

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
Інститут географії

На правах рукопису

Гродзинський Михайло Дмитрович

**ТЕОРІЯ ТА МЕТОДИ АНАЛІЗУ СТІЙКОСТІ ГЕОСИСТЕМ
ДО АНТРОПОГЕННИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

11.00.01 - Фізична географія, геофізика і геохімія ландшафтів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора географічних наук

Київ - 1994



00043653 (L)

AB 31.443

Робота виконана на географічному факультеті Київського університету імені Тараса Шевченка

911.5
Офіційні опоненти:

1. Доктор географічних наук, професор
Боков Володимир Олександрович
2. Доктор географічних наук, професор
Половина Іван Петрович
3. Доктор географічних наук, професор
Топчієв Олександр Григорович

Провідна організація: геолого-географічний факультет
Харківського університету

Захист відбудеться "27" грудня 1994 року о 10⁰⁰ год. на засіданні спеціалізованої ради Д 016.02.02 Інституту географії НАН України за адресою: 252034, м. Київ-34, вул. Володимирська, 44.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Інституту географії НАН України за адресою: 252034, м. Київ-34, вул. Володимирська, 44.

Автореферат розісланий "23" листопада 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат географічних наук

Передерій В.І.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розвиток деградативних процесів в природі (ерозія ґрунтів, їх вторинне засолення, вимирання видів, акумуляція та міграція по трофічній мережі забруднень тощо) є не чим іншим, як наслідком втрати геосистемами їх природної стійкості в умовах антропогенних навантажень. Під тиском останніх геосистеми стають нездатними зберігати свою еволюційно збалансовану структуру та врівноважені динамічні тенденції і зазнають при цьому змін, які здебільшого вкрай небажані для господарського використання території, а почасти і для здоров'я населення. Тому не буде перебільшенням вважати, що запорукою раціональності природокористування є розробка такої його стратегії та прийняття таких тактичних рішень, які б забезпечували підтримку стійкості геосистем в умовах антропогенного тиску на них.

Хоча проблема стійкості визнається однією з провідних в сучасному ландшафтознавстві (А.Г.Ісаченко, В.С.Преображенський; В.Б.Сочава) та ландшафтній екології (R.Forman, M.Godron, Z.Naveh, A.Lieberman, J.Zonneveld), глибина її розробки далека від рівня її важливості для практики та теорії названих наук. Стійкість є фундаментальною властивістю геосистем, з якою тісно зв'язані її важливі властивості - еволюція, динаміка, цілісність тощо, теоретичне осмислення яких неможливе без з'ясування феномену стійкості, специфіки її прояву та механізмів забезпечення в геосистемах. З розробкою теоретичних аспектів проблеми стійкості геосистем прямо пов'язаний прогрес у вирішенні таких актуальних проблем ландшафтознавства як ландшафтне прогнозування, нормування антропогенних навантажень на геосистеми, екологічний моніторинг та інших.

Важливі результати в розробці проблеми стійкості гео- та екосистем одержані О.Д.Армандом, К.М.Дьяконовим, Я.Зонфельдом, З.Наве, А.А.Крауклісом, В.С.Преображенським, Ю.Г.Пузаченко, Р.Форманом та М.Годроном та ін. (в рамках ландшафтознавства та ландшафтної екології), Р.Маргалефом, Р.Меєм, Р.Левонтіном, Г.Оріансом, Ю.М.Свирежевим, Р.Уйттекером, К.Холлінгом та ін. (в теоретичній та математичній екології). Однак ці результати розрізнені, слабо пов'язані між собою і не становлять цілісної концепції стійкості геосистем. Особливо незадовільною є розробка найважливішого питання в рамках проблеми стійкості - принципів та методів її оцінювання. Саме оцінивши, наскільки стійкою є геосистема до певного антропогенного втручання, можливе обґрунтоване прийняття рішень по нормуванню останнього, прогноз можливих змін геосистем тощо. Оперуючи кількісними оцінками стійкості, можливий вихід на новий напрямок та принципово вищий рівень аналізу механізмів забезпечення стійкості, її зв'язку з іншими властивостями геосистеми, розробки нових методів прогнозування та оптимізації геосистем.

Мета і завдання роботи. Метою роботи є розробка теоретичних основ концепції стійкості геосистем та методів її кількісного оцінювання, орієнтованих на вирішення конкретних теоретичних та прикладних завдань: прогнозу змін геосистем, нормування антропогенних навантажень, раціональної організації території. Досягнення цієї мети потребувало вирішення таких головних завдань:

1- визначити форми, в яких реалізується стійкість геосистем, ландшафтних територіальних структур, ландшафтних меж та виявити механізми, що лежать в основі цієї реалізації;

2- обґрунтувати комплекс показників стійкості геосистем та систему методів їх кількісного оцінювання;

3- розробити методикау кількісного оцінювання та аналізу стійкості геосистем;

4- з'ясувати головні регіональні та локальні закономірності стійкості геосистем України до антропогенних навантажень;

5- розробити методи оцінки екологічних ризиків, ландшафтного прогнозування, нормування антропогенних навантажень та раціональної організації території, що базуються на оцінках стійкості геосистем.

Об'єкт та предмет дослідження. Об'єктом дослідження є геосистеми локального рангу розмірності (ключових ділянок аналізу стійкості) та регіонального рангу (України в цілому). Предметом їх моделі (графічні та математичні).

Методологія та методи дослідження. Методологічну основу роботи складають концепції ландшафтознавства, ландшафтної екології та екології, а також концептуальний апарат математичної теорії надійності в його застосуванні до аналізу геосистем.

Методи: *виділення геосистем* - польовим крупномасштабним (1:25 000) ландшафтним картографуванням на ключових ділянках, та середньомасштабним (1:50 000 - 1:200 000) репрезентативних регіонів України; *ідентифікації та оцінки стану геосистем* - стандартними методами математичної статистики та за функцією бажаності Харрінгтона; *оцінки стійкості геосистем* - методами математичної теорії надійності; *ландшафтного прогнозування* - на основі матриць Маркова з розрахунком перехідних імовірностей за значеннями показників стійкості геосистем; *нормування антропогенних навантажень* - за моделлю "навантаження-опір геосистеми". Статистична обробка емпіричних даних здійснювалася в

процесі роботи на різних персональних ЕОМ, на заключному етапі - персональним комп'ютером "TOSHIBA-T1910" (мікропроцесор i486 SX™, об'єм пам'яті 4 МВ) за програмою "Excell".

Вихідним матеріалом послуговували результати польових досліджень, виконаних протягом 1982-1993 років, та фондові матеріали численних проектних та науково-виробничих установ.

Основні положення, що захищаються. 1. Стійкість геосистеми - її складна властивість, що проявляється у сукупності різних форм. Поняття стійкості геосистеми набуває конкретності та можливості кількісного оцінення якщо задані: область станів геосистеми, зовнішній фактор, що впливає на зміну цих станів, часовий інтервал аналізу. За визначення цих умов може бути виділено тільки три загальні форми стійкості - інертність, відновлюваність та пластичність. Кожна з них реалізується за рахунок форм більш часткового характеру і, таким чином, сукупність форм стійкості геосистеми формує певну структуру, що має субординаційну, ординаційну та координаційну впорядкованість.

2. Комплексна оцінка стійкості геосистем за допомогою одного "інтегрального" показника стійкості неможлива. Вона досяжна лише комплексом взаємодоповнюючих та взаємозв'язаних показників.

3. Для розробки комплексу показників стійкості та методів їх оцінювання ефективним є використання з урахуванням специфіки геосистем концептуального та математичного апарату теорії надійності.

4. Кожний показник стійкості геосистеми може бути оцінений за допомогою декількох різних методів. Вибір найбільш ефективного з них визначається об'ємом наявої інформації про геосистеми, бажаною точністю та статистичною вірогідністю

оцінок. В структурі розроблених методів є й такі, що дозволяють оцінити стійкість за обмеженої емпіричної інформації про геосистеми та зовнішні впливи на них.

5. Методи оцінювання стійкості геосистем та результати цього оцінювання є основою розробки ефективних методів аналізу екологічних ризиків, ландшафтно-екологічного прогнозування, нормування антропогенних навантажень на геосистеми, обґрунтування схем раціональної організації території.

Наукова новизна та практична цінність роботи. Вперше на основі чітких формальних критеріїв виділені форми стійкості геосистем та визначено співвідношення між ними, що дало змогу обґрунтувати концепцію механізму забезпечення та порушення стійкості при антропогенних навантаженнях. Для аналізу стійкості геосистем введено поняття відмови геосистеми, визначені їх ознаки, розроблено класифікацію та запропоновано підхід до аналізу формування відмови на основі побудови графічних моделей "дерев відмов". Обґрунтована можливість використання для аналізу стійкості геосистем методів теорії надійності. Розроблено комплекс показників стійкості геосистем та методів їх оцінювання на основі концепцій та моделей теорії надійності. Запропоновані показники і методи оцінювання антропогенних навантажень на геосистеми. Вперше на основі введених теоретичних положень аналізу стійкості та оцінок стійкості розроблені теоретичні підходи та методи: оцінки екологічних ризиків, визначення норм антропогенних навантажень на геосистеми, кількісної оцінки ступеню пріоритетності норм; прогнозування імовірностей змін геосистем, очікуваного часу настання небажаних змін, економічних збитків від змін геосистем.

Теоретичну новизну становить також ряд введених нових понять: ландшафтно-екологічної ніші геосистеми, гільдії геосистем, ступеню пристосованості геосистеми до природного зовнішнього фону та ін.

В методичному відношенні новим є: методика обґрунтування місцезположення ключових ділянок та їх репрезентативної мережі, застосування сіткового планування при організації ландшафтних досліджень, методика виділення областей нормальних та допустимих станів геосистем, оцінки ступеня оптимальності станів, методика картографування стійкості геосистем.

В регіональному відношенні вперше побудовані ландшафтно-екологічні ніші геосистем України, виявлені "вісь ландшафтно-зональності" та "вісь гідроморфності" ландшафтів України у просторі їх гідрокліматичних факторів, виявлені ареали найбільшої відповідності сучасної ландшафтно-структури зовнішньому природному середовищу, встановлені регіональні та локальні закономірності стійкості геосистем України, складені схеми районування території республіки за характером та інтенсивністю антропогенних навантажень, за збурюючою активністю зовнішнього природного середовища геосистем.

Практична цінність роботи насамперед полягає у можливості практичних розрахунків стійкості геосистем до широкого класу антропогенних навантажень. На основі цих оцінок можливе обґрунтоване прийняття рішень з питань нормування антропогенних впливів на геосистеми, оптимального з ландшафтно-екологічних позицій вибору місцезрозташування промислових та інших техногенних об'єктів в ландшафті, обґрунтування оптимальної структури агроландшафту. Значна частина методів, розроблених в дисертації, має безпосередню практичну орієнтацію.

Практична реалізація наукових розробок. Наукові розробки використані в процесі виконання наукової теми ДКНТ України "Розробити концепцію та методи оцінки екосистем до антропогенних навантажень", наукових тем Міністерства України "Принципи і методи геоecологічного картографування" та "Комплексний картографічний аналіз геоecологічної ситуації ландшафтів України", науковим керівником яких був автор. Окремі положення реалізовані при виконанні госпдогвірних тем по обґрунтуванню меліоративних систем (Рівнинний Крим, район Дунайських озер, район Дністровського лиману), контурно-меліоративного землеустрою (Степова та Лісостепова зони України), Чорнобильської тематики, розробки "природного блоку" автоматизованої експертної системи "Промтериторія", а також у виконанні наукової теми РЕВ 3.2. "Екологічні основи планування та управління ландшафтами" міжнародним колективом географів, у якому автор був відповідальним за розділ, пов'язаний з гідромеліоративними природно-технічними системами.

Наукові розробки реалізовані в навчальному процесі при читанні автором курсів "Ландшафтна екологія", "Вчення про геосистеми", "Математичні методи в геоecології", "Геоecологія України".

Апробація результатів дослідження. Основні положення дисертації доповідалися на 8-му з'їзді Географічного товариства СРСР (1985, Київ); 4-му (Луганськ, 1980), 5-му (Сімферополь, 1985), 6-му (Одеса, 1990) з'їздах Географічного товариства України; Всесоюзних нарадах з антропогенного ландшафтознавства (Воронеж, 1982, 1988), 7-ій (Рівне, 1986) та 8-ій (Таллінн, 1988) Всесоюзних конференціях з меліоративної географії; 1-ій Всесоюзній конференції з соціальної екології (Львів, 1986), 2-ій Всесоюзній нараді "Геосистема-86" (Курськ, 1986), Бі-семінарі гео-

екологів СРСР та НДР (Лейпціг, 1987), Всесоюзній науково-координаційній нараді "Стійкість геосистем-88" (Мінськ, 1988), 8-ій Всесоюзній нараді з ландшафтознавства (Львів, 1988), Всесоюзній науково-технічній конференції "Тематична картографія та науково-технічний прогрес" (Харків, 1988), науковому колоквиумі Інституту географії та геоекології АН НДР (Лейпціг, 1988), Всесоюзній нараді "Стійкість та мінливість геосистем як наукова основа нормування антропогенних навантажень" (Москва, 1988), міжнародних наукових семінарах з теми РЕВ 3.2. "Екологічні основи планування та управління ландшафтами" (Ялта, 1987, Бад-Сааров, НДР, 1989; Іркутськ, 1989) та на міжнародних школах цієї теми (Сімферополь-Ялта, 1983, Паланга, 1989), міжнародній конференції "Теоретичні та прикладні проблеми агроландшафтознавства" (Вінниця, 1993), Республіканській науковій конференції "Екологічне та соціально-економічне обґрунтування регіональних схем раціонального природокористування" (Мінськ, 1993), міжнародній робочій нараді з картографування господарського використання ландшафтів (Брно, 1994), наукових конференціях Ініціативи Глобальної безпеки (Кембрідж, 1994, Стара Лесна, Словаччина, 1994), науковій конференції "Фундаментальні географічні дослідження" (Київ, 1994), науковій конференції "Проблеми географії України" (Львів, 1994) та інших. Результати роботи обговорювалися на конференціях науково-викладацького складу Київського (1988-1993), Одеського (1986) університетів та Університету Мартіна Лютера (Галле, НДР, 1988).

Публікації. На тему дисертації опубліковано: 2 монографії (1 у співавторстві), 2 монографічних видання за участю автора, 2 наукові та 2 навчально-методичні брошури, 23 статті.

Особистий внесок автора в роботу. Теоретичні положення аналізу стійкості геосистем, методи оцінювання, прогнозування, оцінки екологічних ризиків, нормування антропогенних навантажень автором розроблені самостійно. Концепція типів ландшафтних територіальних структур - в складі колективу київських та одеських географів. Польові дослідження виконувались ландшафтними загонами Київського університету під керівництвом та за безпосередньої участі автора.

Структура та об'єм дисертації. Дисертація, загальним об'ємом 338 стор., містить 274 стор. машинописного тексту, 41 малюнок, 25 таблиць, в додатках наведено 17 малюнків та 2 таблиці. Список літератури нараховує 334 найменування, з них 56 - латинцею.

У *першій главі* дисертації обґрунтовуються теоретичні положення аналізу стійкості геосистем, на основі яких у *другій главі* розроблений комплекс кількісних показників стійкості та методів їх оцінювання. Методичні аспекти аналізу стійкості висвітлені у *третьій главі*. *Четверта глава* присвячена аналізу отриманих результатів для території України, а *п'ята* - їх застосуванню для вирішення актуальних геоecологічних проблем - оцінки екологічних ризиків, прогнозування, нормування антропогенних навантажень та раціональній організації території.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Теоретичні основи аналізу стійкості геосистем.

Аналіз літератури з проблеми стійкості в ландшафтознавстві та екології дозволив виявити коло теоретичних питань, недостатня розробленість яких стримує розвиток проблеми стійкості геосистем в цілому. Серед цих питань особливе значення мають: визначення форм, у яких проявляється стійкість в геосистемах,

з'ясування співвідношень між ними, виявлення та опис механізму порушення стійкості. Як суттєву методологічну прогалину слід вважати також відсутність теоретичних положень, які б дозволяли органічно перейти від формальних концепцій стійкості до вирішення на їх основі конкретних питань, зокрема прикладного спрямування.

Форми стійкості геосистеми. Поняття стійкості набуває визначеності, якщо задані: 1- область станів Z_0 геосистеми, зміни у межах якої визнаються за несуттєві з природної (область нормальних станів), або соціо-функціональної (допустимі стани) точок зору; 2- фактор f , по відношенню до якого аналізується стійкість геосистеми; 3- часовий інтервал Δt , для якого визначається стійкість. Якщо ці умови задані, то при дії на геосистему фактора f можливі лише чотири форми її змін: 1- геосистема лишається в області станів Z_0 на протязі усього часового інтервалу Δt ; 2 - геосистема виходить з області станів Z_0 , але на інтервалі часу Δt повертається до неї; 3 - геосистема виходить з області Z_0 , але на інтервалі Δt залишається у рамках інваріанту Z за рахунок перебування в його інших областях станів; 4- геосистема виходить з області Z_0 і на інтервалі часу Δt приходять в область станів, що не належить інваріанту Z , тобто відбувається кардинальна перебудова геосистеми, її заміна на іншу.

Перші три наведені випадки можна розглядати як три загальні форми стійкості - інертність, відновлюваність та пластичність. **Інертність** визначається як здатність геосистеми при дії на неї зовнішнього фактора зберігати свій стан в межах заданої області на протязі заданого інтервалу часу. **Відновлюваність** - здатність геосистеми повертатися до початкової області станів після виходу з неї. **Пластичність** - наявність у геосистеми декількох

областей станів, знаходячись у яких вона має здатність до інертності та (або) відновлюваності, і її здатність при дії зовнішнього фактора переходити з однієї такої області до інших.

Здатність геосистеми лишатися при дії зовнішнього фактора в заданій області станів, а в разі виходу з неї повертатися у цю область можна назвати локальною стійкістю.

Наведені три можливі форми стійкості геосистеми є загальними у тому відношенні, що вони дійсні для будь-якого зовнішнього фактора f , часового інтервалу Δt , критеріїв визначення області станів Z_0 та інваріанту Z , а також для будь-якого числа та набору змінних, якими описується геосистема.

Кожна з цих форм, в свою чергу, може забезпечуватися за рахунок форм більш часткового характеру. Для інертності можна виділити 4 такі форми: пасивність, інерційність, буферність та бар'єрність. *Пасивність* геосистеми до впливу певного фактора пов'язана з малою чутливістю її змінних до його дії. У цьому випадку стан геосистеми протягом інтервалу Δt лишається незмінним або ж змінюється у дуже вузьких межах. *Інерційність* геосистеми - її здатність затримувати на деякий час реакцію на збудуючий фактор, зменшуючи при цьому амплітуду коливань. *Буферність* визначається величиною області станів Z_0 : чим ця область більша - тим вищою є імовірність геосистеми змінювати протягом Δt свої стани у її межах. *Бар'єрність* геосистеми проявляється у тому разі, якщо перехід геосистеми через деякі стани суттєво утруднений або неможливий взагалі.

Добре відновлюваною може вважатися геосистема, якщо вона: 1 - здатна швидко повертатися до початкової області станів Z_0 ; 2 - здатна повертатися до цієї області після значного за

амплітудою відхилення від неї. Ці дві форми відновлюваності, будемо називати відповідно *еластичністю* та *амплітудністю*.

Форма прояву пластичності в геосистемах залежить від ступеню зв'язку її окремих областей станів. За строго детермінованої послідовності змін станів геосистеми її знаходження в рамках інваріанту можливе, якщо ці зміни утворюють в інваріантній області замкнені цикли - орбітали. Таку форму стійкості можна назвати *орбітальною пластичністю* (далі - О-пластичність).

Сукцесійні схеми геосистем, що мають О-пластичність, прості і являють собою один сукцесійний ряд, вздовж якого відбуваються зміни їх станів. Однак побудовані нами сукцесійні схеми окремих регіонів України свідчать, що по багатьох факторах динамічні зміни геосистем відбуваються не вздовж ряду, а формують мережу альтернативних рядів, які можуть сходитись до певних станів (конвергенція змін), або розходитись (їх дивергенція). Якщо ці зміни детерміновані і не виводять геосистему з інваріанту, то її пластичність реалізується у формі, яку можна назвати дивергентно-конвергентною (далі - *ДС-пластичність*).

О-пластичність та ДС-пластичність подібні тим, що основою їх забезпечення є детермінованість переходів між областями станів. Пластичність такого типу можна назвати детермінованою (D-пластичність). Для геосистем, невизначеність змін станів яких значна, пластичність буде тим вищою, чим більше локально-стійких областей станів має геосистема в рамках інваріанту та чим рівноімовірніші переходи між цими областями. Таку форму стійкості можна назвати *стохастичною пластичністю*.

Аналіз співвідношень між формами стійкості геосистеми зводиться до виявлення їх субординації, ординації та координації. *Субординація* форм стійкості геосистеми визначає їх співвідно-

шення за ступенем загальності і тому може розглядатися як їх класифікація (рис. 1).



Рис. 1. Субординація форм стійкості геосистем

Ординація форм стійкості ґрунтується на тому, що при посиленні зовнішнього впливу роль різних форм стійкості у його знешкодженні змінюється закономірним чином. Геосистема послідовно задіює певну форму стійкості, намагаючись забезпечити максимально можливу близькість до початкового стану (рис. 2).

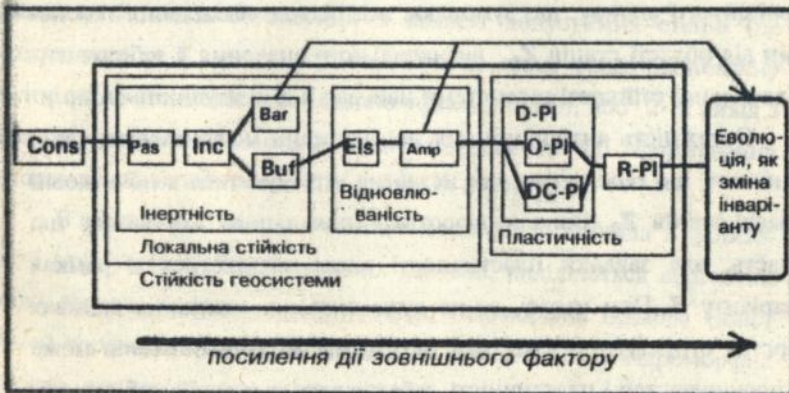


Рис. 2. Ординація форм стійкості геосистеми

За незначного антропогенного навантаження стійкість геосистеми може забезпечуватися за рахунок пасивності (Pas.) - вона мовби "не помічає" це навантаження, або дуже слабо реагує на нього. До деяких, здебільшого також слабких, впливів інертність геосистеми забезпечується її інерційністю (Inc.). Якщо при посиленні навантаження пасивність та інерційність проявляються все слабкіше і, як наслідок цього, амплітуда коливань змінних геосистеми збільшується, її інертність може забезпечуватися або тим, що коливання з цією амплітудою допустимі (нормальні) в широкому діапазоні (буферність геосистеми - Buf.), або тим, що обмежуються певним бар'єром (бар'єрність - Bar.)

При подальшому посиленні навантаження геосистема може виявитися нездатною лишатися в області станів Z_0 і її стійкість забезпечується за рахунок відновлюваності. При відносно слабких впливах вихід геосистеми з області станів Z_0 здебільшого незначний і відновлюваність забезпечується завдяки швидкому поверненню геосистеми до Z_0 (її еластичності Els). З посиленням зовнішнього впливу, що зумовлює все більше відхилення геосистеми від області станів Z_0 , визначального значення в забезпеченні локальної стійкості геосистеми набуває її амплітудність (Amr.).

Потужність антропогенних навантажень може досягти такої величини, що геосистема вже нездатна утримуватися в початковій області станів Z_0 . Вона незворотно (для даного Δt) змінює цю область, але завдяки пластичності може залишатися в рамках інваріанту Z . При цьому, за не дуже сильних зовнішніх впливах жорстка структура зв'язків між окремими областями станів може не порушуватися і пластичність забезпечується у своїй орбітальній або дивергентно-конвергентній формах. При екстремальних впливах на геосистему відбувається не тільки порушення її почат-

кової області станів Z_0 та здатності відновлювати її, а й руйнується уся етологічна структура геосистеми. Це зумовлює зростання невизначеності у зміні станів геосистеми і її стійкість у цьому разі може забезпечуватися лише у формі стохастичної пластичності.

Виявлені ординаційні співвідношення між формами стійкості геосистеми мають значення при визначенні норм антропогенних навантажень: вони мають бути диференційованими залежно від того, яку форму стійкості бажано зберегти при певному функціональному використанні геосистеми.

Координація форм стійкості, як визначення їх співвідношення за значенням в забезпеченні стійкості конкретної геосистеми до конкретного виду зовнішніх впливів, послугувала за основу типології геосистем України за особливостями їх стійкості.

Відмови геосистеми. Формальна концепція форм стійкості геосистем, що стисло охарактеризована вище, набуває конкретності завдяки введенню в неї поняття відмови геосистеми. Вона визначається як подія виходу геосистеми з заданої області станів. В залежності від мети дослідження, за відмову можна вважати: 1- вихід геосистеми з області допустимих станів (це призводить до її нездатності виконувати певну соціо-економічну функцію з мінімально необхідною ефективністю), або 2- її вихід з області нормальних станів (що призводить до формування аномальної, нетипової для геосистеми структури).

В залежності від змінної геосистеми, що вийшла з діапазону її нормальних або допустимих значень, виділяються відповідні види відмов геосистеми. Наприклад, галоморфна відмова (вміст солей перевищив встановлені порогові токсичності), гідроморфна (рівень ґрунтових вод піднявся вище критичного значення), площинно-ерозійна (змито ґрунту більше гранично-допустимої

величини) тощо. У розробленій типології відмов геосистем України виділено їх 33 види.

Виділення видів відмов якраз і дає можливість конкретизувати аналіз стійкості. Оцінюючи імовірності виникнення за час Δt певної групи відмов (наприклад, зумовлених змінами водного режиму геосистеми), імовірності відновлення геосистем після них та інші показники, можна аналізувати різні змістовні аспекти стійкості геосистеми та її окремих форм. Наприклад, ландшафтно-геохімічну стійкість (відповідно - інертність, відновлюваність та пластичність), коли стійкість геосистеми аналізується лише по відношенню до видів відмов, пов'язаних з забрудненням; фітоценотичну, морфолітогенну, гідрогенну та ін.

Між видами відмов існують певні зв'язки як в плані їх спільної приуроченості до одних геосистем, так і в тому, що виникнення певної відмови в геосистемі зумовлює одночасну, або через деякий час появу іншого виду відмови, яка, в свою чергу, викликає третю і т.д. Так формується характерний ланцюг (точніше - плеяда) відмов геосистеми. Формування цієї плеяди та її структура описують процес деградації геосистеми, який взагалі специфічний для кожного її виду. Побудова (за кореляційними матрицями) та аналіз плеяд відмов для різних регіонів України дозволили виявити основні закономірності процесу деградації геосистем при іригації та інтенсифікації землеробства. При цьому виявилось, що для більшості регіонів кореляційно зв'язані відмови формують дві плеяди - галогідроморфну та ерозійно-дегуміфікаційну. Перша плеяда більш сильно зв'язана і має більшу потужність (об'єднує більше число видів відмов), що вказує на більш глибоку трансформацію геосистем внаслідок зміни їх сольового та водного режимів, аніж через виникнення ерозійної групи відмов.

Аналіз механізму порушення стійкості - "дерево відмови". Відмова геосистеми лише в специфічних випадках може розглядатися як елементарна подія. Вона розкладається на сукупність більш простих подій і виникає не за будь-яких можливих зв'язках між ними, а лише за строго визначених. Ці зв'язки інтегрують процеси, умови їх протікання та зміни в геосистемі у структуру, функціонування якої на протязі деякого часу зумовлює вихід геосистеми з області нормальних, або допустимих станів (її відмову). Для виявлення та аналізу цих структур нами запропонований підхід, що ґрунтується на побудові їх графічних моделей у вигляді "дерева відмов" (для аналізу інертності) та "дерева відношення" (для відновлення геосистеми після відмови).

Для кожного виду відмови складається її граф-дерево, коренем (завершальною подією) якого є відмова (відновлення), а вершинами - події (процеси, їх наслідки та умови протікання), що призводять до неї. Ребра графу відповідають "розкладу" кожної події (процесу) на її складові (умови та процеси, що ведуть до неї). Сукупність подій порядку $k-1$, що визначають подію порядку k , з'єднуються у графі логічним оператором "І" (якщо усі вони необхідні для настання події k), чи "АБО" (якщо подія k виникає внаслідок хоча б одної з подій $k-1$, що ведуть до неї).

Введення в граф формування відмови логічних операторів дозволяє розрахувати показники інертності та відновлюваності геосистем, а також кількісно оцінити ступінь суттєвості кожного процесу для формування відмови геосистеми. За цими оцінками, зокрема, визначається найбільш ефективний комплекс заходів по підвищенню стійкості геосистеми (для більшості дерев відмов це заходи, спрямовані на недопущення процесів, що мають невисокі імовірності настання та з'єднані логічним оператором "ТА").

Аналіз стійкості ландшафтних територіальних структур (ЛТС) ґрунтується на принципі ландшафтної поліструктурності (Раман, 1972; Ретеюм, 1974; Боков, 1983; Преображенский, 1986; Naase, 1976 та ін.). Його можна сформулювати слідуючим чином: елементарні територіальні ландшафтні виділи (фації) зв'язані між собою різними просторовими відношеннями і можуть бути інтегровані у різні територіальні структури залежно від того, яке системоформуюче відношення прийнято за основу цієї інтеграції.

З багатьох просторових відношень між фаціями виділяється 5 їх типів, які у сукупності визначають основні риси ландшафтно-територіальної організації вцілому та можливість вирішення переважної більшості завдань аналізу стійкості ЛТС (Швебс, Шищенко, Гродзинский и др., 1979; Гродзинский, 1993). Цими відношеннями та відповідними їм типами ЛТС є: **1** - генетико-морфологічні - відношення спільності походження та еволюції геосистем, які знаходять вираз у їх будові і формують генетико-морфологічну ЛТС; **2** - зв'язок фацій горизонтальними речовинно-енергетичними потоками та їх відношення до ліній зміни інтенсивності цих потоків - формують позиційно-динамічну ЛТС; **3** - відношення фацій до ліній концентрації горизонтальних потоків - формують парагенетичну ЛТС; **4** - спільність фацій за гідрофункціонуванням - басейнова ЛТС; **5** - біотичні міграції в ландшафті - біоцентрично-сітьова ЛТС.

При антропогенних навантаженнях на певну територію її ландшафтні структури змінюються, проте на протязі інтервалу Δt можуть лишатися інертними, відновлюватися або бути пластичними. Для змістовного аналізу цих форм стійкості ЛТС визначені критерії (види відмов) для кожного типу ЛТС.

Для *генетико-морфологічної ЛТС* критерієм порушення стійкості є виникнення атипового складу та процентного співвідношення площ геосистем, що цю структуру складають (фацій - для урочищ, урочищ - для ландшафтів).

Стійкість позиційно-динамічної ЛТС визначається необхідністю збереження: 1 - конфігурації, 2 - місцеположення (позиції) її територіальних одиниць (ландшафтних смуг та ярів), 3 - територіальної однорідності протікання динамічних процесів в ландшафтній смузі, 4 - напрямку горизонтальних потоків в парадинамічному районі. Порушення цих умов призводить до трансформації позиційно-динамічної ЛТС. Відповідно виділяються чотири види її відмов: конфігураційна, позиційна, градієнтна, векторна. Запропоновані кількісні критерії їх індикації.

Стійкість басейнної ЛТС, територіальними одиницями якої є басейни, загалом є високою. Лише для окремих регіонів України вона може порушуватися перерізанням вододілів вершинами ярів. Це призводить до нестійкості планового обрису вододільних ліній, проте напрямок поверхневого стоку, порядок басейнів та їх взаємопідпорядкування при цьому лишаються незмінними.

Стійкість біоцентрично-сітьової ЛТС, територіальними одиницями якої є біоцентри та біокоридори (Forman, Godron, 1984), а структура зображається графом, визначається ступенем зв'язності графа: якщо він зв'язний, а тим більше має цикли, то усі біоцентри обмінюються між собою спорами, пилом, насінням, особинами тварин, що забезпечує збереження генофонду та нормальний сукцесійний розвиток окремих біоцентрів і ЛТС вцілому. Показники зв'язності графу (α -, β -, γ -індекси) є водночас показниками стійкості біоцентрично-сітьової ЛТС.

Стійкість та зовнішнє природнє середовище геосистем. На

стійкість геосистем до антропогенних впливів можуть позначатися циклічність зовнішніх природних факторів та ступінь пристосованості геосистем до умов зовнішнього природного середовища.

Перше з цих питань досить ґрунтовно досліджене (Возовик, 1979; Остроумов, 1988; Величко, 1989; Веклич, 1990). Базуючись на цих, а також багатьох інших матеріалах, в дисертації показано, що пасивність, інерційність та амплітудність геосистеми здатні суттєво унезалежити її динаміку від циклічного характеру зовнішніх природних факторів.

Для аналізу залежності стійкості геосистеми від її зовнішнього природного фону ефективно застосування в ландшафтознавстві концепції екологічної ніші. Ландшафтно-екологічна ніша геосистеми визначається як область у багатовимірному просторі факторів, знаходячись у межах якої геосистема даного виду може існувати, а поза якими змінюється геосистемами інших видів.

Побудова для зональних геосистем України їх ландшафтно-екологічних ніш дозволила виявити ряд важливих закономірностей стійкості. Вкажемо на дві з них. 1. Місце, яке займає геосистема в ландшафтно-екологічній ніші, свідчить про ступінь її відповідності умовам зовнішнього середовища. Найбільш відповідні ці умови складаються у точці оптимуму ніші, а види геосистеми певного виду, які займають периферійні позиції ніші, знаходяться під деяким додатковим тиском зовнішнього середовища і загалом менш стійкі до антропогенних впливів. 2. У просторі зовнішніх природних факторів ніші окремих видів геосистем суттєво перекриваються. Групу геосистем, ландшафтно-екологічні ніші яких перекриваються за усіма факторами (осями ніші), запропоновано називати ландшафтною гільдією. Стійкість геосистем, що належать до однієї гільдії, визначається прак-

тично однаковими природними факторами, співвідношенням інертності, відновлюваності та пластичності в її забезпеченні та характерним складом імовірних видів відмов. Це дозволяє типізувати геосистеми за особливостями їх стійкості виходячи з гільдій, до яких вони входять.

Комплекс кількісних показників стійкості та методи їх визначення

Загальний підхід. Оскільки стійкість в геосистемах реалізується у різних формах і має багато різних аспектів аналізу, то єдиний її показник недостатній для комплексного аналізу цієї складної властивості геосистеми. В теоретичному і особливо практичному відношеннях більш ефективним є підхід до розробки комплексу кількісних показників стійкості геосистеми, кожний з яких характеризує її відповідну форму, вид відмови, певну комбінацію відмов та інші конкретні аспекти стійкості.

Для розробки комплексу показників стійкості запропоновано застосувати до аналізу геосистеми елементи концептуального та математичного апарату теорії надійності. Звісно, не всі показники і методи цієї теорії адекватні особливостям геосистем. Нами використана лише частина з них, що при відповідній адаптації до специфіки геосистем, виявились найбільш ефективними.

Показники стійкості геосистем. З найбільш інформативних показників інертності є *імовірність невиникнення відмови i -го виду за заданий проміжок часу Δt - $p_i(\Delta t)$* та обернений до нього показник *імовірності виникнення відмови i -го виду за час Δt - $g_i(\Delta t) = 1 - p_i(\Delta t)$.*

За значеннями цих показників можна визначити ряд інших важливих характеристик інертності. Так, за формулою добутку імовірностей можна розрахувати імовірність виникнення в гео-

системі за час Δt певної комбінації відмов різних видів, наприклад: імовірність виникнення за Δt відмов у вигляді засолення ґрунтів, їх осолонцювання та підйому ґрунтових вод. Узагальненим показником інертності геосистеми за час Δt може бути *імовірність абсолютної інертності* - $P(z_0, \Delta t)$, яка означає імовірність невиникнення за час Δt жодної відмови будь-якого виду.

Важливим при вирішенні багатьох задач аналізу стійкості геосистем є показник *середнього часу функціонування геосистеми до появи відмови i-го виду* - T_i . Він зокрема використаний нами при прогнозуванні часу виникнення певних змін геосистем (наприклад, очікуваного часу вторинного осолонцювання ґрунтів після початку зрошення). Для оцінки інертності геосистеми в момент часу t_i використовується показник *інтенсивності відмов в момент часу t_i* - $\lambda(t_i)$. Визначивши значення $\lambda(t_i)$ для декількох моментів часу t_i , можна з'ясувати часові закономірності інертності - виявити періоди, коли вона найменша, найвища, зменшується, збільшується.

Головні особливості відновлюваності геосистем можна охарактеризувати за допомогою трьох базових показників: 1) *імовірності відновлення геосистеми за проміжок часу Δt* , що відліковується з моменту виникнення відмови i-го виду - $p_{v,i}(\Delta t)$; 2) *середнього часу відновлення після відмови i-го виду* - $T_{v,i}$; 3) *інтенсивності відновлення в момент часу t_j* - $\mu(t_j)$. Ці показники з формальної точки зору близькі до відповідних базових показників інертності, що, зокрема, дозволяє конструювати на їх основі кількісні характеристики локальної стійкості геосистем.

Пластичність можна оцінити імовірністю того, що геосистема на протязі часу Δt буде здійснювати переходи лише між областями нормальних (допустимих) станів у рамках одного

інваріанту. Для цього слід знати значення імовірностей переходів геосистеми із кожної області станів в кожен іншу за час Δt , що на практиці пов'язано зі значними труднощами. Реально пластичність геосистеми можна визначити за графом переходів між її станами. Детерміновану пластичність орієнтовно характеризує показник імовірності пластичності $P_{pl}(\Delta t)$:

$$P_{pl}(\Delta t) = \frac{1}{m(\Delta t)} \sum_{i \in Z}^n m_{iz}(\Delta t)$$

де: $m(\Delta t)$ - число переходів між областями станів, можливе за час Δt ; n - число областей нормальних (допустимих) станів геосистеми; $m_{iz}(\Delta t)$ - число переходів з i -ої області станів в інші, що належать інваріанту Z .

Стохастична пластичність тим більш чітко виражена, чим більше у геосистеми областей нормальних (допустимих) станів і чим рівноімовірніші переходи між ними. На цій підставі як оцінки стохастичної пластичності можна використати індекси різноманітності теорії інформації.

Зв'язок між показниками стійкості. Більша частина запропонованих показників визначена на основі єдиного понятійного базису (поняття області станів та відмови) і на єдиній математичній основі (теорія імовірностей). Це дозволяє за оцінками одних показників стійкості обчислювати значення інших, а також конструювати показники, що враховують декілька форм стійкості геосистеми. В роботі наведені співвідношення, необхідні для цих обчислень.

Видозміни показників стійкості. Для вирішення ряду задач, пов'язаних з обґрунтуванням раціональної організації території, аналізу стійкості ЛТС та прогнозу їх змін, високоінформативними

є показники стійкості, у формулах яких змінна t виражається не в одиницях часу, а площі S . У цьому разі імовірність відмови i -го виду - $p_i(S)$ інтерпретується як імовірність того, що на площі заданої величини S при антропогенному впливі на неї виникне аномальна (недопустима) зміна геосистеми. Наприклад, імовірність утворення на площі в 1 км^2 промоїни; імовірність утворення плями солончака на 1 га зрошуваної площі і т.п. Аналогічно інтерпретуються й інші базові показники стійкості геосистеми: імовірність інертності - як імовірність того, що на площі S не виникне i -та небажана зміна ландшафтної структури; середній час функціонування геосистеми до першої відмови - як середня площа, на якій не виникають небажані зміни ЛТС тощо.

Методи оцінювання стійкості. У розробленому комплексі методів оцінювання стійкості кожний з її показників може бути визначений за допомогою декількох різних методів.

За наявності вибірки достатнього об'єму оцінювання показників стійкості можливе *статистичними методами*: 1- за частотою подій (відмов, відновлень, переходів між областями станів); 2- за функцією розподілу випадкових величин (часу виникнення відмови t_{0j} або часу відновлення після відмови τ); 3 - за варіацією змінних у межах заданого діапазону. Обмеження цих методів при аналізі геосистем часто пов'язані з тим, що ні наявні емпіричні дані, ні теоретичні уявлення не дозволяють напевно визначити закон розподілу часу настання відмови - t_j або часу її відновлення- τ_j . За цими даними можна лише визначити: збільшується чи зменшується з часом стійкість геосистеми, а також середній час функціонування геосистеми до відмови. Для методу граничного оцінювання стійкості, розробленого в теорії надійності (Барлоу,

Прошан, 1984), цієї інформації достатньо аби розрахувати значення показників стійкості.

По відношенню до більшості видів постійно діючих антропогенних навантажень інертність геосистем з часом зменшується. Для цього випадку граничні оцінки імовірності інертності визначаються за співвідношеннями:

$$\text{нижня оцінка} \quad P_H(\Delta t) = \begin{cases} \exp\{-\Delta t/T\} & \text{для } 0 \leq \Delta t < T \\ 0 & \text{для } \Delta t \geq T \end{cases}$$

$$\text{верхня оцінка} \quad P_B(\Delta t) = \begin{cases} 1 & \text{для } 0 < \Delta t < T \\ \exp\{\omega \Delta t\} & \text{для } \Delta t \geq T \end{cases}$$

Як приклад застосування методу граничного оцінювання стійкості наведемо визначення інертності геосистем до осолонцювання ґрунтів при зрошенні. Встановлено, що на півдні України вторинне осолонцювання чорноземів виникає в середньому на 8-й рік після початку зрошення (Баер, 1983; Крейда, Лядова, 1983), тобто $T=8$ років. Оцінимо імовірність того, що за час $\Delta t=5$ років відмови у вигляді осолонцювання не відбудеться. Оскільки $0 \leq \Delta t=5 < T=8$, то маємо: $p_a(\Delta t=5) = \exp\{-5/8\} = 0,53$. Таким чином імовірність інертності лежить у межах $0,53 < p(\Delta t=5 \text{ років}) < 1$.

Широкий інтервал між граничними оцінками показників стійкості є вадою методу (щоправда, знаючи дисперсію часу настання відмови цей інтервал можна досить суттєво звужити). Перевагами методу граничного оцінювання є мінімум необхідної для нього інформації. Це, зокрема, дозволяє використовувати його при оцінці стійкості геосистем до антропогенних впливів, що проектується.

Метод "навантаження-опір" в застосуванні до аналізу геосистем виходить з такого. 1. Стан геосистеми визначається спів-

відношенням між двома групами факторів - "навантаження" (суккупність факторів, спрямованих на зміщення геосистем з області їх нормальних (допустимих) станів) та "опору" цим факторам.

2. Якщо дія навантаження H більша за сил опору O геосистеми, відбувається її відмова, імовірність якої визначається як: $q=P(H>O)$. 3. Для обчислення значення цієї імовірності необхідно, щоби в парі "навантаження-опір" ($H-O$) і H і O були виражені в одних одиницях виміру і з змістовної точки зору являли собою взаємопов'язані характеристики (наприклад, навантаження - ударна сила вітропотoku, опір - сила зчеплення ґрунтових часток, при $H>O$ відбувається відривання часток ґрунту від поверхні, тобто дефляційна відмова). 4. Дія навантаження на геосистему та її опір залежить від багатьох факторів, більшість з яких має випадковий характер, відтак H і O є випадковими величинами з власними функціями розподілу F_H та F_O . 5. Визначивши ці функції, можна оцінити імовірність того, що при усіх можливих змінах інтенсивності навантаження та опору величина першої буде більшою за другу, тобто оцінити імовірність $P(H>O)$. Так, наприклад, якщо розподіл значень навантаження F_H експоненційний, а опору F_O - нормальний, маємо:

$$q(H > O) = \exp \left\{ \frac{\bar{O}^2 + \sigma_O^2}{\bar{H}^2 + 2\bar{H}^2} \right\}$$

Для інших співвідношень між функціями розподілів F_H та F_O формули розрахунку імовірності відмов наведені в роботі.

Реалізацію цього методу можна проілюструвати прикладом оцінки імовірності змиву ґрунту (чорнозему звичайного середньосуглинкового) з ландшафтної смуги верхньої частини привододільного схилу стрімкістю 30° , довжиною 300 м, зайнятої озимомою

пшеницею, при випадінні опадів інтенсивністю 1,2 мм/хв. В термінах моделі "навантаження-опір" ця задача формулюється як визначення імовірності того, що швидкість V_C стікання дощових вод по ландшафтній смузі виявиться більшою, ніж нерозмиваюча донна швидкість V_{HP} цієї смуги, тобто - $q=P(V_C > V_{HP})$.

Перший показник (навантаження на геосистему) визначили за гідромеханічною моделлю ерозії Ц.Е.Мірчулави (1985). Він виявився рівним $V_C=0,055$ м/с. Нерозмиваюча донна швидкість (опір змиву) становить $V_{HP}=0,149$ м/с при дисперсії $\sigma^2_{HP}=0,008$ м/с. Розподіл V_{HP} прийнято нормальним, V_C - експоненційним. Для цього співвідношення між розподілами H та O імовірність площинного змиву q_{es} дорівнює:

$$q_{es} = \exp \left\{ -\frac{\bar{V}_{HP}}{V_C} + \frac{\sigma^2_{HP}}{2V_C^2} \right\} = \exp \left\{ -\frac{0,149}{0,055} + \frac{0,008}{2 \cdot 0,055^2} \right\} = 0,24$$

Певним обмеженням методу оцінювання стійкості за співвідношенням розподілів навантаження та опору є необхідність визначення функцій F_H та F_O , що за обмеженої інформації про навантаження та опір геосистеми зробити складно. У цьому випадку може бути використаний *метод графічного оцінювання стійкості*, який не вимагає знання функцій розподілів і дозволяє отримати орієнтовні оцінки стійкості шляхом розрахунків та графічних побудов, виходячи з емпіричних кривих розподілу H та O .

Важливою перевагою методу "навантаження-опір" є можливість визначити за його допомогою норми антропогенних впливів на геосистеми. Проте він дозволяє оцінити стійкість до одноразового впливу. *Метод, що ґрунтується на моделі "ударного навантаження"* теорії надійності, позбавлений останнього недоліку. Стосовно геосистем суть методу полягає у такому.

1. На протязі інтервалу часу Δt на геосистему діє потік дискретних навантажень, з кожним разом завдаючи їй певних "пошкоджень" (злива - ударне навантаження, шар ґрунту, що змивається при зливі, - пошкодження; полив мінералізованими водами - ударне навантаження, маса солей, що перейшли з поливних вод у ґрунтовий розчин, - пошкодження тощо). Відмова геосистеми виникає у тому разі, коли накопичене пошкодження досягне заданої критичної (гранично допустимої) величини (буде змитий шар ґрунту, більший гранично допустимого значення; відкладено солей у ґрунті в кількості, що перевищує поріг токсичності тощо). Припускається, що у часі ударне навантаження діє на геосистему за законом Пуасона. Імовірність того, що за час Δt в геосистемі не виникне відмови (тобто, накопичене за час Δt пошкодження не перевищить заданої критичної величини $x_{кр}$), визначається як (Барлоу, Прошан, 1985):

$$p(\Delta t) = \sum_{k=0}^{\infty} \exp\{-k\Delta t\} \frac{(\lambda\Delta t)^k}{k!} F_x^{[k]}(x_{кр}),$$

де: $F^{[k]}$ - k-кратна згортка розподілу $F(x)$. Якщо її обчислити складно, визначаємо нижню граничну оцінку для імовірності інертності геосистеми $p(\Delta t)$:

$$p(\Delta t) = \sum \exp\{-\lambda\Delta t\} \frac{(\lambda\Delta t)^k}{k!} (F_{(x_{кр})})^k.$$

В цій формулі замість k-кратного згортання функції $F(x)$ значення цієї функції в $x=x_{кр}$ підноситься до k-го ступеня, що технічно зробити набагато легше.

Вибір оптимального методу оцінювання. Розроблений комплекс методів оцінки стійкості геосистем дозволяє визначити зна-

чення певного показника стійкості декількома різними методами. В зв'язку з цим при конкретному дослідженні стійкості геосистем постає досить складне питання вибору оптимального методу оцінювання. Для його вирішення розроблений алгоритм вибору методу оцінювання показників стійкості. Він враховує співвідношення між основними факторами, що визначають можливість застосування методу та вірогідність його результатів, а саме: 1) наявності, або реальної можливості одержання вихідних емпіричних даних; 2) типу показників стійкості, які необхідно оцінити; 3) заданих точності та статистичної вірогідності цих оцінок; 4) знання механізму взаємодії процесів у геосистемі, що зумовлюють її відмову або відновлення та деяких інших.

Методичні питання аналізу стійкості геосистем

У розділі вирішуються питання, що є принципово важливими при аналізі стійкості геосистем, проте в методичному відношенні розроблені явно недостатньо. Ці питання та запропоновані методичні підходи та прийоми їх вирішення такі:

1. *Обґрунтування репрезентативної мережі ключових ділянок аналізу стійкості геосистем* - вирішується шляхом побудови для досліджуваної території ізолінійних карт показників типологічної, ареальної, хорологічної та ландшафтно-структурної репрезентативності довільної ділянки по відношенню до ландшафтно-структури геосистем регіонального рангу (ландшафтних областей, провінцій та підзон). Ключові ділянки розміщуються в ареалах максимумів репрезентативності, причому визначається також і їх найбільш доцільна форма та орієнтація (вони співпадають з "гребенем" репрезентативності). В роботі наведені приклади реалізації цього методу, який також може бути ефективно використаний і при вирішенні інших задач ландшафтного територі-

ального аналізу (зокрема, нами він застосований для визначення оптимальної мережі об'єктів природоохоронного статусу та пунктів відбору проб в зоні Чорнобильської АЕС).

2. *Визначення областей нормальних та допустимих станів геосистем та ЛТС* - вирішується шляхом визначення для кожної змінної геосистеми її критичних значень (обмежують діапазон її нормальних змін) та гранично-допустимих (визначають область допустимих станів). При цьому використовується ряд методичних прийомів:

А- статистичне виявлення критичних значень x_{kr} змінної x за виразом:

$$\Phi \left[\frac{x_{kr.max} - x_{kr.min}}{\sigma_x} \right] = \frac{1 - P(\alpha)}{2}$$

де: $P(\alpha)$ - заданий рівень імовірності належності значення змінної x до нормального діапазону; Φ - функція нормованого нормального розподілу, за таблицею якого можна визначити значення $(x_{kr.max} - x_{kr.min}) / \sigma_x$, що задовольняє рівняння.

Б- виявлення декількох областей нормальних станів геосистеми шляхом викреслювання для кожного з m описів геосистем (точок) її траєкторії у координатній системі, що формально нагадує "координаційну легенду-графік" Г.П.Міллера (1974) та концентри стексів М.Л.Беручашвілі (1986). Згущення цих траєкторій вказують на області нормальних станів геосистеми досліджуваного виду.

В- визначення області допустимих станів геосистеми за функцією залежності параметра ефективності функціонування геосистеми Y (наприклад, врожайності) від значень змінних геосистеми $x : Y = f(x)$. За цією залежністю розраховувались гранично-допустимі значення x , за якого ця функція набуває значення

$Y = Y_{\text{Гр.доп.}}$, де $Y_{\text{Гр.доп.}}$ - заданий мінімально припустимий рівень "виходу" функції (як такий для врожайності нами встановлене її зниження не більше 25% від середньостатистичної для даного виду геосистеми).

Г- визначення гранично-допустимих значень змінних геосистеми за точками перегинів функції $Y = f(x)$.

Д- виділення допустимих змін ЛТС ґрунтується на еколого-економічному критерії, що має вигляд:

$$\sum_{i=1}^n q_i \left[\left(\frac{100-k}{100} \right) Y_i C - Z_i u \right] - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{n-1} \Delta q_{ij} B_{ij} \geq 0,$$

де: n - число видів геосистем у ЛТС; q_i - частка площі геосистеми i -го виду у ЛТС; k - заданий процент розширення виробництва ($k=5\%$); Y_i - урожайність в i -й геосистемі; C - ціна реалізації сільськогосподарської продукції; Z_i - її собівартість у геосистемі i -го виду; u - інфляційний коефіцієнт; q_{ij} - частка площі геосистеми i -го виду на якій геосистема виду " i " трансформувалася в геосистему виду " j "; B_{ij} - витрати, необхідні на заходи по відновленню геосистеми j -го виду до i -го виду.

3. *Інтегральна оцінка нормальності стану геосистеми* - вирішується застосуванням функції бажаності Харрінгтона (Менчер, Земшман, 1986), яка дозволяє перейти від значення будь-якої іменованої змінної x_i до безрозмірної оцінки ступеня бажаності цього значення $d_{ij} \in [0,1]$, по чому визначити інтегральну оцінку бажаності стану $D \in [0,1]$. При природно-ландшафтному аспекті аналізу стійкості геосистем оцінка бажаності d_j або D інтерпретується як ступінь нормальності значення j -ої змінної (для d_j) чи стану геосистеми в цілому (для D), а при соціофункціональному аспекті аналізу геосистем - як оцінка сту-

ни. Сумісний аналіз цих схем дозволив провести районування території республіки за їх інтенсивністю та співвідношенням. Усього виділено 13 регіонів та 31 район, геосистеми у межах яких розрізняються за антропогенними факторами порушення їх стійкості, імовірністю виникнення відповідних до найбільш інтенсивних навантажень видів відмов та можливістю їх відновлення в умовах антропогенного пресу. Регіонами України, де інтенсивність антропогенних навантажень є найвищою і стійкість геосистем внаслідок цього найбільш послаблена, є Донецький, Південно-Степовий, Центрально-Поліський, Індустріально-Придніпровський, Київський та Харківський.

Поряд з антропогенними чинниками важливим регіональним фактором стійкості геосистем України є умови їх зовнішнього природного середовища, а саме - його константність та пристосованість геосистем до регіонального зовнішнього природного фону. *Константність зовнішнього природного середовища геосистем* оцінювалась за частотою екстремальних подій (атмосферної посухи, суховіїв, сильного вітру (зі швидкістю > 25 м/с), пилових бурь, інтенсивних дощів) і як її інтегральна оцінка W приймалася сума нормованих частот екстремальних подій.

Складена за значеннями цього показника ізолінійна карто-схема константності зовнішнього середовища геосистем України дозволила виявити його зональний розподіл. Найменшого збурюючого впливу природних факторів зазнають геосистеми Полісся (значення показника W близько 1,0), в той час як сухостепові геосистеми перебувають в умовах значно менш константного середовища (W близько 2,0). Як регіон з високим збурюючим впливом зовнішніх природних факторів виділяється Приазовська

та південна частина Донецької височини, де показник W набуває найбільшого для України значення $W=2,13$.

Окрім екстремальних умов зовнішнього природного середовища, стійкість геосистем залежить і від його фонових умов, що можна виявити шляхом побудови та аналізу ландшафтно-екологічних ніш геосистем. Побудова таких ніш для зональних геосистем України та їх співставлення у двовимірному просторі зовнішніх факторів (радіаційного балансу та річної суми опадів) дозволили встановити, що точки оптимумів цих ніш лежать на прямій, яка також проходить вздовж гребенів більшості ніш геосистем. Цю вісь можна назвати "віссю ландшафтно-зональності України". Другу вісь утворюють геосистеми з різним ступенем гідроморфності, які по території України розміщені дифузивно (Полісся, Прикарпаття), проте у просторі факторів займають сусідні положення і ніші їх суттєво перекриваються. Цю вісь можна назвати "віссю гідроморфності ландшафтів України".

Виділи геосистем, які знаходяться біля точок своїх екологічних оптимумів, найкраще пристосовані до умов зовнішнього природного фону і в цих умовах найбільш стійкі. Тому виявлені вісі зональності та гідроморфності ландшафтів України інтерпретуються і як зовнішні кліматичні умови, що забезпечують для цих виділів їх максимально можливу для даного виду геосистем природну стійкість. Шляхом "проекції" осей зональності та гідроморфності, що виділені у формальному просторі факторів на фізичну територію України, виявлені ареали найкращого пристосування геосистем до їх зовнішнього природного фону (рис 3).

Виконаний аналіз специфічних рис геосистем, що знаходяться у цих ареалах засвідчив, що в оптимальних умовах зовнішнього природного фону геосистеми є більш стійкими і здатні до-



сягти більш оптимального стану, хоча антропогенний тиск і зовнішні природні збурюючі фактори діють на них так само, як і на геосистеми, що знаходяться поза межами оптимуму.

Типологія геосистем України за особливостями їх стійкості має п'ятирівневу таксономічну систему. Найвищим таксоном є *тип*, який визначається за складом найбільш імовірних для геосистеми видів відмов (приклади типів - водноерозійний, галоморфний, гідроморфний тощо). *Підтипи* виділяються за другорядними (менш імовірними) видами відмов. Критерієм виділення *групи* є оцінка локальної стійкості геосистем, які за встановленою градацією поділяються на 5 груп від практично стійких (імовірність збереження стану $P=0,8-1,0$ до дуже нестійких ($0,0-0,2$). *Вид* геосистем виділяється за співвідношенням інертності, відновлюваності та пластичності в забезпеченні стійкості даної геосистеми до найбільш імовірних видів відмов, а *підвид* - другорядних. Розроблена типологія є основою картографування стійкості геосистем. Контурною основою цих карт є мережа ландшафтних одиниць, для кожної з яких визначений її вид за особливостями стійкості.

Локальні закономірності стійкості геосистем, тобто такі, що проявляються при аналізі стійкості геосистем топічного (локального) рівня просторової розмірності - підурочищ, урочищ, ландшафтних смуг, басейнів I-III порядків, біоцентрів та біокоридорів, з'ясувалися на 5 ключових ділянках детального аналізу стійкості. Зокрема, встановлено, що *зв'язок форм стійкості геосистеми з площею її контура* характерний лише для схилових геосистем: чим менша їх площа, тим більшою є імовірність відмов (особливо ерозійних). Ця закономірність встановлена для усіх обстежених ключових ділянок, хоча за генезисом схилів, їх геологічною будовою, ґрунтовим покривом, ерозійним індексом опадів та іншими факторами ерозії вони суттєво розрізняються.

Залежність між формою контуру геосистеми та її стійкістю практично відсутня для одиниць генетико-морфологічної ЛТС (підурочищ та урочищ). Для ландшафтних смуг ця залежність є: чим більш видовжений контур має ландшафтна смуга, тим меншою є її інертність. Загалом, чим більш інтенсивні горизонтальні динамічні потоки у межах ландшафтної смуги, тим більш витягнутої форми вона набуває. Особливо яскраво ця закономірність проявляється у транзитних та гідроморфних ландшафтних смугах.

Ряд важливих локальних закономірностей стійкості пов'язаний з залежністю геосистеми від її положення до деяких антропогенних об'єктів. Зокрема, аналізуються причини меншої стійкості до ерозії та деґуміфікації геосистем, розташованих в радіусі 1-2 км навколо сіл.

Застосування результатів аналізу стійкості геосистем.

В главі розглянуті нові можливості (підходи та методи) та конкретні результати, які дає застосування концепції стійкості

геосистем до вирішення актуальних проблем ландшафтознавства: аналізу екологічних ризиків, ландшафтно-екологічного прогнозування, нормування антропогенних навантажень та раціональної організації території.

Аналіз екологічних ризиків. Поняття відмови геосистеми та екологічного ризику досить близькі. Під останнім розуміються зміни в навколишньому середовищі, що мають небажані наслідки (Израэль, 1979; Реймерс, 1991; Кочуров, Миронюк, 1992; Wolpert, 1980; Andel, 1994 та ін.). Аналізуючи такі зміни в контексті відмови геосистеми, увага зосереджується передусім на факті та механізмі виникнення цих подій, тоді як при сприйнятті їх як екологічних ризиків - на їх наслідках.

Таким чином, можна вважати, що поняття екологічного ризику виникає у разі аналізу відмови геосистеми, центрованого на певний суб'єкт. Як такий суб'єкт може виступати: 1- природне середовище; 2- господарство; 3- людина. Відповідно, виділяються три загальні аспекти аналізу та оцінки екологічних ризиків- 1- природно-ландшафтний (як оцінка ступеню зміни структури природних геосистем внаслідок відмови певного виду); 2- економічний (як оцінка економічних збитків через відмови геосистеми); 3- антропоцентричний (як загроза здоров'ю та самопочуттю людини, яка пов'язана з даним видом відмови геосистеми). В роботі наведені кількісні показники та критерії, що дозволяють оцінити природно-ландшафтну, економічну та антропоцентричну небезпеки екологічного ризику, а також типологія останніх (всього для території України виділено 81 вид екологічних ризиків).

Ландшафтно-екологічне прогнозування. Виходячи з імовірного характеру змін станів геосистем, їх прогнозування має полягати у визначенні для кожної геосистеми імовірностей, з якими

вона на заданий час упередження прогнозу Δt (або на декілька k заданих Δt : Δt , $2\Delta t$, ..., $k\Delta t$) зміниться на інші геосистеми або лишиться незмінною. Результат такого прогнозування може бути представлений у вигляді матриці, елементами p_{ij} якої є значення імовірності переходу геосистеми i -го виду в j -тий за час Δt .

Сформульована задача ландшафтного прогнозування може бути вирішена шляхом побудови та аналізу матриці Маркова. На ефективність її застосування в ландшафтно-екологічному прогнозуванні вказувалось неодноразово (Светлосанов, 1983; Cattelino, Noble, Slatyer e.a., 1979; Usher, 1981). Проте конкретна реалізація цього методу стримувалась складністю обчислення значень перехідних імовірностей марковської матриці. Виходячи з поняття відмови геосистеми та маючи оцінки імовірності їх настання та відновлень, ці значення можна розрахувати.

Дійсно, виникнення в геосистемі відмови i -го виду є не що інше як її перехід за час Δt з початкового стану в цілком певний інший стан. Так, наприклад, при виникненні галоморфної відмови геосистема з незасоленими ґрунтами змінюється на геосистему з вторинно-засоленими ґрунтами. Імовірність цього переходу дорівнює імовірності галоморфної відмови - $q_H(\Delta t)$. Зміна елювіальної геосистеми з незасоленими ґрунтами на гідроморфну з вторинно-засоленими солонцюватими ґрунтами відбудеться у тому разі, якщо за час Δt настануть три види відмов - гідроморфна, галоморфна та відмова осолонцювання. Імовірність такого переходу розраховується як добуток імовірностей цих трьох видів відмов. Імовірність того, що за час Δt геосистема не зміниться ні на яку іншу - це значення показника абсолютної інертності $P(\Delta t)$.

Таким чином, за оцінками імовірностей відмов різних видів та за оцінками відновлюваності цих відмов можна визначити

імовірності, з якими дана геосистема може трансформуватися за час Δt у будь-яку іншу або лишитися незмінною. Розрахувавши значення цих імовірностей для всіх видів геосистем досліджуваної території, одержимо матрицю Маркова - важливий результат ландшафтного прогнозу. Її піднесення до другого ступеню дає матрицю імовірностей зміни геосистем на час упередження прогнозу $2\Delta t$, піднесення до третього ступеню - на час $3\Delta t$ і так далі. На основі серії таких матриць можна побудувати комплекс прогнозних ландшафтних карт, вирішувати інші важливі задачі ландшафтно-екологічного прогнозування.

Даний підхід розглянутий на прикладі лівобережжя пониззя Дністра. Побудована серія карт на різні строки упередження прогнозу (з кроком в 11 років) аж до періоду в 165 років, коли зміни ЛТС стабілізуються (рис.4). Серед інших результатів прогнозування, встановлено, що для цього регіону за незмінності сучасного режиму його господарського використання (іригація та зернова сіррозміна) незворотня деградація ЛТС настане через 150-165 років, коли для площадки тераси домінуючої ролі набудуть геосистеми з сильнозасоленими ґрунтами, а для схилу тераси - з сильнозмитими чорноземами на гофрованих схилах. При цьому суттєві зміни прогнозуються на перші 20 років з початку іригації, які згодом дещо уповільнюються, проте набувають "зловісних" рис (поява у ЛТС солончаків). За перші 20-30 років з початку іригації ще можливе відновлення геосистем після гало- та гідроморфних відмов, після чого відновлюваність геосистем практично виключена. Спрощення ЛТС також прогнозується на строк упередження прогнозу 20-30 років. Ці обставини дозволяють вважати вказаний строк за критично можливий для беззміного ведення сучасної структури природокористування.

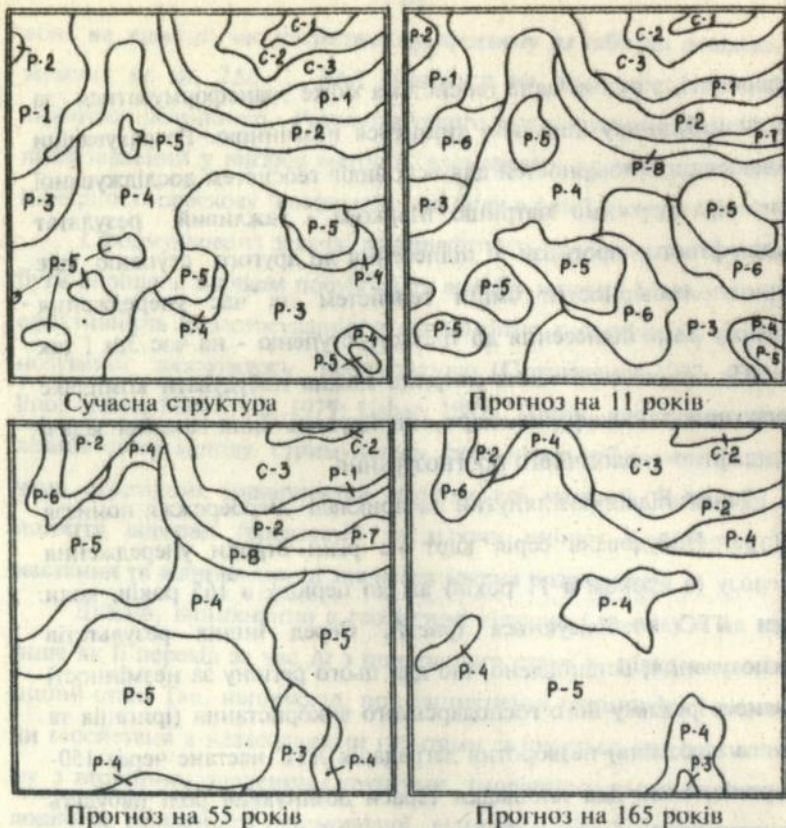


Рис.4. Прогноз змін ЛТС тераси нижньої течії Дністра (фрагмент) *Підурочища*: **Р-1**- плоска терасова рівнина з чорноземами південними малогумусними; **Р-2**- те ж з чорноземами солонцюватими; **Р-3**- те ж з чорноземами засоленими; **Р-4**- те ж з лучно-чорноземними засоленими грунтами; **Р-5** - те ж з лучно-чорноземними засоленими солонцюватими грунтами; **Р-6** - те ж з чорноземами південними засоленими солонцюватими; **Р-7** - те ж з лучно-чорноземними грунтами; **Р-8** - те ж з лучно-чорноземними солонцюватими грунтами; **С-1** - пологі схили з чорноземами південними малогумусними; **С-2** - те ж із змитими грунтами; **С-3**-пологі схили з ерозійними борознами, змитими грунтами.

Нормування антропогенних навантажень можна сформулювати як задачу встановлення для кожного з параметрів антропогенного впливу таких його гранично-допустимих значень, що, зазнаючи при них впливу, геосистема з заданою імовірністю буде перебувати в заданій області станів протягом заданого проміжку часу. В термінах запропонованого підходу до аналізу стійкості геосистем ця задача зводиться до визначення таких гранично-допустимих значень параметрів антропогенного навантаження, за яких імовірність виникнення за час Δt відмови у геосистемі не перевищує заданого значення ε , тобто: $q_i(\Delta t) \leq \varepsilon$.

Оперування концепцією відмови геосистеми при визначенні норм антропогенних навантажень дозволяє використовувати ряд методів оцінки стійкості (передусім, імовірності відмови та імовірності відношення) для визначення гранично-допустимих параметрів антропогенних впливів. Найбільш ефективними виявилися методи "навантаження-опір" та модель ударного навантаження. Специфіка їх використання при обґрунтуванні норм антропогенних впливів полягає у вирішенні "оберненої" до оцінки стійкості геосистем задачі: задаючи необхідний рівень стійкості (наприклад, імовірність відмови не вище 0,05), визначається така інтенсивність (повторюваність, тривалість та інші параметри) антропогенного впливу, що заданий рівень стійкості геосистем за нього не порушується. В дисертаційній роботі можливості такого підходу демонструються на прикладі визначення норм меліоративних навантажень на степові геосистеми.

Пріоритетність норм. При обґрунтуванні і особливо практичному впровадженні норм антропогенних навантажень слід рахуватися з тим, що реальні можливості суспільства такі, що хоча і можна визначити деякі ідеальні в екологічному відношенні

норми, проте через економічні обмеження ввести їх усі одночасно, або дотримувати однаково жорстко неможливо. Етапність введення різних норм, як і необхідна жорсткість їх дотримання, визначаються пріоритетом норм антропогенного впливу. Базуючись на запропонованій концепції стійкості геосистем та екологічного ризику, це поняття може бути виражене в кількісній формі, оцінене.

Оцінка пріоритетності встановлення норми i -го виду антропогенного навантаження базується на тому, що її пріоритет буде тим вищий, чим: 1- більше видів відмов геосистеми дана норма здатна попередити; 2- чим більш імовірні для геосистеми ці відмови; 3- чим вищі оцінки ступеню природно-ландшафтної, економічної та антропоцентричної небезпеки екологічних ризиків, недопущення яких має гарантувати i -та норма. Враховуючи ці фактори, пріоритетність норми i -го виду антропогенного навантаження на геосистему оцінюється за виразом:

$$PN_i = \left(\sum_{j=1}^{n(i)} \left[q_j \left(\sum_{s=1}^k \alpha_s d_{js} \right) \right] \right)^\beta$$

де: PN_i - оцінка пріоритетності норми i -го виду антропогенного впливу на геосистему; q_j - імовірність відмови j -го виду; $n(i)$ - число видів відмов, які у разі введення i -ої норми не виникнуть в геосистемі; α_s - коефіцієнт суттєвості s -го прояву екологічного ризику (природно-ландшафтного, економічного, антропоцентричного); d_{js} - оцінка збитків від s -го прояву j -го виду екологічного ризику; β - оцінка "цінності" геосистеми, для якої визначається пріоритетність норми (її природоохоронний статус).

Оскільки різні види геосистем розрізняються за властивими їм видами відмов, значеннями імовірності їх виникнення та

оцінками збитків від екологічних ризиків, то кожна геосистема характеризується власними показниками пріоритетності норми антропогенного впливу. Наприклад, для степової зони України найвищий пріоритет має введення екологічних норм на структуру сівозмін.

ГОЛОВНІ ВИСНОВКИ

1. Поняття стійкості набуває конкретності та можливості її кількісного оцінення, якщо задані: область станів геосистеми, зовнішній фактор, що впливає на зміну цих станів, часовий інтервал аналізу. За визначення цих умов може бути виділено три загальні форми стійкості - інертність, відновлюваність, пластичність. Кожна з загальних форм стійкості реалізується за рахунок форм більш часткового характеру. Причому, при посиленні антропогенного впливу на геосистему роль різних форм стійкості в його знешкодженні змінюється закономірним чином: геосистема послідовно задіює певну форму стійкості, намагаючись забезпечити за її допомогою максимально можливу близькість до початкового стану. Врахування цієї послідовності дозволяє диференційовано визначати норми антропогенних впливів на геосистеми.

2. Критерієм порушення стійкості геосистеми є її відмова - подія виходу геосистеми з області допустимих, або нормальних станів. Механізм порушення стійкості залежно від виду відмови, виникнення якої порушує стійкість геосистеми, є специфічним. Проте в основі виникнення будь-якої відмови лежить загальний принцип - вона виникає в результаті певного сполучення елементарних ландшафтних процесів та умов, які їх визначають, взаємозв'язок між якими призводить до закономірного ланцюгу змін в геосистемі, кінцевим наслідком яких є відмова. Запропонований підхід до виявлення цієї структури на основі побудови

"дерев відмов" та "дерев відновлень" дозволяє на якісному та кількісному рівнях описати механізм забезпечення стійкості геосистеми, виявити найбільш важливі для збереження стійкості умови.

3. Комплексна оцінка стійкості геосистеми за допомогою одного "інтегрального" показника неможлива. Вона досяжна лише комплексом взаємодоповнюючих показників, кожний з яких характеризує відповідну форму стійкості геосистеми та її різні характеристики і базується на спільних концептуальному та формальному (математичному) базисах. Основою концептуального базису є концепція загальних форм стійкості геосистеми та її відмови, формального - математичний апарат теорії надійності. В розробленому комплексі показників стійкості геосистеми найбільш інформативними є: імовірність виникнення відмови певного виду, чи їх певної комбінації, імовірність абсолютної інертності геосистеми, інтенсивність відмов в момент часу, імовірність, тривалість та інтенсивність відновлення геосистеми після відмови, імовірність локальної стійкості, імовірність пластичності.

4. Для кількісної оцінки показників стійкості геосистеми необхідно мати не один можливий, а декілька методів оцінювання. Вибір найбільш відповідного з них визначається метою дослідження, наявною емпіричною інформацією, бажаними точністю та статистичною вірогідністю оцінок. Залежно від цих умов, найбільш ефективними методами оцінювання стійкості є: частотний; оцінки за функціями розподілів; метод граничного оцінювання; розрахунку імовірності відмов та відновлень за графічними моделями їх формування (деревами відмов та відновлень); методи, що ґрунтуються на моделях теорії надійності "навантаження-опір" та моделі "ударного навантаження".

5. Виявлені регіональні та локальні закономірності стійкості геосистем України дозволяють оптимізувати прийняття рішень в галузях природоохоронної політики. Ці закономірності дозволяють також поглибити уявлення та з нового ракурсу проаналізувати фактори просторової диференціації ландшафтів України.

6. На основі розроблених концепції стійкості геосистем, методів їх оцінювання та самих оцінок показників стійкості ефективно вирішуються ряд важливих проблем сучасного ландшафтознавства: оцінка екологічних ризиків, ландшафтне та ландшафтно-екологічне прогнозування, визначення норм антропогенних навантажень на геосистеми, обґрунтування схем оптимальної організації території.

ОСНОВНІ ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИС-РТАЦІЇ

Монографії

1. Геоэкологические подходы к проектированию природно-технических геосистем.- М.: Б.и.,1985.- 235 с. (соавторы: Александрова Т.Д., Преображенский В.С., Шищенко П.Г. и др.)

2. Геоэкологические принципы проектирования природно-технических геосистем. -М.: Б.и., 1987.- 322 с. (соавторы: Александрова Т.Д., Преображенский Т.Д., Шищенко П.Г. и др.)

3. Лиманно-устьевые комплексы Причерноморья.- Л.:Наука, 1988. - 303 с. (соавторы: Амброз Ю.А., Антонова С.А., Биланчин Я.М., Швец Г.И. и др.)

4. Ландшафтно-экологический анализ в мелиоративном природопользовании.- К.:Либідь,1993.-224 с. (соавтор Шищенко П.Г.)

5. Основи ландшафтної екології.- К.: Либідь, 1993.- 224 с.

Брошури

6. Методика ландшафтного обґрунтування проектів контурного земледілля.- К.:Знання,1988.-23 с. (соавтор- Шищенко П.Г.)

7. Методические указания по ландшафтным исследованиям для сельскохозяйственных целей.- М.: ВАСХНИЛ, 1989. - 58 с. (соавторы: Швебс Г.И., Шищенко П.Г., Ковеза Г.П.)

8. Російсько-українсько-англійський словник термінів з ландшафтної екології. - К.: Вид-во Київ. ун-ту, 1993. - 62 с. (співавтор - Бортник С.Ю.)

Статті

9. О применении теории надежности к изучению устойчивости геосистем. //Физич. география и геоморфология, 1979.- Вып. 22.- С. 39-46. (соавтор - Шищенко П.Г.)

10. Понятие чувствительности геосистем в проблеме их устойчивости // Физич. география и геоморфология, 1981, вып.25. С. 25-29.

11. Методика оценки устойчивости геосистем к антропогенным воздействиям// Физич. география и геоморфология, 1986.- Вып.33.- С. 32-38.

12. Типы ландшафтных территориальных структур //Физич. география и геоморфология, 1986.- вып.33.- С. 110-114 (соавторы: Швебс Г.И., Шищенко П.Г., Ковеза Г.П.)

13. Устойчивость геосистем: теоретический подход к анализу и методы количественной оценки.//Известия АН СССР. Серия географич., 1987.- № 6.- С. 5-15.

14. Ландшафтно-функціональний підхід до раціональної організації території // Вісник Київ. ун-ту. Географія, 1987.- Вып.29.- С. 11-15 (співавтор - Верех О.Ю.)

15. Количественные показатели устойчивости геосистем к мелиоративным воздействиям и методы их оценивания// Физич. география и геоморфология, 1987.- Вып.34. - С. 23-31.

16. Эмпирические и формально-статистические методы определения допустимых и нормальных состояний геосистем. // Научные подходы к определению норм нагрузок на ландшафты. М.:Б.и.,1988. - С. 215-225.

17. Выделение и классификация многолетних состояний геосистем.//Физич. география и геоморфология, 1989.- Вып.36.- С. 66-73.

18. Оценка устойчивости геосистем методами теории надежности.//Факторы и механизмы устойчивости геосистем. М.:Б.и., 1989.- С. 157-163.

19. Методические принципы картографирования ландшафтных территориальных структур Украины.// Методические основы географических исследования природных и общественных территориальных комплексов.- К.: Наук.думка, 1989.- С. 17-22. (соавтор - Шищенко П.Г.)

20. Применение оценок устойчивости геосистем к нормированию антропогенных воздействий.//Ландшафты. Нагрузки. Нормы.- М.:Б.и.,1990.- С. 43-55.

21. Критерии допустимости и аномальности изменения ландшафтных территориальных структур.// Физич. география и геоморфология, 1990. Вып.37.- С. 32-42.

22. Анализ динамики ландшафтных границ// Физико-географические процессы и охрана окружающей среды.- К.:Наук.думка, 1991.- С. 37-44.

23. Концепция и методы количественной оценки устойчивости геосистем. //Науч. тр. Высш. учебных заведений Литвы. География, 1991. Т.27. - С. 23-31.

Гродзинский М.Д. Теория и методы анализа устойчивости геосистем к антропогенным нагрузкам.

Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 11.00.01- физическая география, геофизика и геохимия ландшафтов, Институт географии НАН Украины, Киев, 1994.

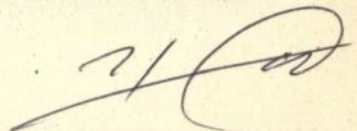
Обоснованы теоретические положения анализа устойчивости геосистем, базирующиеся на концепции множественности форм устойчивости. Предложен комплекс показателей устойчивости геосистем и методов их количественного оценивания. Результаты анализа устойчивости использованы при оценке экологических рисков, в ландшафтном прогнозировании, нормировании антропогенных нагрузок, рациональной организации территории.

M.D.Grodzinski. Theory and methods of analysis of geosystems stability to anthropogeneous influences.

Dissertation for Doctor of Science degree in Geography; specific field -11.00.01- Physical geography, Geophysics and Geochemistry of Landscapes, Institute of Geography of National Academy of Sciences of Ukraine, Kiev, 1994.

Theoretical principles of the analysis of geosystems stability are based on the concepts of variety of forms in which stability realises itself in geosystems. The complex of parameters of geosystems stability as well as the set of methods for their quantitative estimation are proposed. The results of geosystems stability analysis are used for ecological risk assessment, landscape-ecological prognosis, searching for standards of anthropogenic pressure on landscape, optimal land-use.

Ключові слова: геосистема, стійкість, методи оцінювання, прогнозування, екологічний ризик, антропогенні навантаження



Підв. до друку 21.11.94.

Формат 80x84/16. Папір офс. Офс.друк.

Ум.друк.арк. 1,8. Обл.-вид.арк. 2,0. Тираж 100 прим.

Зам. 181.

Поліграфічна дільниця Інституту економіки НАН України.

252011, Київ 11, вул. Панаса Мирного, 26.

235225

AB 31.443