість геосистем проявляється в багатьох формах і дає їй змогу протидіяти зовнішнім впливам, зокрема антропогенним, вберігати при взаємодії з зовнішнім середовищем свою цілісність та інші риси. Нестійкі в даних умовах геосистеми змінюються на стійкіші.

У процесі еволюції шляхом пристосування геокомпонентів та геосистем, що контактують одна з одною, формуються їх стійкі ландшафтно-екологічні взаємовідносини й структури. В умовах інтенсивного втручання людської діяльності в природу ця рівновага часто порушується. Розвиток деградаційних процесів у геосистемах (вимирання видів, ерозія та засолення ґрунтів, забруднення тощо) - це не що інше, як результатом втрати ними стійкості до антропогенних навантажень. Тому оцінювання стійкості геосистеми до зовнішніх факторів є однією з найважливіших прикладних проблем екології.

Стохастичність. *Стохастичними називаються системи, залежність між характеристиками яких та їх зв'язки із зовнішнім середовищем не жорстко детерміновані (функціональні), а статистичні, імовірнісні.*

Цю властивість систем викликає, перш за все, опосередкованість взаємодій між елементами геосистем: елемент А діє на В, В - на С і т. д. Такі

ланцюги зв'язків у геосистемі можуть бути дуже довгими. А чим довший ланцюг, тим менш тісними, менш однозначними стають зв'язки між кінцевими елементами. На геосистему діє багато зовнішніх факторів суто стохастичної, імовірнісної природи (наприклад, випадання опадів), і це зумовлює імовірнісний характер її динаміки та еволюції.

Стохастичність геосистем проявляється у статистичному (корелятивному) характері зв'язків між її окремими ознаками (наприклад, між продуктивністю та вмістом гумусу, сумою опадів тощо), у браку жорсткої прив'язаності одного типу геокомпонента до іншого (наприклад, певного виду рослинного угруповання до лише одного певного виду ґрунту), в неоднозначності змін геосистем за певних антропогенних навантажень, в імовірнісному характері динаміки, зокрема прогнозованої, тощо. Усе це береться до уваги в дослідженні геосистем методами теорії ймовірності та математичної статистики.

Кожен із цих типів відношень визначає відповідний підхід до виділення вертикальних структур геосистеми (її структуризації). Ці підходи різняться принципом, покладеним в основу виділення структурних частин геосистеми (її елементів, компонентів і такого іншого). Можна розрізняти принаймні три загальні підходи до структуризації геосистеми й відповідно три типи її вертикальних структур:

- **геокомпонентний** - поділ вертикального розрізу геосистеми за компонентами природи і далі за їх генетичне однорідними частинами;

- **речовинно-фазовий** - структурні частини виділяються як тіла, однорідні за фазовим станом, фізико-хімічними та іншими властивостями речовини;

- **просторово-об'ємний** — вертикальний профіль геосистеми поділяється на певні однорідні шари, точніше - об'єми.

1.3. Класифікація геосистем

Найважливішою працею з питань розробки класифікації в ландшафтознавстві слід визнати працю Д. Л. Арманда (1964), в якій він

звернув увагу на невідповідність наявних класифікацій правилам логіки, подав ці правила та впорядкував термінологію. Надалі, обґрунтовуючи таксономічні схеми класифікації ПТК, ландшафтознавці опиралися переважно на ці правила (В. О. Ніколаєв, 1979; Є. Парисек, 1982 та ін.).

З кінця 70-х років у класифікації ПТК почали активно застосовувати математичні методи. Важливі праці в цьому плані виконали географи Казанського університету (А. М. Трофимов) та Польщі (З. Хойницький, Т. Чиж).

У циклі екологічних наук проблемі класифікації найбільшу увагу приділяє фітоценологія. У її рамках розроблено суттєво різні підходи до класифікації рослинних угруповань (фізіономічні, домінантні, флористичні, екологічні класифікації), широко застосовуються математичні методи (Д. Гудол, 1953; Б. М. Міркін, Г. С. Розенберг, 1978 та ін.). Деякі з цих підходів застосовуються і поза фітоценологією, зокрема в ґрунтознавстві (О. Г. Чертов, 1981). Цілком можливо, що вони можуть стати основою нових підходів до класифікації геосистем топічного та хоричного рівнів

Логічні правила і критерії природності класифікацій. Класифікація геосистем полягає в їх упорядкуванні в супідрядну, здебільшого ієрархічну, систему таксонів, кожен із яких виділяється як група геосистем, однакових за певним критерієм (основою ділення). Класифікацію можна виконати дедуктивне (поділити всю множину геосистем на таксони меншого об'єму) та індуктивне (об'єднати індивідуальні геосистеми у більші таксони). На практиці часто обидва ці способи комбінують.

Результат класифікації залежить від логічних правил, за якими геосистеми упорядковуються в групи (таксони). Традиційні класифікації ґрунтуються на трьох правилах логіки (правилах поділу понять):

- об'єм членів класифікації має дорівнювати об'єму поняття, що класифікується;

- один член класифікації може належати тільки до одного таксона певного рівня (тобто жодна з геосистем не може належати водночас до двох різних груп);

- кожний таксон визначається за однією основою поділу (за одним критерієм).

До цих обов'язкових правил як бажане додають четверте: у класифікації небажано пропускати логічні ступені.

У класифікації складних об'єктів, як-от гео-, екосистеми, рослинні угруповання, майже неможливо втулити реальну різноманітність природних систем у жорсткі рамки схеми, невідступне додержуючи доволі суворих умов, яким має відповідати природна класифікація. Є три такі умови:

- об'єктивність - ознака того, що критерії виділення таксонів сформульовано так, щоб різні дослідники, застосувавши ці критерії, одержали один і той самий результат;

- надійність - можливість визначення класифікаційної належності геосистеми, якщо немає деякої частини ознак, які її характеризують;

- прогностична сила - можливість за класифікаційною схемою передбачити геосистеми, які можуть бути в певному регіоні.

Обґрунтована класифікація має відповідати цим умовам, однак не лише до них зводиться весь зміст поняття природності класифікаційних побудов. Геоботаніки В. Д. Александрова (1966) та В. І. Василевич (1965) вважають, що досягти природності класифікації можна за умови, коли врахувати максимально можливе число ознак рослинних угруповань. Проте ця перспектива для геосистем навряд чи досяжна, оскільки вони описуються надто великою кількістю характеристик, перебувають між собою в різних відношеннях, а врахувати все це в рамках однієї класифікації практично неможливо.

Зважаючи на це, Д. Л. Арманд (1974) ствердив, що класифікацію геосистем доцільно розробляти лише для певної мети дослідження, бо інакше неминуче постає невизначеність і штучність.

Базові та прикладні класифікації. Для геосистем характерна багатовимірність, тому різні їх класифікації слід будувати відповідно до мети дослідження. Чим вужча, конкретніша ця мета, тим природнішою буде класифікація. Однак це не виключає класифікації геосистем, не зорієнтованої на якесь певне завдання. Таку класифікацію геосистем А. Г. Ісаченко (1980) називає базовою, на відміну від прикладних - призначених для вирішення конкретної практичної або наукової задачі. Базова класифікація може бути тільки одна, а прикладних багато. Але можлива ієрархія базових класифікацій. Відповідно до певного, досить широкого набору завдань, можна створити свою базову класифікацію (для агроландшафтних потреб взагалі, меліоративних, містобудівних тощо). На основі базових класифікацій можна створити прикладні - для вирішення конкретних наукових або практичних завдань.

Скажімо, на основі базової агроекологічної класифікації, яку створено для вирішення комплексу завдань, пов'язаних з ландшафтно-екологічним обґрунтуванням сільського господарства, розробляють відповідні класифікації - наприклад, для обґрунтування контурно-меліоративного землевпорядкування, для добору культур та структури сівозміни, для обґрунтування агротехнічних заходів, зокрема норм внесення добрив тощо.

1.4. Загальні закономірності еволюції та розвитку геосистем

Загальними закономірностями ландшафтно-еволюції є її універсальні риси, властиві всім еволюційним змінам геосистем будь-яких типів і рангів. У біології, яка має багаті традиції еволюційного аналізу, встановлено 25 загальних рис еволюції біосистем різного рівня організації (М. Г. Агеєв, 1985). Еволюційні зміни ще докладно не досліджені, й поки що можна визначити п'ять їх загальних закономірностей.

Прогресивність - умова, за якої еволюційні зміни спрямовані на формування нових геосистем, а не на повторення тих, що вже були, і збереження наявних.

Прогресивність еволюції геосистем не слід ототожнювати з їх більшою досконалістю. Це лише супутня риса процесу формування нового, яке взагалі з певної точки зору може бути менш досконалим. Скажімо, якщо за критерій досконалості прийняти продуктивність геосистем, то найбільш „прогресивними" виявляться ті, що існували в карбоні, коли продукування біомаси було набагато більшим, ніж тепер.

Незворотність - умова, за якої геосистеми, що існували раніше, не можуть повторитися в ході еволюції.

Якщо є такі повторення, то це свідчить про сукцесійний, але не еволюційний характер змін. Такий принцип відомий під назвою закону Л. Долло. Автор у 1912 р. ствердив: „Організм ніколи не повертається точно до свого минулого стану, навіть у тому разі, якщо опинився в умовах існування, тотожних тим, через які він вже пройшов". Це твердження цілком справедливе і для геосистем.

Поступовість — умова, за якої зміни геосистем мають еволюційний характер і здійснюються не раптово, стрибкоподібно, а плавна, через ряд ступенів (етапів).

Таким чином, поступовість еволюції передбачає також етапність - властивість історії розчленовуватися на окремі самостійні відрізки часу.

Довготривалість - умова, за якої еволюція формування нових геосистем займає значний проміжок часу.

За М. Ф. Векличем (1990), він становить щонайменше 500 - 600 років, а згідно з панівним у ландшафтознавстві та екології уявленням (В. Б. Сочава, 1978; В. О. Ніколаєв, 1979; Р. Уіттекер, 1980; Е. Піанка, 1981), для геосистем хоричного та регіонального рівнів цей проміжок триває здебільшого кілька тисяч років. Раптова кардинальна перебудова структури геосистеми внаслідок стихійних процесів (зсуви, виверження вулканів тощо) - це не складова еволюції геосистем, її розглядають як катастрофічну.

Спадкоємність - умова, за якої кожний новий етап еволюції геосистеми нерозривно пов'язаний з попереднім.

При еволюційних змінах новоутворена геосистема не є чимось абсолютно новим. До складу її як вертикальних, так і територіальних структур входять деякі елементи, що фактично не змінилися в еволюції. У вертикальній структурі ними можуть бути реліктові горизонти ґрунту, види рослин, поховані шари гірських порід тощо. У територіальній структурі геосистем трапляються геотопи, що збереглися майже незмінними від минулих еволюційних етапів. Загалом у ландшафтній еволюції старе й нове взаємодіють між собою, і з них утворюється цілісний сплав - нова геосистема.

1.5. Природні й антропічні аспекти розвитку геосистем

1.5.1. Генетико-еволюційні відношення

Аналіз генетико-еволюційних відношень між складовими вертикальної структури геосистеми має на меті визначити закономірності поєднання геокомпонентів один з одним. Він зводиться до вирішення двох основних груп питань. Перше - виявити закономірності формування даного поєднання геокомпонентів і характер зв'язків між ними. Друге - оцінити ступінь генетичної залежності між геокомпонентами та їх елементами.

Загальну схему формування вертикальної структури геосистеми можна представити таким чином. Утворення починається з „нуль-моменту” - появи наземного твердого абіотичного субстрату. Цим моментом може бути вихід території з-під рівня моря, вивільнення її з-під льодовика, перекриття поверхні вулканічною лавою тощо. Геологічні породи, що вийшли на поверхню, ґрунтові води та приземний шар атмосфери вступають у взаємодію між собою, яка виражається у вивітрюванні гірських порід та зміні морфології рельєфу. Такі геосистеми мають примітивну вертикальну структуру, у якій немає біотичних компонентів. Проте вже на абіотичній стадії розвитку геосистеми до неї з атмосфери та з поверхневими водами надходять мікроорганізми, життєдіяльність яких спричиняє формування та поступове збільшення вмісту органічної речовини у верхньому шарі гірських порід. Внаслідок цього стає можливим поява лишайників, мохів, а згодом і

вищих рослин, їх спори та насіння заносяться до геосистеми фактично з «нуль-моменту», але на позбавленому органіки субстраті вони не можуть проростати. Популяційна структура первинних рослинних угруповань примітивна і цілком визначається фізико-хімічними особливостями субстрату, а також видовим складом рослинності прилеглих геосистем. Конкурентні й інші біотичні відношення між популяціями та їх окремими особинами виражені слабо.

З моменту виникнення фітоценозу геосистема вступає у біотичну стадію розвитку. Для неї характерні інтенсифікація гумусоутворення, заселення тваринами та формування зооценозу, більша швидкість сукцесійних змін ґрунту, рослинності й мікробоценозів, стабілізація рельєфоформувальних процесів.

На абіотичній стадії розвитку зміни компонентів та їх зв'язок детерміновані та односторонні. На біотичній стадії відношення між геокомпонентами значно ускладнюються і набувають більшої стохастичності. Формується мережа зворотних міжкомпонентних зв'язків, тобто переважно односторонні зв'язки змінюються двосторонніми. Наприклад, розвиток ґрунту починає залежати не тільки від властивостей гірських порід, атмосфери і ґрунтових вод, а й від популяційного складу та продуктивності рослинних угруповань. У свою чергу, зміни ґрунту зумовлюють і зміни рослинності, тваринного населення (особливо ґрунтової фауни), мікробоценозів, які знову-таки зумовлюють певні зміни ґрунтових процесів. За таких зв'язків втрачає сенс визначення геокомпонента, провідного у формуванні вертикальної структури геосистеми.

Особливість еволюційних відношень на біотичній стадії формування геосистеми зумовлена дедалі більшою самостійністю розвитку окремих геокомпонентів у процесі їх еволюції. Скажімо, на перших етапах сукцесії рослинних угруповань формування їх популяційної структури майже цілком визначається абіотичними факторами - кліматом та субстратом. А далі роль внутрішньогеокомпонентних процесів набуває все більшого значення, і

популяційний склад біоценозів усе більше визначається власне цими відношеннями. Фітоценоз до певної міри стає менш залежним від ґрунту, клімату та геологічної будови. Аналогічно і ґрунт у процесі свого розвитку стає все менш залежним від материнської породи та клімату і в рамках деякого заданого ними діапазону змін може розвиватися відносно самостійно. З розвитком ґрунтового профілю геологічні породи також стають менш залежними від атмосфери, рослинності, мікроорганізмів. Це дає змогу в одних кліматичних умовах на одному типі й навіть виді ґрунту формуватися різними рослинними угрупованнями, різними видами ґрунту на одній геологічній породі тощо.

Таким чином, відповідність геокомпонентів один одному детермінована не жорстко, її характер можна визначити як детерміновано-стохастичний. Він полягає в тому, що вплив певного геокомпонента на інший (наприклад, ґрунту на рослинність) визначає деякий діапазон змін рослинності, за який вони не можуть вийти. Послідовне врахування впливу всіх геокомпонентів на двосторонній зв'язок якихось двох із них приводить до виділення лише тих можливих варіантів поєднання геокомпонентів, яке може скластися в умовах конкретної геосистеми.

Ступінь генетичної залежності одного геокомпонента від іншого можна оцінити кількісно з допомогою поліхоричного показника зв'язку (синонім - коефіцієнт взаємоспряженості). Його значення змінюється від 1 (компоненти однозначно зв'язані між собою - кожному виду ґрунту відповідає лише один певний вид фітоценозу) до 0 (геокомпоненти не зв'язані між собою - на певному виді ґрунту можуть формуватися зовсім різні асоціації).

Антропічні аспекти. Втручання людини в ландшафт призводить до розладу еволюційно зумовлених відношень між його геокомпонентами. Найбільш характерна в цьому плані заміна еволюційних зв'язків між ґрунтом та рослинністю у природних геосистемах на антропічне регульовані відношення між ними в агрогеосистемах. Вирубання лісів та їх заміна трав'яними агроценозами призводить до формування протиприродних,

«еволюційно абсурдних» зв'язків між ґрунтом та рослинністю, тваринним населенням, мікробоценозами.

Господарська діяльність людини викликає не тільки видозміну еволюційних відношень між ґрунтом та біокомпонентами, а й глибоку трансформацію внутрішньогосистемних генетичне зумовлених зв'язків, впливаючи на водний режим, рельєфоформувальні процеси тощо.

Навіть надмірне намагання штучно законсервувати геосистему в її природному стані призводить до руйнування в ній генетико-еволюційних відношень. Наприклад, у лучних та степових геосистемах еволюційно склалися відношення між рослинними угрупованнями та тваринами, коли нормальний розвиток рослинності потребує, щоб деяку частину її щорічної продукції відчувували травоядні тварини. Створення заповідників у степових геосистемах, яке передбачає режим повного виключення стравлення та косіння, призводить до досить швидкої деградації рослинних угруповань, аж до випадання едифікаторних видів. Тому щоб підтримати заповідні степи в станах, близьких до природних, треба запровадити режим стравлення, близький до природно-еволюційного.

1.5.2. Формування потоків енергії в геосистемах

Першою концептуальною моделлю потоків енергії в екосистемі була схема трофічних шляхів для прерій, яку запропонував В. Шелфорд у 1913 р. Через 10 років подібну модель для арктичної тундри розробили Ч. Елтон та В. Саммерхейз. Проте були враховані не всі енергетичні потоки в екосистемі, зроблено акцент переважно на зв'язках між її біотичними елементами. У географії ж перевагу віддавали дослідженню потоків енергії між абіотичними елементами; з'ясовано головні закономірності формування структури радіаційного балансу різних типів ландшафтів (М. І. Будико, Ю. Р. Раунер та ін.).

Синтетичний напрям аналізу енергетичних потоків охоплював як біотичні, так і абіотичні елементи екосистеми й був пов'язаний з моделюванням продукційного процесу, в основі якого лежить потік та

трансформація енергії. Першу таку модель запропонували японські вчені М. Монсі та І. Саєкі в 1953 р., а упродовж 70 - 80-х років розроблено багато інших, але переважно для агроecosystem.

Головним джерелом енергії для багатьох процесів у геосистемах є сонячна енергія (від інших джерел енергії надходить дуже мало - тепло з надр землі, тектонічні рухи та ін.). Причому сонячна енергія і використовується в геосистемі найбільш ефективно: вона може трансформуватися в інші види енергії (теплову, хімічну, механічну), завдяки їй відбувається продукування біомаси, вологообіг, циркуляція повітряних мас тощо.

Ю. Одум (1986) запропонував класифікацію екосистем *за головним джерелом надходження енергії*:

- природні, що отримують енергію тільки від Сонця;
- природні, що отримують енергію від Сонця та додаткову енергетичну субсидію від інших природних джерел (заплави, схили, прибережні частини естуаріїв, маршів, конуси виносу тощо);
- антропізовані, що отримують енергію від Сонця та додаткову субсидію від людини (найтипівіші -агроecosystemи);
- промислово-міські системи, що отримують енергію палива (урбоекосystemи, індустріальні зони). Потік сонячної енергії проходить крізь атмосферу, де послаблюється атмосферними газами та пилом.

Ступінь послаблення залежить від довжини хвилі (частоти) світла. З екологічної точки зору найважливішими наслідками диференційованого послаблення випромінювання є:

- ультрафіолетове випромінювання (найнебезпечніше для протоплазми) майже не проходить крізь озоновий шар, що й забезпечує можливість життя на планеті;
- менш за все послаблюється видиме світло, необхідне для фотосинтезу, а тому він може відбуватись і в похмурі дні.

Альbedo слід розглядати як інтегральний параметр вертикальної структури геосистеми, який визначає потік відбитої радіації від неї як

певного нерозчленованого цілого. Насправді ж потік сонячної радіації, проходячи від верхньої межі геосистеми до поверхні ґрунту, значно змінює свою інтенсивність, спектральний склад та інші характеристики.

Ефективне випромінювання та відбита радіація втрачаються для геосистеми, а та частина сумарної радіації, що безпосередньо йде на різні процеси в геосистемі, називається її радіаційним балансом. Більша його частина витрачається на випаровування, забезпечення вологообігу, прогрівання повітря геосистеми.

У фотосинтезі використовується фотосинтетична активна радіація - ФАР, частка якої становить близько 45% сумарної. Ефективність фотосинтезу визначається гідротермічними умовами геосистем. Найбільша вона за максимальної теплозабезпеченості при оптимальному співвідношенні тепла й вологи. Такі природні умови характерні для екваторіальних лісів, де ефективність фотосинтезу досягає 4,5% ФАР, або 1,5% сумарної радіації. У штучних умовах можна довести ефективність фотосинтезу до максимальної - 34% ФАР.

Антропогенні аспекти. Фактично будь-який аспект діяльності людини в геосистемі призводить до зміни інтенсивності енергетичних потоків в останній. Причому змінюються величина та співвідношення не тільки внутрішньогеосистемних потоків, а й вхідних та вихідних. Через забруднення атмосфери аерозолями трохи збільшується частка відбитої радіації, тому до геосистем може надходити менше сумарної радіації. Наприклад, смог може зменшити її на 30 - 40%. У потоці сумарної радіації зростає частка розсіяної, що призводить до деякого нівелювання експозиційних відмінностей геосистем схилів.

У агрогеосистемах значне збільшення надходження енергії пов'язане із внесенням органічних добрив. Частина цієї додаткової енергії йде на формування врожаю, невелика частина консервується в гумусі, а значно більша (на схилах - до 60 - 70%) непродуктивно втрачається геосистемою разом із виносом через поверхневий та ґрунтовий стоки.

Трансформація характеру залученої поверхні геосистеми внаслідок розорювання, вирубування лісів, меліорації тощо призводить до зміни величини альbedo, а через неї - і до зміни структури, радіаційного балансу. Скажімо, альbedo геосистем із степовою рослинністю становить 19 - 23%, а свіжозораних агроугідь на їх місці - 5%. Відповідно змінюється і частка відбитої радіації.

Зміни вертикальної структури геосистеми, пов'язані з винищенням природної рослинності, призводять до трансформації трофічної структури геосистем, а тим самим - і потоків енергії між біотичними елементами. Найсуттєвішими тут є щорічні втрати енергії, накопиченої у фітомасі. Внаслідок цього послаблюється потік енергії до детритного циклу, який є основою процесу продукування гумусу. Загалом трофічна структура агрогеосистем значно спрощується, що зумовлює низьку стійкість агросистем порівняно з природними.

1.5.3. Колообіг води в геосистемах

Потоки води у вертикальному профілі геосистеми мають величезне значення як для її окремих елементів, так і для забезпечення зв'язків між ними. Цілісність геосистеми багато в чому зумовлена цими потоками, які пронизують її подібно до кровоносної системи. Вони забезпечують міграцію хімічних елементів, транспортування поживних речовин до рослин, продукційні процеси тощо. Вода - один із головних лімітувальних екологічних факторів, і від її кількості в геосистемі, збалансованості потоків залежать численні властивості геосистеми, що визначають її потенціал.

Як відомо, потоки вологи в геосистемі об'єднані в цикл, тобто здійснюється колообіг води, який може бути: збалансованим (маса води на вході в геосистему дорівнює її масі на виході), і тоді водний та пов'язані з ним режими лишаються незмінними; незбалансованим, при цьому в геосистемі відбувається прогресуюча гідроморфізація (при додатному балансі) або ксерофітизація (при від'ємному).

Волога до геосистеми надходить з атмосферними опадами, за рахунок конденсації водяної пари, а також із підземними водами (якщо вони пов'язані крізь гідравлічні вікна з ґрунтовими), поверхневим стоком (якщо геосистема міститься на схилі), з річковими водами під час повені (якщо геосистема міститься на заплаві).

Крім дощів та снігу, у геосистемах морського узбережжя та пустель істотним джерелом надходження вологи є роса й тумани. Ю. Одум (1986) наводить дані про західне узбережжя США, де туман за рік може давати в 2 - 3 рази більше води, аніж її випадає з дощами, й високі дерева за рахунок цього отримують вол огидо 150см.

Антропоічні аспекти. Потокн вологи в геосистемі відзначаються високою чутливістю до дії антропоічних факторів. З цим пов'язана можливість регулювання їх людиною, що й робиться при здійсненні водних та агролісомеліораціях. Проте через недостатнє врахування складних закономірностей структури водних потоків в геосистемах меліорація часто призводить до небажаних, а то й катастрофічних наслідків.

Надмірне зволоження геосистем при іригації призводить до посилення низхідних потоків вологи в ґрунті, які можуть досягати засолених горизонтів порід або мінералізованих ґрунтових вод, де насичуються солями і, піднімаючись у міжполивний період до поверхні, засолюють ґрунтову товщу. При зрошенні водоспоживання рослин поліпшується, але якщо ґрунтово-іригаційні води насичуються солями, споживання вологи з ґрунту зменшується і може бути навіть меншим, ніж у богарних умовах. Так з'являється антропогенна фізіологічна сухість рослин - неможливість споживати воду при її достатній кількості. Крім змін водного режиму, зрошення призводить і до комплексу змін інших процесів у геосистемі - насамперед ґрунтових (розвиваються процеси оглеєння, заболочення, вторинного засолення ґрунтів), геоморфологічних (іригаційна ерозія), енергетичних (внаслідок зміни альбедо та збільшення витрат тепла на випаровування).

Не менш суттєво змінюються водні потоки "при осушенні земель. Тут головна небезпека -переосушення, тобто зниження рівня ґрунтових вод нижче за деяку критичну глибину, що може зумовити дефляцію, обміління річок, відмирання їх верхів'їв тощо.

Вплив лісу та лісонасаджень на водний режим досліджено досить ґрунтовно. Вислів Г. М. Висоцького (1932) «Ліс сушить рівнини та зволожує гори» зберіг значення й досі, хоч і деталізований та підправлений новими дослідженнями. Друга його частина («зволожує гори») залишається без змін, якщо під «горами» розуміти будь-який сильно почленований рельєф та схили.

Головною причиною більшої зволоженості лісових схилових геосистем є зменшення лісом такої важливої витратної статті водного балансу, як поверхневий стік води.

Висушувальний вплив лісу на рівнинні геосистеми проявляється насамперед у збільшенні транспірації - вона може бути в 2 - 3 рази більшою, ніж в агросистемах. Важливе значення має також перехоплення листяною поверхнею опадів (до 40%) і їх витрата на фізичне випаровування. Вплив лісу на ґрунтові води залежить від глибини їх залягання: ліс знижує рівень близьких коренедосяжних вод і підвищує рівень тих, що глибоко залягають.

Г. М. Висоцький та А. А. Роде розробили критерії виділення типів водного режиму ґрунту, які мають ландшафтно-екологічний зміст. Базуючись на них, геосистеми за типом водного режиму можуть бути:

- промивного режиму - низхідні потоки вологи переважають над висхідними, і вода, що просочується крізь ґрунт, досягає рівня ґрунтових вод;
- періодично промивного режиму - атмосферна вода досягає рівня ґрунтових вод в окремі багатоводні роки, в середньому один раз на 10 - 15 років;
- непромивного режиму — ґрунтові геогоризонти промочуються, але вода не досягає рівня ґрунтових вод;
- аридного режиму - ґрунтовий профіль сухий протягом цілого року;

- випітного режиму - переважають висхідні потоки вологи з ґрунтових вод, капілярна кайма яких піднімається до поверхні ґрунту, і ґрунтові води випаровуються фізично;

- десуктивно-випітного режиму - на відміну від попереднього типу, капілярна кайма ґрунтових вод не виходить на поверхню, і їх витрата здійснюється не за рахунок фізичного випаровування, а через транспірацію;

- водозастійного режиму - характерний для боліт;

- повеневого режиму - характерний для заплав річок.

За співвідношенням статей водного балансу (річною сумою опадів та сумарним випаровуванням) виділяють такі геосистеми: гіпергумідні, пергумідні, гумідні, субгумідні, субаридні, мезоаридні, аридні, екстрааридні.

За збалансованістю водного балансу виділяють такі геосистеми:

- із збалансованим балансом - у річному циклі водний баланс дорівнює нулю;

- додатньо декомпенсованого балансу - прихідні статті водного балансу переважають над витратними, внаслідок чого рівень ґрунтових вод піднімається;

- від'ємне декомпенсованого балансу - витратні статті переважають над прихідними, рівень ґрунтових вод знижується.

1.6. Колообіг хімічних речовин у геосистемах

Хімічні елементи, що складають географічну оболонку, по-різному проявляються в геосистемах. Це стосується як їх мас у геосистемі, так і особливостей поведінки - міграції між елементами вертикальної структури, здатності залучатися в колообіги, поглинатися рослинами тощо. За висловом Р. Ріклефса (1979), кожний елемент в екосистемі має власну долю. Проте є деякі загальні закономірності потоків різних речовин у геосистемах.

З атмосферними опадами на поверхню Землі щорічно потрапляє 1800 млн. т розчинних речовин, а на територію України - 7,3 млн. т. Найбільше цим шляхом надходить сірки (до 2,6 т/км² в південних районах України), трохи менше - кальцію та азоту. За рахунок осаду пилу з атмосфери до

геосистем щорічно надходить до 10 т/км² речовин а в промислових регіонах - в десятки разів більше. Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами за регіонами України представлено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Надходження розчинених мінеральних речовин з атмосферними опадами, т/км² за рік (за Л. М. Горевим, А. М. Никаноровим, В. І. Пелешенка, 1989)

Регіон	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺	HCO ₃	SO ₄ ²⁺	СГ	Усього
Полісся	0,8	0,9	1,4	2,7	6,1	1,2	13,1
Лісостеп	1,1	0,8	1,2	2,9	6,1	1,1	13,2
Степ	0,9	0,6	0,9	1,6	4,3	1,2	9,5
Прикарпаття	1,5	1,5	1,8	2,9	9,7	1,6	19,0
Карпати	2,4	2,2	2,8	4,7	15,0	2,8	29,9
Закарпаття	1,7	1,6	1,9	3,3	10,6	1,9	21,1
Гірський Крим	1,5	1,1	1,3	4,1	4,2	16	13,8
Україна в цілому	0,9	0,8	1,1	2,4	5,6	1,3	12,1

Утворення легкорозчинних солей при вивітрюванні первинних мінералів - процес, що відбувається в усіх геосистемах, але дуже повільно. Надходження ж до геосистем солей внаслідок розчинення солей осадових порід може бути значним у регіонах, де породи галогенної формації залягають близько до поверхні. В Україні такими регіонами є Прикарпаття та Закарпаття, Дніпровсько-Донецька западина, Донбас та інші, де широко залягають соляні відклади. За орієнтовними розрахунками В. А. Ковди (1947), з подібних структур у Прикаспійській низовині щорічно надходить близько 3,5 млн. т солей.

Мінеральні речовини, що надійшли до геосистеми, можуть відкладатись у вигляді її резервного фонду або здійснювати колообіг у її вертикальному профілі. Резервний фонд становлять речовини, що перебувають у нерухомих формах, а також легкодоступні речовини, накопичені в геосистемі в надмірних кількостях, через що колообіг не може охопити всю їх масу. Речовини резервного фонду частково поповнюються за рахунок речовин-мігрантів і також можуть залучатись у міграційні процеси. Ці процеси зумовлені двома основними факторами: потоками води та її

властивостями як хімічної речовини (гідрогенезом), а також синтезом і розкладом органічної речовини (біогенезом).

Роль води як фактора міграції речовин полягає не тільки в її мобільності в геосистемі. У водному середовищі відбувається переважна більшість хімічних реакцій. Потік води у вертикальному профілі геосистеми супроводжується процесами розчинення, іонного обміну, адсорбції, в результаті чого хімічні елементи та сполуки певних геомас переходять до водного розчину й далі переміщуються з ним. Внаслідок випаровування вологи, кристалізації, сорбції та інших гідрогенних процесів з водного розчину випадають мінеральні речовини, акумулюючись у певних геомасах або геогоризонтах. Нарешті, фактично тільки у водному розчині мінеральні речовини з ґрунту можуть потрапити до рослин і далі взяти участь у біогенній міграції по трофічній мережі геосистеми.

Фізико-хімічні, термодинамічні та інші умови геогоризонту, крізь який проходить потік водного розчину, визначають ступінь рухомості кожного з хімічних елементів та їх сполук. Майже в усіх геосистемах у вертикальній структурі є суміжні геогоризонти, які значно відрізняються один від одного цими умовами. Тут різко змінюються умови міграції різних речовин - одні з них випадають з розчину і концентруються, другі мігрують менш інтенсивно і накопичуються частково, треті не реагують на зміну умов міграції. В геохімії ландшафту ті місця, де різка зміна умов міграції призводить до накопичення елементів, називаються ландшафтно-геохімічними бар'єрами (термін ввів О. І. Перельман).

У різних геосистемах кількість та склад ландшафтно-геохімічних бар'єрів неоднакові. Наприклад, у лісових геосистемах України переважають кислі та глейові бар'єри, у степових - лужні, випаровувальні та ін.

З ландшафтно-екологічної точки зору важливо враховувати, крім типу бар'єру, ще й його розташування у вертикальній структурі геосистеми. Наприклад, бар'єри, розміщені в ґрунті нижче від його кореневмісного шару, в екологічному плані можуть відігравати позитивну роль: токсичні елементи,

що тут накопичуються, рослинами споживатися не можуть, і водночас цей бар'єр перешкоджає досягненню токсичними елементами ґрунтових вод, лімітуючи їх забруднення. Він виконує функцію консерватора, так званого кладовища забруднень у геосистемі. Натомість бар'єри, розташовані в межах кореневмісного шару ґрунту, можуть бути вкрай небезпечними для рослин.

Напрямок гідрогенних потоків речовин у геосистемі відповідає напрямку потоку вологи. При переважанні низхідних потоків води речовини можуть виноситися за межі ґрунту і досягати рівня ґрунтових вод. Внаслідок цього розсолюються ґрунти, підвищується мінералізація ґрунтових вод, а при інтенсивних потоках вологи в піщаних ґрунтах зростає дефіцит поживних речовин. Проте частіше хімічні елементи накопичуються на бар'єрах у педогеогоризонтах та в зоні аерації. При висхідних потоках води внаслідок фізичного випаровування ґрунтових вод вміст солей в ґрунті та підґрунті зростає, що призводить до засолення геосистем. Більш детально геохімічні бар'єри будуть розглянуті у п. 1.7.

Важливим фактором міграції речовин у геосистемі є життєдіяльність рослин. Встановлено, що майже всі хімічні елементи, які містяться в географічній оболонці, необхідні рослинам і споживаються ними. З них незамінними є лише деякі: N, P, K, S, Ca, Mg (макроелементи - споживаються у великих кількостях) та Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, B та Cl (мікроелементи - споживаються у менших кількостях).

З атмосфери надземні органи рослин засвоюють мінеральні речовини в дуже незначних кількостях, а переважна їх маса поглинається з ґрунту. Корінь здобуває мінеральні речовини шляхом: поглинання іонів з ґрунтового розчину; обмінного поглинання сорбованих іонів (віддає іони H^+ та HCO_3^- , а замість них отримує іони поживних солей); розчинення зв'язаних запасів мінеральних речовин (виділяючи органічні кислоти, корінь вивільняє з хімічно зв'язаного стану елементи, зокрема важкі метали, і тоді легко поглинає їх. Потрапивши до кореня, іони переносяться до інших органів рослин.

Більша частина мінеральних речовин, накопичена фітоценозом протягом року, повертається до ґрунту з річним падолистом. Ця кількість може становити 80 - 90% річної маси накопичених рослинами речовин. Завдяки цьому рослинність виконує в геосистемі важливу роль у замиканні потоків мінеральних речовин (їх організації у колообіг). Це дає змогу геосистемі неодноразово протягом року використовувати мінеральні, речовини в продукційному процесі та утримувати їх від вимивання в корененедосяжні геогоризонти.

Антропогенні аспекти. Забруднення та самоочищення геосистем. З розрахунків мас хімічних елементів, які щорічно залучаються до техногенних потоків, відомо, що з 60-х років геохімічна діяльність людини своєю потужністю не поступається природним процесам. За рахунок цієї діяльності поверхня суші щорічно збагачується на мільйони тонн P, Ti, Cu, Mn, Zn, Pb та інших елементів, на десятки тисяч тонн Rb, H, Zr. Головні джерела надходження забруднень до геосистем - атмосфера, внесення добрив, обробка агрогеосистем пестицидами та іншими отрутохімікатами, забруднені підземні води, захоронені в ґрунті й породах зони аерації техногенні речовини, зрошення стічними та забрудненими річковими водами.

Потрапляючи в атмосферу, забруднювальні речовини (це 90% газів і 10% твердих часток) досить швидко розсіюються. Згідно з Ф. Рамад (1981), середня тривалість перебування газів у тропосфері становить 2-4 місяці, аерозолів - 4 місяці біля тропосфери, 1 місяць у верхній та 6 - 10 діб у нижній тропосфері. Атмосферні забруднення можуть проникати в рослини внаслідок газообміну, осадження на поверхні листя та пагонах. При тривалій дії навіть невисоких концентрацій забруднень у рослин виникають хронічні пошкодження (депресія фотосинтезу, порушення росту, відмирання клітин тощо). Різні рослини неоднаково реагують на атмосферні забруднення. Найчутливіші до них лишайники, з дерев - сосна, горіх, береза. Стійкими вважаються туя, деякі види дубів, кленів, граб.

Потрапляючи на поверхню ґрунту, забруднювальні речовини включаються у вертикальні потоки і при цьому можуть значно трансформувати їх налагоджений механізм. Це пов'язано з тим, що багато забруднювальних речовин здатні руйнувати деякі важливі ландшафтно-геохімічні бар'єри, створювати нові, змінювати тип тих, які були раніше, внаслідок зміни кислотно-лужних або окислювально-відновлювальних властивостей ґрунту впливати на швидкість міграції різних речовин. Проходячи крізь ґрунт, забруднені води можуть частково або й цілковито очищуватись, проте сам ґрунт при цьому забруднюється.

Будь-яку забруднювальну речовину, що потрапила до ґрунту, можуть поглинати живі організми. З рослин-автотрофів, які акумулюють забруднювальні речовини, починається забруднення всієї трофічної мережі геосистеми. Г. Вудвел (1967) встановив, що накопичення токсичних речовин у живих організмах збільшується з кожним наступним трофічним рівнем. Тому навіть незначна концентрація забруднювальних речовин у рослинах може викликати токсикацію тварин вищих трофічних рівнів.

Завдяки живим організмам речовина-забруднення залучається до колообігу мінеральних речовин, ускладнюється її виведення із геосистеми. Однак геосистеми мають певні механізми, що дозволяють їм або знешкодити забруднення або вивести його з колообігу та з геосистеми взагалі. Сукупність цих механізмів називається самоочищення геосистем.

1.7. Геохімічні бар'єри

Поняття про міграцію хімічних елементів. У житті екосистем, ландшафтів і біосфери загалом велику роль відіграє міграція хімічних і біологічних речовин, яка визначає особливості кругообігу речовин, енергії та інформації, специфіку трофічних ланцюгів та ін.

Всі хімічні елементи, що становлять земну кору, атмосферу і гідросферу, перебувають у постійному русі або міграції. Один з показників, що визначає це явище, — інтенсивність міграції. О.І. Перельман запропонував визначати її за формулою:

$$I = \frac{m}{tC_k},$$

де m — маса мігруючого елемента, t — проміжок часу існування міграції, C_k — кларковий, або місцевий, фоновий вміст елемента в геохімічній системі.

Як таку систему, залежно від масштабу досліджень можна розглядати всю земну кору, верхні частини літосфери окремих районів, біосферу, окремі моря, ґрунти окремих районів та ін.

Характеризуючи міграцію хімічних елементів, зазвичай вирізняють чотири основні види міграції:

- механічний;
- фізико-хімічний;
- біогенний;
- техногенний (такий, що зумовлений антропогенною діяльністю). Крім

того можна виділити три основні типи міграції.

Перший тип міграції — це зміна форми наявності елементів без їх суттєвого переміщення, наприклад, перехід елементів з мінеральної форми в розчин або з ґрунтів у рослини.

Другий тип характеризує переміщення елементів без зміни форм їх існування. Простими прикладами міграції цього типу може бути переміщення аерозолів в атмосфері або часток чи уламків мінералів у поверхневих водах.

Третій тип міграції об'єднує два попередніх і полягає в переміщенні елементів зі зміною форм їх існування. Так, за техногенного надходження в поверхневі води важких металів велика частина їх може перебувати у формі розчинів. Проте на відстані перших кілометрів вони переходять у мінеральну і колоїдну форми і вже так продовжують міграцію на відстані до сотень кілометрів.

На певні тимчасові проміжки міграція елементів може припинятися, а на окремих ділянках можлива суттєва концентрація частини елементів. Розгляд цих процесів пов'язаний з вченням про геохімічні бар'єри.

Геохімічні бар'єри це ті ділянки земної кори, де на короткій відстані відбувається різке зменшення інтенсивності міграції хімічних елементів і, як наслідок, їх концентрація (О.І. Перельман).

У межах більшості бар'єрів досить різко змінюється форма існування елементів у мігруючому потоці (зміна типу міграції), а потім відбуваються пов'язані з нею зміни інтенсивності міграції і осадження (концентрація) певних хімічних елементів або їхніх з'єднань.

Отже, саме на геохімічних бар'єрах відбуваються максимальні еколого-геохімічні зміни, що виділяються в біосфері.

Широко розповсюджене в природі осадження хімічних елементів на геохімічному бар'єрі, яке посилюється під впливом техногенезу, пов'язане зі зміною типу міграції, можна розглянути на наведеному нижче прикладі.

За відсутності вільного кисню (глейовий стан) залізо в підземних водах перебуватиме в двовалентному, добре розчинному стані (Fe^{2+}).

Вихід таких вод на поверхню з вільним киснем призводить до окислення й утворення важкорозчинного гідроксиду заліза — $\text{Fe}[\text{OH}]_3$. При цьому відбувається перехід металу з форми водних розчинів у мінеральну. Зміна типу міграції заліза супроводжується його осадженням і концентрацією. Цей бар'єр належить до так званих кисневих. Використання вчення про геохімічні бар'єри дає змогу оцінювати геохімічні (еколого-геохімічні) умови концентрації хімічних елементів і їхніх сполук, у екосистемах, прогнозувати зміни екологічних ситуацій і приймати правильні рішення щодо регулювання останніх, зменшення техногенного тиску на ландшафти.

Генетична класифікація геохімічних бар'єрів. Мірою того, як людство дедалі більше хвилюють екологічні проблеми, щораз частіше і у великих масштабах використовується вчення про геохімічні бар'єри для прогнозування не планованих концентрацій хімічних елементів (еколого-геохімічних змін), що супроводжують різні антропогенні процеси.

Класифікації будь-яких явищ і процесів можуть будуватися на різних принципах. У наукових дослідженнях досить часто класифікацію проводять за генетичними особливостями явищ, оскільки вони дають змогу краще вирізнити характерні особливості цих явищ, їх виникнення і формування. Враховуючи це, розглянемо генетичну класифікацію геохімічних бар'єрів, згідно якої бар'єри біосфери поділяються на три основні типи:

- природні;
- техногенні;
- техногенно-природні.

Всі вони розташовуються на ділянках зміни умов (чинників) міграції. У першому випадку зміна чинників, а відповідно і зміна однієї геохімічної обстановки іншою, зумовлюється природними особливостями конкретної ділянки біосфери. У другому випадку така зміна геохімічних умов відбувається в результаті антропогенної діяльності. У третьому - антропогенна зміна геохімічної обстановки і формування техногенних геохімічних бар'єрів є своєрідним поштовхом, після якого відбувається утворення природних геохімічних бар'єрів. Відбувається накладення на техногенні бар'єри природних. Іноді всі вони (у тому числі і техногенні) можуть лише частково перекривати один одного.

Виокремленні типи геохімічних бар'єрів поділяють на чотири основні класи (Алексєєнко):

- фізико-хімічні;
- механічні;
- біогеохімічні;
- комплексні.

Утворення фізико-хімічних бар'єрів пов'язано зі зміною фізико-хімічного стану. Дотепер детальну класифікацію розроблено тільки для цього класу бар'єрів, а точніше для випадку осадження хімічних елементів, що мігрують в іонній формі у водах з різними окислювально-відновними і лужно-кислотними умовами.

Механічні бар'єри — це ділянки різкого зменшення інтенсивності механічної міграції. Вони в основному пов'язані з другим типом міграції хімічних елементів, коли їхня форма існування не змінюється, але вони переміщуються в просторі. Переміщення відбувається зазвичай у межах біосфери — найчастіше з перебуванням елементів у мінеральній або колоїдній формі. Переміщення колоїдів разом із сорбованими ними елементами, а також мінералів може відбуватися в повітряному і водному середовищах і, крім того, на межі середовищ.

Біогеохімічні бар'єри, на відміну від багатьох інших, пов'язані головним чином з першим типом міграції хімічних елементів, коли змінюється їхня форма існування без значного переміщення в просторі. За своєю суттю ці бар'єри є накопиченням хімічних елементів рослинними і тваринними організмами. Ці геохімічні бар'єри належать до найбільш поширених у біосфері і можуть бути і природними, і техногенними. Концентрація хімічних елементів на біогеохімічних бар'єрах є частиною біологічного кругообігу цих елементів.

Накопичення на геохімічних бар'єрах хімічних елементів (сполучень) зазвичай призводить до їх аномальних концентрацій. За певних умов концентрація і загальний вміст елементів на бар'єрі різко зростають. Так утворюються родовища корисних копалин. Донедавна ці процеси були тільки природними. Зараз вони досягли таких масштабів, що і на природних, і на техногенних бар'єрах можливе накопичення певних елементів та їх сполук у промислових концентраціях. Так формуються техногенні родовища різних корисних копалини, передусім — металів.

Комплексний геохімічний бар'єр — це просторове накладення один на одного кількох класів геохімічних бар'єрів. Зазвичай бар'єри, що накладаються один на одного, генетичне пов'язані між собою. Серед природних бар'єрів комплексні за поширеністю займають якщо не перше, то одне з перших місць. Так, повсюдно поширені (особливо в гірських районах) згадувані вище кисневі бар'єри, що є джерелами з виходом на поверхню

глейових вод. Гідроксиди Fe^{3+} , що осідають з них, є хорошими сорбентами для деяких металів, що містяться у джерельних водах. Процес осадження цих колоїдів є початком формування нового геохімічного бар'єра — сорбційного. Серед техногенних геохімічних бар'єрів комплексні, і за поширеністю, і за еколого-геохімічною значущістю, займають провідне місце. Серед техногенних геохімічних бар'єрів Алексеєнко запропонував (1997) вирізняти ще один самостійний клас — клас соціальних бар'єрів. Під цим терміном об'єднуються зони складування та утилізації промислових і побутових відходів.

Принцип класифікації геохімічних бар'єрів за Алексеєнко представлено на рис. 1.2.

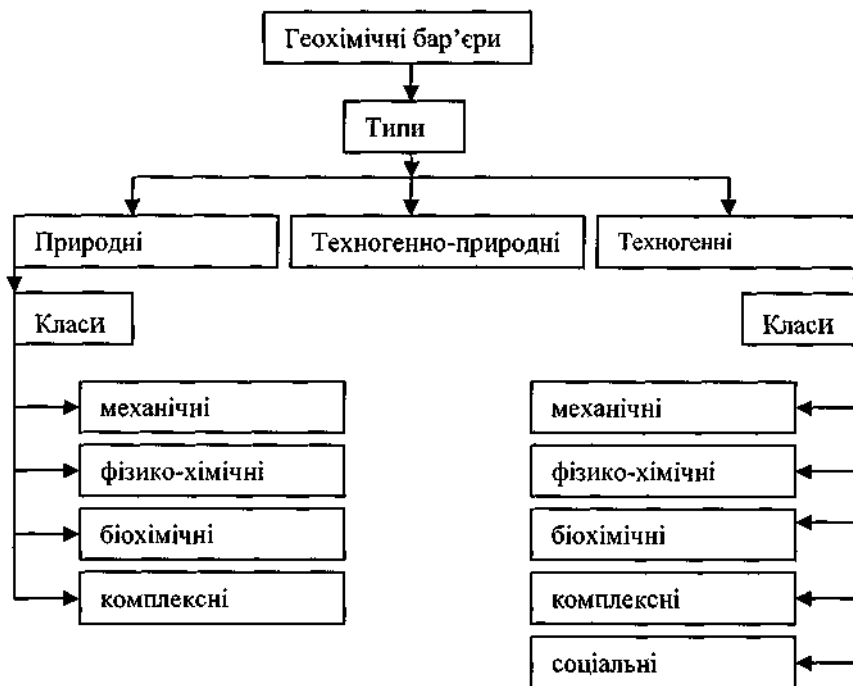


Рис. 1.2. Принцип класифікації геохімічних бар'єрів за

Можна класифікувати геохімічні бар'єри за цілою низкою ознак, безпосередньо не пов'язаних з їхнім генезисом. Так, залежно від розмірів вирізняють макро-, мезо- і мікробар'єри.

До макрогеохімічних бар'єрів належать зони з різким зменшенням інтенсивності міграції хімічних елементів на відстані в тисячі метрів. Потужності зон можуть досягати кількох сотень метрів. Такими бар'єрами є, наприклад, дельти великих річок, де відбувається змішування прісних

річкових вод (їх можна розглядати як своєрідні колоїдні розчини) з морськими, які є слабкими електролітами. У цих умовах відбувається осадження колоїдів, що може навіть бути початком формування осадових родовищ.

Протяжність мезобар'єрів зазвичай коливається від одиниць до тисячі метрів. Прикладом можуть бути краєві зони боліт, де різко змінюються окислювально-відновні умови і може накопичуватися багато хімічних елементів, заздалегідь вилужених з вододільних і схшювих ділянок.

Розміри мікробар'єрів можуть коливатися від частки міліметра до метрів.

За умови руху до одного і того самого бар'єра з різних боків потоків разом з речовинами, що мігрують у них, формуються *двосторонні* геохімічні бар'єри. На них можуть концентруватися хімічні елементи, утворюючи різномірні асоціації (О.І. Перельман).

Залежно від орієнтації в просторі міграційних потоків вирізняють латеральні і радіальні (вертикальні) бар'єри. Перші утворюються за субгоризонтального, а другі — за субвертикального напрямків потоків з речовинами, що створюють підвищені концентрації на бар'єрах. У разі техногенного забруднення поверхні ґрунтів радіальні бар'єри є зоною накопичення-осадження продуктів техногенезу з мігруючого потоку в ґрунти. Крім того, вони є „основною формою захисту ґрунтових вод від забруднення”.

Радіальні бар'єри формуються не тільки під час руху потоків зверху вниз, а й знизу вгору. Саме на таких бар'єрах дуже часто починається розпад різних комплексних сполучень у гідротермах.

Природні латеральні бар'єри біосфери багато в чому відображають ландшафтно-геохімічну контрастність території, а під час вступання речовин з техногенними потоками — контрастність властивостей об'єктів, що виконують бар'єрні функції.

З урахуванням способу надходження хімічних елементів на бар'єр серед останніх іноді вирізняють дифузійні і інфільтраційні, хоча зазвичай за наявності інфільтраційних бар'єрів виникають і дифузійні. Ця закономірність спостерігається під час формування і мікробар'єрів, і макробар'єрів.

Якщо на природному бар'єрі відбувається концентрація речовин, джерело яких також природне, то можна говорити про виникнення природної геохімічної аномалії на природному бар'єрі. Якщо ж джерело речовин, що концентруються, техногенне, то на природному бар'єрі відбувається формування техногенної аномалії. За високої концентрації, великих розмірів і економічної доцільності вилучення речовин, що відклалися, замість аномалій йтиметься про природні або техногенні родовища, що виникли на природному геохімічному бар'єрі.

Глобальні і локальні еколого-геохімічні зміни в біосфері, пов'язані з початковим періодом формування ноосфери, внесли свої корективи до раніше наявного процесу природної міграції. У цей час міграція хімічних елементів у біосфері (і в її біогенних, а також техногенних ландшафтах) відбувається під впливом і природних, і антропогенних чинників. Роль останніх зростає.

До основних показників, що визначають особливості міграції елементів у період формування ноосфери, належать: співвідношення мас хімічних елементів, що перебувають у біосфері і мігрують у різних формах; інтенсивність міграції; формування нових геохімічних бар'єрів; дальність міграції.

Як видно, до основних показників, що визначають переміщення хімічних елементів у біосфері в початковий період формування ноосфери, входять дані про техногенні геохімічні бар'єри. Це пов'язано з тим, що на бар'єрах накопичуються величезні маси речовин, елементний склад яких визначається особливостями бар'єрів. Концентрація елементів на бар'єрах у багатьох випадках визначає безпеку життєдіяльності людей. Крім того, досить часто саме геохімічні бар'єри визначають переважний розвиток

процесів розсіювання або концентрацію (аж до токсичного змісту) найрізноманітніших хімічних елементів (Алексєєнко).

Дотепер внаслідок антропогенної діяльності вкрай зрідка ліквідовували природні геохімічні бар'єри. Отже, діяльність людей поки що не може серйозно впливати на міграцію елементів у біосфері. Проте щораз більша кількість нових техногенних бар'єрів вже почала вносити зміни в природний перебіг міграції елементів у біосфері, їх вивчення і врахування у виконанні екологічного моніторингу територій і акваторій та формуванні ефективної екологічної політики для еколого-безпечного розвитку — надзвичайно актуальне і важливе завдання.