

ТЕМА 5. СТІЙКІСТЬ ГЕОСИСТЕМ ДО АНТРОПОГЕННИХ ВПЛИВІВ

5.1. *Форми стійкості геосистем*

Більшість сучасних трактувань поняття стійкості в екології та ландшафтознавстві зводиться до розуміння цієї властивості як такої, що реалізується в гео- та екосистемах у різних формах (К. Холлінг, 1973; Г. Оріанс, 1975; О. Арманд, 1988; Я. Зонефельд, 1989 та ін.). Багато цих концепцій хибує на те, що форми стійкості, визначені ними, нечітко окреслені, мають різний ступінь загальності, частково дублюють одна одну або навпаки - при поділі стійкості на складові частини (форми) деякі її суттєві особливості не враховуються.

Поняття „стійкість геосистеми" набуває конкретності, якщо задані:

- змінні, що описують геосистему і простір її станів;
- області простору, у межах якого зміни станів вважаються

несуттєвими;

- інтервал часу, для якого оцінюється стійкість;
- зовнішній фактор або група факторів, до впливу яких аналізується

стійкість.

Якщо ці умови визначено, то можна виділити три загальні форми стійкості геосистеми (М. Д. Гродзинський, 1983):

Інертність - здатність геосистеми під дією фактора не виходити із заданої області станів протягом певного інтервалу часу;

Відновлюваність - здатність геосистеми повертатися за певний час до області станів після виходу з неї під впливом фактора;

Пластичність - здатність геосистеми, за наявності в неї кількох областей станів у рамках інваріанта, переходити під дією фактора з однієї такої області до інших і завдяки цьому протягом певного часу не залишати інваріантної області.

Таким чином, стійкість геосистеми полягає в її здатності під дією зовнішнього фактора перебувати в одній із областей станів та повертатися до неї за рахунок інертності та відновлюваності, а також переходити завдяки пластичності з однієї області станів до інших, не виходячи при цьому за рамки інваріантних змін протягом заданого інтервалу часу. Ці визначення, як і три можливі форми стійкості геосистеми, загальні в тому розумінні, що вони придатні для будь-якого антропогенного фактора, інтервалу часу, виду та рангу геосистеми, критеріїв визначення областей станів та інваріанта, а також складу та числа змінних геосистеми.

Щодо критеріїв стійкості *інертність* — найжорсткіша її форма і найбільш бажана при господарському використанні геосистем. Особливе значення вона має в тих випадках, коли навіть одноразовий та швидко відновлюваний вихід геосистеми із заданої області станів неприпустимий (наприклад, з погляду радіаційної безпеки, санітарно-гігієнічних норм та ін.).

Відновлюваність — важлива форма, що забезпечує стійкість насамперед особливостей біоти та ґрунту геосистем.

Морфолітогенні властивості можуть відновлюватися лише протягом дуже значних інтервалів часу. Напевно, внаслідок цього в екології саме Відновлюваність здебільшого ототожнюється із стійкістю екосистем, тоді як в інженерній геології та геоморфології під стійкістю зазвичай розуміють інертність.

Добре відновлюваною вважається геосистема, якщо вона може швидко повертатися до початкової області станів і здатна повертатися до цієї області після значного за амплітудою відхилення від неї. Ці дві форми відновлюваності, що можуть в одній геосистемі проявлятися сумісно (швидке відновлення суттєвих порушень), Г. Оріанс (1975) називає еластичністю та амплітудністю.

Пластичність - досить складна й маловивчена форма стійкості.

Вперше положення про те, що стійкість екосистеми може забезпечуватися за рахунок наявності в просторі її станів кількох локально

стійких областей (тобто таких, де вона високоінертна та відновлювана) сформулював Р. Левонтін (1969). Однак термін «пластичність» краще відповідає суті цієї властивості природних систем.

Щоб вирішувати конкретні завдання аналізу стійкості геосистем, належить визначити області станів, в межах яких вважаються несуттєвими зміни. Саме поняття суттєвості орієнтоване на певний об'єкт. Можна вести мову про суттєвість змін самої геосистеми як природного утворення, а можна оцінювати суттєвість змін геосистеми з точки зору виконання нею заданих соціальних функцій. З природно-ландшафтного погляду весь простір станів геосистеми можна поділити на дві області - нормальних та аномальних станів. Нормальними є стани геосистеми, які формуються та змінюються за відсутності збурювальних впливів.

За соціофункціональними критеріями стани геосистеми поділяються на допустимі та недопустимі. **Допустимими є стани**, перебуваючи в яких, геосистема здатна виконувати функцію не нижче від певного рівня (наприклад, забезпечувати проектну врожайність), а **недопустимими такі**, коли природний потенціал геосистеми недостатній для забезпечення мінімально необхідного рівня реалізації функції.

5.2. Кількісні показники стійкості геосистем

Оскільки стійкість у геосистемах реалізується в різних формах, то хоч і можна запропонувати один показник, який характеризує її всебічно, проте він виявиться малоінформативним. Щодо практичного та теоретичного значення, то більший ефект буде, якщо розробити комплекс кількісних показників стійкості, кожен із яких характеризував би окремі її форми та їх тонкі особливості.

Розробка такого комплексу показників стійкості ґрунтується на **понятті відмови геосистеми**. Під нею розуміють подію, що полягає у виході геосистеми із заданої області станів. Відповідно до змінної, що вийшла за межі діапазону своїх нормальних або допустимих значень, є різні види відмов, наприклад, „галоморфізація геосистеми" (якщо вміст солей

перевищить токсичні межі), „гідроморфізація геосистем" (якщо рівень ґрунтових вод піднявся вище за критичну глибину його залягання), „дегуміфікація ґрунту" (якщо вміст гумусу стане меншим від певного встановленого значення) тощо. Поняття відмови ввів у ландшафтну екологію з математичної теорії надійності М. Д. Гродзинський (1983), методи якої можна залучити до оцінки стійкості геосистем. Інертність та відновлюваність характеризують стійкість геосистеми відносно якоїсь конкретної області станів. Таку стійкість називають локальною.

Показники інертності. Важливим показником цієї форми стійкості є ймовірність виникнення відмови. Зручно також характеризувати інертність імовірністю невиникнення відмови виду протягом певного проміжку часу (тобто ймовірністю того, що за певний час геосистема не вийде із заданої області нормальних чи допустимих станів).

Важливими показниками **відновлюваності** геосистеми є ймовірність відновлення геосистеми за певний час після відповідної відмови; інтенсивність відновлення за певний час; середній час відновлення геосистеми.

Показники пластичності. Пластичність можна оцінити ймовірністю того, що протягом певного часу геосистема здійснюватиме переходи лише між областями станів, що належать до одного інваріанта. Емпіричних даних щодо цього може забракнути. Тому реально пластичність можна оцінити лише орієнтовно за посередніми ознаками. Однією з таких ознак є **різноманітність геосистеми.**

Основні показники інертності та відновлюваності геосистем можна розраховувати з допомогою класичних методів математичної статистики за частотою виникнення відмов та відновлювань або за часом виникнення відмов, визначеним законом розподілу.

Дослідження в загальній теорії систем у галузі кібернетики показали, що стійкість виражає емерджентну властивість системи. Тобто стійкість визначає систему в цілому і не може бути співвіднесена з якоюсь її окремою

частиною (Ешбі, 1959). Як відомо, для геосистем притаманна наявність вертикальної та просторової структури, тому в аналізі стійкості геосистем потрібен диференційований підхід до поняття стійкості. З врахуванням всього цього виділяють три **види стійкості**:

- позиційну - це відносно статичне поняття, воно відображає фіксованість елементів геосистеми на відповідній території або в геопросторі;
- структурну - поняття, яке відображає наявність зв'язків (реальних або потенційних) між елементами даної системи;
- функціональну - визначає динаміку систем, реальне існування, реальне здійснення просторових взаємодій між елементами даної та інших систем.

5.3. Оцінювання стійкості геосистем до антропогенно-техногенного навантаження

Поняття стійкості геосистеми до антропогенно-техногенного навантаження в межах того чи іншого виду господарської діяльності стикається з визначенням *межі екологічного ризику геосистеми*. Є мінімальна величина зовнішнього впливу, що спричиняє відмову екосистеми, - це потенціал саморегуляції природно-територіального комплексу або геосистеми.

Стійкість геосистеми до антропогенних змін залежить від часу та масштабу природокористування й їх змін, а також від сучасних природних екзогенних, геохімічних, гравітаційних та інших процесів. Схему оцінки стійкості геосистеми, яка враховує зміни параметрів у часі, представлено на рис. 5.1.

Є багато підходів до визначення граничного рівня можливостей геосистеми самоочищатися та зберігати всі компоненти. Приклад таких оцінок - граничне допустимі концентрації хімічних елементів та групування їх за класами небезпечності згідно з Держстандартом 17.4.1.02-83 «Охорона природи. Ґрунти. Класифікація хімічних речовин для контролю забруднення».

Загальнотеоретична неінформативність цих характеристик полягає в «ландшафтному» підході до їх визначення. ГДК не враховують головного принципу техногенної міграції - когерентності, тому цілком слушно більшість дослідників вважає їх недостовірними.

Визначення *меж техногенного екологічного ризику* - найважливішого компонента визначення межі деградації геосистеми - пов'язане передусім з кількісними параметрами хімічного складу його компонентів (в ідеальному варіанті) або таксономічними угрупованнями ландшафтів природного ряду міграції (не порушених техногенними процесами), які прийнято називати *фоновими*.

Визначення *фонових характеристик компонентів* геосистем - одне з актуальних питань усіх напрямів екології, і вирішити його можливо лише в межах екологічної геохімії.

Розраховані на окремих територіях фонові характеристики геосистем за методом аналогії переносять на досліджувані ділянки геосистем. Виникнення похибки у розрахунках найчастіше пов'язано, по-перше, з неврахуванням атмосферних викидів, по-друге - з недостатньою деталізацією ландшафтної та ландшафтно-геохімічної структури, що може зумовити некоректне використання методу аналогій і незадовільну достовірність кінцевих результатів ландшафтно-екологічних досліджень.

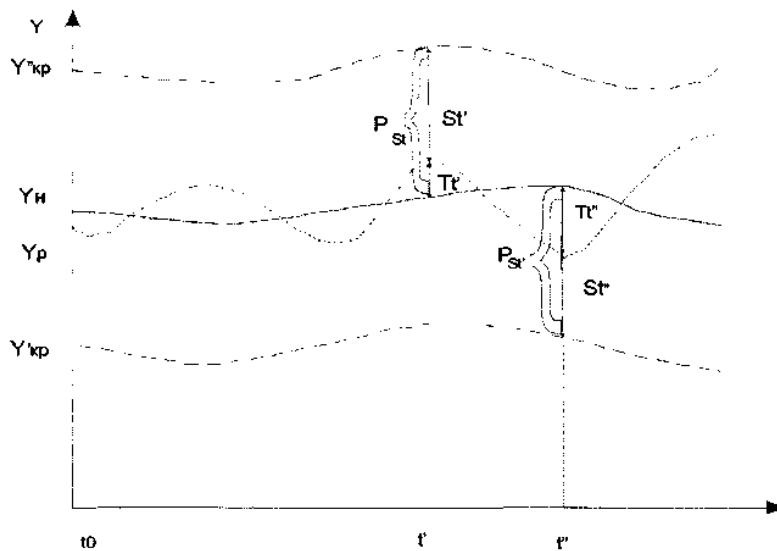


Рис. 5.1. Графічне визначення стійкості геосистем до чинника антропогенно-техногенного тиску (за Г. Шищенком, М. Д. Гродзинським).

Умовні позначення: t – час розвитку геосистеми; $Y_{кр}$, $Y''_{кр}$ – критичні значення досліджуваного параметра Y у часі; Y_n , Y_p – нормальне та реальне значення параметра Y у часі; S_t' , S_t'' – потенційна саморегуляція геосистеми на моменти часу t' , t'' ; P_{st}' та P_{st}'' – стійкість геосистеми до фактора антропогенно-техногенного тиску в моменти часу t' і t'' ; T_t' і T_t'' – енергія потенціалу саморегуляції P_s , що витрачається в моменти часу t' і t'' на стабілізацію геосистеми.

5.4. Геоекологічний прогноз стійкості і реакції геосистеми на антропогенний вплив

5.4.1. Геоекологічне оцінювання умов господарської діяльності в геосистемах

Спеціальні геоекологічні дослідження включають роботи, спрямовані на екологічне оцінювання умов життєдіяльності людини в геосистемах, а також на прогноз стійкості геосистем та їх реакції на антропогенний вплив. Геоекологічне оцінювання і прогноз здійснюються, залежно від поставленої мети, диференційовано і комплексно.

Диференційоване оцінювання передбачає визначення умов стосовно однієї зі сфер життя або одного з напрямків господарської діяльності людини як безпосередньо в кожному елементарному ландшафті, так і в пов'язаному з ним оточенні - геосистемі, яка впливає на нього через потоки речовини та енергії.

Найважливіше - це оцінювання ландшафтів для потреб сільського господарства. Ф. Н. Мільков поділяє оцінювання земель на порівняльне якісне оцінювання природного потенціалу ландшафтів з погляду⁷ їхнього

господарського використання і кількісне економічне оцінювання, яке передбачає і потенціал, і економічні фактори - врожайність, вихід натуральної і сільськогосподарської продукції, доход на одиницю площі та ін.

Дослідження в цьому напрямку показали, що найефективнішим є бонітування: порівняльне оцінювання якості земель в балах або спеціальних індексах, при якому поряд із родючістю ґрунтів враховують рельєф, водний режим, умови виконання меліоративних і агротехнічних робіт та інші характеристики.

Досвід свідчить, що оцінка якості земель може значно відрізнятись від бонітетного балу ґрунтів, це найяскравіше виявляється в районах зі складним рельєфом, підвищеною вологістю і роздрібленістю угідь. В Англії у системі оцінювання земель (з розподілом їх на 10 класів за продуктивністю) як перший критерій розподілу враховують рельєф, а допіру тоді - потужність і склад ґрунтових горизонтів, умови дренажу, місцевий клімат. Провідне значення має рельєф у класифікації земель для складання кадастру й оцінки на Північному Заході Росії. Оцінку лук і пасовищ у класах кадастру дається за умовами розміщення (наприклад, низинні, заплавні луки, пологі схили і рівнини тощо).

Практика бонітування досить часто зводиться до порівняльного оцінювання земель з їх ранжуванням стосовно до тих чи інших елементів земної поверхні. Цей підхід цілком відповідає геоекологічному оцінюванню елементарних геосистем на основі геотопологічного принципу. Він передбачає не абсолютне, а саме порівняльне оцінювання якості геосистем для сільськогосподарського виробництва - щодо вихідних у кожній геосистемі (сукупності геосистем) характеристик природно-ресурсного потенціалу в цілому і родючості зокрема, а також інших показників. Таке оцінювання можливе в результаті:

- простежування даного потенціалу (родючості) як результату мінливості тих чи інших геолого-географічних властивостей при переході

через межі від однієї елементарної геосистеми до іншої (метод «простежування потоків»);

- визначення характеристик, що відображаються у репрезентативних точках, які являють собою геосистеми визначених геотопологічних категорій;
- використання геотопологічної інтерпретації і екстраполяції.

Перехід бонітування на геотопологічний принцип дозволяє значно вдосконалити оцінювання земель, оскільки замість запровадження численних поправкових коефіцієнтів на окремі властивості земель і умов застосування засобів механізації, він передбачає облік цих властивостей і умов у комплексі, через геотопологічну характеристику ландшафтів і геосистем. Така оцінка ґрунтується на відображенні в даній характеристиці літогенної основи місця розташування та умов обробітку сільськогосподарських угідь.

Геотопологічне оцінювання земель або елементарних ландшафтів полягає у визначенні й передбаченні показників, які характеризують їх якість, врожайність і продуктивність за місцями їх розташування

Оцінювання умов життя людини при плануванні і створенні нових населених пунктів (біля рудників, на родовищах нафти і газу, уздовж споруджуваних залізничних магістралей і т. ін.), зон відпочинку, курортів і багатьох інших об'єктів життєзабезпечення треба давати відносно їх розміщення, залежно від регіональної чи місцевої фонові геолого-географічної обстановки і її найважливіших властивостей -забезпеченості теплом і вологою.

В оцінюванні умов життя людини у високих широтах головним є аналіз геотопологічних параметрів, що визначають розподіл і перерозподіл тепла. Вони характеризують інсоляційну, циркуляційну а також гравітаційну експозиції.

В аридних або, навпаки, дуже зволжених областях домінує аналіз тих геотопологічних характеристик, що обумовлюють розподіл вологи. В такому разі слід орієнтуватися на загальні уявлення про зміну зволоженості в геосистемі при переході від одного елементарного ландшафту до іншого.

Перехід від загальних уявлень до конкретного оцінювання зволоження належить здійснювати в результаті «простежування потоків», геотопологічної інтерполяції й екстраполяції, базуючись на результатах вимірів (модуля поверхневого стоку, рівня ґрунтових вод, вологості ґрунтів, потужності сніжного покриву тощо) у репрезентативних точках.

Найбільш контрастно геотопологічні оцінювання розрізняються для гірських ландшафтів. Стосовно останніх вони мають проводитися з врахуванням можливого впливу на людину катастрофічних гідро- і літодинамічних процесів - сходу лавин, селевих потоків, зсувів, осипів і т. ін. Загальні уявлення про небезпеку проживання людини в гірських ландшафтах зводяться до оцінки геотопологічного ризику.

Конкретизація уявлень про ризик, їх коректива й чітко адресоване оцінювання вимагають, природно, не тільки прямого вимірювання в репрезентативних точках і непрямих визначень динамічних параметрів через геотопологічні показники, які характеризують гравітаційну експозицію в кожному елементарному ландшафті, але й ретельного вивчення зв'язків між останніми і відбитими в них показниками його літогенної основи.

Комплексне геоекологічне оцінювання елементарних геосистем особливо актуальне під час продажу або передачі земель у багаторічну оренду і постійне користування. Воно має зводитися до бонітування, складання кадастрів, екологічної паспортизації, щоб планувати далі раціональне природокористування.

5.4.2. Геоекологічне прогнозування

Прогнози, що їх складають у ході спеціальних ландшафтно-геоекологічних досліджень, своїм змістом, обґрунтованістю і технологією значно відрізняються від прогнозування, здійснюваного в результаті ландшафтного моніторингу з його ретроспективними, інвентаризаційними і режимними багаторазовими спостереженнями.

Прогнози, складені за результатами моніторингу, мають тільки *хронологічний характер*. Переважно вони засновані на часовій екстраполяції -

умовному продовженні в майбутнє тенденцій розвитку тих чи інших явищ (забруднення, солонцювання, водної ерозії або дефляції ґрунтів та ін.), встановлених на початку і в кінці спостережень. Прикладом може слугувати прогнозування часу, за який концентрація певного шкідливого компонента досягне або перевищить граничне допустимі норми. Обмеженість таких прогнозів полягає в недостатності даних про мінливість природних процесів і, крім того, вона пов'язана з фізичною неможливістю здійснювати моніторинг протягом тривалого часу в усіх репрезентативних ландшафтах досліджуваної території. Це вимагає великої приладної бази, величезних трудових затрат і досить часто вступає в протиріччя з потребою термінового представлення прогнозів замовникам. Крім того, викликає сумніви правомірність часової екстраполяції на значні терміни випередження при малій тривалості спостережень. Не менш важливою є відповідь на питання: на яку частину ландшафту можна поширити закономірності, виявлені в ході моніторингу на окремих точках спостереження, і сформульовані прогнозні висновки? Оскільки кожна з цих точок має визначену геолого-географічну унікальність, треба виробити чіткі критерії поширення отриманих висновків і виявлених закономірностей у просторі та з'ясувати межі, за якими таке поширення буде неправомірним.

Проблема просторової екстраполяції встановлених тенденцій мінливості екологічної ситуації, а також пов'язаного з нею розміщення репрезентативних точок або станцій спостереження може бути вирішена тільки при поєднанні моніторингу з ландшафтно-геоекологічними дослідженнями. Досліджуючи, можна застосовувати різні за тривалістю спостереження динаміки тих чи інших природних і антропогенних процесів, а тим самим підвищувати точність та обґрунтованість екологічних прогнозів. Це можна робити й автономно, без елементів моніторингу (у тому числі літомоніторингу), складаючи прогнози *хроно-хорологічного характеру*. Ландшафтно-геоекологічні прогнози цієї категорії ґрунтуються на одноразових спостереженнях у репрезентативних точках і полягають у

визначенні реакції, яку різні антропогенні впливи викликають в елементарних ландшафтах, однорідних за екологічними властивостями.

У результаті такого прогнозу кожному елементарному ландшафту надається чітко визначене місце в прогнозному ряді стійкості або уразливості щодо відповідного антропогенного впливу - наприклад, щодо швидкості нагромадження шкідливих компонентів.

У зв'язку з цим прогнозується вразливість конкретних елементарних ландшафтів стосовно природного і антропогенно-природного процесів.

Таким чином, *хорологічне прогнозування* поєднується з геоекологічним оцінюванням, що здійснюється в результаті екстраполяції даних, отриманих у репрезентативних точках, на представлені ними, але безпосередньо не вивчені ландшафти визначених геотопологічних категорій.

Отже, геотопологічна концепція ландшафтно-геоекологічних досліджень передбачає виконувати прогнозування в такій послідовності: хорологічні —> хроно-хорологічні —хронологічні прогнози. Прогнози першого виду - це фактично оцінювання сучасних геолого-географічних і екологічних властивостей, притаманних всім - у тому числі конкретно не дослідженим, але зарахованим до тієї чи іншої геотопологічної категорії - елементарним ландшафтам. Цю роботу виконують у рамках рішення зворотної задачі - геотопологічної екстраполяції.

Ландшафтно-геоекологічні прогнози другого виду полягають у прогнозуванні відносної мінливості екологічної ситуації вже не тільки в просторі, але й у часі під впливом антропогенних, природних і антропогенно-природних факторів та процесів. Ці прогнозування здійснюються для геокомплексів кожного конкретного різновиду в порівнянні з ландшафтами інших геотопологічних категорій, без визначення швидкості і часу досягнення можливого екологічного стану.

Хронологічні прогнози з різними термінами випередження - це виснувані в результаті ландшафтного моніторингу в репрезентативних точках ґрунтовні судження про *«абсолютну» мінливість* ландшафтів, доповнені

кількісною оцінкою швидкості змін у визначеному несприятливому чи сприятливому напрямках

Усі три види прогнозування базуються на виявленні місць розташування (інваріантів) елементарних ландшафтів, стійкість яких визначає успадкована ними динаміка. Встановлені геотопологічні показники та їх кореляція з геолого-географічними й екологічними параметрами забезпечують передбачуваність мінливості екологічної ситуації в ландшафтах, дозволяють визначити мінливі в просторі тенденції і швидкості їх розвитку.

Разом з тим слід зазначити, що без вирішення питань, що стосуються просторового аспекту відносин людини з довкіллям, не можна розраховувати на високу ефективність спостереження за динамікою екологічної обстановки і на обґрунтованість хронологічних і хроно-хорологічних прогнозів її мінливості.