

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н.Каразіна  
Кафедра фізичної географії та картографії

**Оксана Залюбовська  
Аліна Овчаренко  
Ігор Черваньов**

# **ГЕОСИСТЕМНИЙ МОНІТОРИНГ**

Навчальний посібник

Харків – 2025

**Рецензенти:**

**Віліна Пересадько** – доктор географічних наук, професор, декан факультету геології, географії, рекреації і туризму Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна;

**Сергій Бортник** – доктор географічних наук, професор, завідувач кафедри землезнавства та геоморфології Київського національного університету імені Тараса Шевченка.

*Затверджено до друку рішенням Науково-методичної ради  
Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна  
(протокол № 4 від 17 грудня 2024 року)*

**Залюбовська О. В.**

3 -25 Геосистемний моніторинг : навчальний посібник / О. В. Залюбовська, А. Ю. Овчаренко, І. Г. Черваньов. – Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2025. – 112 с.

**анотація**

- © Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2025
- © Залюбовська О. В., Овчаренко А. Ю., Черваньов І. Г., 2025
- © ....., макет обложки, 2025

---

Навчальне видання

**Залюбовська** Оксана Вікторівна  
**Овчаренко** Аліна Юріївна  
**Черваньов** Ігор Григорович

**ГЕОСИСТЕМНИЙ МОНІТОРИНГ**

Навчальний посібник

Коректор *О. В. Пунько*  
Комп'ютерне верстання *В. В. Савінкова*  
Макет обкладинки.....

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 6,79. Наклад 50 пр. Зам. № .....

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,  
61022, м. Харків, майдан Свободи, 4.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3367 від 13.01.2009  
Видавництво ХНУ імені В. Н. Каразіна

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| Від авторів.....   | 5  |
| Розділ 1. Методологія геосистемного моніторингу.....   | 7  |
| Тема 1. Вихідні положення. Моніторинг довкілля<br>як прикладна гілка географії та геоекології.....       | 7  |
| 1.1. Загальні відомості.....   | 7  |
| 1.2. Моніторинг довкілля як прикладна гілка<br>географії та геоекології.....                             | 13 |
| 1.3. Фрагменти історії.....  | 14 |
| 1.4. Об'єкт, предмет, мета і завдання геосистемного моніторингу  | 15 |
| 1.5. Законодавчо-правові засади національної<br>системи моніторингу довкілля.....                        | 17 |
| 1.6. Засади інвайронментального менеджменту<br>в системі моніторингу.....                                | 19 |
| 1.7. Складові геосистемного моніторингу.....   | 20 |
| 1.8. Деякі проблемні приклади.....   | 23 |
| Питання для самоперевірки та контролю знань.....   | 25 |
| Тема 2. Інвайронментальний підхід – теоретичний<br>базис геосистемного моніторингу.....                  | 26 |
| 2.1. Деякі уточнення понятійно-термінологічного апарату.....   | 27 |
| 2.2. Обґрунтування потреби геосистемного моніторингу.....  | 28 |
| 2.3. Потреба в географічному обґрунтуванні<br>й компетентних фахівців.....                               | 29 |
| 2.4. Натурний об'єкт геосистемного моніторингу.....  | 36 |
| 2.5. Геоінформаційні системи – сучасна основа<br>геосистемного моніторингу.....                          | 37 |
| 2.6. Системність дослідження в геомоніторингу.....   | 38 |
| 2.7. Геотехнічний моніторинг довкілля.....   | 39 |
| Питання для самоперевірки та контролю знань.....   | 40 |
| Розділ 2. Організація геосистем в аспекті моніторингу.....   | 41 |
| Тема 3. Теоретичні основи геосистемного моніторингу.....   | 41 |
| 3.1. Визначення підходу.....   | 41 |
| 3.2. Роль геосистемного підходу (в аспекті моніторингу,<br>прогнозування, оптимізації та керування)..... | 43 |
| 3.3. Саморегуляція в геосистемах.....  | 43 |
| 3.4. Неоднозначність реакцій на зовнішні впливи.....   | 46 |
| Питання для самоперевірки та контролю знань.....   | 47 |
| Тема 4. Організація геосистеми як об'єкта моніторингу.....   | 48 |
| 4.1. Організація та самоорганізація.....   | 48 |
| 4.2. Рівновага й нерівноважність у геосистемах.....  | 50 |

|  |     |
|--|-----|
| 4.3. Самоорганізація та саморегуляція .....  | 54  |
| Питання для самоперевірки та контролю знань .....  | 56  |
| Тема 5. Просторові й часові відношення в геосистемах .....   | 58  |
| 5.1. Географічний простір .....  | 58  |
| 5.2. Метричний простір .....   | 59  |
| 5.3. Топологічний простір. Місцеположення та місце розвиток ....   | 60  |
| 5.4. Функціональний простір .....  | 61  |
| 5.5. Просторові відношення .....   | 62  |
| 5.6. Геосистемний час .....  | 64  |
| 5.7. Топологічний і функціональний часи .....  | 66  |
| 5.8. Інформаційна функція геосистем.<br>Інформаційні відносини і зв'язки .....                             | 67  |
| 5.9. Відміни сигнально-інформаційних процесів<br>від речовинно-енергетичних .....                          | 69  |
| Питання для самоперевірки та контролю знань .....  | 71  |
| Розділ 3. Реалізація геосистемного (ландшафтного) моніторингу .....  | 72  |
| Тема 6. Розробка геосистемного моніторингу: з досвіду авторів .....  | 72  |
| 6.1. Загальний огляд методів .....   | 72  |
| 6.2. Експлікація території .....   | 75  |
| 6.3. Апріорний аналіз ділянки моніторингу .....  | 77  |
| 6.4. Укладання карти-гіпотези .....  | 78  |
| 6.5. Безпосередні дослідження території .....  | 82  |
| 6.6. Аналіз геоданих космічного моніторингу<br>та синтезування ландшафтного образу території .....         | 86  |
| 6.7. Автоматизована база даних .....   | 90  |
| 6.8. Реалізація геосистемного моніторингу .....  | 90  |
| 6.9. Інноваційна комплексна (наземно-космічна) система<br>для індикативного ландшафтного моніторингу ..... | 93  |
| 6.10. Деякі технічні обмеження .....   | 94  |
| 6.11. Алгоритм індикативного геосистемного<br>(ландшафтного рівня) моніторингу .....                       | 95  |
| Питання для самоперевірки та контролю знань .....  | 98  |
| Тема 7. Приклади успіхів і невдач керування об'єктами довкілля .....                                       | 99  |
| Питання для самоперевірки та контролю знань .....  | 109 |
| Електронний супровід<br>(запис лекцій професора Ігоря Черваньова) .....                                    | 110 |
| Література .....   | 111 |

## Від авторів

Вивчення курсу «Геосистемний моніторинг» передбачене навчальними планами ОНП «Природокористування. Ландшафтне планування та відновлення територій» за спеціальністю 103 «Науки про Землю» та ОПП «Географія» за спеціальністю 106 «Географія» на кафедрі фізичної географії та картографії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Потреба в цьому визначається необхідністю виходу з певного глухого кута, у якому вже декілька десятиліть знаходиться державна система моніторингу довкілля, хоча вона й була передбачена першими законами незалежної України, що свідчило про значимість проблеми, проте залишилась неефективною. Оскільки на високо-представницькому Давоському форумі (2023) питанням довкілля й реакцій на екологічну кризу світової економіки й соціуму присвячена сумарно майже половина світових проблем, які очікують людство протягом наступного десятиліття, Україна мусить готуватися до відновлення довкілля на найбільш високому сучасному рівні. Окрім глобальної мети, Україна має ще й свій власний біль – порушення територій унаслідок воєнних дій. Саме це, на нашу думку, потребує підготовки фахівців магістерського рівня з геосистемного моніторингу.

Серед існуючих численних моніторингових систем в Україні реальними є лише відомчі мережі. Це важливо, бо надає українському соціумові (зокрема через ЗМІ, до яких ми все більше охочі) реальну інформацію про напружений стан довкілля, який помножується воєнними діями на наших теренах. Виникла навіть така сумнозвісна категорія ландшафту – *ландшафт белігеративний*, тобто порушений, зруйнований війною. Адже згодом, у мирний час, мусимо дбати про відновлення всього ландшафту, а не окремих компонентів (напр. рельєфу чи ґрунту). Деякі регіони інтенсивних боїв – як-то Донбас, Херсонщина, Харківщина, Запоріжжя, Сумщина – перетворені майже цілком на такий белігеративний ландшафт, подальша доля якого зараз важко прогнозована: правил чи настанов щодо його рекультивациї досі не встановлено.

У таких умовах виникає нагальна потреба поставити питання про комплексний геосистемний моніторинг як один із провідних заходів забезпечення відтворюваності чи доцільного перетворення ландшафту з відповідним інформаційним супроводом. Він мусить бути організований у гармонійному поєднанні фундаментальних знань про ландшафтну організацію території з одного боку і засобів дистанційних зондувань – з іншого.

У цьому посібнику магістрантові надано можливість вивчити відповідний досвід наукових досліджень і розробок, у тому числі отриманий чи реалізований авторами на тлі світових досягнень фізичної географії, геокибернетики та суміжних систем знань.

Цей посібник підготовлено на кафедрі фізичної географії та картографії, колектив якої ще з часів 60–80-х рр. ХХ ст. орієнтовано на моніторинг зрошеного землеробства, ініційований і реалізований досить відомою науково-дослідницькою групою під керівництвом професора Георгія Петровича Дубинського. Відіграли певну роль здобутки професорсько-викладацького складу кафедри в галузі природоохоронно-екологічного картографування на чолі з професором Віліною Анатоліївною Пересадько. Значний досвід накопичено молодими співробітниками кафедри, які натеper очолюють власні напрямки досліджень.

**Автори курсу.** Професор Ігор Григорович Черваньов відомий розробкою теоретичних питань вчення про геосистеми та постановкою питань керування ними від глобального (землезнавчого) до топічного рівнів задля раціонального використання природних ресурсів і збереження довкілля.

Доцент Оксана Вікторівна Залюбовська є визнаним фахівцем з ландшафтної організації території і ландшафтного моніторингу об'єктів природно-заповідного фонду на основі поглибленого використання комплексу великомасштабної польової ландшафтної зйомки з дешифруванням даних дистанційних зондувань.

Аліна Юрїївна Овчаренко успішно захистила дисертацію на здобуття наукового ступеня доктора філософії, що присвячена проблемам картографування ландшафтів на найнижчому (фаціальному) рівні та питанням індикативного моніторингу з використанням даних дистанційного зондування.

У методичному відношенні суттєвим є те, що текст методичного посібника супроводжується відеофайлами лекцій, які викладено на кафедральному каналі YouTube та містять ілюстрації розробок. У Додатку є посилання на записи лекцій.

Лекції, прочитані професором Ігорем Черваньовим, відредаговано й підготовлено до розміщення в мережі Інтернет завідувачем навчальної лабораторії геоінформаційних систем та дистанційного зондування Землі кафедри фізичної географії та картографії Владиславом Сергійовичем Поповим.

# РОЗДІЛ 1

## МЕТОДОЛОГІЯ ГЕОСИСТЕМНОГО МОНІТОРИНГУ

### Тема 1. Вихідні положення. Моніторинг довкілля як прикладна гілка географії та геоекології

#### 1. 1. Загальні відомості

Моніторинг довкілля – наукове поняття географії, екології та законодавчо передбачений довготривалий нормативний захід державної справи керування довкіллям. Він склався протягом останнього півстоліття на базі світового досвіду і встановленої ефективності довготривалих спостережень за станом навколишнього природного середовища та окремих об'єктів, які турбують суспільство чи навіть загрожують людству.

Спочатку і довгий час потому це були локальні й безсистемні спостереження за погодою, гідрологічними об'єктами, гідротехнічними спорудами тощо. Потім виникли впорядковані системи регулярних спостережень за погодою (врешті – Всесвітня Метеорологічна служба (WMO)), за процесами на Сонці (обсерваторія в Цюриху та в Криму), численні ге'офізичні обсерваторії, метеостанції, гідрологічні пости тощо.

Як патріоти Харківського університету, мусимо зважати, що засновник Харківського Імператорського університету – Василь Каразін ще чверть тисячоліття тому розпочав систематичні спостереження (які тривали більше як 30 років) у сімейному маєтку свого батька Назара Каразіна на Богодухівщині. Згодом за цю тривалу піонерну роботу Василя Каразіна справедливо нарекли українським Ломоносовим.

Надалі Харківський університет уславився численними геофізичними спостереженнями, у тому числі створенням геофізичної обсерваторії, яка забезпечила безперервний майже двохсотлітній ряд спостережень за погодою, а особливо – проектом самого Василя Каразіна щодо створення загальнодержавної метеорологічної мережі, поданим цареві за чотири десятки років до реалізації схожого проєкту, вже в середині XVIII ст. Це були взірці своєрідного «промоніторингу», адже на той час не було засобів оперативного збору, впорядкування інформації і, що особливо прикро, – можливості її оперативного зібрання в якомусь єдиному центрі.

Лише з появою телетайпу в першій половині XX ст. така можливість з'явилась і були створені три центри світової метеорологічної інформації: у Вашингтоні, Мельбурні та Москві.

Проте сучасне поняття моніторингу набуло міжнародного значення й суттєвого розголосу пізніше, після робіт спеціальної комісії СКОПЕ<sup>1</sup> на початку 70 рр. ХХ ст., яка готувала пропозиції до першого саміту ООН з навколишнього середовища і сталого розвитку (Стокгольм, 1972). Тоді уперше термін «моніторинг» набув статусу загальносвітового напрямку охорони довкілля.

Під моніторингом тоді розумілося спостереження і отримання інформації про довкілля з подальшим використанням її для керування на різних рівнях охорони природи (Environmental Protection) – на той час термін «екологія» вживався лише у вузькому біологічному значенні.

На той час і пізніше зрозумілим чином було пояснено значення нового для тодішнього світу терміна й подано структуру моніторингу довкілля в такому складі:

- спостереження за подіями, які впливають на стан довкілля;
- оцінювання фактичного стану довкілля – глобального, регіонального та імпактного;
- прогноз стану довкілля на майбутнє й прослідковування його змін.

Слід як суттєвий позитив відзначити, що Україна разом з трьома республіками Прибалтики була першою в складі СРСР, де була створена державна система охорони природи у вигляді спеціального відомства – Державного комітету з охорони природи (Держкомприроди України), який підпорядковувався безпосередньо Раді міністрів України.

Тому не дивно, що система моніторингу досить стрімко набула державної підтримки, і до титулу іншого державного комітету – з гідрометеорології – було додано і титул «Моніторингу навколишнього середовища», завдяки цьому система моніторингу відразу отримала на рівні держави організаційно-правове втілення. Проте через 15 років, у часи перестройки цей альянс було розірвано і моніторинг став позавідомчою системою, яка в такому стані існує досі в кожній з країн – колишніх республік Радянського Союзу. Один з авторів пише про це як учасник подій, починаючи з 1979 року, коли професором С. І. Проходським було створено в Харківському університеті одну з двох у СРСР і першу в Україні географічну кафедру раціонального використання природних ресурсів і охорони природи, яка згодом стала родоначальницею кафедри геоекології і конструктивної географії – предтечі сучасного екологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, який існує з 2008 р. Професор ХДУ І. Черваньов був одним із трьох співкерівників Обласної експертизи з навколишнього середовища у 1986–1991 рр.

В Україні екологічний моніторинг (в інших документах – «моніторинг навколишнього природного середовища»), який є найбільш близький

---

<sup>1</sup> СКОПЕ – Науковий комітет з проблем навколишнього середовища ООН (Тут і далі прим. авт.).

за змістом до геосистемного, віднесений до загальнонаціональної системи охорони природи і раціонального використання природних ресурсів. Поряд із загальнонаціональною існують відомчі системи практично в кожній галузі господарської діяльності. До неї долучено (з прийняттям ISO-ДСТУ 14001-97 «Менеджмент навколишнього середовища») системи і завдання інвайронментального менеджменту, а пізніше й екологічного аудиту. Уже в другій декаді XIX століття в Україні розпочався прогресивний рух до сприяння становленню інвайронментальної (екологічної, зеленої) економіки, у тому числі через економічне стимулювання альтернативної енергетики («зеленої», на відновлюваних джерелах). Безпрецедентним є розвиток сонячної та вітроенергетики, а разом з ними – потужні й сучасно обладнані системи моніторингу стану відповідних ресурсів. Отже, система моніторингу поступово набуває все глибшого знання про довкілля, його соціально-економічної ролі, у т. ч. з метою уникнення екологічних ризиків і катастроф, тобто стає свого роду рушійною силою геосистемних інновацій.

Оцінювання стану території та прослідковування тенденцій ландшафтних змін є традиційним для фізичної географії науковим підходом. Імплементована в Україні у вигляді ДСТУ ЕС 14001-97 «Моніторинг довкілля» нормативна база та ратифікована «Європейська ландшафтна конвенція» є підставами для ландшафтного моніторингу як фундаментальної бази Державного моніторингу довкілля в Україні.

Цьому передувала коротка історія. Наприкінці 90-х рр. минулого століття в Україні та деяких країнах Східної Європи з'явилися наукові дослідження й методичні розробки стосовно ландшафтного моніторингу відомих вітчизняних географів: В. Бокова, Г. Міллера, В. Петліна, П. Шищенко, Г. Швєбса та ін. Розгорнулись дослідження на академічних та університетських географічних стаціонарах. Цими дослідженнями й розробками було закладено фундамент наукового обґрунтування ландшафтознавчих моніторингових досліджень, які згодом було покладено і в основу національного екологічного моніторингу.

Зміна аспектів моніторингових досліджень відбулася з початку 2000-х рр. завдяки стрімкому розвитку дистанційних методів. Революціонізує значення мало оприлюднення у відкритих джерелах оглядової цифрової інформації результатів сканування з космічних апаратів земних покривів у різних діапазонах відбиття й випромінювання, що дало можливість суттєво змінити методологію та способи реалізації моніторингу. Ці геодані було форматовано в цифровій формі, що швидко забезпечило формування й розвиток потужних ГІС-платформ, які надали можливості стандартизованої обробки, інтерпретації та навіть прослідковування змін у реальному часі (що тепер ми наочно бачимо, зокрема, на полі бойових дій).

Стало доказово зрозумілим не лише в географічному, але й у науково-технічному плані, що система моніторингу ландшафтів повинна базуватися

на комплексному аналізі та оцінці сучасних ландшафтів, але з використанням сучасних досягнень науково-технічного прогресу, де залишається чільне місце і для кваліфікованого дослідника негеографа.

Для природоохоронних територій проведення моніторингу ландшафтів є однією з першочергових умов виконання для прийняття в подальшому управлінських рішень. Залишилась у минулому громіздка система наземних спостережень, значний штат спостерігачів та тривала обробка даних. Сучасність дозволяє отримати високоточні дані спостережень досліджуваних ландшафтів чи окремих природних компонентів, забезпечуючи своєчасний збір, контроль, оцінку і візуалізацію даних.

Науковцями кафедри фізичної географії та картографії ХНУ імені В. Н. Каразіна (О. Залюбовською (Боднею), О. Сінною, А. Овчаренко) було визначено наступні напрями наукових розвідок: сучасне бачення ландшафту як складної системи, що ідентифікується візуально; ландшафтне картографування з використанням дистанційних засобів (ДЗЗ) та ГІС-технологій; пошук індикаторів структури і стану ландшафтів; моніторинг ландшафтів безпосередньо за даними ДЗЗ та ГІС-технологій стали, можна вже сказати, виробничою реальністю.

Для системи охорони природи сучасні ландшафтознавчі теорії та прикладні розробки суттєво поглиблюють і водночас розширюють бачення ландшафту як найважливішої умови існування людини, чинника організації довкілля і предмету ландшафтно-екології. Такого роду дослідження належать відомим українським дослідникам Г. Байрак, А. Гудзевичу, М. Гродзинському, Г. Денисику, І. Круглову, Н. Максименко, А. Мельнику, Г. Міллеру, Л. Руденку, В. Петліну, Г. Швобсу та ін. Деякі з досліджень згаданих вчених присвячені безпосередньо ландшафтам у межах природоохоронних територій.

Чимало робіт вітчизняних ландшафтознавців присвячено вивченню антропогенних трансформаційних процесів ландшафтних комплексів, у тому числі і просторово-часовим змінам компонентів ландшафту, у залежності від ступеня їхньої варіативності. Новий погляд щодо визначення значного переліку функцій ландшафту та узагальнення різних інтерпретацій ландшафту як географічного феномену, також елемента культури та продуцента екосистемних послуг людству обґрунтовано М. Гродзинським (2007; 2014) (рис. 1.1).

Цей рисунок дозволяє пересвідчитися, що розвиток поглядів на ландшафт за тривалий історичний період у 5 століть пережив декілька епох: споглядальний розвиток ландшафтного малярства, літературних описів та звітів мандрівників фізикалістський (від Гумбольдта до середини ХХ ст.), ландшафтно-перцепційний (паралельно з фізикалістським, проте в інших регіонах і верствах населення), нарешті, сучасний поліцентричний, коли співіснують інструментальні технології на тлі прагматичних пошуків

(ландшафтна екологія, оцінки довкілля для різних видів природокористування, зокрема, як нематеріального ресурсу, у поєднанні з різноманітними інтерпретаціями – з боку задоволення нематеріальних потреб людей.

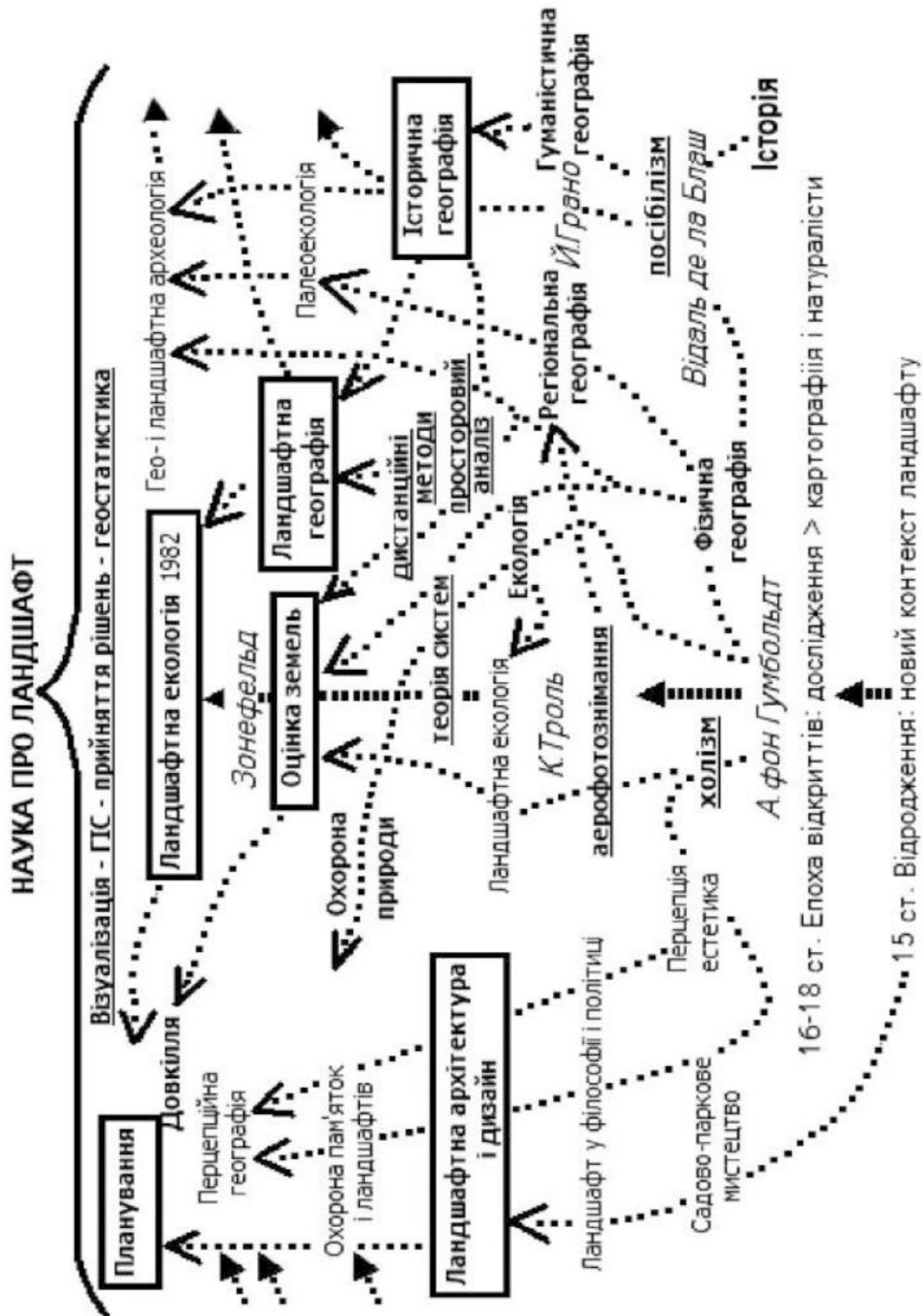


Рис. 1.1. Схема розвитку науки про ландшафт та взаємодії між її дисциплінами (Гродзинський М. Д., 2017)<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Гродзинський М. Д. Ландшафтна географія: стара назва нової науки чи відродження майже забутого? *Український географічний журнал*. 2017. № 2. С. 59–64.

У регіонах України дослідження і картографування об'єктів ПЗФ було розпочато ще у 80-х рр. минулого століття в межах академічної програми «Рациональне використання природних ресурсів і охорони природи», до виконання якої було залучено практично всі географічні школи України.

Згодом, після Чорнобильської катастрофи, ландшафтні зйомки у великому масштабі було проведено В. Давидчуком на території 30-кілометрової Чорнобильської зони, бо ліквідаторами наслідків аварії було помічено, що плямистість у радіоактивному зараженні території спричинена ландшафтною структурою.

Території та об'єкти ПЗФ є ключовими і часто еталонними ділянками при здійсненні моніторингу довкілля. Особливо якщо ми говоримо про такі категорії, що мають адміністрації та наукових співробітників у штаті, що з року в рік проводять моніторингові дослідження, ведуть документацію та звітність. Такими категоріями є природні та біосферні заповідники та національні парки, які щорічно укладають і видають результати своїх моніторингових досліджень у Літописах природи (що є обов'язковим документом у рамках їхньої діяльності)<sup>3</sup>. Також до моніторингових досліджень можуть долучатись і інші об'єкти ПЗФ, наприклад зоологічні парки, ботанічні сади, дендрологічні парки, рідше – регіональні ландшафтні парки та заказники (бо зазвичай вони не мають штату співробітників).

Згодом у Харківському університеті було розроблено і апробовано по відношенню до об'єктів ПЗФ регіону Лівобережної України засоби комплексної ландшафтної зйомки з послідовним використанням ДЗЗ для проектування декількох НПП і регіональних ландшафтних парків у дисертаційних дослідженнях і численних друкованих працях А. Овчаренко, О. Залюбовської (Бодні), Є. Вариводи, С. Ігнат'єва, О. Сінної. Такі та схожі роботи були складовою студентських наукових досліджень і розробок, у тому числі відомих і в Україні, і поза її межами (Ю. Бурдун, І. Олійников, О. Карасьов та ін.). Це свідчить про обґрунтованість і продуктивність цього наукового напрямку.

Останні постанови Кабінету Міністрів: «Порядок функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» (затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 684) та «Порядок здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття» (затверджений постановою Кабінету Міністрів України від 17 січня 2025 р. № 45) вкотре доводять значущість моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття для потреб збереження і регламентують об'єкти та суб'єкти даного моніторингу на законодавчому рівні.

---

<sup>3</sup> В Україні роботи з укладання Літопису природи проводяться у відповідності до «Програми Літопису природи для заповідників та національних природних парків України» (2002) (Андрієнко Т. Л. Програма Літопису природи для заповідників на національних природних парків / Т. Л. Андрієнко, С. Ю. Попович, О. І. Прядко та ін.. К., 2002. 102 с.).

А в сучасних умовах швидкозмінності окремих компонентів ландшафтів необхідним є застосування сучасних методик обробки даних і їхнього аналізу на основі використання ГІС-технологій і даних дистанційного зондування Землі. У цих напрямках досліджень і розробок вітчизняні дослідники простують у когорті світового співтовариства географів, екологів, ГІС-спеціалістів. Ландшафтний моніторинг у подібних дослідженнях може виступати як метод збору необхідної інформації для оцінювання станів та в подальшому прийняття управлінських рішень чи здійснення ландшафтного планування території.

## **1.2. Моніторинг довкілля як прикладна гілка географії та геоекології**

Тут мусимо розглянути сутність, об'єкт, предмет, методи моніторингу стосовно переважно до географії. У чому відміна поміж географією та екологією? Кардинально – у тому, що географія розглядає довкілля як таке, що існує безвідносно до суб'єкта (людини, живих істот, виробництв, поселень тощо), як самотність природи. Екологія розглядає відносини суб'єкта з об'єктом. За замовчуванням, за суб'єкт вважають людину (від людства до особини) – і це різні складові соціальної екології. Проте суб'єктом бувають також інші актори (від «акт» – дія). Якщо це щось важливе в природі – у наших випадках це будуть геосистеми, – то це є геоекологією. Якщо в центрі уваги жива ланка природи – від біологічного виду до біосфери – то це біоекологія. Менш популярні поняття урбоекології (місто – суб'єкт), промислової та аграрної екології (велика кількість відповідних суб'єктів – від підприємства до галузі та від виду чи навіть сорту культурної рослини до загального поширення або видів, або способів землекористування).

Отже, слово «екологія» нічого конкретного не означає. Не означає доти, доки не визначили суб'єкт. Крилата фраза: без суб'єкта немає об'єкта. Тому екологія, а ширше – екологічний підхід є суб'єкт-об'єктним, націленим на аналіз стосунків у цій нерозривній парі. Не можна казати «погана екологія». По-перше, лінгвістично слід говорити «погане природне середовище» (бо «логос» – це знання). По-друге – і це більш важливо по суті: погане для людини може бути гарним для якоїсь істоти, чи виду, чи популяції. Наприклад, муха цеце контролює північно-західну частину тропічної Африки: їй там гарно, проте і тварини, і люди тут захворюють на сонну хворобу – практично «виходять з ладу» як активні організми. І багато прикладів є в нашому житті. Помисліть про це, щоб зрозуміти нашу думку.

«Що важливіше: географія чи екологія?» – запитає скептик. Це як відповідь на питання, кого ти любиш більше, тата чи маму? Безглуздість.

Екологія як підхід соціально більш сприйнятна. Але хто надасть знань про довкілля, дасть професійну оцінку змін, ризиків, конкуренцій у довічній боротьбі людини й природи? Це географія, переважно фізична, проте й усі інші її підрозділи, гілки чи стосунки в природі. Це ми з вами відповідальні за таку важливу справу, як ендокринолог дає знання про стан внутрішньої секреції терапевтові, який приймає рішення щодо лікування.

Тому цей курс присвячено геосистемному моніторингу. Не моніторингу екологічному, урбо- чи агросистемному – ними опікуються інші фахівці.

### 1.3. Фрагменти історії

Термін «моніторинг» по відношенню до довкілля з'явився незадовго перед проведенням Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища (5–16 червня 1972 року). Потім на Першій міжурядовій нараді з моніторингу (Найробі, 1974), скликаній Радою Програми ООН з проблем навколишнього середовища (ЮНЕП), були визначені *основні цілі глобальної системи моніторингу навколишнього середовища*:

- постійне спостереження за певним процесом з метою виявлення його відповідності бажаному результату або первісним припущенням;
- спостереження, оцінка і прогноз стану довкілля у зв'язку з людською діяльністю.

Для досягнення цих цілей потрібно спочатку знати об'єкт моніторингу: що є цим об'єктом, яка його «фізіологічна норма», що слід вважати за відхилення від норми, як оцінювати його загрозливість і ризики, можливість конфліктів і в природі, і в природокористуванні; чи можливі компенсаційні дії і т. ін. Саме це і мусить бути підґрунтям моніторингу навколишнього середовища: як не знаєш цього, то залишається спостерігати за відхиленням від норм, визначених, як правило, експертно, за якимось побічними ознаками або з досвіду, і поданих надалі у відповідних нормативних документах. До того ж слід мати дослідницьку й лабораторно-аналітичну базу, закріпити її як нормативну, обов'язкову щодо дотримання; створити й сертифікувати і прилади, і методики оцінювання змін і т. д. Адже висновки моніторингової системи стають нормативами, обов'язковими для виконання. Навіть за часів СРСР, які проте не можуть бути взірцем для сучасності, було запроваджене право блокувати фінансування порушників настанов моніторингових систем, тому вже тоді підпис еколога стояв поряд з іншими інспекторами – санітарно-епідеміологічним, пожежної інспекції тощо. З'явилися екологічні паспорти, нормативи гранично допустимих викидів і скидів (ГДВ та ГДС відповідно), створені екологічні інспекції, експертизи – ціла армада заходів, обмежень і контролюючих органів, які виконували, з одного боку, корисні функції обмеження негативного впливу на довкілля, з іншого – стали такими

важелями, якими екологічні служби через інспекторів стримували (аж до припинення) господарської діяльності інколи навіть велетенських господарських об'єктів. Так воно є і зараз, і з цього виникають, як тепер прийнято писати навіть у ЗМІ, «корупційні ризики».

Але ж насправді для того, щоб бути переконливим, потрібно «докопатися до суті»! Така наша роль у проблемі збереження, чи оптимізації, чи навіть життєіснування.

І є ще один аспект – космічний. Людство з різних причин заклопотане ідеєю пошуку «резервного місця перебування», і зараз це питання одне з актуальніших: а раптом ядерна війна? А хто визначить, яким мусить бути докільля «там», і як за ним спостерігати? Зараз цим займаються різні фахівці – але без нас. Це прикро. Це наша провина (ми маємо на увазі себе) – через пасивне невміння використати свої знання в справі докільля. Як кажуть про безпорадну жінку: вміє готувати та не спроможна подавати. Приблизно так.

#### **1.4. Об'єкт, предмет, мета і завдання геосистемного моніторингу**

*Об'єктом* геосистемного моніторингу є геосистеми. *Суб'єктом* геосистемного моніторингу є фахівці, які володіють знаннями геосистем відповідного типу, відповідним чином сертифіковані через певний напрям і рівень професійної освіти – приблизно так, як лікувальною справою має право займатися лише фахівець, який отримав відповідну освіту, має диплом і т. п. Повинна бути чітка межа між екологістами<sup>4</sup> та екологами, географами та інженерами з певних галузей природокористування.

*Предметом* геосистемного моніторингу взагалі є визначення, глибинний аналіз, пояснення й прогнозування змін у геосистемах, які піддаються певному впливові людської діяльності або ж взаємодії з іншими геосистемами, які таким чином перетворені або навіть сплюндровані, тому є токсичними для менш займаної природи. *Завданнями* геосистемного моніторингу ми вбачаємо наступні позиції:

а) поглиблене вивчення геосистем, спостереження змін, запобігання негараздам;

---

<sup>4</sup> У світовій практиці екологістами називають активістів будь-якої професії, які вболівають за вирішення певних завдань охорони природи, не маючи спеціальної освіти. Це величезна кількість фондів, програм, проектів, ініціативних груп тощо, які виконують велетенську роботу, корисно інформуючи або збуджуючи суспільство. Наприклад, екологічні партії, які користуються відповідними лозунгами й закликами як засобом боротьби за владу не маючи можливості й навіть наміру реально покращити стан докільля, бо це потребує кропіткої роботи, колективів кваліфікованих фахівців і т. ін. Натепер це відбувається через соціальні мережі. На жаль, бувають випадки використання таких структур і популярних блогерів у корисливих цілях.

і водночас

б) кваліфіковане (відповідно до сучасного рівня наукових знань) встановлення визначальних властивостей геосистем, на які здійснюється тиск (свого роду діагностика природного «організму» геосистеми);

в) прогнозування, оптимізація, попередження конфліктів і запобігання змінам (перш за все незворотним) через пізнання саморегуляцій, станів геосистем і т. ін.;

г) освоєння в суспільних і групових інтересах природного потенціалу у вигляді геосистемних (екологічних, інвайронментальних) сервісів;

д) поширення науково визначених знань про геосистеми, їхні властивості, сильні й слабкі (вразливі) сторони, свого роду гігієну існування та поведінки людини в геосистемному середовищі, яке може бути в будь-якому стані (до речі, досить часто всупереч здоровому глуздові, який превалує в людських оцінках будь-чого, як у «охороні природи» наприклад).

Важливо при опануванні дисципліни ознайомитися з основним змістом нормативних актів у питаннях довкілля, які запозичені чи імплементовані з міжнародних законів та стандартів серії ISO 14000, спроектувавши їх на достатньо глибоку професійну обізнаність у сфері геосистемології<sup>5</sup>. Це надасть змогу випускникам брати участь в оцінках стану довкілля, зокрема за відповідними світовими методиками EIA (Environmental Impact Assessment) та SEA (Strategical Environment Assessment), які поступово імплементуються в правове поле України і вже є одними з основних способів реалізації екологічної експертизи на заміну застарілих національних систем природоохоронного законодавства.

Враховуючи тривалість процесу гармонізації національного законодавства у сфері охорони природи з Європейським і світовим інвайронментальним менеджментом, у спецкурсі розглядаються теорія і методика організації і функціонування системи моніторингу загальнодержавного рівня та окремих компонентів навколишнього середовища на різних рівнях ієрархії відповідної державної служби. Проте ключовим для географа-природоохоронця є розділ 2, у якому коротко викладено інноваційні матеріали щодо основ геосистемології та можливостей геосистемного забезпечення керування довкіллям. Тут вміщено наукові розробки щодо сучасного бачення об'єкта моніторингу – геосистеми – як носія суттєвої частини суспільного багатства.

*Унаслідок вивчення наведеного матеріалу студент мусить знати, що:*

1) середовище є складною системою – не менш складною, ніж внутрішній суб'єкт, тому середовище слід розглядати як зовнішній суб'єкт пари суб'єкт (внутрішній) – суб'єкт (зовнішній); далі розглядаємо зовнішній суб'єкт;

---

<sup>5</sup> Геосистемологією ми тут називаємо вчення про геосистеми та способи керування ними, тобто розділ комплексної прикладної частини науки про Землю.

2) середовище має, у свою чергу, макро- та мікроаспекти, і вони визначаються різними параметрами;

3) ці параметри в системній взаємодії визначають сприятливість/несприятливість процесу в прийнятті рішень, раціональності використання середовища і його сприянню/несприянню успіхові діяльності.

*У результаті навчання студент мусить навчитися:*

1) встановлювати прояви суб'єктності середовища;

2) визначати й оцінювати зв'язки між параметрами внутрішнього і зовнішнього суб'єктів;

3) ситуативно визначати, як елімінувати негативні параметри середовища й корисно використовувати сприятливі з урахуванням попереднього викладу;

4) володіти навичками оцінювання параметрів зовнішнього середовища по відношенню до внутрішнього суб'єкта діяльності;

5) сприяти оптимізації відношень зазначених двох суб'єктів. Такий підхід, що враховує їхню рівноправність у партнерстві, зветься у світовій науці інвайронменталізмом.

### **1.5. Законодавчо-правові засади національної системи моніторингу довкілля**

Система моніторингу довкілля, яку було запроваджено в СРСР у 70–80-ті рр. минулого століття, принципово залишилася мало зміненою з набуттям Україною незалежності, бо вже тоді була скопійована з американської<sup>6</sup>.

Державна система моніторингу довкілля (ДСМД) в Україні – це система спостережень, збирання, обробки, передачі, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розробка науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки. Вона курується наступними нормативними документами:

1. Законом України «Про охорону навколишнього природного середовища»<sup>7</sup>.

2. Законом України «Про оцінку впливу на довкілля»<sup>8</sup>.

3. Законом України «Про екологічний аудит»<sup>9</sup>.

<sup>6</sup> Про це авторам відомо зі спілкування з фахівцями з Environment Assesment E. Consulting, зокрема через Центрально-Європейський університет (CEU), що перебував у Будапешті і був базою імплементації природоохоронного світового законодавства до країн Центральної та Східної Європи.

<sup>7</sup> Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст. 546).

<sup>8</sup> Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315).

3. Законом України «Про стратегічну екологічну оцінку»<sup>10</sup>.

4. Положенням Про державну систему моніторингу довкілля (зі змінами), що затверджений постановою Кабінету Міністрів<sup>11</sup>.

5. Законом України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля»<sup>12</sup>.

6. Порядком функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем, що затверджений постановою Кабінету Міністрів<sup>13</sup>.

7. Порядком здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття, що затверджений постановою Кабінету Міністрів<sup>14</sup>.

Проте у світовому контексті найбільшу перспективу має поступове впровадження світової стандартизації (ISO) низки питань довкілля, які об'єднуються терміном ISO 14000. Поки що імплементовано лише світовий стандарт у вигляді Державних будівельних норм України: ДСТУ ISO 14001-97 «Керування навколишнім середовищем»<sup>15</sup>.

Ці базові закони неодноразово піддавались правці й доповненням.

Уже давно імплементовано та додатково визначено нормативи гранично допустимого впливу на довкілля у вигляді ГДВ та ГДС (згадувались вище), які вдосконалюються, нормуються і стандартизуються (відомі стандарти Євро-3 до Євро-6 щодо вихлопних газів авто).

Розроблені, встановлені та нормуються показники ГДК (гранично допустимих концентрацій) забруднень у різних середовищах і стосовно різних способів природокористування. Натепер відомо декілька сотень таких показників. Запроваджено класифікацію промислових відходів на 4 класи за ступенем загрозливості для людини та в залежності від середовища перебування і використання (від найтоксичніших – 1-го класу), і законодавчо встановлені правила поводження з ними. Добре, що вони мають антропоцентричне спрямування. Проте кепсько, що відсутні навіть намагання якомсь

---

<sup>9</sup> Закон України «Про екологічний аудит» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, № 45, ст. 500).

<sup>10</sup> Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2018, № 16, ст. 138).

<sup>11</sup> Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 р. № 391.

<sup>12</sup> Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2023, № 63, ст. 208).

<sup>13</sup> Постанова Кабінету Міністрів «Про деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» від 13 червня 2024 р. № 684.

<sup>14</sup> Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття» від 17 січня 2025 р. № 45.

<sup>15</sup> ДБНУ – це загально національний стандарт України (колишній ГОСТ).

визначити їхню загрозливність (чи, можливо, корисність, чи хоча б нейтральність) стосовно геосистем різних типів як чинників їхнього існування.

Відслідковування стану забруднення навколишнього середовища (НС) є підсистемою моніторингу, яка існує в складі загальнодержавної та відомчих складових. Останніми є виробництва й процеси, які стосуються важливих (критичних) об'єктів, що вочевидь негативно впливають на довкілля аж до загрози здоров'ю. Зокрема, згадувана вище кафедра була першою навчально-науковою структурою, яка (разом з фізико-технічним факультетом Харківського університету) здійснила в терміновому порядку випуск фахівців з моніторингу атомних електростанцій, а також брала участь у міжнародних проектах моніторингу Світового океану, промислових відходів, водогосподарських об'єктів, біоіндикації тощо.

Останнім часом значні здобутки отримано на кафедрі фізичної географії та картографії в питаннях використання матеріалів ДЗЗ для моніторингу перш за все природоохоронних об'єктів. Усе це обумовлює актуальність вивчення курсу студентами і визначає належний рівень науково-методичного забезпечення навчальної дисципліни та реальну можливість працевлаштування випускників факультету геології, географії, рекреації й туризму в державних природоохоронних закладах і в розв'язанні місцевих проблем щодо відслідковування змін як в обмежувальному, так і – підкреслимо – конструктивному сенсах.

## **1.6. Засади інвайроментального менеджменту в системі моніторингу**

Другою складовою предмету, яка поки що не включена до власне моніторингу довкілля, ми вважаємо конструктивно високозначуще завдання – залучення знань про довкілля в соціально-економічних інтересах розвитку України через використання природного капіталу (який також потребує моніторингового супроводу) та аудит різних видів діяльності, пов'язаної як з використанням природних ресурсів, так і з впливом на довкілля. Ця проблема жваво розглядається у світовій науці і практиці інвайронментології, проте досі не є, на жаль, у полі зору і науковців, і особливо розробників у країні<sup>16</sup>. Ця друга складова предмету вивчення викладається виключно для географів Харківського університету, тому може стати інноваційною родзинкою фахівця нашого випуску. У додатковому списку літератури наведено частину наукових друкованих праць, які слугують основою постановки цього розділу предмета. Він поки що не є нормативно

---

<sup>16</sup> Огляд проблеми міститься в статті Черваньов І. Г., Грищенко Н. В. Інвайронменталізм у світовій науці: значення для вітчизняної географії. *Український географічний журнал*. 2013. № 2. С. 13–16.

визначеним, проте наука мусить випереджати і практику, і законодавчі ініціативи.

Натепер, знову-таки у зв'язку з діяльністю кафедри, долучається до предметної сутності моніторингу відслідковування, вивчення й супровід змін нематеріальних об'єктів та ресурсів. Це такі ресурси, які в процесі експлуатації не втрачають речовину, енергію й інформацію. Перш за все, це геосистемні (за іншими визначеннями – екологічні) сервіси, тобто речовинні й нематеріальні складові нормального перебігу природних процесів (поглинання вуглецю, виробіток кисню, нарощування біомаси, врешті накопичення вільної енергії та створення геохімічних структур (наприклад, ландшафтно-геохімічних бар'єрів), які корисні людині і природі в цілому за нормального перебігу процесів. Це також, наприклад, атрактивності як властивості, що визначають інтерес людей, притягують їх до певних місць у довкіллі: краса, унікальність, екзотичність чи, навпаки, типовість. Це також деякі риси ландшафту, які відомі з людського життя та літературних творів, проте ніколи не були предметом спеціального дослідження: різноманітність, інформаційна ємність, навіть характерний чи специфічний запах тощо<sup>17</sup>. Нематеріальним ресурсом, що успішно моніториться, є потенціал альтернативної енергетики.

### 1.7. Складові геосистемного моніторингу

Геосистемний моніторинг як глобальна технологія (геомоніторинг) дозволяє виявляти загальні закономірності навколишнього світу. У цьому сенсі його інформаційною базою є наземні спостереження згадуваних вище систем даних – метеорологічні та гідрологічні щорічники, карти й атласи, які подекуди містять значний фактичний матеріал про минулі часові зрізи (у тому числі доіндустріальної ери) та слугують базою вияву наступних змін. Частина цих матеріалів вже була піддана обробці, причому не лише заради моніторингу змін.

Проте все більшого значення й інформаційної ваги набуває сучасна цифрова інформація, заради обробки якої розроблено, удосконалюється і все

<sup>17</sup> Зокрема, випускник кафедри Олександр Карасьов є першим в Україні фахівцем з нематеріального екскурсознавства і з успіхом захистив дисертацію “Landscape metrics and cultural ecosystem services: an integrative resource-driven mapping approach for landscape harmony“, захист якої відбувся в Естонському університеті природничих наук.

Karasov, O., Heremans, S., Kylvik, M., Domnich, A. & Chervanyov, I. On how crowdsourced data and landscape organization metrics can facilitate the mapping of cultural ecosystem services: an Estonian case study. *Published in Land, Basel (Swiss.)*. Academic Open Access Publishing Volume 9, Issue 5. 2020. p. 158. [Land] Manuscript ID: land-784592; doi: 10.3390/land9050158.

Karasov, O., Kylvik, M., Chervanyov, I., & Priadka, K. Mapping the extent of land cover colour harmony based on satellite Earth observation data *Geojournal*. 84(4). 1057. 2019. 1072 p. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-018-9908-x>

ширше застосовуються дистанційне зондування і ГІС-технології, про що вам відомо з інших спеціальних дисциплін, які викладаються в бакалавріаті.

Як часткова (галузева) технологія геомоніторинг дозволяє вирішувати як фундаментальні проблеми (зокрема, відслідковувати складові енергетичного балансу, дійсний стан і зміни ґрунтового-рослинного покриву, безпосередньо, а не аналітично, як це було ще 30 років тому, відображати (візуалізувати) динаміку атмосфери й океану та успішно формулювати різноманітні прикладні задачі стану геосистем довкілля як природних, так і змінених: аграрних угідь, прогнозування врожаю й оперативного управління обробною чи збиральною землеробською технікою (аж до фрагментів окремого поля в сучасних технологіях точного землеробства, досить поширених в Україні).

Слід розрізняти аспекти поняття моніторингу, які надто розмиті у сучасному світі через застосування в будь-яких сферах, важливих для життя. Далі будемо обмежуватись проблемами довкілля в прикладному щодо географії сенсі й розуміти цей термін у вузькому й широкому сенсі. У вузькому сенсі моніторингова система обмежується функцією постійного спостереження за будь-яким об'єктом, процесом, явищем з метою виявлення його стану і тенденцій зміни цього стану, з метою з'ясування відповідності моделі або вихідного положення. Цьому поняттю відповідає, зокрема, геотехнічний моніторинг в інженерних вишукуваннях. Наприклад, наші випускники працюють у моніторингових системах АЕС, інженерному моніторингу міст тощо. Моніторинг у широкому, пізнавальному розумінні включає функції: спостереження, аналізу і прогнозу. Він спрямований на вивчення (а не тільки на спостереження) за яким-небудь об'єктом, процесом, явищем з метою виявлення його стану і тенденцій зміни цього стану, з метою виявлення причин зміни стану і прогнозу стану в майбутньому. Цьому поняттю відповідає геосистемний моніторинг та його складова й засіб реалізації – геоінформаційний моніторинг.

Спочатку термін «моніторинг» застосовувався для позначення системи повторних цілеспрямованих, за певною програмою й технічним забезпеченням спостережень за одним або більше елементами навколишнього природного середовища в просторі і часі. Проте натепер (і, мабуть, надалі) він набуває сенсу динамічного пізнання певних об'єктів і процесів змін за спеціально організованими і запрограмованими спостереженнями. Цим геосистемний моніторинг відрізняється, скажімо, від вчення про геосистеми, яке є певною абстракцією реально можливих подій, і наближається до стаціонарних ландшафтних чи геофізичних спостережень, які теж здійснюються онлайн безпосередньо в процесі змін.

Натепер моніторинг не є предметом якоїсь однієї науки: він знаходиться на перетині предметів, завдань, можливостей і зусиль кількох цілих галузей знання: *географії*, яка володіє найбільшим арсеналом знань про

довкілля – проте часто-густо ці знання не структуровані, різнопланові й тому непридатні для формалізації, а без цього їм не стати основою моніторингу; *екології*, яка опікується стосунками людини й природи або різними аспектами змін, спричинених людською діяльністю, – проте, не маючи змоги охопити одним поглядом і природу, і людську діяльність, вона акцентується на найбільш важливому для свідомості людини – загрозах і негараздах; *інформації*, яка наче й забезпечує найбільш досконалі, високі технології опрацювання геоданих, проте поверхово володіє знаннями про довкілля; *геотехнології*, яка намагається поєднати предметні знання довкілля з технологіями обробки даних – і успішно рухається таким шляхом; *галузевих дисциплінах про довкілля* – геології, ґрунтознавства, метеорології, гідрології, біогеографії та, нарешті, географічних знань про суспільство та його творчу й особливо деструктивну роль. Якщо ж узяти в цілому, то геомоніторинг як узагальнення видів моніторингу представляє інтерес як інструмент пізнання світу, включаючи області космічного простору. У даний час, у зв'язку з бурхливим, випереджаючим розвитком геоінформатики і ГІС-технологій, є тенденція підрозділяти і розглядати геомоніторинг як узагальнення геотехнічного та геоінформаційного моніторингу.

Гетехнічний моніторинг формується як відносно певних антропогенних об'єктів, зокрема АЕС, гідротехнічних споруд тощо, так і стосується способів спостереження з використанням складних технічних засобів. У останньому випадку потрібне відслідковування правильності роботи приладів (напр. засобів дистанційної зйомки та комп'ютерних систем), що потребує відповідних знань підготовлених спеціалістів та вимірювальної і ремонтної техніки. Хоча, здавалось би, це далека від географії та екології сфера, проте на більшості пунктів спостереження відсутні окремо взяті техніки-технологи, і цю функцію беруть на себе саме згадані фахівці.

Більша частина моніторинрів (зрозуміло, що їх кілька) є нормативними. Тобто кимось визначені норми певних параметрів, і спеціально навчені спостерігачі (як правило, чиновники) контролюють відхилення від нормативів ГДК (гранично допустимі концентрації), ГДВ (гранично допустимі викиди) – це у повітря, ГДС (гранично допустимі скиди) – у водні об'єкти. Взагалі, різних нормативів такого роду сотні (якщо взяти конкретні показники). Це слід називати (так воно частково і є) *контролем навколишнього середовища*. Система контролю за навколишнім середовищем передбачає три основних види діяльності:

- 1) спостереження і контроль (у порівнянні з нормативами);
- 2) прогноз – визначення можливих змін природи під впливом природних і антропогенних факторів;
- 3) керування – розробку й пропонування заходів щодо регулювання стану навколишнього середовища.

Такий моніторинг корисний, як і будь-який інший (цін на продукти, показників діяльності підприємств і організацій, порушень законодавства і т. п.). Проте він не потребує висококваліфікованих кадрів магістратури університетського рівня. Достатньо скористатись досвідом гідро- метеорологічного моніторингу, з яким відмінно пораються фахівці зі спеціальною середньою освітою (називаються «спостерігачі»), а на середніх і вищих щаблях досвіду керування – і все.

### 1.8. Деякі проблемні приклади

Наводимо приклади, які пересвідчують у тому, що традиційний нормативний підхід до оцінювання стану середовища є хибним. Це дасть можливість захистити ваш вибір спеціальності, бо інакше незрозуміло: навіщо у такому разі стріляти з гармати по горобцях, якщо узяв дані забрудненості, співставив з нормативами – і все готове. Це досить просте питання, для цього не потрібно бути кваліфікованим фахівцем.

Відповідь така: моніторинг нормативний (за відхиленнями показників – це паліатив (тимчасовий варіант відповіді). Не можна прийняти розумні й обґрунтовані рішення раз і назавжди, безвідносно до місця розташування чи інших обставин, не маючи знань про об'єкт моніторингу. Бо одна справа – фіксувати порушення (відхилення від нормативів), але інша, більш важка і необхідна – розуміти, що одне й те ж саме «порушення» може бути і шкідливим, і катастрофічним, і мало значущим, і навіть корисним! І це так.

Принцип «доза-ефект», яким користуються в оцінках забруднень, не є правильним. Наприклад, у практиці діяльності водоохоронних об'єктів «законно» користуються можливістю скидати забруднені води без належного очищення під час повені або паводків. На якій підставі? Бо за великої води відбувається таке значне розбавлення стічної води, яке не перевищує норматив ГДК (гранично допустимої концентрації). Але ж зрозуміло, що врешті-решт цей бруд десь опиниться – наприклад, в Азовському морі, якщо йдеться про водозбір Дону, або в Дніпро-Бузькому лимані – коли це стосується Дніпра. І далі подітись йому нікуди, інакше як у мул чи рослини (вони є очищувачами води), а через них – у рибу та морепродукти. Отже, тут щось не так. Тут слід бити на сполох.

Інший приклад абсолютно протилежний. На Балаклійський цементний комбінат (на жаль, натепер зруйнований) не раз нарікали і природоохоронці, і громадськість за викиди вапняного пилу з печей випалювання шихти. Через порушення нормативів ГДВ його не раз карали штрафами, санкціями, але – така технологія! – він був одним з рекордсменів-забруднювачів по області. А що показали наші студентські загони?

У хвойних лісах, які смугою в 5–10 км тягнуться вздовж річок (піщано-борова тераса) природне середовище (грунт і опад хвої) кисле. Вапняний пил, випадаючи, не шкодить, а навпаки – зменшує кислотність, що є сприятливим для ґрунту. Отже, забруднення перетворюється на користь стану довкілля, бо в нормі для лісостепу воно нейтральне.

Третій приклад. І на річці Немишлі (прямо в місті Харків, де вона перетинає проспект Тракторобудівників), і в місті Зміїві (де міст із Замостя до центру) і в інших місцях спостерігаємо колосальні зарості очерету. Причому вони концентруються біля викидних труб очисних споруд або там, де є інші забруднення – пожива для очерету. Як до цього ставитись? Хтось каже: знищимо той очерет – він спричиняє замулення річки, бо стримує течію. Місцеві ж його систематично спалюють. А що насправді: очерет – потужний фільтр (уся водна рослинність має цю властивість, але він особливий). Він депонує (виводить з обігу) важливі шкідливі речовини, перш за все важкі метали, і таким чином очищує воду від забруднювача, який найважче вловлюється при очищенні інженерними засобами. І завдяки цьому буває. Очевидна користь забруднювача (для очерету) і користь очерету для всього іншого. Восени чи, частіше, навесні його традиційно палять. А що виходить? Те, що очерет депонував у своїй зеленій масі, позбавивши нас ризику задухи, вивільняється в повітря та створює залповий викид важких металів. Так як же правильно зробити? Якою мусить бути свідомою стратегія людей, що палять там же, де й живуть (отже, дихають) самі?

Ми могли би навести немало прикладів, коли одна й та ж сама дія, вплив на довкілля, може бути, як було сказано вище, неоднозначною. Тут не допоможуть ніякі нормативи – слід знати, що і в якому випадку відбувається і чому так чи інакше. Діловою мовою – повинні бути геосистемний моніторинг і експертиза поточного стану довкілля.

Тому більшу частину курсу ви мусите вивчати не нормативний моніторинг – цим займаються екологи. Вищі України мають рекордну кількість осередків екологічної освіти. Більшість з них інженерні, і вони випускають фахівців з контролю навколишнього середовища в тому нормативному значенні, що вище критикувалося нами. Це інженери. Вони мало свідомі щодо природи, сприймаючи її як «оточення», що пасивно щось отримує, переробляє (чи ні), депонує (чи ні) – отже, у повністю неусвідомленому вигляді. Ви мусите знати, що природа – складна система, і її складові – технічно складні системи. Їхня складність на порядки перевершує наше виробництво, яке багато що запозичує в природи, не сподіваючись будь-коли її надолужити. Коротко, природа – складна ієрархічна геосистема. Ми її мало знаємо, хоч намагаємось захищати. Від чого? Від нас самих. Слід навчитись з нею співпрацювати, проте для цього потрібна кваліфікація.

Цей посібник є навчально-науковим. Значну частку наукових здобутків автори отримали особисто чи разом з колегами<sup>18</sup>. Протягом тривалого часу автори були експертами різних комісій і рад щодо екологічної експертизи, моніторингу, схем раціонального природокористування, моделей організації території тощо. Це все не стільки використано у цьому короткому курсі, де фізично не могло вміститися, скільки послужило підставою для впевненості в компетентності авторів у відповідальних судженнях щодо геосистемного моніторингу і керування довкіллям, які не є загально визнаними.

### Питання для самоперевірки та контролю знань

1. Що розуміємо під моніторингом довкілля?
2. Навести історичні приклади спостережень за станом і змінами в довкіллі (у т. ч. у Харківському національному університеті імені В. Н. Карзіна).
3. Подати основні події створення світової системи моніторингу.
4. Які заходи щодо створення системи моніторингу довкілля мали місце в Україні протягом років незалежності?
5. У чому ви вбачаєте особливість геосистемного моніторингу на тлі нормативних державних документів?
6. У чому мусить полягати об'єкт геосистемного моніторингу?
7. У чому мусить полягати предмет геосистемного моніторингу?
8. Які завдання повинен виконувати геосистемний моніторинг?
9. Як подано мету спецкурсу в аспекті наук про Землю?
10. Який обсяг знань про геосистемний моніторинг вимагається від магістранта?
11. Якими навичками в системі моніторингу мусить володіти випускник магістратури?
12. Яким є національне законодавство щодо запровадження моніторингу довкілля?
13. Які міжнародні законодавчі акти імплементовано в Україні і навіщо?
14. Які нормативи впливу на довкілля вам відомі — і ними ви мусите керуватися?
15. Якими є три основні завдання моніторингу довкілля?
16. У чому полягають вади відомого в технічному контролі забруднень принципу «доза-ефект»?
17. У чому ви вбачаєте інноваційність геосистемного моніторингу (у порівнянні з нормативним)?
18. Якими мусять бути складові геосистемного моніторингу?

---

<sup>18</sup> Зокрема частина питань, що стосуються геосистемних основ управління природним середовищем, були розроблені І. Черваньовим разом із партнерами в рамках міжнародного проєкту Темпус-Tacis CD\_JE 21242-2000/Ukr “Educational Development for Environmental Safe Energetics”.

## **Тема 2. Інвайронментальний підхід – теоретичний базис геосистемного моніторингу**

Інвайронментальний підхід означає таке бачення будь-якої господарської, соціальної чи світоглядної проблеми, за якого довкілля вважається або суттєвим фактором, або обмежуючим важелем, або, навпаки, входить до відповідної цільової функції процесу. Він конституційований у розвинених країнах, проте поки що малопопулярний у бідніших країнах, особливо ресурсних «придатках» розвинених країн, до чого поки що тяжіє й Україна.

На відміну від популярної в недалекому минулому концепції «охорони природи», яка була чисто обмежуючою природокористування аж до відмови від нього у своїх найбільш радикальних варіантах («назад – до печер!»), та від звичайного для сучасного світу агресивного природокористування – воно, на протилежність природоохороні, передбачає отримання максимальної вигоди від експлуатації природи (у крайньому випадку це «хижацьке природокористування»), – на відміну від них інвайронментальний менеджмент посідає дещо помірковану «середню» позицію. Як за українським прислів'ям щоб і вовки ситі, і вівці цілі. У протилежність попереднім – досить грубим, з непрофесійними, настирливими гаслами, які мало коли виконуються, інвайронментальний менеджмент потребує глибоких знань і певних умінь, навіть алгоритмів реалізації. Його головним напрацюванням і водночас керівним принципом є потреба компромісу через партнерство суб'єкта із середовищем, з розумінням, що воно теж суб'єкт – проте зовнішній щодо нього. Але для цього слід розглядати і суспільство (разом з усіма сферами його існування чи функціонування як партнера, суб'єкта по відношенню теж до відомого суб'єкта – людини). Тобто це малопопулярний у широких колах соціуму (навіть у когорті інтелігенції) суб'єкт-суб'єктний підхід, про що ми вже говорили на початку цього науково-методичного видання. Це ключове положення.

Як приклади минулого можна навести піклування дбайливого господаря про власний шматок землі чи корову-годівницю. Натепер щось схоже відбувається і в макромасштабі: точне землеробство, безпасовищне утримання худоби, вирощування мальків риби на рибозаводах або божих корівок для захисту полів від шкідників. Усе це приклади форм бізнесу, у яких виробництво використовує витрати на відтворення чи захист землі, погोलів'я, зникаючих видів для отримання відкладеної вигоди – через певний час, при цьому – як додатковий ефект – забезпечує покращення середовища.

## 2.1. Деякі уточнення понятійно-термінологічного апарату

Терміни «ландшафт» і «геосистема» не є тотожними. Геосистема – термін більш широкий. *Геосистема* є безрозмірним поняттям для позначення будь-якої природної системи (також природно-антропогенної, антропогенної, тобто майже штучної), поєднаної спільним положенням, внутрішніми зв'язками і саморозвитком. *Ландшафт* – це геосистема локального чи субрегіонального рівня, який може бути оселею певного комплексу організмів (екосистеми або кількох екосистем). Ландшафти входять до складу фізико-географічного району і т. д. аж до ландшафтної сфери.

Як відомо з попередніх курсів бакалавріату, *ландшафтна сфера* – тонкий шар прямого дотику, контакту й енергійної взаємодії поверхні земної кори, тропосфери й гідросфери. За насиченістю органічним життям ландшафтна сфера є *біологічним фокусом ГО*, а за значущістю в географічній оболонці – *фізико-географічним фокусом* і водночас *ареною існування людини* (тобто значущою для суспільної географії). З геофізичної точки зору ландшафтна сфера – це *потужна відкрита термодинамічна система*, де відбуваються рух речовини, її фізичні перетворення (руйнування (десквамація) знаємо як фізичне вивітрювання, термодинамічні процеси сприйняття, перетворення, акумуляції, частково дисипації енергії, переважно сонячної, проте до певної міри й ендогенної). Ці процеси утворюють колообіги речовини в різних фізичних станах та потоки й трансформацію енергії. Досить значною мірою геофізичні перетворення є як інгібітором, так і активатором геохімічних процесів.

З геохімічної точки зору ландшафтна сфера є *гігантською хімічною лабораторією*, у якій залежно від географічних обставин відбуваються хімічні перетворення речовини. Еволюційно так склалося, що трансформації сонячної енергії в різні види земної енергії формують середовище, найбільш сприятливе для розвитку життя. Проте правильніше сказати, що *живе в сукупності й складній організації пристосоване до термодинамічних та геохімічних умов земної поверхні, з одного боку, та здатне формувати середовище життя – з іншого*.

Просторово ландшафтну сферу класично обмежують площею суходолу. Існують аквальні ландшафти, теж відомі на суходолі. Автори не схильні до того, щоб вважати океан (відноситься до океаносфери) частиною ландшафтної сфери, бо на його поверхні середовище формується зовсім іншими чинниками. Далі дотримуємось цієї думки, хоч останнім часом спостерігається експансія положень ландшафтознавства і на океанічну поверхню теж.

Ландшафт, утворюючись на стику геосфер, набуває, відповідно до законів системної організації природи, якісно нових властивостей, які відсутні в жодній з його складових.

## **2.2. Обґрунтування потреби геосистемного моніторингу**

Запровадження системи геосистемного моніторингу потребує рафінованого й впорядкованого викладу потрібних знань про геосистеми ландшафтного рівня організації, бо саме тут відбуваються процеси прийняття, асиміляції, перероблення, використання продуктів людської діяльності, а моніторинг надає можливості цим процесом керувати, контролюючи (за певними програмами) стан довкілля.

Саме таку задачу мусить розкривати цей курс. Він є повністю авторським, певною мірою спирається на 30-річний досвід і науково-технічні надбання природоохоронно-геомоніторингової кафедри Харківського університету.

Необхідне керування станом природного середовища і збереження його ресурсної функції можуть здійснюватися різноманітно. Загальний стан ландшафтної сфери Землі залежить від установа правильного конкурентного співвідношення між активізацією господарської діяльності людини, до того ж зростаючої чисельності, з одного боку і обмеженими можливостями природно-ресурсного потенціалу ландшафтної сфери – з іншого. Проблема сумісності господарської діяльності зі станом природного середовища постає повсюдно, і необхідно чітко уявляти собі це стосовно кожної конкретної території. Для комплексного аналізу процесів взаємодії людини й природи, прогнозу майбутнього стану природного середовища потрібна конкретна просторово-тимчасова характеристика ландшафтних умов території. Про це знають усі. Менш відомо, що негативні аспекти природокористування є результатом недостатньої наукової обґрунтованості планування природокористування, відсутності регіональних ландшафтних прогнозів, до чого наука ледь підходить. Отже, ідея та реалізація моніторингу запроваджені тоді, коли ще немає ясних усталених положень геосистемної теорії та відсутні вихідні документи планування.

Загальний стан ландшафтної сфери Землі залежить від установа правильного співвідношення між активізацією господарської діяльності людства, обумовленої зростанням чисельності, і обмеженими можливостями природно-ресурсного потенціалу ряду регіонів. Проблема сумісності господарської діяльності зі станом природного середовища постає повсюдно, і необхідно чітко уявляти собі це в додатку до конкретної території. Для комплексного прогнозу стану природного середовища потрібна конкретна

просторово-тимчасова характеристика ландшафтних умов території. Як відомо, негативні аспекти природокористування є результатом недостатньої наукової обґрунтованості планування природокористування, відсутності регіональних ландшафтних прогнозів.

Потрібно також мати на увазі, що кожен регіон різного таксономічного рангу і ландшафтної складності має свою місцеву специфіку взаємодії «людина-ландшафти» – унаслідок складного історичного процесу. Відомі різні способи прогнозування стану природних компонентів і природних комплексів: екстраполяція, експертні оцінки, моделювання тощо. У даному випадку при ландшафтному підході ставиться ряд питань щодо визначення оптимальних видів і форм природокористування. Від точності й обґрунтованості відповідей на них залежать деякі аспекти розвитку суспільства, у тому числі запобігання екологічним проблемним ситуаціям і ареалам катастрофічних змін.

Ландшафтна сфера є унікальним комплексним утворенням, вона ж є загальнолюдською оселею, ареною природокористування та місцем накопичення продуктів життєдіяльності в широкому сенсі поняття – включаючи всі умови життя й функціонування суспільства. Саме її в першу чергу стосуються *геоекологічні проблеми* (у літературі та ЗМІ приставка «гео-» часто не фігурує, що прикро). До кінця ХХ ст. питання взаємодії суспільства і природи набуло визначеної гостроти, у них позначилися численні конфлікти не лише точкового і площинного поширення, але й глобальні. Наприклад, відомі доповіді Римському клубу зараз практично правлять світом, бо світові організації (ООН, ЮНЕСКО, Глобальний Екологічний Фонд, Світовий банк тощо) керуються розрахунками й висновками експертів Римського клубу – визнаних у його колі американських, німецьких та японських фахівців, яким належать невітні висновки щодо майбутнього людства і запропоновані рішучі дії (інколи загрозливо криваві, коли йдеться про зменшення чисельності населення світу по країнах – свого роду «рознарядка» на її скорочення). Ці рекомендації виправдовуються потребою уникнути Армагеддону – колапсу цивілізації. Серед таких прогнозистів переважають кібернетики, особливо школи відомого Джея Форестера. Частково до розв'язання виниклих геоекологічних проблем можуть долучитися науки про Землю разом з геоінженерією, проте поки що до них не дослухаються. Зазначимо, що система моніторингу мусить посідати у цьому процесі неабияку роль.

### **2.3. Потреба в географічному обґрунтуванні й компетентних фахівцях**

Фізична географія володіє значним обсягом знань про географічну оболонку і ландшафтну сферу, які є натурними об'єктами багатовікових досліджень і узагальнень. Проте ці знання не утворюють стрункої системи,

як, наприклад, це є обов'язковим у точних науках, які поступово будують свого роду Вавілонську вежу знань і методів. Це заважає можливості зрозуміло, переконливо й впорядковано ділитися цими надбаннями з іншими гілками людського знання, тому вони залишаються підспудним «мертвим багажем».

Геосистемний моніторинг виступає тим пробним каменем, на якому мусить відточуватись система знань про ландшафтну сферу Землі в цілому і геосистему як фокус пізнання зокрема.

Наземні моніторингові системи різних рангів не мають спільної основи. Якщо порівняти з людиною, то окремі моніторинги – це як вузько-профільні лікарі-фахівці: кожен досконало знає свій об'єкт дослідження чи лікування, але жоден не візьметься за те, щоб поринути в професійну сферу іншого. І це так строго – аж до кримінальної відповідальності. Проте є лікар-терапевт, який, знаючи ці сфери професійних інтересів фахівців, визначає, на що кожному зі задіяних у діагнозі чи лікуванні слід звернути пильну увагу. І, зрозуміло, є діагностична лабораторна база.

На нашу думку, це гарний приклад моніторингу здоров'я і лікувальної справи. І його слід мати на увазі. Таким «лікарем-терапевтом» мусить бути фізико-географ. Саме він (як лікар загальної практики) повинен виконувати таку роль своєрідного диригента ансамблю окремих моніторингів, щоб мати можливість узагальнювати діагноз стану довкілля.

Ще одна важлива річ, як на думку авторів. Світ живе в парадигмі стосунків «людина-природа», вбачаючи, що людина – фокус відношень, суб'єкт, а природа – об'єкт, арена і навіть смітник діяльності суб'єкта. Наслідки очевидні. Ніхто на нормативно-законодавчому рівні не відповідає за пізнання об'єкта на рівні інтересів та відомостей про суб'єкт. Як ми покажемо далі, цей «об'єкт» – насправді складний організм природи. І він заслуговує на те, щоб бути вивченим з тією ж увагою, професійністю і систематичністю, що і суб'єкт. Отже, геосистема мусить стати рівноправним суб'єктом моніторингу. Це можливо лише за умови, що слідкування буде не за системою «дія-результат», як у кібернетичній моделі «чорного ящика», а через розпізнавання, відтворення, документування процесів самоочищення (коли йдеться про забруднення), саморегулювання (якщо мова про депопування чи трансформацію забруднень, особливо ж порушень самої сутності природного (природно-антропогенного, антропогенного суб'єктів)) і про саморозвиток, коли прогностисти – вузькі фахівці, а часто-густо і просто інженери чи навіть журналісти (!) намагаються давати прогнози змін довкілля або «проекувати» штучне довкілля (як намагаються це ініціювати на Землі «Біосфера-2» і на Марсі (назви поселення ще немає)). Марна справа, розрахована на те, що в разі неуспіху всі вже й забудуть про автора. Слід цю справу поставити на наукову основу.

Отже, усього три висновки:

а) від опанування «довкіллям» – такий бридкий термін! – як рівнозначного *суб'єкта відношень*, від яких залежить не лише благополуччя, але й існування людства, залежить наша спільна доля і добробут кожної людини;

б) кожен суб'єкт мусить мати юридичний захист. До недавнього часу цим хизувалися лише люди; останніми десятиліттями з'явилися закони про захист тварин, проте вони ще не визнані суб'єктом права. Потрібен великий і тернистий шлях, *щоб геосистема стала суб'єктом права* (хоча автори ще не усвідомили ще, як це можна зробити; на це є фахівці-юристи);

в) геосистемний моніторинг мусить *формуватись із самого початку як професійна система*. Як лікування людини тим, хто не має дипломованої медичної освіти, є кримінальним злочином, так і проектування системи спостережень, втручання в спостереження, аналіз, інтерпретацію результатів спостережень повинен здійснювати фахівець нашого кшталту – фізико-географ. Будемо за це боротися.

### Концепції інвайронментального підходу

Протягом останнього півстоліття в західному світі виникло декілька *концепцій керування довкіллям*:

- стратегічного керування;
- структурно-функціональна;
- організаційної екології;
- ресурсної залежності та ресурсного прокляття.

У цих концепціях зовнішнє середовище не є синонімом «довкілля» як партнера людини. Ним є або інституціональне середовище – від теорій до законодавчо-нормативних актів, також система ресурсів та умов життєдіяльності – як з одного боку принада, з іншого жупел, тобто стимулюючи (Кремнієва долина) чи обмежуючи (Арктика, пустелі Африки або тропічні ліси Бразилії) гармонійну співпрацю з довкіллям. Специфічною є теорія «ресурсного прокляття», яка з точки зору здорового глузду виглядає як забаганка інтелектуалів – хто погодиться з тим, що ресурсів може бути забагато? Проте аналіз розвитку етносів у минулому – та й зараз – свідчить про те, що надмір ресурсів створює переваги актуально, доки вони є, проте гальмує прогрес, позбавляючи людські спільноти й кожну людину можливості дбати про пошук засобів існування, переможність у конкурентній боротьбі – у цілому, поступовому відставанні від країн, які змушені «видряпатися вгору» засобами інтелектуального капіталу, через заощадження дефіцитних ресурсів і, навпаки, всупереч ресурсній бідності (як Японія, Фінляндія чи Швеція).

## Макро- та мікрорівні зовнішнього середовища

Інв�айронментальні теорії поділяють на дві групи: такі, що розглядають мікрорівень довкілля, себто те, що бере безпосередню участь у співпраці чи, навпаки, конкуренції, і макрорівень – він стосується умов виживання чи добробуту людства або великих спільнот опосередковано – через покращення чи погіршення зовнішніх передумов праці чи існування взагалі, як відома кліматична проблема або ризику від змін магнітного поля Землі через сонячну активність, або вулканізм у сейсмічних регіонах, або зміну рівня Світового океану на узбережжі і т. д. Ці умови не беруть участі в процесі виробництва та ледь впливають на умови життєдіяльності, проте є значущими на рівні великих територій і створюють/гальмують конкуренцію цілих держав, відбиваючись до того ж у модифікації мікросередовища.

Певною мірою такі складні взаємини макро- та мікрорівнів навколишнього середовища проявляються або безпосередньо, або опосередковано. Це можна відобразити в такий спосіб.

*Фактори прямої (безпосередньої) дії:*

- трудові ресурси;
- організації-конкуренти;
- споживчі ринки;
- державні заклади.

*Фактори опосередкованої дії:*

- стан економіки;
- науково-технічний прогрес;
- політична обстановка;
- соціокультурні фактори.

У правдивості такої класифікації неважко переконатися, розглядаючи, наприклад, «зернову проблему» або блокування вивозу збіжжя з України країнами-транзитерами і т. ін. Це лише питання сьогочасні, проте якщо розглянути етногенез та цивілізаційну історію, переконаємося, що стихійно чи осмислено такі взаємовідносини супроводжували всю людську історію і часто-густо вирішували долю цілих регіонів (як-то, наприклад, боротьба за ринок прянощів сприяла відкриттю Американського континенту). Численні сучасні приклади геополітичних колізій – між країнами, блоками, регіонами й континентами – мають або повністю інв�айронментальну природу (нафта – країни ОПЕК і весь інший світ; унікальна деревина – Бразилія, Індонезія, Екваторіальна Гвінея й інші країни-конкуренти; алмази – Намібія тощо). Рідкісні та розсіяні метали, навіть наркотики, – усе це важелі світових подій, живильне середовище збройних конфліктів і навіть воєн, світових криз (як у Середні віки – «голодні бунти»), що і є наслідком неврегульованості інв�айронментальних відношень. Так вигля-

дають проблеми макрорівня. Макросередовище складається із загальнокультуральних умов існування організації чи виробництва, включаючи політико-правовий, економічний, навіть освітній і релігійний аспекти – які разом і по-різному впливають на умови використання ресурсів<sup>19</sup>.

Слід звернути увагу на два радикальних протилежних ставлення до макросередовища. Одне – коли воно лімітує розвиток певного бізнесу, зокрема, через законодавче обмеження чи фіскальні механізми (про що ми багато чого знаємо зі ЗМІ). Друге, менш відоме – це використання середовища як фактора позитивного впливу на організацію, динаміку та конкурентні переваги. Саме тут знаходяться наші можливості, бо таке позитивне використання докільля потребує знань, винахідливості та науково виваженого ризику, наприклад, у справі розвитку туристично-рекреаційної сфери, де завжди є ряд можливостей.

На мікрорівні найбільш відомою і значущою проблемою є так зване цільове оточення. Це сукупність територій та організацій, які здатні впливати або реально впливають на можливості, ефективність чи вимогливість цілей даного бізнесу. Тут виникають численні й багатогранні відношення з оточенням. Загальна мета інвайронментального менеджменту полягає тут у тому, щоб по можливості зв'язати в якусь керовану (хоча б частково) структуру – переважно через спільне ресурсовикористання чи середовище існування/праці, – здається, зовсім різні сфери життя, причому такі, що раніше чинили негативний тиск на даний суб'єкт природокористування. Прикладом такої можливості є побудова ланцюжків виробництв, які використовують відходи попереднього користування як сировину для свого виробництва, – і так далі таким «хитрим» ланцюжком. Такі приклади давно відомі, їх навіть вивчають в економічній і соціальній (суспільній) географії як приклади системного підходу: ресурсна база цукроваріння та побічних виробництв на його відходах. Так само побудовані ланцюжки переробки скришних порід відкритих кар'єрів (Калуш у басейні Західного Бугу; будівельні матеріали зі скриші кар'єрів на Правобережжі Дніпра тощо). Тут відкриваються величезні можливості інвайронментального менеджменту та його «наступника» – екологічного аудиту.

За даними світових авторитетів, *мікрорівень зовнішнього середовища визначають такі параметри:*

- можливості оточення – кількість ресурсів, доступних організації безпосередньо;
- стабільність чи плинність: відповідно, можливість передбачити чи ні оточення;

---

<sup>19</sup> Характерний приклад: деякі країни Африки – зони Сахелю, – маючи десятки голів великої рогатої худоби на душу населення, імпортують яловичину – бо за звичаєм їхнє багатство оцінюється не в грошах, а в «рогах» живої худоби. Те ж стосується народів Півночі (олени) і т. п.

- однорідність (гомогенність) чи неоднорідність, структурованість середовища;
- концентрованість чи дисперсність (розпорошеність впливового оточення);
- наявність/відсутність територіального консенсусу (як у пригодницьких фільмах про розбірки між кланами за територію);
- турбулентність – складність та ступінь плинності стосунків у середовищі<sup>20</sup>.

Існує пояснення того, як згадані параметри діють у якості факторів.

Чим більш строката різноманітність (гетерогенність), тим важчою є взаємодія, проте менші ризики, як складна структура аграрного сектору, наприклад, дає змогу перекрити втрати в одній культурі прибутком завдяки іншій і т. п. Складність зовнішнього середовища збільшує витрати, у тому числі менеджменту, бо існує потреба реагувати на певну кількість різнорідних виробництв.

Динамічність (змінність, варіативність) зовнішнього оточення впливає на стабільність «входів» та «виходів» даної організації: чим динамічніше оточення, тим активніше мусить бути дане виробництво чи організація, тим більш швидкий прогрес вона може отримати. Динамічність середовища визначається частотою змін, що відбуваються, схожістю чи розбіжністю темпу окремих змін щодо організації або ж її складових, неоднорідністю процесу.

Невизначеність зовнішнього середовища залежить від наявності й повноти інформації, потрібної для прийняття рішень. Про можливість теорії інформації, поняття визначеності/невизначеності ми згадували вище.

Залежність від інших організацій є важливою характеристикою оточення. І є характеристикою, яка надає можливості оцінювати й передбачати зміни та їхні наслідки за різних сценаріїв.

Взаємопов'язаність факторів середовища визначає можливу дійовість (рівень сили), з якою зміна одного фактора призведе до спрямованих чи хаотичних змін («турбулентності» у взаємодії із середовищем). Дуже цікавий приклад турбулентності (не називаючи це явище в такий спосіб) навів Дж. Форестер у роботі «Динаміка розвитку міста», показавши, що зовнішні інвестиції здатні зруйнувати економіку й соціальні засади організації міського середовища, хоч кожне місто мріє про залучення зовнішніх інвестицій, бо вони важливі в сучасності й найближчій перспективі.

Нарешті, важливими й неоднозначними є ефекти міжорганізаційних стосунків (як, наприклад, корпоративний менеджмент), бо в такому разі відбувається зменшення ступенів свободи кожного учасника такої взаємодії.

---

<sup>20</sup> Aldrich H. Organizations and environments. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1979.

Відомі 4 моделі взаємної залежності організацій: популяційно-екологічна; ресурсної залежності; мережева й неоінституційна<sup>21</sup>.

Нас в цьому курсі найбільш цікавить модель ресурсної залежності. Згідно з нею, сама організація може бути квазіринком, завдяки тому, що розподіл ресурсів визначається самою організацією (наприклад, за умови дефіцитності певного ресурсу він перенаправляється туди, де найбільша його віддача або більш доступний ланцюг переробки відходів, інші зиски тощо). Два положення: кожен залежить від усіх; залежності відрізняються за силою, інтенсивністю, результативністю в даний час і в близькій перспективі.

Вважається, що слід враховувати принаймні три фактори:

1) наскільки даний ресурс є критичним: чи можливо його замінити, і наскільки важливими можуть бути наслідки його дефіциту чи відсутності;

2) наскільки вільно організація може користуватися та перерозподіляти його<sup>22</sup>;

3) у якій мірі організація, якій належить ресурс (чи є його розподільником), є монополістом.

Зараз ці питання широко обговорюються в ЗМІ у зв'язку із санкціями, які накладаються залежно від порушень країнами певних норм світового інвайронментального менеджменту і не тільки.

Натомість, у простому гомогенному оточенні питання стоїть так: або пан, або пропав. Бо за такої обстановки немає можливості для маневру – зате потужною може бути підтримка природокористування. Приклади монокультури в аграрному секторі є саме такими.

Одне з перших досліджень впливу соціокультурних факторів на формування людини певного типу (людини економічної) належить М. Веберу<sup>23</sup> та ін. Цим науковцям належить доказ думок про те, що проблема соціального регулювання найкраще вирішується через бюрократичну організацію (як не дивно це для нас виглядає). Надалі нам слід дбати про виникнення типу «людини інвайронментальної».

Проблеми впливу економічного й технологічного чинників на формування менеджменту як нового типу керування розглянута А. Чендлером. Він вважає, що сучасний капіталізм – це не засилля власників (бенефіціарів), а влада структури менеджерів (отже, від підприємництва до менеджменту!). Підвищення впливу найманих менеджерів укупі з їхньою орієнтацією на потреби ринку призвело до відмови власників від розробки своїми силами

<sup>21</sup> Jurkovich R. A core typology of organizational environment. *Administrative Science Quarterly*. 1974. Vol. 19, № 3. P. 380–394.

<sup>22</sup> Прикладами є ЕСКАТО, ОПЕК, Євросоюз, члени яких мають обмеження індивідуального розвитку заради спільного успіху чи взаємовиручки.

<sup>23</sup> Вебер Макс. Протестантська етика і дух капіталізму. Київ: Основи, 1994. 261 с.

підприємницьких стратегій, бо останні для забезпечення ефективності потребують постійного слідкування за тенденціями, самовдосконалення менеджерів та ін. професійних потреб і дій, які вимагають постійної та відповідальної участі<sup>24</sup>.

## 2.4. Натурний об'єкт геосистемного моніторингу

Географ безпосередньо відповідає за постановку спостереження: що слід моніторити, якою мусить бути якість первинної інформації: додержання регламенту спостережень, повноту й точність замірів, правильність обробки первинних даних, тобто за все те, що студент вивчає в процесі навчання відсторонено від конкретики об'єкта моніторингу. І в цьому сенсі чи не найважливішим, принаймні ключовим є визначення геосистеми, яка потім слугує об'єктом моніторингу. Або спостережувальної мережі (наприклад, тестових окремих об'єктів), якщо такий об'єкт складний чи надто протяжний, і в такому разі не можна звести спостереження за ним до точкового. У географії геосистема визначається як фундаментальна структурна одиниця географічного ландшафту, що поєднує геоморфологічні, кліматичні та гідрологічні елементи та екосистеми на певній ділянці земної поверхні. Як антропогенна система, геотехнічна система визначається як сукупність природних об'єктів і технічних споруд, функціонування яких залежить одне від одного. Геосистема пов'язується, крім рельєфу як ключового елементу ландшафту, із самим ландшафтом земної поверхні, а також підземними і адземними об'єктами та їхніми характеристиками. На абстрактному рівні все це правильно. Проте слід конкретно визначати структуру спостережувальної мережі й об'єм спостережень, розміщувати прилади чи репери, якщо це не нормативні спостереження, як на метеорологічних станціях і постах. Наприклад, зсувна або селева геосистема не має чітких меж. Але в залежності від кліматичних умов і конкретного стану зволоження та антропогенних дій система може проявити себе в істотно різних формах і процесах, по-різному в наземній та підземній частинах і в залежності від геодинамічних процесів. Через те, що в багатьох спостережувальних системах не можна супроводжувати процес безпосередньо, визначають чутливі параметри, а згідно з ними – індикатори змін. Такими є коливання рівня води, градієнти температури та тиску, напрям вітру чи току води; є окрема досить широка категорія біоіндикаторів (поведінка, стан певних добре відомих організмів та їхніх пошкоджень в умовах змін; геохімічні

---

<sup>24</sup> Як приклад з життя України: у ЗМІ постійно наголошується, що топ-менеджери видобувальної сфери, зокрема, отримують статки, які викликають обурення пересічних громадян. Тут і є пояснення цього економічно-соціального феномена.

індикатори, як-то виділення болотного газу чи зміна якості води в природних джерелах та колодязях, поведінка домашніх тварин тощо. Отже, індикатори – це опосередковані властивості, процеси, відношення, які достеменно чи ймовірно свідчать про наступний такий-то перебіг змін. Якщо узагальнити, то індикатори схожі на сигнально-інформаційні сутності та процеси. Саме опосередкованістю вони відрізняються від перебігу станів, певних процесів змін, які, як правило, мають матеріальну сутність.

## **2.5. Геоінформаційні системи – сучасна основа геосистемного моніторингу**

Геосистема включає й антропогенні складові геосистеми нарівні з природними, що обумовлює складності її ідентифікації та моніторингу змін. Адже одна справа, якщо процес природний і протікає закономірно, – багато про що географічна наука знає і може дещо передбачити; зовсім інша, коли із соціально-економічних причин людська складова геосистеми збурює її стан або порушує природний перебіг процесу – і тоді слід вдаватися до прямого спостереження. Це неодноразово відбувається під час великих пожеж, які подекуди охоплюють десятки й сотні тисяч гектарів (як було на Олешківських пісках під Херсоном). У таких випадках для моніторингу ситуації застосовують геостаціонарні супутники, які висять над певною точкою земної поверхні на висоті більше 30 км, безперервно чи ситуативно фіксуючи стан об'єкта чи процесу. У малих масштабах спостережень використовують дрони. Тепер ми багато чуємо і знаємо про військові дрони, але тут мова не про них. Адже дрони активно використовують у наукових та прикладних (які можна назвати науково-комерційними) цілях. Саме про такі дрони йде мова.

Перспективною особливістю геоінформатики є застосування її за межами земної поверхні, наприклад, в Інтернеті часті повідомлення та ілюстрації процесів на інших планетах, у першу чергу найближчих об'єктах космічних експедицій і, можливо, перспективного освоєння людьми – Місяці і Марсі. Прикладом може служити перенесення методів фізики, динаміки та геодезії в область дослідження космічного простору і природних властивостей названих та інших об'єктів.

Геоінформаційний моніторинг виник історично пізніше інших видів моніторингу. Це обумовлено тим, що геоінформатика (геоматика) як наука почала формуватися лише з 90-х років минулого сторіччя. Геоінформаційне забезпечення моніторингу інтегрує всю інформацію, що відноситься до конкретних геооб'єктів, геосистем, територій і споруд. Даний вид інформації лежить в основі підготовки практично всього спектра управлінських рішень, пов'язаних зі збереженням чи використанням геосистем. Така інтеграція

зумовлена застосуванням спеціального механізму в геоінформатиці, який називається геореференцією.

Геоінформатика дає новий розвиток теорії моніторингу, бо спирається на інтеграцію даних, одержуваних з різних джерел і систем обробки даних. Це дає змогу проводити комплексну обробку різних даних і органічно приводить до поняття комплексного моніторингу. Це перша позитивна риса геоматики, якій слугує геосистемний моніторинг.

Ще одна особлива риса полягає в тому, що методи геоінформатики дають можливість розширити поле спостереження і включити в нього не тільки об'єкт моніторингу, але й середовище, у якому цей об'єкт знаходиться. До того ж сучасні спостережувальні космічні системи мають можливості, які досить суттєво перевершують людські можливості. Наприклад, характеристики об'єктів у невидимих оку ультрафіолетовому й інфрачервоному діапазонах або здатність радіосигналу бортового радара вільно долати будь-який хмарний поліг тощо. Нарешті недосяжна в недалекому минулому потреба синхронності спостережень стає реальністю, бо супутник з апаратурою облітає Землю за півтори години (для абсолютної більшості спостережень – миттєво). У моніторинг потрапляє не тільки об'єкт, але і його мікросередовище та середовище. Це дає більший об'єм інформації для аналізу й більшу повноту результатів для інтерпретації станів та змін об'єктів.

Нарешті геоінформаційний моніторинг дає унікальну можливість надання результатів моніторингу у формі картографічних і цифрових моделей. Перші незамінні у звичайному аналізі, про що натепер знає кожен учень загальноосвітньої школи; другі – цифрові моделі легко обробляються комп'ютерними програмами (за наявності, звісно, відповідного програмного забезпечення), отже, дозволяють оминати трудомісткий етап візуального аналізу і особливо – результатів його виконання (наприклад, побудовану за даними сканування вручну карту слід було би прив'язувати і знову оцифрувати).

Особливістю геомоніторингу є можливість знаходження просторових відносин, що для інших технологій часто є неможливим.

## **2.6. Системність дослідження в геомоніторингу**

З часу виникнення науки системні уявлення про Світ стають одними з основних. Рішення задач моніторингу геосистем і розвитку геомоніторингу вимагає використання системного підходу, що забезпечує:

- облік структури, складу, динаміки та еволюції природної, господарської, демографічної складових довкілля;

- аналіз часових (історичних) характеристик досліджуваних об'єктів, процесів і явищ у системі «природа-людина-виробництво»;
- виявлення та дослідження причинно-наслідкових відносин у геосистемі та її окремих складових.

Геомоніторинг володіє максимальною (звісно, у порівнянні з традиційними наземними спостереженнями) кількістю засобів отримання і фіксування геоданих.

## 2.7. Геотехнічний моніторинг довкілля

Геотехнічний моніторинг як різновид геоінформаційного моніторингу застосовується (за відповідними ДБН<sup>25</sup>) в інженерних вишукуваннях для вирішення завдань супроводу й контролю інженерних рішень з використанням методів геоінформатики (геоматики). Він набув особливо великого значення починаючи з кінця ХХ ст., коли в мережі Інтернет з'явилися відкриті дані зондувань штучних супутників та ГІС-платформи, придатні для їхньої обробки. Знання про ці можливості студенти вже мають з бакалаврських курсів (звісно, якщо вони прийшли до магістратури з нашого факультету). Геотехнічний геоінформаційний моніторинг заснований на реалізації технологій моніторингу як через геоінформаційні системи, так і незалежно через геоінформаційні технології. Для цієї мети студенти вивчали й застосовували під час польових практик інтеграцію даних і їхній просторово-часовий аналіз.

Таким чином, геотехнічний геоінформаційний моніторинг як різновид геоінформаційного моніторингу є розвитком моніторингу і дозволяє вирішувати по-новому завдання в інженерних вишукуваннях.

Як метод пізнання, геомоніторинг черпає інформацію в інформаційному полі й вирішує завдання не тільки технічного контролю та спостереження, але й створення науково й фактологічно обґрунтованої картини навколишнього світу.

Геомоніторинг забезпечує вирішення загальносистемних і локальних завдань. У загальному вигляді його дані й висновки сприяють або допомагають іншим фахівцям вирішувати загальнонаукові та логічні задачі: вимір, аналіз, синтез, абстрагування, моделювання, індукцію, дедукцію та аналогію. Зокрема, у сфері комп'ютерних геотехнологій та змістовного використання ДЗЗ, у чому кафедра має значний позитивний досвід.

---

<sup>25</sup> Державними будівними нормами

## Питання для самоперевірки та контролю знань

1. У чому відміна інвайронменталізму від екологічного підходу?
2. Чи доцільно, на вашу думку, розглядати його (середовище) як один з пари суб'єктів?
2. Які властивості середовища слід знати й визначати?
3. Чим різняться поняття макро- та мікросередовища?
- \*4. Наведіть приклад(и), якими демонструється складність відношень середовища із суб'єктом (як зовнішнього суб'єкта із середовищем – суб'єктом внутрішнім) щодо господарського, соціального чи культурологічного видів діяльності.
5. Наведіть відомий перелік параметрів макросередовища. Спробуйте проаналізувати їхні взаємозв'язки.
- \*6. Які фактори зовнішнього суб'єкта впливають на суб'єкт внутрішній і як саме?
- \*\*7. У чому полягає проблемність врахування/елімінування<sup>26</sup> або врахування таких складних параметрів зовнішнього середовища як складність, визначеність/невизначеність, безпосередність чи опосередкованість? Погляньте на це питання ширше, пригадуючи попередні питання курсу.

---

<sup>26</sup> Елімінування, елімінація – у цьому контексті – послаблення, нейтралізація, винесення за дужки певної властивості для вирізьблення, підкреслювання сутності.

# РОЗДІЛ 2

## ОРГАНІЗАЦІЯ ГЕОСИСТЕМ В АСПЕКТІ МОНІТОРИНГУ

### Тема 3. Теоретичні основи геосистемного моніторингу

#### 1. 1. Визначення підходу

У сучасну індустріальну епоху поряд з впливами, зазвичай пов'язаними з певними господарськими цілями, стали широко використовуватися експерименти, що дають більш чітке та певне уявлення про характер перетворення природного середовища. До таких експериментів належать:

- свідомо спрямовані дії на метеорологічні процеси з метою їх запобігання або, навпаки, активізації (проти градобою, нищівних злив та повеней), а також як різновид геофізичної зброї для руйнування ландшафтів у певних воєнних діях (наприклад, у В'єтнамі у 80-х рр. ХХ ст.);
- снігові меліорації;
- дощування полів з метою оптимізації геоекологічної обстановки в шарі функціонування рослин і т. д.;
- нормування антропогенного впливу на природні та природно-антропогенні ландшафти.

Для отримання уявлення про більш глобальні явища широко використовуються чисельне моделювання та теоретичні розрахунки.

Отримані в ході досліджень і розробок результати дозволили сформулювати *основні засади геосистемного моніторингу й керування природним середовищем*. Їхнім науковим фундаментом є досягнення вчення про геосистеми (існує півстоліття); науково-технічною базою – досягнення геокібернетики; основним фактичним матеріалом – попередні виміри і тематичні карти та поточні виміри – космічні сканування в різних діапазонах електромагнітного сигналу й досягнення ГІС-технологій обробки геоданих (геокібернетики). Нині на кафедрі фізичної географії розвиваються методологія і науково-технічні засоби *повносистемного моніторингу та адаптивного керування геосистемами*, що має географічне та екологічне значення. Вважається, що задля цього необхідно вирішувати три головні проблеми:

- створення *динамічної моделі гео(еко)системи*, що відповідає поставленим цілям керування та придатної для прогнозування очікуваних процесів розвитку (сценарії) у такій системі за різних зовнішніх впливів;

- організація контролю (*моніторингу*) прогнозованих сценаріїв функціонування та розвитку;
- побудова *інформаційної моделі* для забезпечення оптимізації системи й керування нею, заснованої на засвоєнні даних спостережень, розробки сценаріїв і прогнозування функціонування геосистеми (у вигляді комп'ютерної моделі).

Такі заходи добре відомі й технічно реалізуються в зосереджених системах (коли просторовими відмінами можна нехтувати, а «сигнали» надходять миттєво), проте ускладнюються в геосистемах. Справа в тому, що вони є *системами з розподіленими параметрами* – такими, у яких суттєвими є:

- *топология* – порядок, взаємне розміщення, сусідства складових (підсистем, компонентів, процесів);
- *метрика* – відстані, площі, шляхи переміщень речовини й поширення процесів;
- *темпоральність* – часові співвідношення процесів (тривалість, послідовність);
- *співвідносність* – відповідність поміж різними процесами, що відбуваються в складових частинах геосистеми неодноразомно, з різною інтенсивністю і наслідками.

Тому відгуки геосистеми на зовнішні впливи можуть бути різними залежно від попереднього стану геосистеми та помітно відставати від самих впливів, вносячи плутанину в системні відповіді (відгуки). Через ці специфічні системні властивості геосистемний моніторинг потребує вельми складних моделей. Ця особливість просторового ефекту – неодноразомно і варіативність впливів докільля на об'єкт майбутнього моніторингу – призводить до необхідності враховувати типи поведінки геосистеми, що моніторяться, у залежності від характеру події (рис. 3.1).

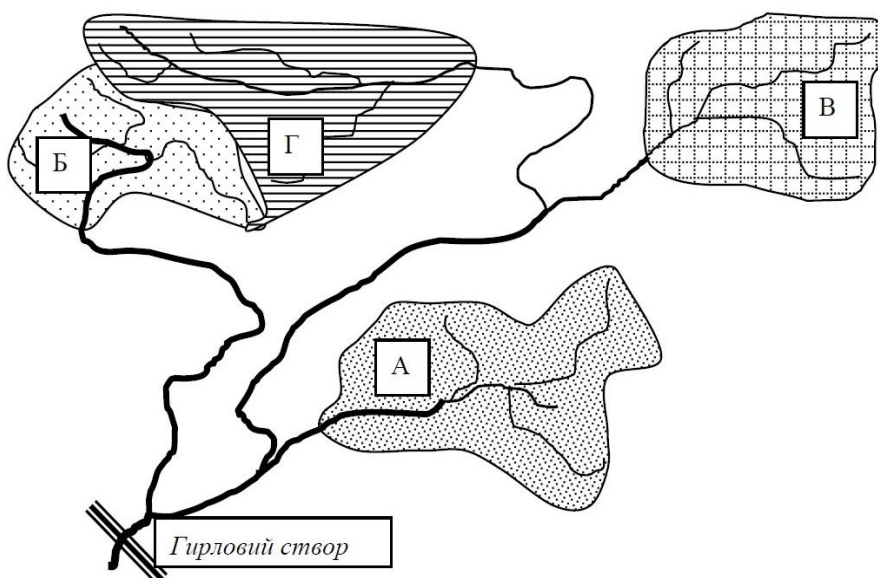


Рис. 3.1.  
Природна геосистема з розрізненими параметрами. Часткові водозбори річок А, Б, В, Г є частинами водозбору головної річки

### 3.2. Роль геосистемного підходу (в аспекті моніторингу, прогнозування, оптимізації та керування)

Поняття геосистеми студентів-географу відоме з бакалавріату. Проте в магістратурі можуть навчатися випускники-бакалаври інших спеціальностей. Тому ми змушені нагадати основні поняття в аспекті обґрунтування геосистемного моніторингу.

Геосистема – це природна, природно-антропогенна чи цілком штучна (антропогенна) структура, елементи якої поєднані поміж собою потоками речовини, енергії та інформації. Геосистема є відкритим утворенням, яке має певні стійкі зв'язки поміж власними компонентами (літогенна основа; гідро-кліматичний блок; ґрунтово-рослинний покрив; власні підсистеми) та довкіллям геосистеми (суміжними системами або через включення до геосистеми більш високого рангу). Геосистема поєднує в собі абіогенні (неживі), біогенні та біокосні (змішаної природи) компоненти, щільно пов'язані між собою стійкими зв'язками й саморегуляціями.

Особливості геосистеми порівняно зі звичайними об'єктами моніторингу.

1. Геосистема завжди *просторово розміщена* і відповідно *просторово організована* (див. рис. 3.1), тобто є *розосередженою системою*.

2. Геосистема є *динамічною та самоорганізованою*, бо вона завжди певним чином, по-своєму, реагує на зовнішні зміни чи впливи.

3. Геосистема є утворенням, яке *розвивається в часі*. Цю її властивість називають історичністю, також *саморозвитком*, бо, дійсно, є геосистеми, які існують сотні і тисячі років (як правило, це геосистеми високого рангу – як то географічні зони).

4. Геосистема є *стійким утворенням*, попри постійні коливання стану (*флуктуації*). Стійкість (*інваріантність*) забезпечується певними параметрами тепло-вологообміну (*динамічними квазірівновагами*) і *саморегулюванням* (з додатним (*самопідсилення процесу динаміки*) та від'ємним (*стабілізація певного стану*) зворотними зв'язками, а також *адаптацією*.

5. У геосистеми є *здатність до пам'яті* – наявні компоненти, які «запам'ятовують» попередній стан при його подальшій зміні. Найбільше це притаманне осадовому шару, підземним водам, товщі океанських вод та ґрунту. Тому може відбуватись сукцесія – відновлення тимчасово втраченого попереднього стійкого стану.

### 3.3. Саморегуляція в геосистемах

Геосистеми динамічно організовані за принципом зворотного зв'язку, або стеження за відхиленням (від норми чи попереднього значення) вихідної величини (рис. 3.2).



Рис. 3.2. Приклад саморегулювання з від'ємним зворотним зв'язком

**Пояснення до рис. 3.2.** Чисельність популяції сама по собі прагне до невпинного зростання. Проте чим вона стає більшою, тим суттєвіше зростає щільність, тому ресурси діляться на більше число особин і врешті їх бракує. Це негативно впливає на плодовитість та виживаність приплоду, що зменшує зростання чисельності – інколи до зворотного ефекту.

Системи такого роду широко поширені в природі й техніці. Вони є й елементами складніших систем, виступаючи в ролі їхніх регуляторів. Досвід свідчить, що в таких системах зручно і вигідно організовувати керування, якщо дослідити, у чому цей зворотний зв'язок полягає.

1. Кожна з геосистем переходить з одного стану в інший, тобто розвивається автоматично під впливом певного регулятора – керуючого елемента (підсистеми).

2. Керування реально здійснюється через деякий вплив (контур саморегулювання) у вигляді сигналу. Наприклад, зміна відбивної здатності (альbedo) – широко відомий засіб саморегулювання (керування) водно-тепловим балансом. Таку роль виконують саморегулювання вологості, опадів, стану ґрунту, стоку тощо. Поодинці вони достатньо відомі й достатньо вивчені.

3. Сигнал керування виглядає по-різному, залежно від носія та типу зворотного зв'язку. Зворотний зв'язок – це реакція системи, здійснювана через зміну входу в залежності від вихідної величини. Це чисто кібернетичне поняття нам слід наповнити географічним змістом. Наприклад, від випаровування залежить температура поверхні, а від температури – випаровування. Вони разом утворюють систему регулювання з від'ємним зворотним зв'язком.

Позитивний зворотний зв'язок: наприклад, ерозія, яка, розпочавшись, самопідсилюється. Або ж глобальне зледеніння, модель якого показано на рисунку 3.3.

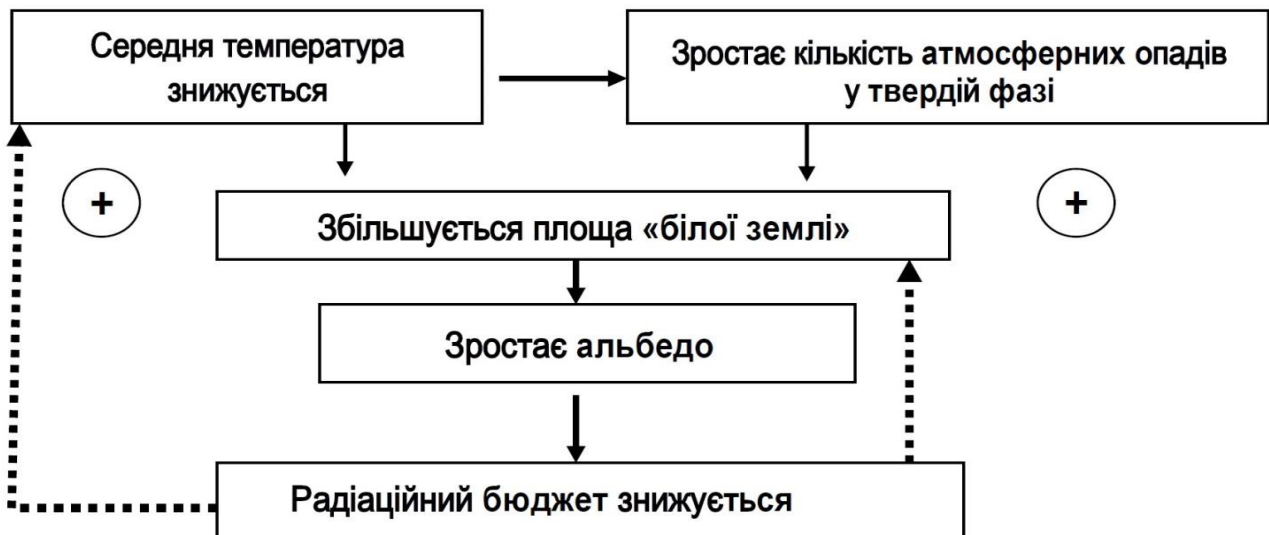
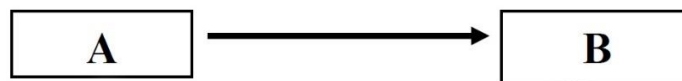


Рис. 3.3. Модель утворення глобального зледеніння через ланцюжок змін, що підсилюють одна одну. Приклад позитивного зворотного зв'язку (за М. Будико)

*Пояснення до рисунку 3.3. Принципово важливим явищем є самопідсилення ефекту зниження середньої температури Землі при збільшенні площі льодовиків та снігів за рахунок позитивного зворотного зв'язку «+». Цей процес у свою чергу є причиною розростання площі «білої землі», що призводить до глобальної екологічної катастрофи.*

### Ази саморегуляції в геосистемах

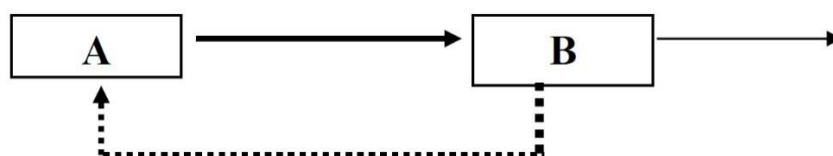
#### 1. Прямий зв'язок від А до В



*Позитивний прямий зв'язок, якщо ріст А обумовлює зростання В. Символ позитивного зв'язку «+».*

*Негативний прямий зв'язок, якщо ріст А призводить до зменшення В. Символ негативного зв'язку «-». Відповідний символ проставлений поруч зі стрілкою, що вказує на наявність зв'язку.*

2. Зворотний зв'язок від В до А (показано пунктиром). На рисунку 3.4 показано приклад саморегулювання з негативним зворотним зв'язком.



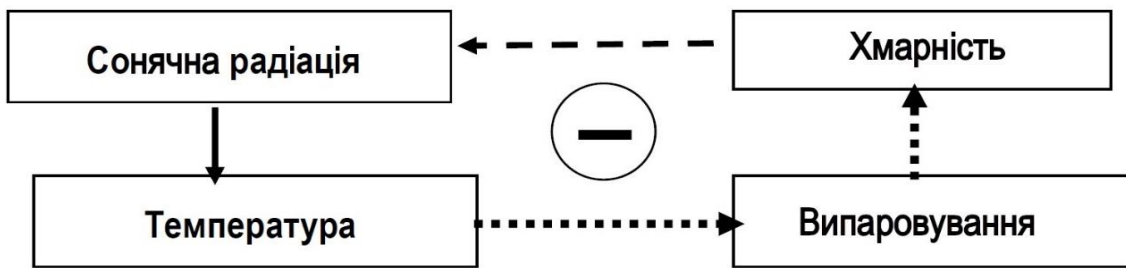


Рис. 3.4. Приклад стабілізації температури: саморегулювання з негативним зворотним зв'язком

Звершуючи цей фрагмент викладу, зазначимо, що саморегуляція з від'ємним зворотним зв'язком є своєрідним «автопілотом». Щодо сукупності процесів, функціонування вона забезпечує своєрідний «геостазис» (за аналогією з відомим з фізіології явищем гомеостазису – підтримання сукупності рівноваг, які забезпечують стійкість організму (у нашому випадку – геосистеми). Це дуже важливо в боротьбі зі змінами геосистеми, яка моніториться, в умовах зміни середовища, забезпечує її певну стійкість. Натомість у тривалому процесі саморозвитку така саморегуляція є гальмом.

Зовсім іншою є роль саморегулювання з позитивним зворотним зв'язком. Це система недовговічна, бо такий процес призводить до руйнування будь-чого, розпочинаючись з «дрібниці» і завершуючись «вибухом». Ерозія, паводок, поява шкідників, хвороб, просто інвазій чужих видів – це приклади такого процесу. З точки зору геосистемного моніторингу, поява таких явищ потребує від нас сигналу SOS!

Така геосистема або приречена, або буде тяжко хворіти – і це наша проблема. Проте є й певний позитив: система з позитивним зворотним зв'язком здатна до адаптації, тобто виживання в умовах середовища, якщо його зміна має певний тренд, нездоланний для стану негативного зворотного зв'язку. Крім того, будь-яка радикальна перебудова – це крок саморозвитку, і в цьому відношенні саморегуляція з позитивним зворотним зв'язком є прогресивною.

### 3.4. Неоднозначність реакцій на зовнішні впливи

Є практика ділити зовнішні впливи на *позитивні* і *негативні*. Покажемо, що це не зовсім так.

Є два фундаментальні закони екології, які можна співвіднести з графіком на рис. 3.5. Закон мінімуму Лібіха стверджує, що в будь-яких відношеннях організму із середовищем найбільш значимим фактором є той, що лімітується. Закон Шелфорда є, по суті, розширенням закону Лібіха, стверджуючи, що і лімітованість, і надмірність фактора негативно впливають на таке відношення. Ми досить тривалий час доводимо, що ці закони слід

поширити на геосистеми, адже вони, як і організми, є системами відкритими й саморегульованими (рис. 3.5).

*Умовні позначення:*  $X$  – зміна фактора (тиск на геосистему);  $Y$  – стан геосистеми;  $1-5$  – характерні (переломні) значення фактора, що призводять до зміни еластичності ( $1-2$  – інтервал *позитивного* знаку реакції;  $4-5$  – інтервал *негативного* знаку реакції);  $a$  – інтервал стійкості (незалежність від флуктуацій фактора);  $b$  – інтервал позитивного знаку реакції;  $c$  – інтервал існування геосистеми;  $d$  – вертикаль, що відповідає екстремумові (зміна знаку реакції системи).

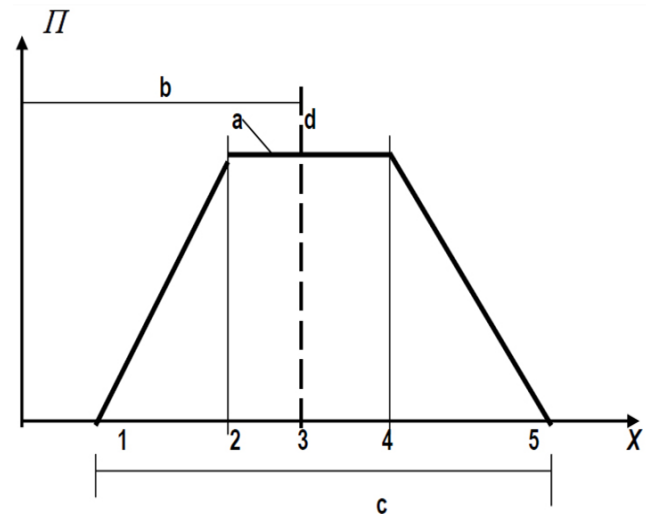


Рис. 3.5.  
Екологічна крива: неоднозначність реакції на зміну фактора

*Пояснення:* реакція системи на один і той же фактор, у залежності від його вираження, буває різною (до протилежної). Спочатку фактор *позитивний* (інтервал 1–2), потім, після насичення, він стає *нейтральним* (2–4, інтервал стійкості), нарешті набуває значення *негативного* (інтервал 4–5). Це універсальний графік щодо будь-якого впливу. Отже, не може бути факторів негативних чи позитивних.

### Питання для самоперевірки та контролю знань

1. Поясніть значущість процесів керування для геосистемного моніторингу.
2. Якою мусить бути роль геокібернетики в геосистемному моніторингу?
3. Поясніть значення в моніторингу наявності геосистем з розподіленими параметрами.
4. Назвіть властивості геосистем з розподіленими параметрами.
5. У чому полягають (а) топологія, (б) метрика, (в) темпоральність, (г) співвідносність (співставність) геосистем?
6. Чим сигнальний вплив докорінно відрізняється від речовинно-енергетичної взаємодії – і в чому їхня поєднаність?
7. Які вимоги до геосистемного моніторингу спричиняються специфічністю властивостей системи з розподіленими параметрами?
8. Яким є значення саморегуляції з від'ємним зворотним зв'язком? Що ним забезпечується у функціонуванні геосистеми та в її саморозвитку?
9. Яким мусить бути відношення в геосистемному моніторингу до двох протилежних саморегуляцій?
10. Проаналізуйте рис. 3.5, використовуючи різні фактори як предмет аналізу. Який радикальний висновок отримуємо з цього графіка?
11. Чим є закон мінімуму Лібіха і лімітуючого фактора Шелфорда? Яке відношення та прояви цих законів можна побачити в аналізі рис. 3.5.

## Тема 4. Організація геосистеми як об'єкта моніторингу

### 4.1. Організація та самоорганізація

*Організація геосистеми* – це певним чином упорядкована в просторі та/або часі сукупність її елементів та зв'язків між ними, що забезпечують функціонування геосистеми, відповідно до певних параметрів її само збереження. Вона буває обумовлена як зовнішніми чинниками, так і зв'язками внутрішніми, іманентними<sup>27</sup> системі, суттєвими властивостями та відносинами. Поняття організації має два значення:

1. Організація як *процес*, тобто формування організації, процес формування порядку. Це загальновідома географу сукупність відношень, що сприяють виникненню порядку. Наприклад, поверхневий стік на схилі поступово оформляється в деревоподібну систему водотоків; клімат приземного шару повітря (топоклімат) залежить від рельєфу, рослинного покриву, зволоження; ґрунтовий покрив сприяє диференціації рослинності, а та своєю чергою впливає на ґрунтовий покрив – формується цілісний ґрунтово-кліматичний покрив; тваринне населення обирає найбільш сприятливі місцезнаходження, але у свою чергу, певним чином їх видозмінює; люди вибірково використовують природний ландшафт, здійснюючи на нього вплив у своїх інтересах відповідно до уподобань – аж до повної перебудови: виникають нові – антропогенізований, чи антропогенний, чи техногенний ландшафти.

2. Організація як *стан системи*, який склався шляхом поступового впорядкування в просторі та/або в часі, тобто як результат процесу самоорганізації. Його варто називати *організованістю*. Мають місце принаймні два способи формування організації:

2а. Організація, задана *ззовні* під дією зовнішніх сил. Вона, швидше за все, неефективна, оскільки дія зовнішніх сил проявляється в довільній структурі (наприклад, міський або аграрний ландшафт), у незбалансованих окремих потоках енергії, речовини та інформації. Тому вона не забезпечує цілісного характеру геосистеми. Достатньо залишити без обробки аграрний ландшафт (поля) – продукт цілеспрямованої людської діяльності, як він швидко почне перетворюватись у майже попередній *квазіприродний ландшафт* – найчастіше шляхом поступових переходів, що мають загальну назву *суцесії* («квазі» означає «несправжній», «неповноцінний»). Те саме зараз ми спостерігаємо з ландшафтами колишніх водосховищ, дамби яких зруйновані окупантами (Каховське та Оскільське водосховище зокрема).

Людина традиційно протягом людської історії виступає зовнішнім фактором організації геосистем (культурний ландшафт: урболандшафт, агроландшафт). Проте останнім часом здійснюються спроби скористатись зако-

<sup>27</sup> Іманентний — внутрішньо обумовлений, притаманний об'єктові.

нами організації для впорядкування ландшафту (просторова організація території; землевпорядкування; ландшафтний дизайн). Поки що немає достатніх підстав говорити про успіх антропогенної організації, бо негативних прикладів дещо більше. Один з глобальних негативних прикладів – науково-технологічний «провал», що стався чверть століття тому зі створенням у США англійською командою науковців та інженерів локальної штучної біосфери (Проект «Біосфера-2»). Цей проєкт обійшовся світовій спільноті в 7 млрд дол. Виправданням невдачі є те, що майже будь-яка новація спочатку не має успіху. Але мусимо зазначити, що там не було жодного географа (один з авторів зустрічався з головним виконавцем проєкту і достеменно це знає).

2б. Організація як внутрішній процес (самоорганізація). *Самоорганізація* – спонтанний процес, який відбувається сам собою, хоча може бути інспірований зовнішніми причинами. Самоорганізація полягає в тому, що частина ресурсів зовнішнього середовища спрямовується системою на свої потреби, які можна узагальнено визначити як здатність спонтанно підтримувати та вдосконалювати порядок у системі. Яскравий приклад швидкоплинної спонтанної самоорганізації – утворення, існування та загибель тропічного урагану як турбулентної системи, описаний у підручнику із землезнавства, тому відомий студентам, які пройшли навчання в бакалавріаті на географічних кафедрах факультету.

Самоорганізація можлива лише за умови надходження зовнішньої енергії чи потоків речовини, які асимілюються, перетворюються і частково розсіюються. Тобто вона має *дисипативну природу* (дисипація – розсіювання енергії внаслідок певного процесу). Відкритість системи – необхідна умова самоорганізації. Будь-яка впорядкованість, якщо вона не викликана зовнішніми умовами (зовнішніми впливами), а властива самій системі, є проявом самоорганізації. У геокібернетиці вважають, що процес самоорганізації полягає у вилученні порядку з довкілля системи, чим пояснюється важлива обставина: самоорганізація призводить до нарощування негативної ентропії (зменшення ентропії в класичній термодинаміці вважається за нонсенс).

Самоорганізація – це шлях вдосконалення геосистеми, що виявляється у функціонуванні, динаміці та процесі саморозвитку. Вона полягає у:

- набутті геосистемою більш ефективних способів використання енергії, упорядкуванні кругообігів і потоків речовини, виробництві біологічної продукції;
- виникненні більш високого ландшафтного та біологічного різноманіття, у тому числі через стійкі комбінації певних типів і станів речовини, енергії, структури комплексів та ін.;
- впорядкуванні в просторі та часі елементів і станів, створенні ефективної взаємодії елементів (у тому числі зі зворотними зв'язками);
- зростанні автономності геосистеми по відношенню до інших геосистем або компонентів.

Проте чим вища організація системи, тим менше ступенів свободи остання зберігає, тобто тим більш закономірними мусять бути реакції геосистеми на зовнішні впливи, отже, і можливості керувати нею силами людини.

*Самоорганізованість* (результат самоорганізації) закріплюється в природі геосистеми як можливість себе відтворювати (незалежно від зовнішніх впливів), підтримувати, поглиблювати та вдосконалювати структуру, функціональні відносини та способи їхньої саморегуляції (до речі, у людей і тварин, що ведуть соціальний спосіб спілкування, відбувається те ж саме).

Самоорганізація геосистем суттєво є наслідком реалізації потенцій, закладених у місцеположенні, зовнішньому оточенні, джерелах речовини, енергії та інформації, сукупності первинних елементів геосистеми. Самоорганізація є однією з ключових властивостей складних природних геосистем. Найбільша шкода, якої завдає втручання людини в природу, – підрип «механізму» самоорганізації (обробка землі, надмірне випасання худоби, рекультивация, урбанізація тощо).

## 4.2. Рівновага й нерівноважність у геосистемах

Завжди вважалось, що природа, яку не зачіпала людина, знаходиться в стані рівноваги. Цей постулат лежить в основі багатьох концепцій охорони природи, природознавства й соціології. І у фізичній географії нам відомі *рівняння рівноваг: радіаційного, теплового, водного балансів тощо*. Хоча в одному із законів діалектики стверджується, що світ тримається на всезагальному законі єдності й боротьби протилежностей, отже, мусить бути система, якою рухає боротьба протилежностей.

Згодом з'явилося уточнення: рівновага не може бути абсолютною – це б припинило розвиток, отже, вона відносна, динамічна – порушується і відновлюється, але тяжіє до певного стану.

Природні системи завжди є відкритими й дисипативними, тобто вони, якщо взяти певний тривалий час, знаходяться в динамічній рівновазі. Про це так часто й голосно говорять і в науці, і в менеджменті, і в моніторингу, спекулюючи поняттями «рівновага», «порушення рівноваги» тощо.

Бельгійський вчений Ілля Пригожин звернув увагу на те, що природні системи реально знаходяться в *стійко нерівноважному стані*. *Стіяка нерівноважність* – це такий стан геосистеми, який виникає і самопідтримується нею в умовах, коли геосистема постійно отримує речовину й зовнішню енергію, причому довільними порціями й у безладді.

Здатність системи повернутися до свого рівноважного стану (наприклад, час її відновлення) іноді ототожнюється зі стійкістю системи до збурень. Проте замість одного стаціонарного стану екологічні системи можуть мати декілька стабільних станів (альтернативних стаціонарних станів), у яких певне збурення або силовий агент змушує систему «переходити» з одного стану в інший (рис. 4.1).

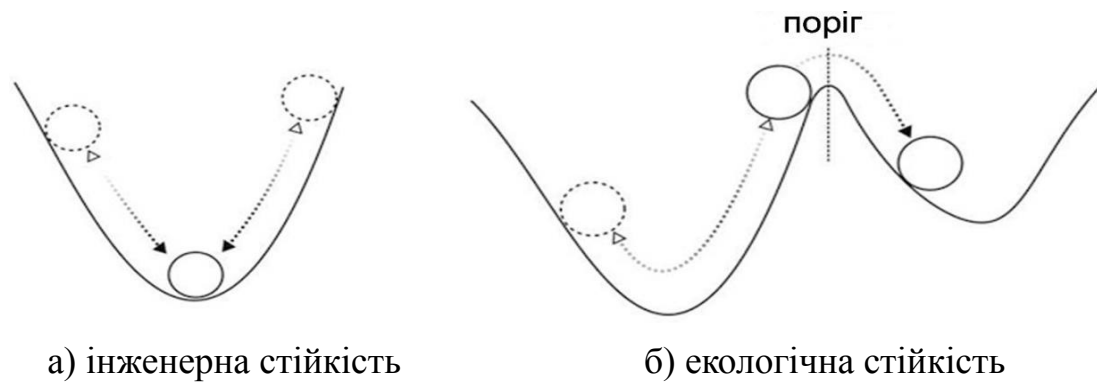
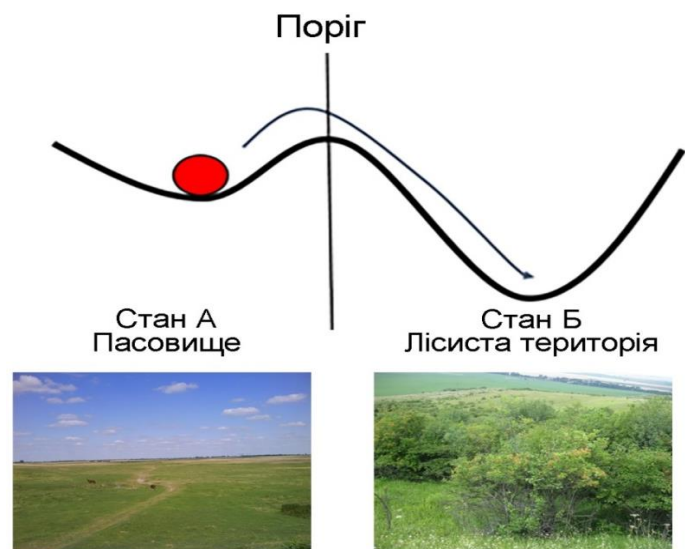


Рис. 4.1. Рівноважність систем. Порівняння між інженерною та екологічною стійкістю: а) інженерна стійкість означає рух системи навколо її стійкої рівноваги; б) екологічна стійкість означає множинні рівноваги. Рівновага системи залежить від викликів, пов'язаних зі збуреннями та ресурсами. Система може вийти з існуючого режиму і перейти до нової рівноваги <sup>28</sup>

Рис. 4.2.  
Приклад поточного пасовища зі слабкими зворотними зв'язками самоорганізації та низькою стійкістю (неглибока чаша) порівняно з альтернативним станом лісу із сильнішими зворотними зв'язками самоорганізації (глибша чаша)



Екологічна стійкість підкреслює, що ландшафти або екосистеми можуть мати кілька стабільних станів. Пори́г, який позначає перехід від одного стану системи до іншого, є різновидом нелінійної, нерівноважної динамічної характеристики складних систем, тому наслідки збурень для екологічних систем може бути так важко передбачити (рис. 4.2, 4.3) <sup>29</sup>.

**Приклад 1.** У руслі водотоку постійно відбуваються гідрологічні процеси, спричинені кінетичною енергією поточної води. Остання, у свою чергу, є перетвореною енергією Сонця. Вода, рухаючись, здійснює гігантську роботу за рахунок кінетичної енергії, що вивільняється: ерозія, транспортування наносів, сортування і відкладання алювію – на все це

<sup>28</sup> Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*. Vol. 4. 1973. Pp. 1–23.

<sup>29</sup> J. Anthony Stallins, Joy Nystrom Mast & Albert J. Parker. Resilience Theory and Thomas Vale's Plants and People: A Partial Consilience of Ecological and Geographic Concepts of Succession. *The Professional Geographer*. Vol. 67(1). 2013. Pp. 28–40. DOI: 10.1080/00330124.2013.852041.

витрачається енергія. Завдяки поєднанню суперечливих процесів ерозії-акумуляції форма русла – його поздовжній профіль – увесь час змінюється, стійко залишаючись нерівноважною. Якщо штучно припинити описаний процес, зробивши бетонний лоток замість природного русла, у якому буде проста рівновага між кінетичною енергією і тертям, річка «помре».

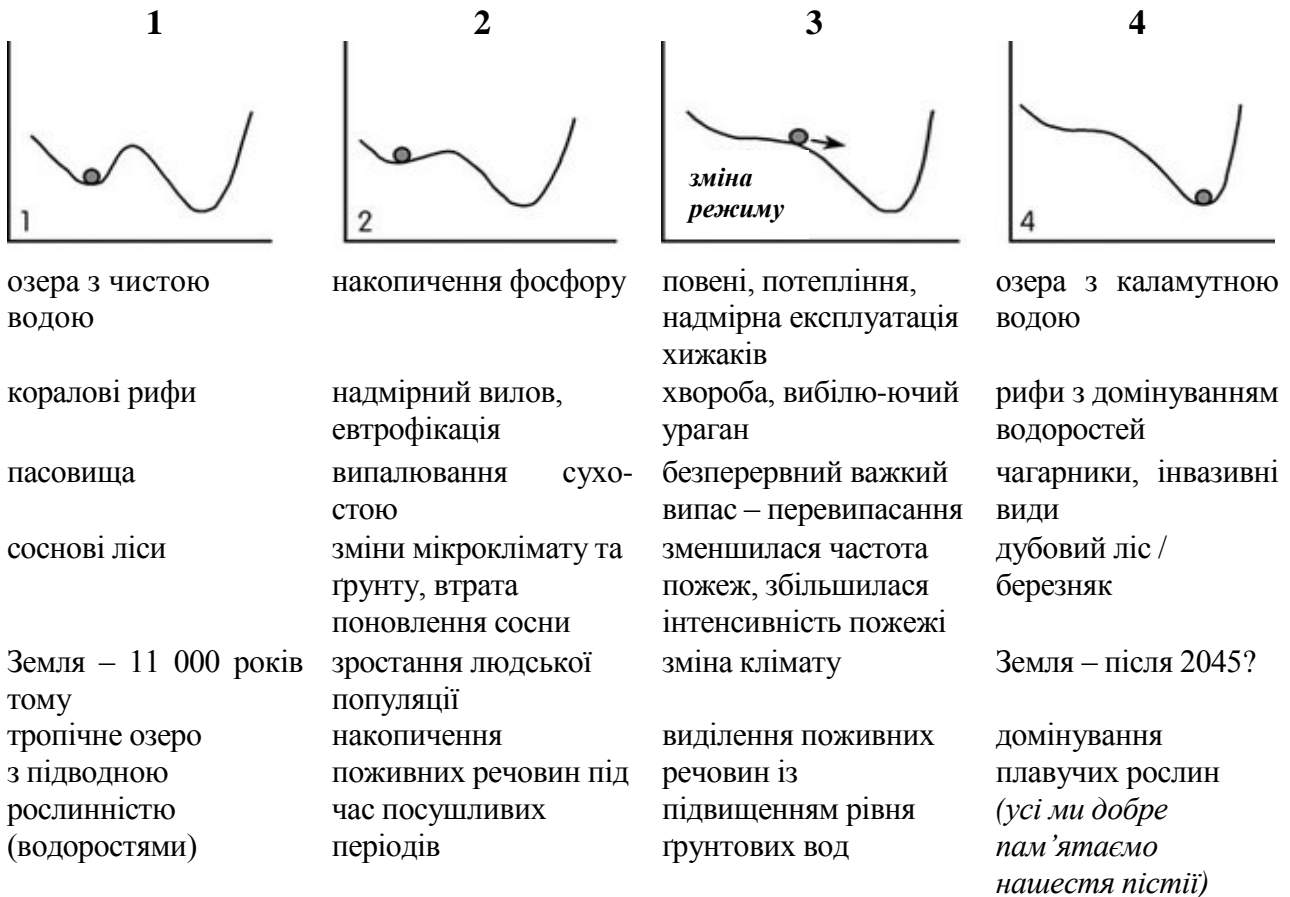


Рис. 4.3. Альтернативні стани в різноманітних екосистемах (1, 4), а також причини (2) і тригери (3), що призводять до втрати стійкості та зміни режиму<sup>30</sup>.

Більше прикладів можна знайти в базі даних порогових значень на веб-сайті [www.resalliance.org](http://www.resalliance.org)

Більшість меліорованих русел загинуло тому, що від них забрали нерівноважність (це просто дренажні канали, що заростають і замулюються).

Таким чином, стійко нерівноважна система життєздатна лише доти, доки вона зберігає нерівноважність.

**Завдання (на засипку).** Які з цих геосистем припустимо, на ваш погляд, є стійко рівноважними системами, а які – стійко нерівноважними (потім пояснити вибір):

- стовп повітря в тропосфері в умовах зимової температурної інверсії;
- стовп повітря влітку в умовах нагрівання повітря від земної поверхні;

<sup>30</sup> J. Anthony Stallins, Joy Nystrom Mast & Albert J. Parker. Resilience Theory and Thomas Vale's Plants and People: A Partial Consilience of Ecological and Geographic Concepts of Succession. *The Professional Geographer*. Vol. 67(1). 2013. Pp. 28–40.

- в) вертикальна стратифікація води в глибокій прісноводній водоймі влітку;
- г) те саме, але взимку;
- д) те саме, у солоному морі влітку і взимку;
- е) система планетарного вологообміну.

**Приклад 2.** Порушення стійко нерівноважної системи «Вологообіг». Вологообігом щороку охоплюється гігантський об'єм води – близько 510 тис. км<sup>3</sup>. Для жителів Землі життєво важливо, скільки водяної пари та енергії надходить зі Світового океану – найбільшого природного резервуару води та енергії – до тропосфери, бо цим визначається клімат Землі.

Кількість вологи, що випаровується Світовим океаном на рік, становить приблизно 470 тис. км<sup>3</sup>. Щільність води 1, тому неважко підрахувати ту масу води, що бере участь у вологообігу (зробіть цей розрахунок самостійно). Знаючи масу води, що бере участь у вологообігу, розрахуємо кількість енергії, що переноситься в тропосферу у формі прихованої теплоти пароутворення і виділяється у формі явної теплоти при конденсації водяної пари. Як ми встановили вище, випаровується  $4,7 \cdot 10^{14}$  кг води. *Питома* теплота пароутворення становить приблизно (бо вона залежить від температури)  $2,26 \cdot 10^6$  Дж. Перемноживши ці гігантські величини, отримаємо, що за рік з океану в тропосферу переноситься більше за  $10^{21}$  Дж енергії. Це величезна енергія, особливо суттєва в зимовий час. Наприклад, у Харкові в січні середня температура вища за радіаційну норму на  $3^{\circ}\text{C}$ .

Цей процес просторово й у часі різноманітний, тому не може бути рівноважним. Він особливо суттєвий там, де великий контраст між температурою океанічної води та повітря, хоча ясно, що випаровування більше там, де вища температура води, суше повітря і більша швидкість вітру. Але є ще один – суто моніторинговий – фактор, що визначає випаровування: це тан поверхні, що випаровує. Якщо покрити поверхню Світового океану мікронною (в одну молекулу!) плівкою (нафти чи засобами миття (ПАВ), що утримуються на поверхні довше за нафту), то випаровування вологи зменшиться приблизно вдвічі. Легко припустити, який ефект цього антропогенного явища може бути, якщо воно стане планетарним. Отже, забруднення поверхні Світового океану – це не тільки погіршення екологічного стану пляжів рекреаційних районів Світу та самої акваторії (про що зазвичай з тривогою пишуть ЗМІ): це перш за все порушення динамічно нерівноважної системи земної кліматичної «машини». Таким чином, зміняться теплові умови. Зміняться й умови зволоження. *Хто знає, може, цей процес уже розпочався?*

У чому ж стійка нерівноважність? Стійкість у тому, що процес ніколи ніяк не припиняється; нерівноважність – бо жодним разом не буває відповідності балансових рівнянь надходження води та енергії. Лише разом – за стійкої нерівноважності – ця система здатна існувати, самопідтримуючись.

### 4.3. Самоорганізація та саморегуляція

Однією з ключових властивостей складних природних систем є властивість самоорганізації. За проявами вона наближає поведінку геосистем до властивого живій істоті. Самоорганізація – це здатність геосистеми формувати, підтримувати, відновлювати й удосконалювати свої структуру, функції та здатність до відтворення. Самоорганізація відбувається завдяки цілій низці закономірностей її проявів, які ми лише перелічимо: *просторовий малюнок, послідовність станів у часі, емерджентність* (нові властивості, що відсутні в компонентах), *просторова і тимчасова некомутативність* (неможливо поміняти місцями будь-що), *оптимальність, необоротність еволюції, послідовність проходження фаз розвитку, ієрархічна організація, відносна цілісність.* Відомі закони *внутрішньої динамічної рівноваги, обмежуваних факторів, (саморегулювання матеріальних та сигнально-інформаційних зв'язків).*

**Автоколивання і саморозвиток.** Поняття «автоколивання» стосовно геосистеми запозичене з техніки, проте виявлене в природі (число сонячних плям, яке спостерігається 250 років, свідчить про 11-річний цикл автоколивань; відомий 1800-річний цикл появи-зникнення безстічних озер; давно спостерігаються флуктуації клімату з декількома ритмами; є й легко спостерігаються короткочасні ритми посух, продуктивності рослин і тварин, паводків). Вияв і врахування автоколивань у конкретних об'єктах спостереження є основоположним для системи моніторингу, бо потребує розпізнавання відносно спрямованих змін (трендів) (наприклад, у проблемах глобальних змін озонового шару, нахилу земної вісі, кліматичних ритмів) та керуванні. Автоколивання невинно супроводжують процеси саморегулювання і самоорганізації. Вони є внутрішньо властивими будь-якій природній динамічній системі, обумовленими поєднанням у ній елементів *різного характерного часу.*

Вчені-геокібернетики показали, що, наприклад, унаслідок взаємодії різноінерційних коливань клімату, льодовиків і Світового океану спостерігається *суперпозиція* (накладання, сумація) *факторів*, які мають різний характерний час. У результаті суперпозиції виникають «биття», що виявляються у вигляді аномалій клімату і його складових, появи і зникненні (в історичному часі – за мільйони років) материкових льодовиків, коливанні рівня Океану.

**Саморозвиток.** *Саморозвиток – незворотна прогресивна зміна геосистеми в бік її удосконалення. Удосконалення полягає у все більшій автономності системи від зовнішніх умов у напрямку досягнення автономного клімаксного (усталеного) стану.*

Фактори саморозвитку:

а) *зовнішні* – передусім потоки енергії та речовини (кругообіг води, міграція та трансформація речовини);

б) *внутрішні*, які криються в реалізації можливостей, закладених у структурі системи. У цьому випадку геосистема здатна накопичувати енергію, а не дисипувати її (як це нормально), тобто як би рухатися всупереч законам термодинаміки. Геосистема прагне якомога ефективніше «розпорядитися» потоками енергії: сприйняти найбільше, використати (перетворити) найефективніше і розсіяти залишки й продукти перетворення.

У цих відношеннях геосистема залишається дисипативною системою (відбувається засвоєння, перетворення та розсіювання енергії відповідно до законів термодинаміки); це також і її позиція по відношенню до інших геосистем, якою визначаються спрямованість і темп процесів саморозвитку.

Однак не все так: просто геосистема, вилучаючи енергію із зовнішнього середовища, частково її накопичує в так званих природних акумуляторах (зелених рослинах, іншій живій речовині, гумусі ґрунту, мулах водойм тощо), потроху зменшуючи свою ентропію. Зокрема, це постійно відбувається через біогеохімічні цикли, у яких споконвічно триває накопичення енергоємної речовини (біогеохімічні акумулятори енергії).

Саморозвиток проявляється у вигляді більш або менш тривалих етапів поступової зміни (еволюція) і стрибкоподібних перетворень (революція). Вважається, що еволюція геосистеми відбувається завдяки закладеній у структурі геосистеми інваріантності<sup>31</sup> та своєрідній «програмі» розвитку (яка схожа в геосистемах одного типу й порядку ієрархії («сюжети» саморозвитку – вивітрювання, ґрунтоутворення, взаємодії ґрунт-рослинність, тип ландшафту) та модифікуються її місцем знаходженням (положенням щодо джерел і потоків речовини-енергії).

Ставлення до саморозвитку в системі моніторингу залежить від способу природокористування. При консервативному природокористуванні (різні природоохоронні об'єкти) система природокористування мусить усіма можливими засобами підтримувати саморозвиток. В агресивному варіанті природокористування (аграрний та тваринницький сектори сільськогосподарських угідь, урбогенні та техногенні угіддя) намагаються підтримувати керований саморозвиток – на користь відповідному способові й меті користування, обмежуючи побічні його прояви<sup>32</sup>. Останнім часом відбувається певне повернення до адаптивного природокористування. Це дуже важливий напрям – коли зусилля людини спрямоване не безпосередньо на здолаття природних передумов, а в напрямку використання сили природи як керovanого фактора позитивних змін. Проявів його немало, проте останнім часом перемагає природокористування агресивне – бізнес потребує «миттєвої» віддачі, а адаптивне природокористування може розраховуватись лише на повільну, проте довготривалу віддачу.

<sup>31</sup> Інваріант – незмінний, стійкий щодо зовнішніх впливів.

<sup>32</sup> Адже і ерозія, і заростання бур'янами полів, й інші процеси є природними проявами саморозвитку.

Сьогоднішні реалії війни та її впливу на довкілля дають нам велику кількість прикладів самоорганізації і самовідновлення геосистем. Території, що постраждали від воєнних дій та нині недоступні для ведення господарської діяльності чи іншого втручання людини, демонструють нам механізми самовідновлення. Яскравими прикладами нині є днища Оскільського та Каховського водосховищ, де активно відновлюється природна рослинність. Не будемо лукавити, вчені фіксують і наявність інвазії, проте здебільшого на даному етапі території днищ заселяють «рідні» види рослинного покриву. Довоєнним прикладом самоорганізації та самовідновлення є Чорнобильська зона відчуження. Це найбільші за площею приклади. Є ще багато дрібніших і менш помітних та вивчених.

Післявоєнний час поставить нас перед вкрай важливим вибором механізмів відновлення. І дуже важливо на цьому етапі не схибити, підійти розумно і грамотно з наукової точки зору. Саме тут і є місце географа, що найкраще знається на природних процесах геосистем.

### Питання для самоперевірки та контролю знань

1. Що таке організація геосистеми? Слід розтлумачити ознаки організованості.
2. Чим, на вашу думку, різняться явища й процеси в геосистемах: (1) як процесу; (2) як стану.
- \*3. Яким може бути відношення організації до зовнішніх факторів?
- \*\*4. Поясніть як приклад значущість і невдачу проєкту «Біосфера-2». Запропонуйте, як би ви, як фахівець у науках про Землю, запропонували здійснити цей проєкт?
- \*5. Що таке самоорганізація? Спробуйте розвинути поняття поза межами підручника.
- \*6. Що таке дисипативність щодо природи геосистеми? У чому вона проявляється і яке значення відіграє?
- \*\*7. Чи є в геосистемі процес, протилежний дисипативності? Яким він є і наскільки суттєвий для геосистеми й природи Землі в цілому?
- \*\*8. Як пояснити твердження, що «зростання самоорганізованості зменшує кількість ступенів свободи»?
- \*\*9. Що таке автоколивання? Яка їхня роль у процесах, притаманних геосистемі? Назвіть популярні геосистемні процеси, які турбують людство. Якою мусить бути роль моніторингу?
- \*10. Що таке саморозвиток? Наведіть специфічні ознаки будь-якого саморозвитку, спроекуйте їх на предмет геомоніторингу.
- \*\*11. Як слід розуміти характерний час процесів? Яке це має значення для моніторингу?
12. Якими є фактори саморозвитку?
13. Як слід оцінювати прояви саморозвитку в різних умовах природокористування?
14. Що таке адаптивне природокористування?

## Тема 5. Просторові й часові відношення в геосистемах

### 5.1. Географічний простір

Поняття простору має три аспекти: побутовий (простір тривимірний, скринеподібний); загальнонауковий – філософсько-методологічний, де він приймається за три-, чотиривимірний (додається час). Географічний простір *багатовимірний*, тому що кожна властивість, яку має геосистема, просторово розподілена, отже, є однією з векторних характеристик простору.

Сучасна географія розглядає простір як *просторово-функціональний* (організаційний) *закон* перебування та взаємного положення географічних об'єктів. Усі зі школи пам'ятають, що значна частина зусиль у вивченні географії полягає саме у цьому – показати географічне положення і зв'язки певної території з іншими. Ця потреба уявити картину світу (у великому й малому – країнознавство, краєзнавство) визначає величезну роль географічної освіти у формуванні особистості як «людини світу» (не в політичному, а в загальнолюдському аспекті).

Проте розуміння географічного простору важливе у всіх сферах організації та контролю природокористування. Зокрема, у запровадженні системи моніторингу перше місце за значущістю має визначення розміщення об'єктів спостереження відносно ландшафту, з одного боку, й інших об'єктів – з іншого.

За сучасними уявленнями, принципово важливими є наступні властивості географічного простору: кожна геосистема знаходиться *одночасно в різних просторах*: сферичному земної кулі, тривимірному евклідовому та чотиривимірному (просторово-часовому континуумі). Крім того, існує *функціональний простір*, тобто кожна властивість чи процес додають свою координату до *просторового стану геосистеми*.

Відомий у фізичній географії *метод термоізоплет* (замість термо-може бути й інший показник), коли по двох вісях є просторові координати, по третій – певний показник, є гарною та переконливою ілюстрацією географічного простору. У комп'ютерному виконанні можна побудувати багатовимірний простір, наприклад, термо-вологоізоплет<sup>33</sup> і т. ін. Хоч він і не є наочним, проте подається (інколи несвідомо) у базах даних, де кожний рядок (чи стовпчик) дає координату такого простору. Залежно від кількості показників (плюс два метричних) буде *мірність цього географічного простору*. Практично дані моніторингу завжди несвідомо пода-

---

<sup>33</sup> Термо-вологоізоплети – графік у просторі геометричних координат (частіше за все відстані (абсциса) і глибини чи висоти (ордината)), на якому ізолініями з позначками величин показано зміну в часі відповідного показника чи їхньої сукупності.

ються у вигляді багатовимірних координат географічного простору, проте добре зрозумілих комп'ютерній програмі. Порівняння, класифікація подій у ньому виглядають як вимір відстаней у мірності цього простору, групування за близькістю і т. п. (багатовимірний дендрит).

## 5.2. Метричний простір

Він може бути сферичним (у планетарному вимірі) та евклідовим (чи декартовим) у регіональному й локальному вимірах. Властивості цих просторів суттєво відмінні, тому застосування відповідних мір призводить до різних результатів.

Сферичний простір є суттєвим для космічного моніторингу, бо глобальні процеси в атмосфері й океані відбуваються за законами сферичної симетрії. Сферичний географічний простір замкнутий, анізотропний (напрямки в ньому нерівнозначні), неізоморфний (різні місцеположення мають різні властивості, бо знаходяться в різній географічній позиції на сфері відносно інших геосистем (ефект *географічного сусідства*). Для відображення об'єктів у сферичному просторі їхнє положення показується у сферичній системі координат (картографічні проєкції). У цій же системі подаються фігура Землі (еліпсоїд обертання; геоїд). Геоїд є рівневою поверхнею гравітаційного поля Землі (тобто має фізичну природу) і вважається за нульову поверхню (у побуті – горизонт). Усі відхилення від рівня геоїда мають конічну симетрію. Вони відображаються за допомогою ізоліній (кожна ізолінія замкнута, тому що вона відображає перерізи неправильного конусу). Останнє проявляється в будові рельєфу – наявності єдиної осі симетрії кожної форми рельєфу. Також має прояв у симетричності географічних поясів Землі, висотних зонах і висотних щаблях рельєфу і т. п.

Декартів простір притаманний більш локалізованим системам, які посідають *відносні простори*. На рівні геосистем застосовуємо поняття *метричного простору геосистеми*. Це простір розмірів: площі, довжини перетину, протяжності (довжини), висоти (глибини). Відомо, наприклад, що структура території тим складніша, чим більше її метричний простір. Встановлено, що на малих територіях проходить редукція (спрощення) властивостей геосистем. Наприклад, певні організми завжди потребують визначеної площі ареалу. Навіть роздрібнення ареалу на частини без зміни загальної площі фрагментів призводить до зникнення таких організмів. Тому статистичні показники лісистості, розораності тощо не характеризують екологічні умови, навіть коли геосистеми здаються за тотожні, і звичайна статистика тут не діє.

Метричний простір відображається відповідними відомими з картографії метричними показниками: площею, протяжністю, відстанню.

### 5.3. Топологічний простір. Місцеположення та місцерозвиток

Простір взаємного положення (розміщення) називають топологічним. Топологічний простір визначається формою об'єктів, сусідствами, їхньою впливовістю один щодо іншого, конфігурацією, яка впливає на взаємодію, сусідствами різних порядків. Це суто географічне поняття, невідоме поза її межами.

Топологічний простір геосистем – це взаємне їхнє розташування один до одного (з урахуванням різної ієрархічної позиції), а також взаємне положення елементів усередині геосистеми. У топології не проявляються або мають підспудне й вторинне значення розміри геосистем. Важливим є лише її ієрархічний рівень: геосистеми однакового ієрархічного рівня взаємодіють між собою «на рівних» (відношення *координації*); геосистеми нижчого ієрархічного рівня певною мірою залежні від вміщуючої, «старшої» за ієрархією геосистеми (відношення *субординації*). Поза ландшафтознавством найширше подібне розуміння простору притаманне геополітиці (до речі, сукупність подібних географічних рис класики геополітики вважали *географічним розумом держави*, а сучасні практично керуються ними в стратегіях).

Географи (на відміну від класичних геополітиків) мало усвідомлюють, що саме топологічне положення – відносно океану на суші та навпаки (таласо- та геократизм), відносно напрямку й характеру вітрів і течій, гірських хребтів, просторів суходолу й океану – більш важливе, ніж самі розміри, координати й т. ін. А в моніторингу врахування топологічного простору повинно бути умовою осмисленого й переконливого розміщення спостережувальної мережі, бо від його наукової доцільності залежить репрезентативність (доказовість за типовістю) вимірів і спостережень.

Топологічний простір визначається взаємним положенням однотипних об'єктів поміж собою. Це положення (у географії так і іменується як географічне положення) має величезне значення, бо від нього залежить взаємодія геосистем, а від останньої – функціонування, стійкість, темп саморозвитку. Пригадайте пташиний базар або, ще краще (у наш час), – судження експертів про значення положення України серед інших країн – дружніх і ворожнечих. Це топологія.

Місцеположення – як географічна позиція – має метричну й топологічну складові. Метрична – яку за розміром і конфігурацією на поверхні суходолу посідає геосистема. Топологічна – у якому положенні вона знаходиться щодо інших геосистем «свого» рівня ієрархії. Те й інше існує одночасно, проте проявляється по-різному, створюючи певні умови існування геосистеми, визначаючи умови існування, спрямованість, характер

і темп її розвитку, можливо, відмінний від інших геосистем. Усе це є *географічним місцеположенням*.

Кожне місцеположення складається з позиції, стану та властивостей сусідів, відношень і зв'язків з ними. Ці умови існування, спосіб, характер і темп розвитку об'єднуються поняттям «місцерозвиток», достатньо відомим у соціології. Щодо геосистеми, то поряд з потенціалом розташування на хід і результат саморозвитку впливають субстрат (первинні гірські породи, кора вивітрювання) та первинна структура (розміщення елементів або підсистем по території, у просторі та ін.). Отже, усім цим у сукупності (багатомірність!) забезпечується різноманіття картини природи навіть на однорідній території. Ця сукупність умов і потенцій залежно від географічної позиції і є місцерозвитком.

Якщо у вас буде бізнес (у широкому понятті), то пригадайте це: *успіх суттєво залежатиме не лише від вашої потенції, але й від місцерозвитку*.

У геосистемній концепції важливе значення має поняття функціонального простору.

#### 5.4. Функціональний простір

*Функціональний простір* – це об'єктивно існуючий характер стійких відношень поміж об'єктами (складовими геосистемами; геосистемами вищого та нижчого ієрархічних порядків). Географу таке поняття дає можливість упорядкувати геосистеми та будь-які інші функціонально цілісні географічні об'єкти, розглядаючи їхнє взаємне розміщення або залежність від якоїсь міри (метрики).

Одним з наріжних каменів сучасного інформаційного суспільства є наявність віртуальних мереж, які вважаються схожими на кровоносні судини тваринного організму. Відомі (експериментально) закони їхнього функціонування. Це теж є функціональним простором.

**Приклад 1** (відомий зі шкільного підручника): пустеля Атакама існує доти, доки поруч зі смугою суходолу вздовж західного підніжжя Анд, які вона займає, у Тихому океані з півдня рухається холодна течія Гумбольдта (Перуанська) – відгалуження течії Західних Вітрів Антарктичного океану. Течія, відхиляючись за Коріолісовою силою вліво (Південна півкуля!), спричиняє апвелінг і підняття висхідним потоком води з дна корисних для планктону поживних речовин. Планктон (продуцент) породжує потужний ланцюг консументів: рачки, риби, хижак риби; птахи (від рибоїдних до хижаків вищого порядку) і т. д. Море буяє живністю (зазначимо, що тут біля Перу основний світовий промисел риби). Водночас поряд – найсухіша у світі ділянка суходолу (кількість опадів – біля 1 см на рік) – пустеля Атакама. І так усе налагоджене природою.

Проте раз на 7–8 років від Південної Екваторіальної течії (вона досить далеко на північ, біля Галапагоських островів) відгалужується течія Ель-Ніньо. Вона тепла, бо рухається від екваторіальних вод. У Південній півкулі вона відхиляється вліво, притискуючись до берега Південної Америки. Її поява відразу ж змінює стан прибережних вод океану. Течія Гумбольдта відтісняється від берега. Апвелінг змінюється даунвелінгом (потік донизу). Планктон втрачає поживу й гине. Руйнується харчовий ланцюг, і океан стає безрибним. Птахи відлітають. Морські води наче вимирають. Зате Атакама буквально розквітає: дощі, тумани, прокидається все живе. Це приклад *топологічного просторового відношення*. Якщо воно порушується (замість холодної течії Гумбольдта до берега підходить тепла Ель-Ніньо), то відбуваються серйозні зміни у функціонуванні геосистем.

### 5.5. Просторові відношення

Просторові відношення глобальних об'єктів на сфері відбуваються за законами сферичного простору (широта, довгота, альтитуда (висота над рівнем моря)). У геосистемах регіонального й локального рівнів проявляються відношення метричного та топологічного рівнів, про що ви дізналися вище. *Важливо: геосистеми цих рівнів є просторово розосередженими*. Це означає, що між їхніми окремими частинами є відстань, яку будь-який потік речовини чи енергії мусить здолати за певний (характерний) час. Наприклад, у геосистемі великої ріки, що впадає в припливне море, паводкова хвиля рухається вгору зі швидкістю (приблизно) коня на скаку. Паводкова хвиля від дощу, що пройшов у верхів'ї Дніпра, добіжить до пониззя ріки за тиждень, і т. д. Це дуже утруднює гідрологічні прогнози і збиває з пантелику людей, що там опинились, не знаючи таких відношень. Аборигени це усвідомлюють з досвіду, вміють користуватися чи принаймні ухилятися.

Просторова організація великою мірою проявляється в топології геосистеми. Кардинальне значення має кількість вимірів геопростору, або його *мірність* (про це було написано вище). Отже, першим проявом просторової організації є *багатовимірність* просторової організації геосистеми. Хоча місцеположення їх у тривимірному геометричному просторі, проте місцерозвиток відбувається в багатовимірному просторі.

Деякі властивості просторової організації:

1. *Анізотропія* (нерівнозначність напрямів). По вертикалі це прояв сили ваги. По горизонталі – сила Коріоліса, що спричиняє нерівнозначність напрямів управо-вліво. Це також значущість напрямів відносно сторін світу (що відомо навіть з побуту).

2. *Анізоморфність* – зміна форми залежно від напрямку руху. Приклад: деформація кілець циркуляції повітря й води циклонального типу (у вигляді

вихору, що стискається до центру мінімуму атмосферного тиску) та антициклонального (розлого розходить від центру максимального тиску).

3. *Гетерохронність елементів геосистеми* або взаємодіючих між собою геосистем. Тобто різні частини однієї геосистеми або різні геосистеми між собою по-різному залежать від чинника часу, який є аргументом (стан геосистеми – функція цього аргументу). Деякі з них утворилися раніше (можуть бути навіть реліктовими). Наприклад, це реліктові флювіогляціальні ландшафти, що збереглися на теренах України в певних місцеположеннях. Інші ж виникли нещодавно, але розвиваються так швидко, що їхні зміни можуть фіксуватися за короткі відрізки часу, тому можуть бути предметом моніторингу і повинні враховуватися в проектуванні й керуванні територією. Інший приклад – яружна геосистема приростає і глибоко змінюється після кожної зливи або надшвидкого танення снігу. Оскільки через анізотропію геосистеми геометрично чотиривимірні, то якщо додати темпоральну (залежність від часу) складову, виявиться, що різні частини однієї геосистеми функціонують кожна у своєму характерному часі. Час виявиться не менш мірним, ніж простір.

Зрештою, ми приходимо до переконання, що геосистеми в географічному значенні – багатовимірні й вельми складні динамічні утворення. Причому, наголосимо, це не модельна абстракція, а реальний образ геосистеми, яка кожною своєю частиною переміщується в просторі, змінюючи конфігурацію і пропорційність елементів, а в часі – хіба що по-різному «дихає», можна сказати. Такий образ геосистеми важливий для предмета нашого викладу.

**Просторовий градієнт.** *Просторовий градієнт* – це стрімкість і напрям зміни певної властивості в метричному просторі геосистеми. Градієнт (за однакових інших умов) визначає спрямування й інтенсивність процесу. Ряд властивостей земної поверхні може змінюватися у великих діапазонах. Загальновідомі градієнти температури, тиску. Наприклад, баричний градієнт атмосферного тиску в 30 мбар викликає тропічний ураган. Маловідомі градієнти морфології рельєфу – від них залежить інтенсивність водних потоків та ерозія, які рухаються за градієнтом (зі знаком “–”). Лише фахівці знають про градієнти альbedo, зволоженості, вертикального розподілу температури в пухкому шарі ґрунту та океанських водах (термо- і бароклин). *Злагоджено чи ні, відбувається просторово-тимчасове співіснування багатьох геосистем.* Проте градієнти різних характеристик геосистеми досить часто не співпадають. Співіснування різномасштабних за розмірами, спрямованостями й характерним часом градієнтів різних властивостей і процесів ускладнює оцінювання стану елементів, роблячи їх *стохастичними* (принципово непередбачуваними, лише ймовірно оцінюваними).

**Просторова ієрархія геосистем.** Географічна оболонка (біосфера В. І. Вернадського) складається з цілісної послідовності ієрархічно підпорядкованих підсистем.

*Ієрархічність* – це така топологічна властивість, коли об'єкти одного рангу між собою вільно взаємодіють, *координуються*, натомість підпорядковані певному більш високоієрархічному об'єкту, що обіймає їх, і *субординують* йому.

Вважають (з часів І. Канта), що завдяки ієрархічності *природа малим числом можливостей створює нескінченну різноманітність явищ*.

Нас цікавить лише ієрархічність середнього рівня (мезорівня). Натомість, число рівнів ієрархії природи невідоме, бо з пізнанням розширюється і в мегасвіті (множинність всесвітів), і в макросвіті (наночастинки).

*Ієрархічно однакові об'єкти можуть посідати різні топологічні позиції, через що їхнє функціонування й характер розвитку можуть різнитися, здається, за однакових інших умов*.

Геосистеми кожного ієрархічного рівня мають свій стиль поведінки, відмінний від геосистем інших рівнів. І навіть реакції на однакові зовнішні впливи можуть бути відмінними – аж до протилежних. Наприклад, у геоecології відкрили, що можливо покращувати екологічний стан земель, підбираючи для цього певні (контрастні) забруднення (*технобіогеоми*). Для надмірно кислого середовища сприятливі *лужні* викиди і скиди, для лужного – *кислі*. Вони, відповідно, нейтралізують негативну властивість первинного середовища, покращуючи його стан.

У гідрології й геоморфології було відкрито закон факторної відносності, який варто поширити на геосистеми різних топологічних рівнів: геосистеми різного порядку по-різному (до протилежного) реагують на одні й ті самі чинники впливу.

Прояви ієрархічності:

1. Зменшення масштабу геосистеми одного ієрархічного рівня спричиняє певне зменшення складності її структури.

2. Просторові градієнти в геосистемах найнижчого рівня найбільш значні; вони спадають у міру збільшення просторових масштабів геосистем, тобто спостерігається співвідношення  $G_i > G_r > G_g$ . – де  $i$ ,  $r$ ,  $g$  – локальний, регіональний та глобальний рівні ієрархії відповідно (закон зворотного співвідношення просторових градієнтів та рангу геосистем В. Бокова).

## 5.6. Геосистемний час

Не зупиняючись на банальних аспектах цього поняття, нагадаємо, що в деяких науках, зокрема в геології, фізичній географії, фенології, існує більш складне, ніж загально відоме, розуміння часу. Час визначається як закономірна послідовність процесів і станів, що лежить в основі функціо-

нування й розвитку (саморозвитку) об'єктів. Це *внутрішній час системи* (або *характерний час*). Найбільш разючі приклади цього ви знаєте. В астрофізиці це світовий рік. Не всі помічають, що коли журналісти підхоплюють чергову сенсацію про далекі світи, спалахи наднових, чорні діри, сигнали від інопланетян з галактики (навіть), то йдеться про такі часові відрізки у світових роках, які ставлять взагалі хрест на цій темі. Але це питання більш землезнавче, ніж моніторингове (якщо ви не займаєтесь уфологією). Є більш реальний для нас приклад часу – це геохронологічний час. І в школі, і, напевно, у бакалавріаті ви бачили геохронологічну шкалу часу. Можливо, звернули увагу, що в ній рівноправні історико-геологічні події мають неспівставний час (у млн років) – бо в основі цього часу періодичність подій або тектонічних, або біологічних. Його рівнозначні для системи геохронологічного счислення відрізки непорівнянні між собою у фізичному часі. Наприклад, фенофази розпускання бруньок і вегетації відрізняються за протяжністю у фізичному часі (у добах) у декілька десятків разів, а за значущістю для рослини рівнозначні.

Час у географії проявляє себе в автономному існуванні геосистем і закономірній зміні їхніх станів (геоісторичний, або еволюційний час). Він буває геосистемним.

**Зовнішній та внутрішній час геосистем.** *Зовнішній час* визначається в основному природними ритмами, наприклад, астрономічним фактором (положення Сонця на небосхилі, доба, місцевий час) або технічними засобами (хронометр, атомний годинник). Зовнішній час тече безперервно (континуально) і необоротно. У зовнішньому часі виконуються спостереження (за годинником; порами року; фазами Місяця).

Поряд з цим геосистеми мають *власний внутрішній час*, який виражається в певній послідовності та відносній тривалості й чергуванні змін станів, що відбуваються нерегулярно, аритмічно і незалежно від чогось зовнішнього, тобто *іманентно*. Простежуються свого роду *геосистемні сукцесії*, тобто послідовні незворотні фази відновлення геосистем або їхніх елементів після стресу (пожежі; посухи; катастрофічних повенів чи злив; перевипасу тощо). Загальновідома сукцесія бедленду, який саморозвивається через надмірний випас худоби, коли частково чи повністю позбавлений рослинності. Сукцесія – це приклад *топологічного часу*.

Внутрішній час є континуально-дискретним (безперервно-перервним). Поряд із безперервною повільною зміною стану у ньому спостерігаються стрибкоподібні зміни, коли відбуваються події, що різко деформують перебіг процесів: випадання опадів, природні ритми життя тварин і рослин (фенофази наприклад); стрибкоподібні переходи стану природи – випадання або танення снігу, замерзання водойм; стадії аграрного виробництва в межах агроландшафтів тощо.

## 5.7. Топологічний і функціональний часи

Кожна фаза саморозвитку незалежно від фізичної тривалості (тривання) має значення одиниці часу. Вона зіставляється з іншими такими ж одиницями в даному об'єкті або інших об'єктах того ж рівня ієрархії. Приклад: фенофази листопадних дерев: а) *сокорух і набухання бруньок*; б) *розпускання бруньок*; в) *перші листя і зародки пагонів*; г) *цвітіння* (у деяких видів фенофази (в) і (г) міняються місяцями); д) *вегетація*; е) *дозрівання плодів*; є) *завершення вегетаційного періоду*; ж) *втрата листя*. Тут очевидна нерівність у протяжності окремих фаз.

Топологічна тимчасова шкала являє собою виражену «стрілу часу»: топологічний час необоротний і не зіставляється з будь-якими абсолютними шкалами, адже перебіг кожної фази саморозвитку триває по-різному, але має однаково велике значення.

Функціональний час характеризує тривалість станів і процесів у геосистемах. Це час функціонування, вивчення якого, власне, є одним з предметів «глибинного» (за змістом) моніторингу. Він же вийшов на передній план у вивченні процесів саморегуляції та свого роду «гомеостазису» геосистем (досягнення певної рівноваги), які наче прагнуть підтримувати незмінними певні стани і водночас можуть здійснювати відносно швидкі, стрибкоподібні переходи між двома послідовними станами.

Час функціонування є *перервним* (дискретно-пульсуючим): він взагалі не тече, доки геосистема перебуває в одному стані. Лише при переході до іншого стану час дуже стислий, бо при цьому відбувається безліч подій – кількісних і якісних змін, переходів, поки геосистема не прийде в новий (*квазістійкий*) стан. Потім час знову ніби зупиняється. І так повторюється багаторазово протягом, наприклад, сезону року. Тому при спостереженні стану геосистеми важливо розуміти, до якого функціонального часу належить спостереження і що нам потрібне: чи квазістаціонарні стани (тоді фізичний стан спостереження – сьогодні, чи вчора, чи завтра – мало значущий; чи фіксування різких змін – тоді це *кризовий моніторинг* і час рахується на хвилини або дрібніше).

Важливе твердження: час функціонування може бути оборотним (якщо це не кризовий час), адже геосистема буває в певному стані неодноразово. Цим функціональний час відрізняється від незворотного топологічного.

У процесі геостаціонарних досліджень, методологія і досвід яких важливі для геосистемного моніторингу, з'явилася нова термінологія щодо простору (*геомири, геохори; хоріони*) і часу (*стекси* – миттєві стани тощо). Ієрархія, тобто підпорядкування явищ, має місце і в часі. Йдеться про стани геосистеми, які різняться за тимчасовим масштабом. Їх називають:

миттєві, часові, добові, циркуляційні (кілька днів), підсезонні, сезонні, річні, багаторічні, вікові та ін. Частина їх задана геосистемам ззовні (добові, річні), інші виникають як результат квантування часу самою геосистемою (фенофазні, циркуляційні та ін. ритми).

Емпіричне твердження: середні тимчасові градієнти (тобто градієнти зміни явищ у часі) є великими на коротких відрізках часу і зменшуються зі зростанням тимчасового масштабу. Чим більші просторові масштаби геосистем, тим більшим є їхній характерний часовий масштаб. Цей закон квантування відкрили К. Дьяконов і В. Боков.

Просторове й часове квантування (через дискретні елементи) є природним способом організації геосистем, оскільки визначає співіснування різних за розмірами фрагментів. Часто-густо в геосистемах мають місце прояви накладання (*суперпозиція*) довгоперіодних та короткоперіодних явищ (добре відомі в метеорології). Ці співвідношення не дозволяють системам руйнуватися. Наприклад, при суперпозиції великих градієнтів можуть виникати як максимальні стрибки стану (якщо градієнти співпадають або близькі), так і погашення – у випадку їхнього протилежного спрямування. Проблема кліматичних змін інколи неправильно оцінюється як катастрофічна загроза людству через неврахування цього.

Одна з причин нестійкості агроландшафтів – руйнування часової ієрархії: усе підпорядковується агротехнічним ритмам обробітку землі, водночас як природні ритми інші (ним підкоряються, зокрема, мікроорганізми ґрунту, що забезпечують родючість). Вживає те, що відповідає природним ритмам; решта пригнічується або ж зникає.

## **5.8. Інформаційна функція геосистем. Інформаційні відносини і зв'язки**

Що таке інформація? Інформація – це здатність одного компонента або підсистеми впливати чи визначати стан інших компонентів або підсистеми через прямі та зворотні зв'язки (сигнали) і відносини між ними<sup>34</sup>.

Інформація – це третя частина об'єктивного світу (поряд з речовиною та енергією), яка сама не є ані речовиною, ані енергією, проте «використовує» їх як носії. Наприклад, рН ґрунту залежить від невеликої кількості (відносно його загальної маси) лугу чи кислоти, проте визначає й умови існування організмів, і видовий склад рослинного покриву, і міграцію чи закріплення гумусу, солей тощо. Фахівці вміють за цими ознаками розшифровувати відповідні сигнали і впливати на стан ґрунтового-рослинного покриву. До речі, засоби захисту рослин мають і цю властивість – наприклад, відлякування шкідників.

<sup>34</sup> Вінер Норберт. Кібернетика, або Управління і зв'язок у тваринному і машинному, 1946.

Ефективна *передача інформації* відбувається за рахунок:

а) спорідненості взаємодіючих систем;

б) наявності в складних самоорганізованих системах своєрідних «спускових механізмів», тобто особливої структури системи, на яку відбувається вплив, її підготовленості (сприймання сигналів) до такого впливу. Ділянка схилу спочатку покривається мережею промоїн, які потім усе швидше розчленовують схил. І цей «сюжет» закономірно повторюється в подібних геосистемах.

Кожний геокомпонент має власні характерні просторові та тимчасові масштаби, власні цикли та тренди. Оскільки геокомпоненти взаємодіють, їхні цикли, ритми, розміри накладаються один на одний, що призводить до формування нових або до зміщення чи деякої зміни існуючих. Ці зміни не можуть бути занадто великими, оскільки кожний компонент дещо автономний. Взаємодія між компонентами має всі три відомі форми: *речовинну, енергетичну й інформаційну*.

Геосистеми мають властивість, схожу на пам'ять – здатність зберігати артефакти попередніх станів і повертатися до них. Наприклад, відомий ґрунтознавець В. Таргульян показав, що *ґрунт – це пам'ять ландшафту*. У ґрунті є складові, пов'язані з певними часовими подіями в геосистемі: морфологічна структура (наявність та послідовність шарів ґрунту, наявність та тип органічних залишків, гумусність, новоутворення тощо). Усі ці властивості фіксуються ґрунтознавцем під час ландшафтної зйомки та суттєвими для аналізу моніторингових спостережень (наприклад, тип ґрунту може свідчити про попередній стан, зовнішні впливи й чутливість ґрунту до впливів на оброблюваних землях – на агротехніку, вирощуванні культури тощо). Доводиться бачити виражені в сучасному ландшафті пустель артефакти колишнього добробуту: залишки зрошувальних систем, вишукані споруди міської забудови тощо – тепер це сенсаційні об'єкти «всебачучого» Інтернету.

У природі те ж саме можна сказати про кору вивітрювання і деякі корисні копалини гіпергенного типу (тобто які залежать у своєму складі від термодинамічної обстановки утворення чи перебудови). Таким чином, гірські породи і ґрунт – це не тільки субстрат, речова основа ландшафту, але також і інформація про стародавні ландшафти (часто зовсім не пов'язані із сучасними природними обстановками).

Рельєф – регулятор природних процесів, бо від рельєфу, його ухилу, експозиції, довжини схилів, інших морфологічних особливостей залежать сучасні процеси: надходження сонячної радіації, поверхневий стік, режим (тепловий, температурний, зволоження, замерзання-відтавання ґрунту, соліфлюкція та ін.). Рельєф – це і найважливіша складова частина простору геосистем. Пам'ять рельєфу полягає в його структурі. Фахівець

легко і впевнено розрізняє рельєф молодий і зрілий. У першому відсутня мережа стоку (напр., рекультивована поверхня), у зрілому – розвинена деревоподібна мережа (кожний ярус «гілок» – як у дерева – є часовим етапом саморозвитку рельєфу).

Повітря практично не має пам'яті, проте виконує мобільні функції. Але гази, що містяться в похованому вигляді в гірських породах, покладах вуглеводнів, підземних водах, а також сучасні виділення вуглеводнів, сірководню, аміаку інформують про анаеробний стан середовища (згадаємо сірководневе середовище Чорного моря – і є багато менш виразних прикладів).

Природні води виконують аналогічні функції, але мають свою пам'ять (особливості – для нас це якість – похованих у земній корі вод мають розмірність, порівнянну з геологічним віком).

**Приклад 1.** Малі зміни вмісту  $\text{CO}_2$  (якого в тропосфері на два порядки менше, ніж аргону чи водяної пари) призводять до колосальних змін у тепловому режимі біосфери, які турбують людство.

**Приклад 2.** Зміни водневого показника середовища рН (потребує малої кількості кислоти, лугу, органічної речовини чи солі, чи  $\text{CO}_2$ ) регулюють гігантські потоки речовини: одні речовини стають рухливими мігрантами, інші «завмирають», депонуються, втрачаючи рухливість та активність. Така важлива обставина для геосистемного моніторингу!

**Приклад 3.** Геологи, геоморфологи, геофізики користуються сигналами, що виходять з надр, для пошуку корисних копалин, прогнозу геофізичних явищ тощо.

**Приклад 4.** Вам, майбутнім фахівцям, слід зібрати докупи всі відомі типи сигналів, що притаманні геосистемам, аби ними користуватися. Наприклад, в урбомоніторингу (моніторингу міст) відомі ознаки різних забруднень через особливості листя дерев-індикаторів; мікробіологи-екологи використовують для оцінки стану вод (водних витяжок) поведінку чутливих мікроорганізмів (наприклад, темп їхнього дихання). Нагадаю, що народна медицина застосовує такі сигнальні спостереження зовнішніх ознак хвороб чи станів (колір і стан шкіри, очей, язика тощо) для діагностики. Такі ж ознаки застосовують народні метеорологи для оцінювання й прогнозу погоди і т. п.

## 5.9. Відміни сигнально-інформаційних процесів від речовинно-енергетичних

У таких і подібних випадках говорять про *сигнально-інформаційні взаємодії*. Вони відрізняються від речовинно-енергетичних тим, що в сигналах кількість носія інформації (енергії чи речовини) надто мала в порівнянні з процесом, масою чи енергією явища (процесу), яким сигнал керує. Потужність результату (зміни стану) може бути незрівнянно великою в порівнянні з цією малою кількістю речовини-енергії: сходження снігової лавини від

звучу вибуху чи грому відоме й використовується в горах; вже зазначалося вище, що невелика зміна рН різко змінює поведінку ґрунтових розчинів і стан рослин; витоптування може докорінно змінити видовий склад та життєві форми рослин і т. п. Обрання діапазону електромагнітних хвиль сканера зовсім змінює (до невпізнаваності) картину земної поверхні. Інформаційність означає, що сигнал виражається в інформаційних (а не енергомасових) процесах.

Сигнали не підлягають закону збереження речовини-енергії; їхнє множення не призводить до втрати маси чи енергії; серед них немає відповідності між імпульсом і реакцією (цього не помічають, бо не знають, у промисловій, урбо- та агроекології).

Говорять також (під впливом досягнень точних наук) про нелінійність сигнальних взаємодій, тому що співвідношення між величиною впливу та реакцією системи може бути різним і залежить від структури і поточного (миттєвого) стану системи.

Завдяки «слабким» інформаційним (сигнально-інформаційним) впливам (взаємодіям) процеси в геосистемах набувають великої, часто непередбачуваної реакції; натомість потужні (за нашою оцінкою чи виміром) впливи можуть бути «непоміченими» геосистемою. Так, заради забезпечення ефективності добрив або для затримання в ґрунті гумусу змінюють рН (наприклад, вапнуванням полів) – і це відомий приклад такого слабого *побічного впливу*, який суттєво проявляє себе (бо на гектар затримуються сотні тон гумусу). Натомість, злива, під час якої випадає 20 мм опадів за годину (а це 200 л на м<sup>2</sup>, або 2 млн л на гектар!), залишається непомітним явищем.

Більш разючий приклад: щоб арктичні льоди (льодовики й паковий покрив (багаторічний лід океану)) розтанули (а фізично для цього потрібна енергія, недоступна людству навіть у разі застосування ядерної енергії, як показали розрахунки, – а така ідея мала місце в 50-х рр.), достатньо всього лише *зменшити на 10 % хмарність улітку* – і за 4 роки всі льодовики (крім частини Гренландії, де це триватиме довше) зникнуть. Або: щоб пришвидшити танення льоду Гренландії, досить забруднити поверхню сажею, графітом (це забруднювач цеху в доменному виробництві) чи іншою. Речовиною тонким шаром – і процес прискорення танення піде далі сам собою, бо вмикається турбулентна система (з додатнім зворотним зв'язком). Тут забруднення має не речовинний (бо забруднювача обмаль!), а інформаційний характер.

Один і той же елемент може вступати в різні інформаційні стосунки з іншими елементами. Те відношення, на підставі якого виділяється система, називають *системотворним*. Що стосується геосистем, прийнято ділити відносини в наступний спосіб:

- щодо *територіальності* (положення щодо інших елементів та систем, сусідство), у свою чергу вони бувають, як вже зазначалось, метричними та топологічними;

- за часом виникнення, розподілу та порядку прояву (одночасові, попередні та наступні; періодичні; ритмічні та аритмічні і т. д.);
- щодо *функціональності* – у процесах енерго-, масообміну (енерго-масопереносу) – матеріального носія й формувальника властивостей системи;
- щодо *інформаційності* – передачі-приймання сигналів, різноманітності, рефлексивності тощо;
- *причинно-наслідкові* (залежності одного від іншого);
- *кореляційні* (за узгодженістю походження або проявами в системі).

Залежно від кількості елементів, що беруть участь у відносинах, вони можуть бути *бінарними*, *триадними* (троїстими), *множинними* (із зазначенням іншого числа елементів).

Елементи та компоненти геосистеми співвідносяться між собою, немов би дотримуючись наступних правил (людина у своїй практиці соціальних відносин багато що неусвідомлено запозичила в природі). Основні з них такі: *додатковість*, *координованість*, *боротьба*, *конкуренція*, *антагонізм*, *взаємозамінність*.

### Питання для самоперевірки та контролю знань

1. Що таке простір у географічному поданні?
- \*2. Чому географічний простір багатовимірний, хоч ми живемо в тривимірному просторі?
- \*3. Розтлумачте поняття просторово-функціонального закону відношень у геосистемі.
- \*\*4. Навіщо в теорії геосистемного моніторингу така складна концепція геосистемного простору?
5. Що таке метричний простір? У чому він проявляється?
- \*6. Що таке топологічний простір? У чому він проявляється?
7. Поясніть глибинний сенс понять «місцеположення» і «місцерозвиток».
- \*\*8. Наведіть приклади визначальної ролі геосистемної позиції, на ваше розуміння.
- \*\*9. Що таке місцерозвиток?
- \*10. Як ми розуміємо функціональний простір?
11. Які просторові відношення в геосистемах нам відомі?
12. Поясніть значення для геомоніторингу розуміння просторової організації.
13. Що таке анізотропія в природі і стосовно до моніторингу?
14. Що таке анізоморфність і якою є потреба в її врахуванні?
15. Якими є прояви гетерохронності й характерного часу складових геосистем?
16. Що таке просторовий градієнт і як він проявляється в процесах змін?
- \*17. Що таке геосистемний час? У чому він виражається?
- \*\*18. Що таке топологічний і функціональний часи? Знайдіть приклади.
- \*\*19. У чому полягає фундаментальна роль інформації щодо геосистемного моніторингу?
- \*20. Як проявляється інформаційна функція геосистем – і яке вона має значення для моніторингу?
- \*\*21. Які інформаційні відношення в геосистемах мусять бути предметом геосистемного моніторингу?

## РОЗДІЛ 3

# РЕАЛІЗАЦІЯ ГЕОСИСТЕМНОГО (ЛАНДШАФТНОГО) МОНІТОРИНГУ ГЕОСИСТЕМНОГО МОНІТОРИНГУ

### Тема 6. Розробка геосистемного моніторингу: з досвіду авторів

#### 6.1. Загальний огляд методів

Система спостереження та контролю, яка лежить в основі геосистемного моніторингу, мусить спиратися на знання ландшафтної структури й організації території контролю; відповідно до цього базовими документами є ландшафтна карта та база даних. Для їхнього створення знадобиться значний комплекс наземних і дистанційних заходів. Наземні (контактні) засоби стосуються компонентів навколишнього середовища та власне геосистем. Дистанційні засоби надають можливість простежувати перш за все просторове поширення і точно визначати межі геосистем, а через інформативні показники визначати навіть властивості, притаманні їм. Сукупність таких знань про територію називається *фоновим моніторингом*.

Моніторинг змін має назву *імпактного моніторингу*. Імпактний моніторинг зосереджується на подіях, спричинених змінами геолого-геоморфологічними (обвали, зсуви, опливини, просадки, спучування тощо); ґрунтово-екологічними (втрата ґрунтом родючості, змивання, прискорена водна ерозія, засолення чи деградація ґрунтового покриву тощо); гідрологічними (ерозія / акумуляція алювію, підмиви берегів річок, надвисокі чи катастрофічні паводки); процесами комплексної природи – такими як селі, розвіювання піщаних арен тощо); змінами стану рослинного покриву (розріджування, втрата фіторізноманіття, напади шкідників та хвороб, поява чи втрата мікроорганізмів). До цих явищ відносяться також інвазії чужих видів рослин.

Геосистемний моніторинг також різниться за масштабом спостережень. Загально прийнято виділяти *глобальний, регіональний, локальний* рівні. Можливо, слід додати певний *нанорівень*, бо все частіше фіксується залежність помітних змін через дію нанофакторів (вірусів, бактерій, грибів, одноклітинних водоростей тощо).

Геосистемний (ландшафтний) моніторинг натепер розглядають як інформаційну систему, що включає дослідження (спостереження), оцінку і прогнозування стану природних та природно-антропогенних ландшафтів,

яка мусить базуватися на комплексному аналізі та оцінюванні сучасних ландшафтів і складатися з таких базових блоків досліджень:

- 1) ретроспективного моніторингу етапів освоєння та зміни природних комплексів і структури ландшафтів;
- 2) комплексного вивчення режиму функціонування і динаміки природного середовища в умовах існуючого антропогенного навантаження;
- 3) географо-геоекологічної оцінки сучасних ландшафтів;
- 4) розроблення технології спряженого картографо-екологічного та дистанційного (аерокосмічного) моніторингу ландшафтів.

Для природоохоронних територій проведення моніторингу ландшафтів є однією з першочергових умов виконання для прийняття в подальшому управлінських рішень. Він дозволяє отримати високоточні дані спостережень досліджуваних ландшафтів чи окремих природних компонентів, забезпечуючи своєчасний збір, контроль, оцінку і візуалізацію даних. Здійснення екологічного моніторингу дозволяє збирати та обробляти великі обсяги даних, необхідних для планування та проведення природоохоронних заходів. Це можуть бути такі заходи, як збереження природних ресурсів, як для нинішнього, так і для майбутнього покоління, запобігання та виявлення забруднень навколишнього середовища, встановлення режиму суворої охорони чи навпаки – проведення санітарних рубок або викошування луків тощо.

У сучасних умовах швидкої змінності окремих компонентів ландшафтів необхідним є застосування сучасних методик обробки даних і їхнього аналізу на основі використання ГІС-технологій і даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). У цих напрямках досліджень і розробок вітчизняні дослідники простують у когорті світового співтовариства географів, екологів, геотехнологів та представників інших споріднених галузей знання.

Ландшафтний моніторинг надає певні можливості: дозволяє оцінити біорізноманіття, відповідність окремих компонентів і ландшафтних угруповань їхньому нормальному функціонуванню, регулярно слідкувати за станом ландшафтів, які знаходяться під особливим статусом охорони. Тому важливим показником, який визначає характер проведення ландшафтного моніторингу та впливає на прийняття управлінських рішень, є *ландшафтний потенціал*. Ландшафтний потенціал володіє динамічними властивостями, тобто перебуває в постійному розвитку, тому реалізація моніторингу в управлінні ним передбачає організацію постійного спостереження, вивчення, оцінки, діагностики використання та охорони.

### Структура розробки геосистемного моніторингу<sup>35</sup>

Загальна структура моніторингу довкілля подана на рис. 6.1<sup>36</sup>.



Рис. 6.1. Узагальнена структура моніторингу навколишнього природного середовища

*Пояснення.* Під загальною назвою системи розміщено 5 блоків, з яких мусить складатися моніторинг довкілля: зі збору даних, їхнього аналізу для прийняття рішень у подальшому; блок накопичення даних у вигляді бази даних (БД) і, нарешті, блок прийняття рішень – свого роду «мозковий центр» системи. Дані, які збираються, належать до трьох груп: а) такі, що не потребують подальшого коректування (назвемо їх *інваріантними*); це геологічна будова, рельєф, гідрографічна мережа; б) дані поточного супроводу систе-

<sup>35</sup> Цей розділ розроблений разом з аспіранткою Аліною Овчаренко, яка успішно захистила дисертацію на PhD. У якості базового об'єкта використано територію національного природного парку «Слобожанський», яка протягом тривалого часу досліджувалась з метою створення геосистемного (ландшафтного) моніторингу. Наведені матеріали є ексклюзивними. Надалі це слід мати на увазі.

<sup>36</sup> Лущик А. В. Моніторинг екзогенних геологічних процесів як складова моніторингу довкілля в Україні / А. В. Лущик та ін. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2002. № 1. С. 73.

ми – ті, що стосуються змін середовища: контури деяких угідь, стан рослинності, назвемо їх *перемінними* геосистемами; в) дані – індикатори змін, які слід контролювати за програмою і встановленим постійним чи періодичним режимом спостереження (це *індикатори моніторингу*).

Джерелами отримання таких різних за призначенням даних є попередні зйомки та тематичні карти, дані ДЗЗ та наземні тестові ландшафтні зйомки, що слугують ключем для розшифровки даних дистанційного зондування.

Блок обробки й аналізу – це комп'ютерна система, яка надає можливості порівнювати різночасові сканування та виявляти зміни окремих показників. Ці процедури потребують зберігання попередніх даних, отже, цим пояснюється потреба у створенні й підтриманні бази даних, з якими порівнюється поточна ситуація. Таким чином, це третій з визначених блоків.

Блок прийняття рішень – це людино-машинна система, де комп'ютерна програма виконує довідково-порадчу функцію, проте основна роль належить «мозковому центру» моніторингу.

Три блоки системи, розміщені в центрі рисунку («Регіональна та місцева системи...», «Блок зв'язку», «Блок управління моніторингом...»), виконують адміністративні функції. Адже дії, пов'язані зі здійсненням певних дій, визначених вище, мусять здійснюватися місцевими адміністраціями після консультації з «мозковим центром» моніторингу.

Нарешті, у нижньому ряду є два блоки, з яких правий (щодо інженерного захисту) виконується адміністрацією території спільно з місцевими органами влади відповідними фахівцями, залученими на певних засадах, які визначаються адміністративно.

Адміністративно-аналітична система (як певний інтерфейс моніторингу з владою) слугує для адміністрування – обґрунтованості й контролю виконання рішень.

На тлі такої загальної схеми мусимо надалі зосередитися на розкритті змісту тієї частини розробки моніторингу, яка потребує професійних природничих знань.

## 6.2. Експлікація території

Цей етап роботи передує безпосередній роботі на обраній ділянці моніторингу. Він полягає в короткій, проте ємній характеристиці *геологічної будови* (переважно поверхневій і стосовно *тектонічної структури* вміщуючого регіону), відомостях *про рельєф* з історико-генетичного та морфологічного поглядів, *грунтовий покрив* (за типами), *гідрографію* (з увагою до режиму й стану річок і наявності/відсутності водорегулювань), *місцевий клімат* у відношенні до регіональних кліматичних процесів) і *грунтово-рослинний покрив* – в єдності наявних відношень. В умовах територій ПЗФ

важливе значення надається наявним організмам з числа тих, які охороняються від місцевого до міжнародного рівнів: Червона та Зелена книги, Червоні списки МСОП, Списки Резолюції VI Бернської конвенції тощо.

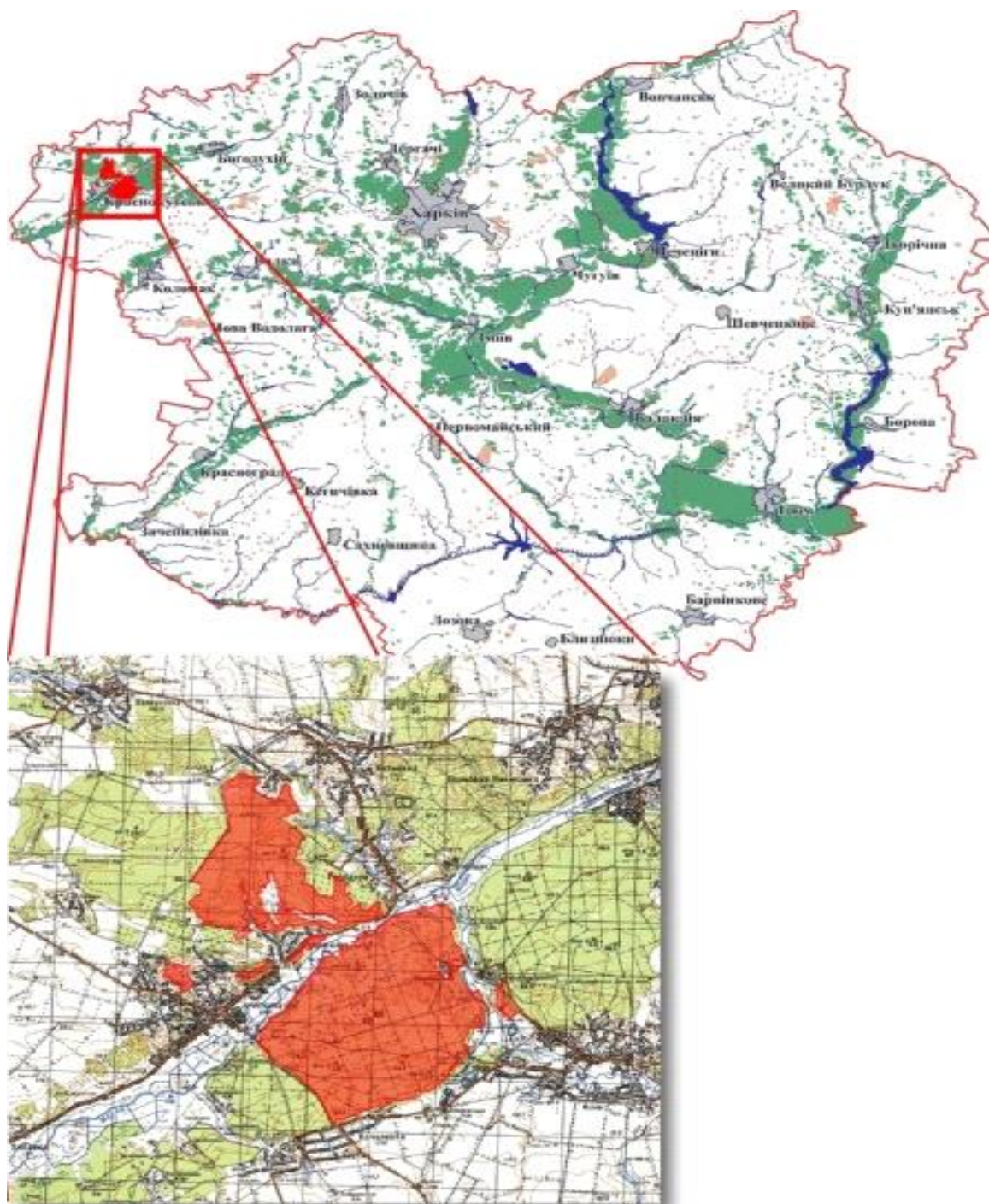


Рис. 6.2. Експлікація території<sup>37</sup>

Як неодноразово зазначалося вище, в основі геосистемного моніторингу лежить ландшафтна будова території. Ландшафти – це геосистеми найнижчих рівнів організації природи земної поверхні.

<sup>37</sup> Офіційний сайт НПП «Слобожанський». URL: <http://slobozhanskyi.in.ua/>.

Отже, першою, базовою дією, яка передуює розробці системи моніторингу, мусить бути створення чіткого уявлення про *ландшафтну будову території*.

На початку роботи вивчаються всі наявні матеріали щодо природи території моніторингу. Цей етап не відображено на рисунку – він є підготовчим. Далі наводимо фрагмент топографічної карти, яка дає початкове уявлення про територію (рис. 6.2). Для цього необхідно мати звичайну топографічну карту та, за можливості, цифрові моделі рельєфу (ЦМР).

Почнемо з *експлікації території*. Це поняття – науковою мовою – є просторовим топологічним аналізом, який слід розпочати з визначення географічного положення (водозбір, річкова мережа, адміністративно-територіальне положення, типи угідь і землекористування), сусідства, доступності (інфраструктури), вивчення територій-аналогів за схожістю та відмінностями. За взірць можна узяти класичні описи територій.

*Пояснення.* У верхній частині подано експлікацію території на оглядовій карті середнього масштабу (1:1 000 000). На нижній – положення території на крупномасштабній карті (1:100 000). Її зафарбовано (для наочності) червоною заливкою. Місце розміщення нижнього фрагмента добре видно на оглядовій карті.

### 6.3. Апріорний аналіз ділянки моніторингу.

Щоб скласти початкове уявлення про територію, наведено два характерні локальні об'єкти: на рис. 6.3 показано типові для території приклади локальних об'єктів, які можуть бути *індикаторами геосистемного моніторингу* (вигляд з дрону: це лісові ділянки з болотами – їхні контури й стан є індикаторами). На рис. 6.3 та 6.4. наведено для зразка фото характерних ділянок території. Сучасні способи фото-кіно-документування звичайною побутовою апаратурою створюють тут необмежені можливості, особливо з використанням дронів. Проте вони не замінюють повністю ресурси безпосередньої польової роботи.



Рис. 6.3. Група індикативних об'єктів ландшафтного моніторингу (заболочені ділянки з березняком у межах бору) (фото – Артур Койчуренко)<sup>38</sup>

<sup>38</sup> Офіційний сайт НПП «Слобожанський». URL: <http://slobozhanskyi.in.ua/>.



Рис. 6.4. Відкрите водне дзерекло заболочених мідянок (фото – Артур Койчуренко)<sup>39</sup>

На рисунку 6.5 наведено тематичні карти території дослідження: рельєф, четвертинні відклади й ґрунтовий покрив, отримані з матеріалів попередніх зйомок. Попередня обробка вихідних матеріалів полягала в їхньому оверлейному аналізі, для чого вони були оцифровані й співставлені. Надалі їх було занесено до бази даних, але в межах контурів, які отримаємо в подальшій обробці ДЗЗ.

У блоку з трьох зображень (рис. 6.5) наведено атрибутивні дані для побудови ландшафтною карти (вони становлять інваріантну частину території).

На попередньому етапі підготовки укладається ландшафтна карта-гіпотеза. У нашому випадку ця карта близька до підсумкової, бо складена компетентним ландшафтознавцем з використанням і атрибутивних даних, і ДЗЗ.

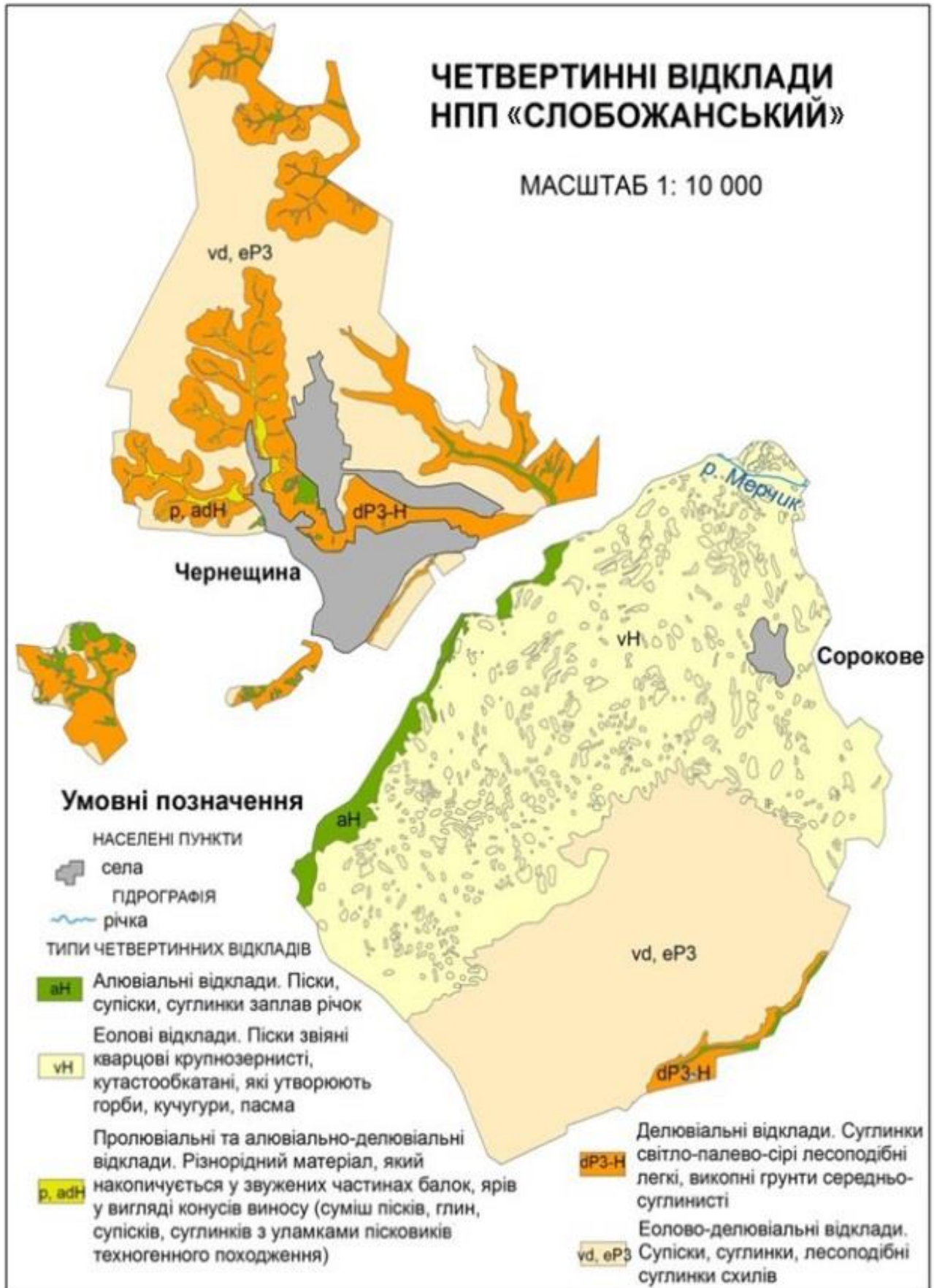
#### 6.4. Укладання карти-гіпотези

Порівняння карт інваріантної структури з наступним зображенням (див. далі рис. 6.6) свідчить про те, що ступінь детальності останнього не співставний з вихідними картами. Така детальність (як побачимо, подекуди надмірна) спричинена тим, що в побудові карти на рис. 6.6 використано автоматичний аналіз геоданих без історико-генетичного та морфологічного аналізу – лише за аспектами рослинного покриву. Таке зображення називається в ландшафтній зйомці *картою-гіпотезою*. Карта-гіпотеза складається як майбутня основа польових досліджень під час попереднього передпольового етапу роботи

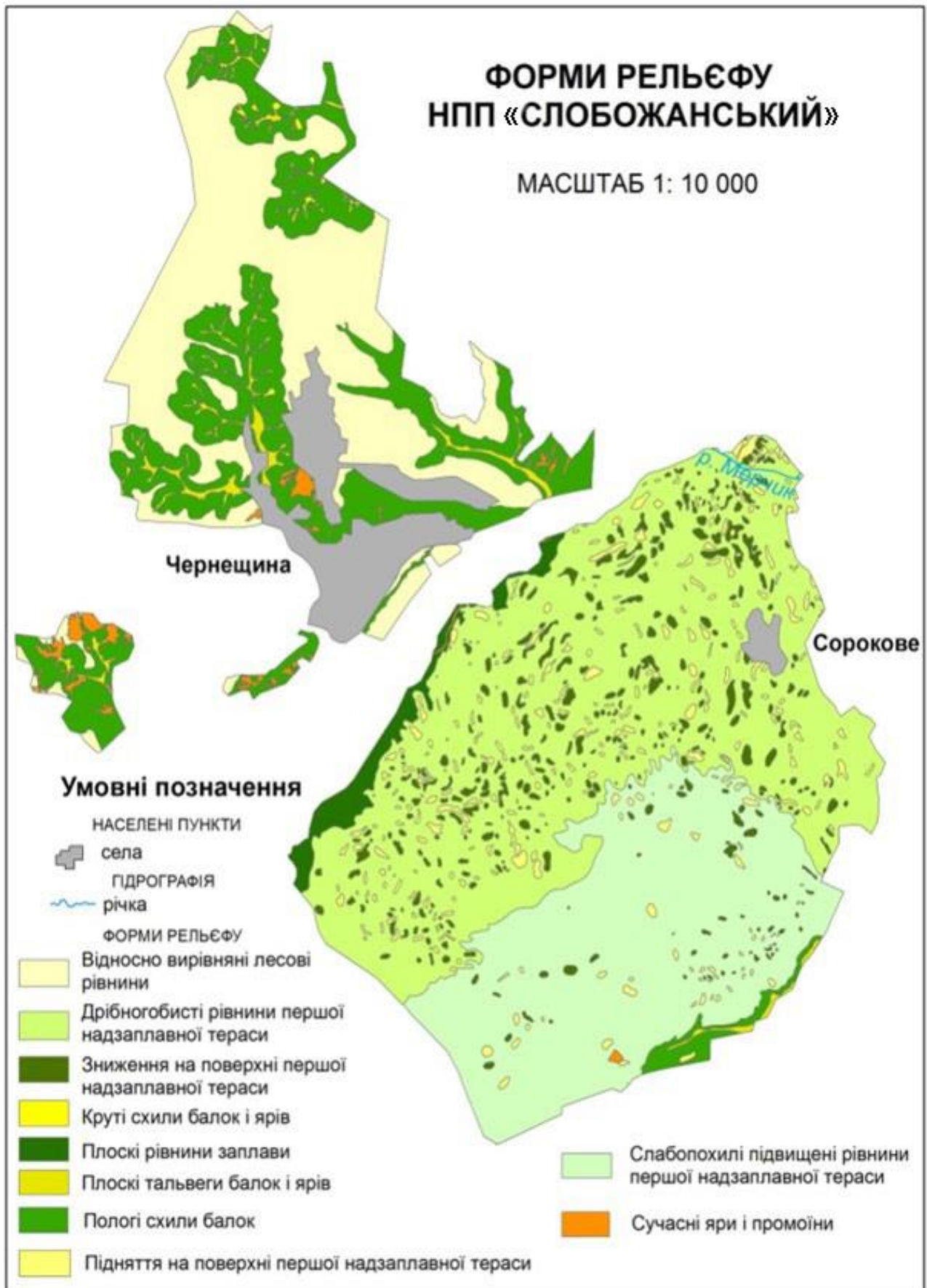
<sup>39</sup> Офіційний сайт НПП «Слобожанський». URL: <http://slobozhanskyi.in.ua/>.

*Вербальна характеристика території.* Це традиційна для описової географії подія – характеристика території проекту, дослідження, розробки, експертизи тощо. Для геосистемного моніторингу вона слугує канвою інваріантної характеристики: без неї важко сподіватися на успіх у визначенні змінних параметрів та надійності їхнього прослідковування.

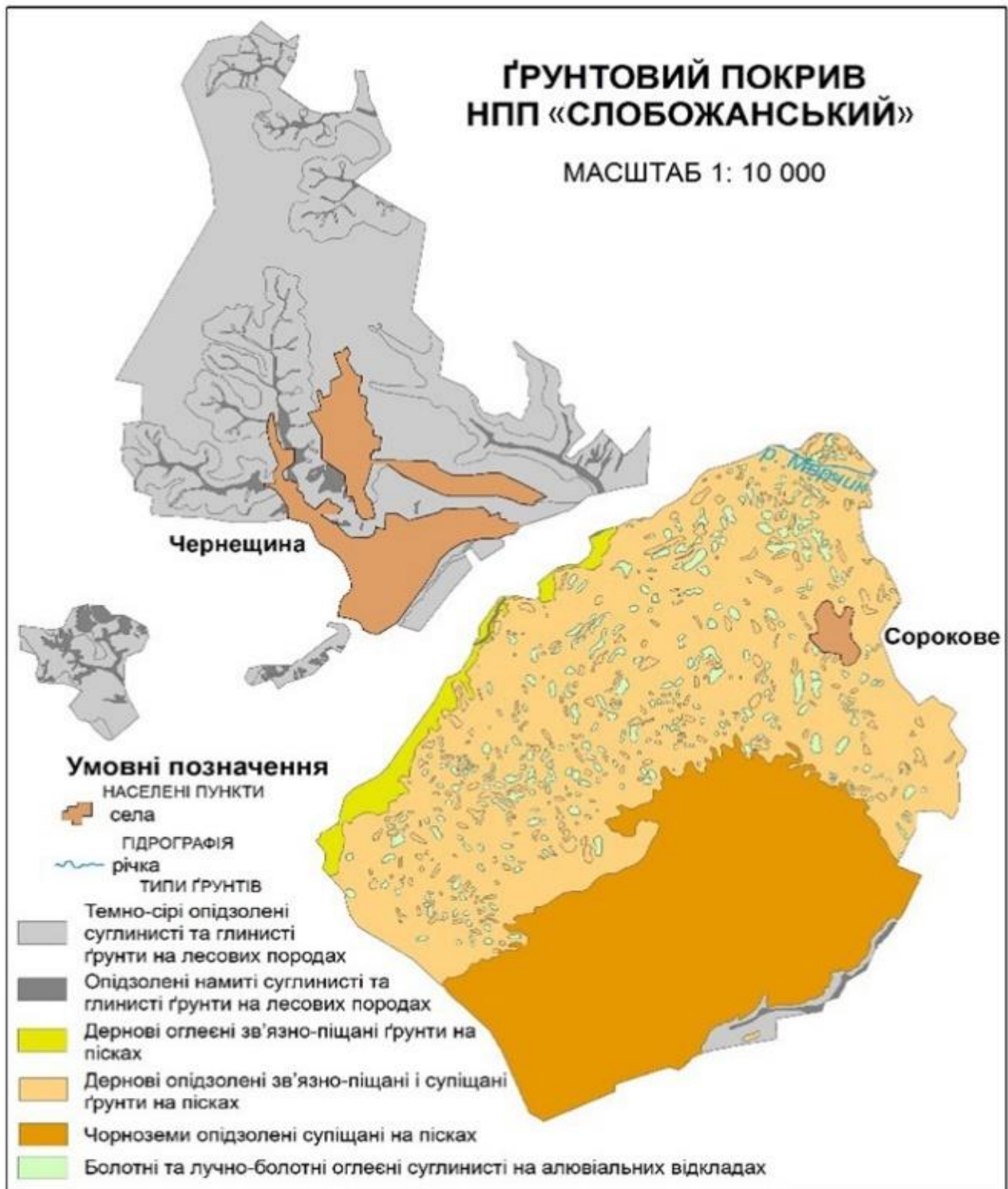
*Подання й вивчення інваріантної структури території.*



А)



Б)



В)

Рис. 6.5. Тематичні карти компонентів ландшафту, що в подальшому слугують атрибутивними даними для оверлейного аналізу: інваріантна частина моніторингу<sup>40</sup>

<sup>40</sup> Тут і далі в цьому розділі використано ілюстрації Аліни Овчаренко з її дисертації доктора філософії. На цій серії карт і в подальшому легенди не розкрито для читання, бо наведені тут карти мають лише методично-ілюстративне призначення. Овчаренко А. Ю. Індикативний ландшафтний моніторинг природоохоронних територій (на прикладі НПП «Слобожанський»). Харків, 2023. 194 с.

У подальшому належить надати певної осмисленості цій мозаїчній картині, для чого застосовуються польові методи укупі з професійним аналізом ДЗЗ.

Надмірна строкатість карти потребує в подальшому дешифрування контурів ПТК (фацій, урочищ, місцевостей), для чого здійснюються всі подальші дії.

## 6.5. Безпосередні дослідження території

Безосередні дослідження складаються з двох видів дій ландшафтознавця:

- трасування території та подальших рекогносцирувальних маршрутів для побудови ландшафтних профілів;
- суцільної (площадної) зйомки певних ключових ділянок.

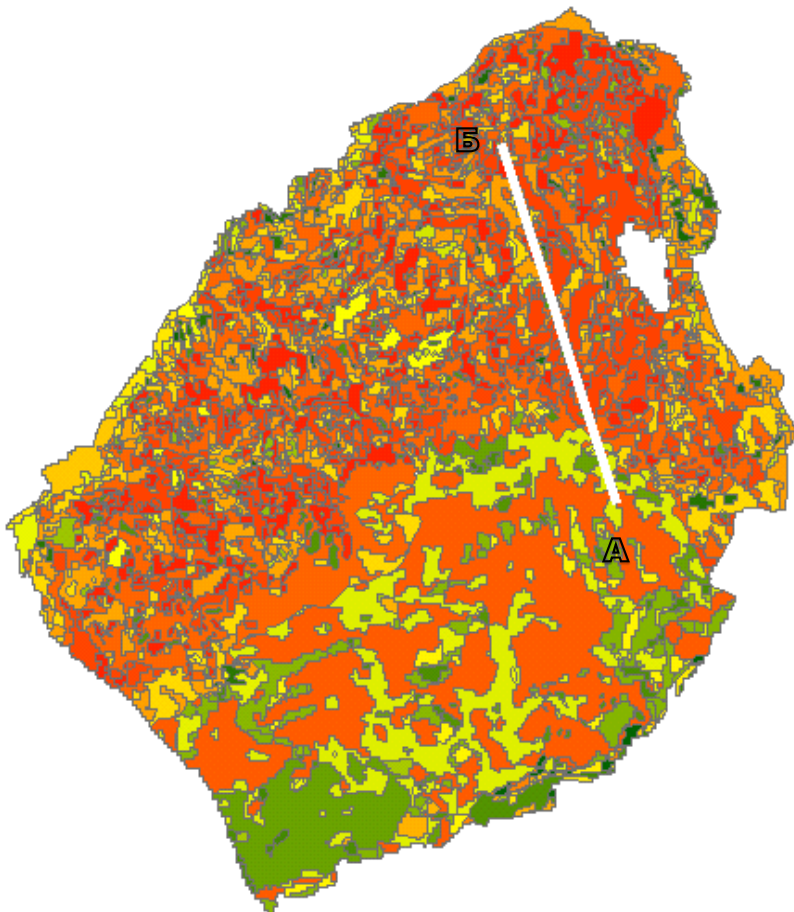
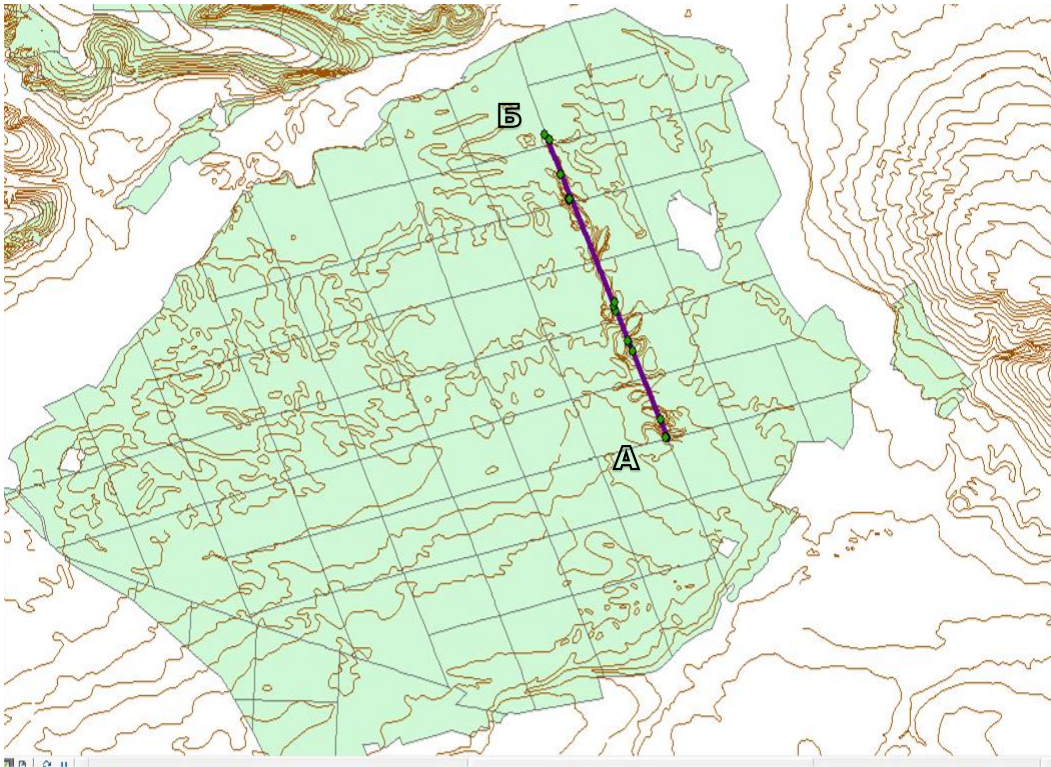
*Побудова ландшафтних профілів.* У сучасних умовах метою ландшафтно-ї експедиції є трасування ландшафтних смуг (трансектів<sup>41</sup>) і закладання профілів, для чого користуємося топографічною та тематичними картами. У процесі трасування здійснюється вибір маршрутів, які перетинають, по-перше, характерні ділянки – як правило, вони добре проглядаються, якщо рухатись упоперек до річкової долини, та по-друге – заходять у місця, які з карти й ін. матеріалів здаються незрозумілими (наприклад, містять антропогенні форми рельєфу або певні екзотичні для території об'єкти, також локальні об'єкти охорони природи). Надалі за цими трасами складається *рекогносцирувальний маршрут експедиції*.

*Рекогносцирування території.* Метою рекогносцирування є складання первинного уявлення – загального образу ландшафту: як виглядають ландшафтні виділи в природі, як вони розмежовуються, інші особливості, про які можна судити лише безпосередньо в польових умовах. Надалі сукупність вражень і конкретних знань, отриманих у ході виконання цього етапу зломки, дає можливість досліднику створити в уяві *образ ландшафту*. На відміну від пересічної людини, для якої ландшафт – переважно джерело емоційного сприйняття й засіб задоволення певних матеріальних потреб, фахівець-ландшафтознавець користується баченням для його наукового осмислення, пригадуючи й творчо використовуючи ті наукові відомості, які отримані попередньо – в аудиторії чи з навчальних посібників. Рекогносцирування включає профілювання й опис характерних (ключових) точок.

*Профілювання території.* Укладання ліній профілю – відповідальна і творча справа. Профілі мусять проходити так, щоб перетинати ті межі на картах, що наведені, особливо якщо вони співпадають. Ці точки (назвемо їх

<sup>41</sup> Смуга, у межах якої спостерігають зв'язки та взаємодії компонентів довкілля в геосистемі (екосистемі, біогеоценозі).

ключовими) потім будуть реперами – еталонними ділянками дешифрування даних ДЗЗ. На серії рис. 6.7 показано спосіб обрання одної з ліній профілю.



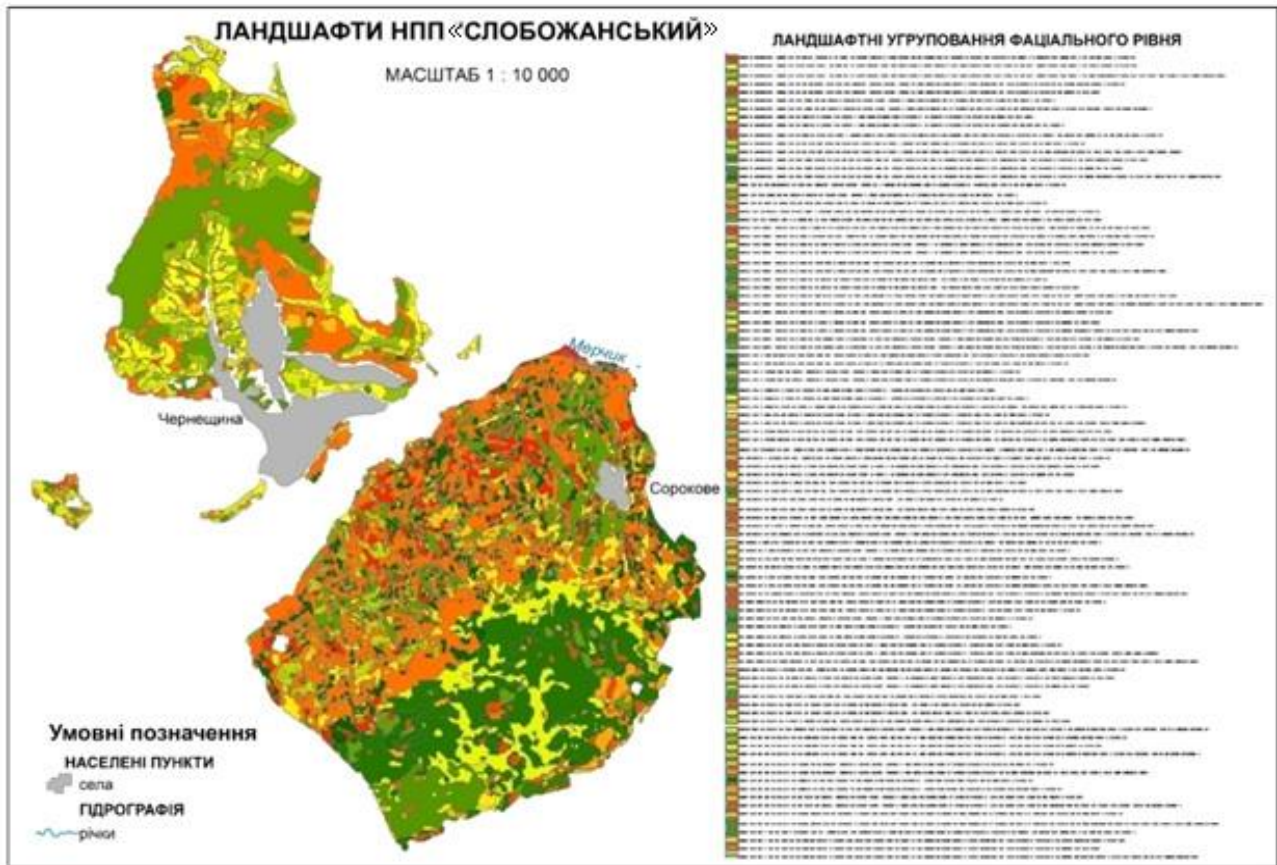


Рис. 6.6. Попередня ландшафтна карта-гіпотеза.

Легенду карти вилучено через неможливість відтворення в посібнику (містить більше ніж 100 типів фацій)

Рис. 6.7. Лінія профілю на карті рельєфу (а) (з топографічної карти 1:10000) та на ландшафтній карті-гіпотезі (б), складеній камерально шляхом обробки геоданих

На рисунку 6.8 у легенді наведено назви фацій за традиційним (стандартизованим) описом фацій, яким можна скористатись як прикладом у власній роботі.

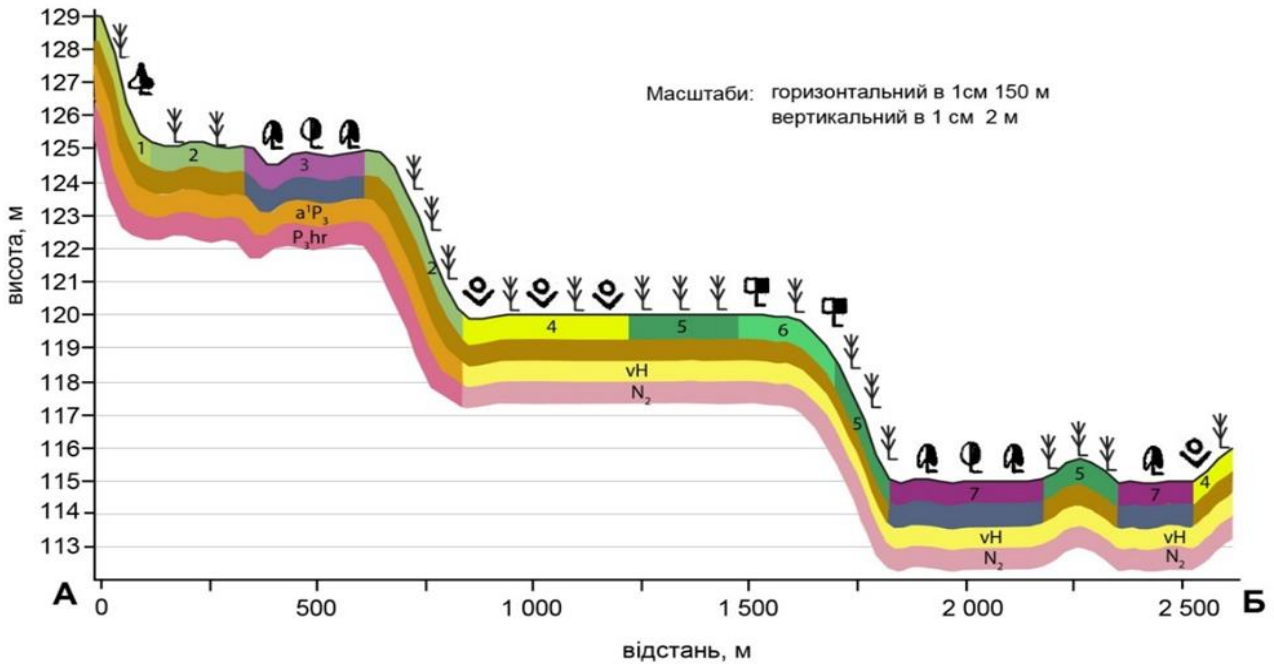
*Пояснення.* Інтерпретація інваріантних характеристик та ландшафтної структури за лінією профілю (фрагмент). Пояснення в тексті та на рисунку.

*Опис фацій у ключових точках.* Головним у дослідженнях на ключах при великомасштабній зйомці є встановлення типової морфологічної структури урочищ.

З метою уточнення меж фацій у межах підурочищ та урочищ проводиться маршрутне знімання. В обраних місцях відстежуються контури фацій з топографічною прив'язкою через GPS, які заносяться до фрагментів зйомки прямо в GPS-приймачі чи смартфони і туди ж – до бази даних<sup>42</sup>.

<sup>42</sup> Тут не наводяться програмні продукти, якими автори користувалися, бо і зараз, і з часом вони можуть бути іншими. За потреби, конкретну інформацію можна знайти в дисертації А. Овчаренко (2023).

**Ландшафтний профіль по лінії С - D  
в межах борової тераси НПП «Слобожанський»  
(просіка між кварталами 81-82 — 28-29 Гутянського лісництва)**



**Умовні позначення:**

**Рослинні уруповання**

- липовий субір
- бір
- субір з ліщиною у підліску
- субір з черемшиною у підліску
- осиковий березняк

**Ґрунти**

- дернові опідзолені зв'язно-піщані і супіщані
- дернові оглеєні зв'язно-піщані ґрунти

**Четвертинні відклади**

- vH голоценові еолові піщані відклади (піски зв'язні кварцеві крупнозернисті, що утворюють горби та кучугури)
- a'P<sub>3</sub> верхньоплейстоценові піщані алювіальні відклади (піски, супіски, суглинки)

**Геологічна будова**

- N<sub>2</sub> відклади неогеної системи (пліоцену) нерозчленовані (піски, глини)
- P<sub>3</sub>hr відклади палеогеної системи харківської світи (піски глауконітово-кварцеві, пісчаники)

**Ландшафти**

- 1 Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної тераси на давньоалювіальних піщаних і супіщаних відкладах з липово-дубовим субором на дернових опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах
- 2 Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної тераси на давньоалювіальних піщаних і супіщаних відкладах з бором з ліщиною у підліску на дернових опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах
- 3 Зниження на підвищених рівнинах першої надзаплавної тераси на давньоалювіальних піщаних і супіщаних відкладах з осиковим березняком на дернових оглеєних зв'язно-піщаних ґрунтах
- 4 Дрібногобисті рівнини першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах бруслиново-ліщиновим бором на опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах
- 5 Дрібногобисті рівнини першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах з бором на опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах
- 6 Слабопохилі підвищені рівнини першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах бруслиново-ліщинно-черемшиновим бором на опідзолених зв'язно-піщаних ґрунтах
- 7 Зниження на поверхні першої надзаплавної тераси на еолових піщаних відкладах з орляково-малиново-осиковим березняком на дернових оглеєних зв'язно-піщаних ґрунтах

Рис. 6.8 Ландшафтний профіль  
за закладеною лінією А–Б у межах борової тераси

Сутність такого виду знімання полягає в перевірці меж виділів, що було здійснено під час камеральної роботи. Опорними точками виступають межі виділів (типів фацій), що відповідають межах рослинних асоціацій. Вибір маршруту зазвичай має бути обумовлений найбільш різноманітними ділянками з точки зору різноманіття типів фацій або сумнівних меж.

Методом опису фацій у ключових точках було обрано ключові ділянки, що відповідають за картою-гіпотезою різним типам фацій. Кожну точку опису було закладено в межах контуру з максимальним наближенням до його центру.

*Польова зйомка тестових ділянок як елемент польового моніторингу.* Тестові ділянки обираються для того, щоб визначити й всебічно обстежити природні умови з використанням традиційних і новітніх можливостей ландшафтного аналізу. До традиційних можливостей відноситься оконтурювання та аналіз фацій відповідно до бланку, створеного ще в 60–80-ті рр. минулого століття. До сучасних методів і прийомів відноситься використання GPS для координатної прив'язки контурів (які отримують обходом з використанням спеціальних програм трасування для смартфонів). У змістовному відношенні об'єкти суцільної зйомки спочатку (апріорі) визначаються в камеральних умовах на основі перегляду наявних матеріалів (перш за все тематичних карт), але уточнюються остаточно на основі рекогносцирування. На цьому етапі роботи слідує відомому з ландшафтознавства алгоритмові Г. Міллера<sup>43</sup>, проте з урахуванням радикальних змін, спричинених появою ДЗЗ, та можливостей наземної польової зйомки з використанням GPS, застосуванням комп'ютерних програм онлайн та навіть смартфонів у якості засобів онлайн-автоматизованого подання інформації й заміни паперових носіїв інформації (бланків опису виділів), використанням того ж смартфона з цифровою базою даних.

## **6.6. Аналіз геоданих космічного моніторингу та синтезування ландшафтного образу території**

*Геодані* – це впорядковані й топографічно-прив'язані електромагнітні відбиття яскравостей об'єктів земної поверхні, отримані із супутників сканування за певними програмами. Доступними для відкритого використання є цифрові дані сканувань приладами й програмами LANDSAT 8 і SENTINEL-2, обмежено доступними (доступними за запитом) є дані PlanetScore, якими автори користувалися<sup>44</sup>.

<sup>43</sup> Гаврило (Габор) Міллер – авторитетний ландшафтознавець Львівської географічної школи, доктор географічних наук, професор (1934–1994).

Міллер Г. П. Польове ландшафтне знімання гірських територій. Київ, 1996. 162 с.

<sup>44</sup> Бодня О. В., Овчаренко А. Ю., Черваньов І. Г. Геоекологічний аналіз короточасних трендів зміни структури території НПП «Слобожанський» за даними космічної зйомки Planet Score.

Розглянемо поетапно методику такого аналізу.

*Вихідна інформація.* Оптичний датчик супутника фіксує електромагнітне випромінювання в певних наперед обраних і каліброваних досить вузьких діапазонах електромагнітного спектра. Для прикладу можна розглянути інтервали електромагнітного спектра, у діапазонах («вікнах») яких здійснюється сканування програмою SENTINEL-2. Ця інформація є загальнодоступною в мережі Інтернет.

Попередніми дослідженнями було встановлено, що лише певні елементи території – рослинний покрив, рельєф, інколи ґрунт, річки й водойми, – кожний з них добре фіксується в певному «вікні». Для того, щоб укласти тематичну карту, наприклад, річкової мережі й водойм, слід урахувати одне «вікно». Для того, щоб відобразити одночасно два елементи, слід скласти комплексне відображення у двох «вікнах» і т. д. У таблиці 6.1 подано деякі діапазони в співставленні з їхніми можливостями відображення місцевості.

Таблиця 6.1

| № діапазону | Спектральний інтервал (мкм) | Об'єкти, які добре відображаються               | Об'єкти, що не відображаються |
|-------------|-----------------------------|---|-------------------------------|
| 1           | 0,45–0,515                  | Вічнозелені рослини                             | Болота та водна поверхня      |
| 2           | 0,525–0,605                 | Зелені рослини                                  | Вирубки та водна поверхня     |
| 3           | 0,63–0,69                   | Різнівиди насаджень, вирубки                    | Водна поверхня                |
| 4           | 0,75–0,9                    | Відкрита водна поверхня та заболочені території | Листяні породи дерев          |

Таким чином, можна отримати спектрозональне відображення ландшафтної будови території (рис. 6.9).

Діючи в такий спосіб, дослідник експериментально, користуючись тестовими описами ландшафтних ділянок, обирає певні комбінації діапазонів зйомки, щоб отримати візуальний *ландшафтний образ території*<sup>45</sup>. У сучасності географічних зйомок у його основі, крім польових спостережень, лежить оптичний образ ландшафту<sup>46</sup>.

*Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія». 2017. Вип. 47. С. 176–181. DOI: 10.26565/2410-7360-2017-47-23.*

<sup>45</sup> Тут слід зазначити, що певні діапазони сканування охоплюють невидимі (отже, неоптичні) діапазони електромагнітних хвиль, що знаходяться поза інтервалом 270–840 нанометрів. Вони створюють псевдооптичне зображення, корисне для поглибленого пізнання певних властивостей ландшафту: вологості, температури, випромінювання тепла тощо. Про це слід читати в спеціальній літературі.

<sup>46</sup> Нагадаємо, що оптичний образ ландшафту є штучним об'єктом (оптичною моделлю), створеним за правилами й алгоритмами з певною дослідницькою метою.

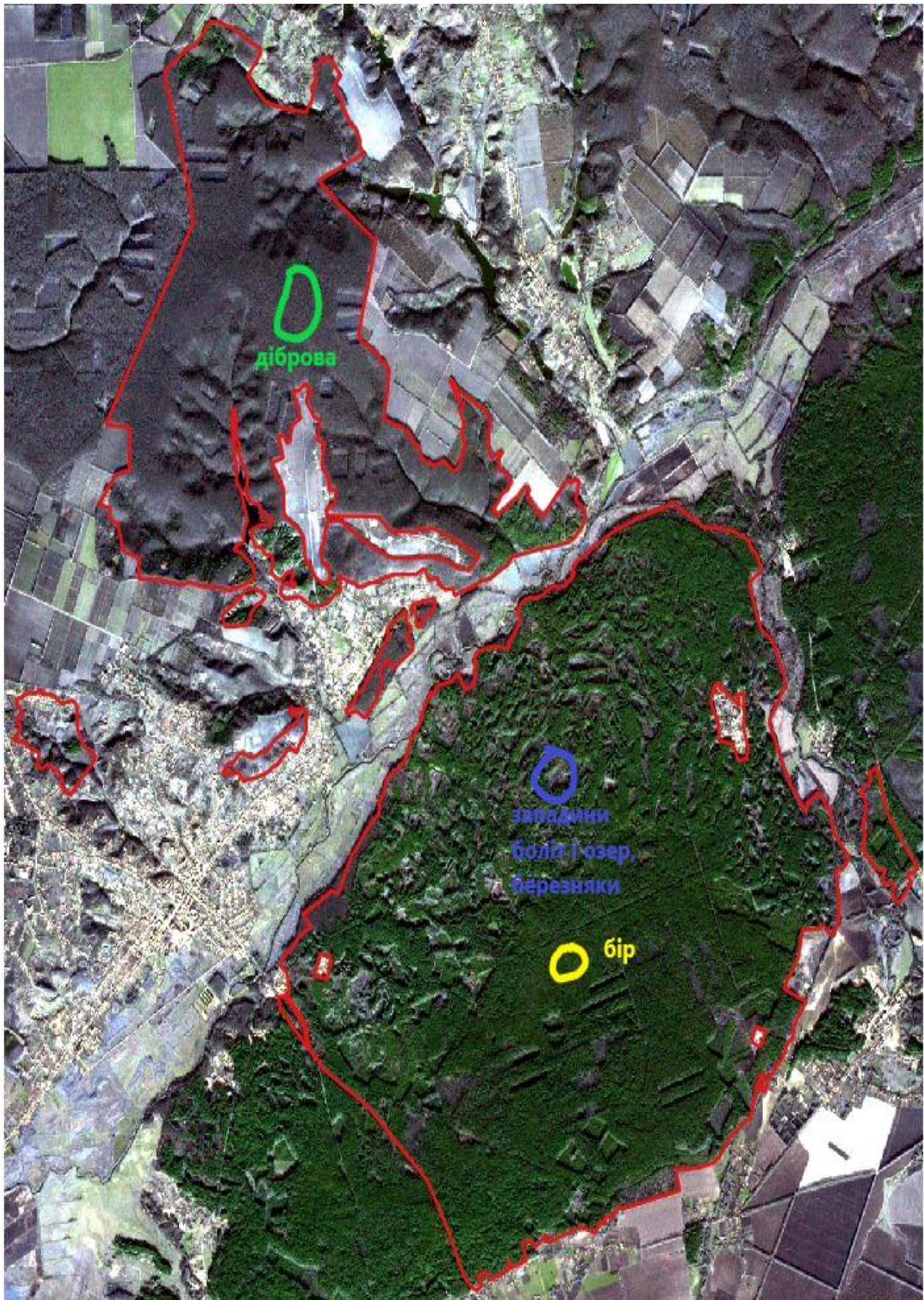


Рис. 6.9. Визначення основних типів поверхні як індикаторів фаціальної структури (RGB-композиція космічного знімку Sentinel-2 за 23.11.2019)

Подальша робота з оптичним образом полягає у здійсненні двох операцій:

- виділення контурів угідь – ландшафтних виділів певного обраного рангу;
- дешифрування контурів з метою їхнього формалізованого опусу (для бази даних) та класифікації.

Контури можна виділяти за окремими програмами, а дешифрування здійснюється в досить складний спосіб – шляхом поступового навчання системи розпізнавання та класифікації. За потреби цьому слід навчатися окремо, і цей процес потребує значно більшої глибини знань і кропіткої роботи. Тому в даному посібнику ми наводимо лише результат – остаточний варіант побудованої в такий спосіб ландшафтної карти (рис. 6.6).

Легенда ландшафтної карти асимілює відомості про три складові ландшафту: ґрунтово-геологічну, гідрологічну й фітогеографічну, якими разом визначаються типологічні одиниці ландшафтної будови території, а з урахуванням їхнього взаємного положення «рисунку» розпізнається ландшафтна структура, яка в природі є ієрархічною: за місцевостями, урочищами і фаціями.

Як приклад типологічного опису ландшафтної структури наводимо фрагмент легенди ландшафтної карти фацій (рис. 6.10).








-  сосна зріла без підліску на зниженій поверхні першої надзаплавної тераси з чорноземами опідзоленими супіщаними на піщаних еолових відкладах
-  сосна молода на дрібногорбистих рівнинах першої надзаплавної тераси з дерновими опідзоленими зв'язно-піщаними і супіщаними ґрунтами на піщаних еолових відкладах
-  вільшанники на дрібногорбистих рівнинах першої надзаплавної тераси з дерновими опідзоленими зв'язно-піщаними і супіщаними ґрунтами на піщаних еолових відкладах
-  березово-осикові болота в плоских тальвегах балок з опідзоленими намитими суглинистими та глинистими ґрунтами на алювіальних відкладах
-  вирубки, порослі листяним лісом на дрібногорбистих рівнинах першої надзаплавної тераси з дерновими опідзоленими зв'язно-піщаними і супіщаними ґрунтами на піщаних еолових відкладах
-  дуб звичайний на крутих схилах балок і ярів з темно-сірими опідзоленими суглинистими та глинистими ґрунтами на пролювіальних та алювіально-делювіальних відкладах
-  акація в сучасних ярах і промоїнах з опідзоленими намитими суглинистими та глинистими ґрунтами на алювіальних відкладах
-  клен польовий на пологих схилах балок з темно-сірими опідзоленими суглинистими та глинистими ґрунтами на делювіальних відкладах
-  осика на крутих схилах балок і ярів із темно-сірими опідзоленими суглинистими та глинистими ґрунтами на лесових породах на делювіальних відкладах

Рис. 6.10. Ландшафтна характеристика типів фацій  
(відповідно до рис. 6.6 – фрагмент легенди)

## 6.7. Автоматизована база даних

База даних є пошуково-інформаційною системою, яка забезпечує зберігання, пошук потрібних даних, дозволяє їхню переробку певними програмами, візуалізацію за потреби, вибірку за визначеними наперед показниками чи визначеними в ході навчання (застосування штучного інтелекту) й інші подібні можливості. База даних мусить бути надійно захищеною як ззовні, так і відносно систем обробки (із середини), – щоб будь-які взаємодії з програмами-користувачами не завдали її інформації непоправної шкоди.

За своєю структурною організацією база даних являє собою віртуальну багатовимірну систему, у якій кожна характеристика координатою на певній фіксованій вісі віртуального простору, а сукупність таких координат (відповідно до числа параметрів, що фіксуються) визначає набір у вигляді вектора, що однозначно характеризує кожний елементарний виділ (у нашому варіанті – фацію), завдяки чому саме й можлива будь-яка з наведених вище дій – від пошуку до класифікації тощо.

У реальності ніхто не в змозі скористуватися такою гігантською таблицею, яка навіть для обмеженої території НПП містить великий об'єм інформації.

В Інтернеті є достатня інформація про призначення, структуру баз даних, у тому числі розрахована на школярів старших класів для курсу «Основи інформатики»<sup>47</sup>, тому немає потреби переказувати цей матеріал.

## 6.8. Реалізація геосистемного моніторингу

Суттєва зміна технічної забезпеченості та достовірності ландшафтних досліджень, яка відбулася протягом ХХІ ст., суттєво відбилася на здійсненні геосистемного моніторингу. У відкритих або напівзахищених джерелах інформації стала систематично подаватися величезна за обсягом темпорально-просторова цифрова інформація систематичних сканувань земних покривів у різних діапазонах відбиття й випромінювання, що дало можливість докорінно змінити методологію та способи реалізації моніторингу. Це радикально вплинуло на спосіб фіксування змін у довкіллі, у тому числі за відомими законодавчо-нормативними документами. Зокрема, у них не фігурує ландшафтна карта, спеціалізована база даних – а натепер це основні вихідні документи в підвалинах моніторингу. Ці матеріали потрібні для формування образу ландшафту – у візуальному та формалізованому виглядах.

Комплексний аналіз цифрових даних (у т. ч. геоданих) дає можливість обробки спектрональних знімків, користуючись аналоговими

---

<sup>47</sup> Ілюстративні приклади баз даних наведено в Інтернеті в лекціях з дисципліни «Інформатика», (11 кл.).

зображеннями (усім відомий метод візуального дешифрування). Але з часом виникає потреба в кращому способі ідентифікації (тут мова йде і про точність, і про об'єктивність, адже візуальне дешифрування завжди є суб'єктивним, і про об'єми даних). Величезна строкатість зображень, багатоваріантність результату через мультиспектральність – усе це стає можливим через машинне дешифрування. Дешифрування рослинних контурів ландшафтів стає можливим саме через поєднання інформації дешифрування обраних діапазонів спектрального зображення методом синтезування окремих зображень (попиксельно), що є в цифровому вигляді, через розпізнавання синтезованого зображення за оптичними властивостями та кероване дешифрування (розпізнавання) з виділенням оптичних образів певних ландшафтних виділів на еталонних ділянках.

Образ ландшафту складається з трьох дій і підсумовуючого акту: а) визначення контурів; б) створення картини закономірної їхньої мозаїки; в) третім, основним етапом і водночас прийомом, який надає можливості формалізувати процес – а без цього він втрачав би наукову доказовість, – є порівняння різночасових образів однієї ділянки поверхні, знятої, по можливості, у тих самих умовах (сезон, фенологічний стан рослинності, погода, час доби) для того, щоб зменшити той інформаційний шум, який створюється цими природними обставинами та процесами. Геосистема – утворення відкрите, деякі процеси хаотичні (як змінність метеоелементів і особливо розпізнавання через співставлення візуальних ознак); г) укладання на основі синтезу означеного, у поєднанні з попереднім досвідом, цілісної картини, певної «матриці розпізнавання» території.

Про методику виділення контурів на основі використання даних космічних знімків саме такого набору ми вже писали раніше<sup>48</sup>.

Створення картини закономірної їхньої мозаїки неможливе без додаткових знань, які отримуються з інших джерел (переважно картографічних, також вербальних). Цей процес значною мірою спирається на оверлейний аналіз геологічної, морфологічної, ґрунтової карт, бо саме вони передають інваріантну картину – вона і є ключем до розуміння цієї мозаїки, свого роду «кодом» цієї місцевості; він фіксується просторовою матрицею ознак.

Розпізнавання через співставлення візуальних ознак полягає в тому, що цей «код», базуючись у свідомості аналітика, додається до формальних

---

<sup>48</sup> Овчаренко А. Ю. Можливості ГІС-технологій у аспекті здійснення крупномасштабного ландшафтного картографування у польових практиках студентів-географів. *Збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії»*. 2019. Вип. 30. С. 70–80. Tretyakov O. S., Bodnia O. V., Balynska M. O., Ovcharenko A. Ju. [and other]. Features of interpretation of plant association of national natural park “Slobozhanskiy” using Landsat 8 satellite data. *Збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії»*. 2015. Вип. 21. С. 73–79.

ознак зображення, причому – важливо це усвідомити – аналітик підбирає комбінації оптичних каналів.

Першим етапом було виявлення натурних візуальних змін ландшафтів протягом декількох років. Оскільки в основу ландшафтознавчих досліджень покладено елементи традиційної методики ландшафтної зйомки, першочерговим є візуальний аналіз дослідниками території інтересу. Наприклад, під час рекогносцирування (рис. 6.11) визначались основні типи ландшафтів, що дають якісну характеристику окремих об'єктів. Саме на цьому етапі при моніторингових дослідженнях можна визначити, чи присутні зміни; надалі цей аспект може стати предметом подальшої науково-дослідницької роботи.



Рис. 6.11. Блок-схема алгоритму індикативного геосистемного моніторингу

*Пояснення.* Показана визначена поелементно вище система дій, які потрібно здійснити для забезпечення геосистемного моніторингу. Його індикаторами можуть бути зміна контурів водно-болотних угідь та стан рослинного (переважно деревного) покриву через зміну контурів (тут може бути як просто зміна контурів-кордонів, так і поява нових, більш дрібних або, навпаки, зникання деяких контурів).

## 6.9. Інноваційна комплексна (наземно-космічна) система для індикативного ландшафтного моніторингу

1. Як і традиційно, ландшафтна зйомка складається з трьох етапів: а) передпольового підготовчого, б) основного – польової зйомки і в) заключного камерального – обробки і остаточного редагування ландшафтної карти.

Проте в сучасних умовах слід, з нашого досвіду, відредагувати зміст цих етапів роботи наступним чином.

1. Передпольовий камеральний етап мусить включати в себе цифрування й оверлейний аналіз наявних тематичних карт. На відміну від традиції, коли не було змоги точно співставляти між собою різні за масштабом, інколи й проекцією, неузгодженими легендами окремі карти, через що процес мав допоміжний і орієнтовний характер, сучасні методи оверлейного аналізу дозволяють отримувати точні й співставні результати. Завдяки цьому результати оверлейного аналізу стають повноцінною складовою дослідження/розробки й інваріантною основою побудови ландшафтних карт.

Попередня карта-гіпотеза може мати більшу детальність, ніж дійсна ландшафтна структура, через строкатість і часову мінливість оптичних образів. Вона асимілює в собі як інваріантну структуру, так і особливості зміни обліку (габітусу) земної поверхні від мінливих чинників (режим освітлення, вологість, вітер тощо). Тому подальша мета обробки інформації ДЗЗ полягає у фільтруванні від дрібних і темпоральних особливостей оптичного образу території, чим додається його вагомість для відслідковування закономірних змін.

Первинною можливістю уточнення карти-гіпотези є ландшафтне профілювання. Одночасно воно є містком поміж попереднім камеральним та наступним польовим етапами досліджень території.

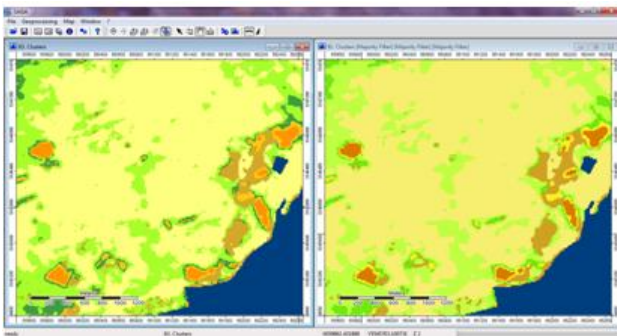
2. Радикальною відміною польового періоду від класичних засад (алгоритму Міллера) є можливість польової ландшафтної зйомки онлайн укупі з використанням матеріалів ДЗЗ, координатною роботою з GPS навігацією й обрисовуванням контурів у цифровому форматі й веденням комп'ютерної БД. Такого широкого спектра можливостей ані географія, ані геологія раніше не знали. Нами запропоновано й реалізовано (навіть в аспірантсько-студентських зйомочних загонах) використання малих комп'ютерних засобів (смартфонів, планшетів) у процесі комплексного виконання всіх перерахованих завдань, тобто суттєво технологізовано процес польової зйомки.

Камеральні роботи неможливі без попередніх польових ландшафтознавчих досліджень, і навпаки. Дослідження ландшафтної структури території відбувається різними способами й за певними методиками (алгоритмами). Наприклад, Г. Міллером був запропонований покроковий метод створення

ландшафтної карти, що базується на польових ландшафтних зніманнях. Цей алгоритм класичний і, хоч і розроблений ще до часів активного використання космічних зйомок, досі залишається основним. Сучасні технології дають можливість удосконалити, спростити і часто пришвидшити деякі етапи цього алгоритму. Це стає можливим через використання геоінформаційних технологій, даних ДЗЗ та – головне – оперативної інформації. Саме можливість отримання оперативної інформації через періодичність зйомки дає можливість працювати з різночасовими космічними знімками та виявляти зміни в ландшафтній структурі.

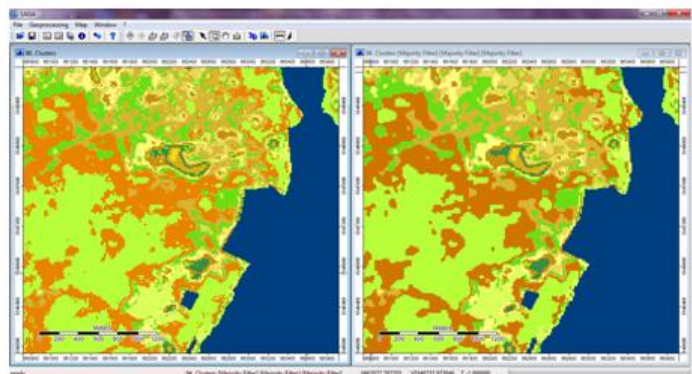
### 6.10. Деякі технічні обмеження

Зростання числа варіантів сканувальних систем ставить перед користувачами ДЗЗ відповідальне завдання – обрання того чи іншого варіанта космічного моніторингу відповідно до мети використання та арсеналу геоінформаційних методів, які доступні. Це питання лежить поза межами моніторингу безпосередньо. Воно значною мірою вивчалось у бакалавріаті в курсах з ГІС-технологій та дистанційного зондування Землі, тому тут обмежимося лише ілюстрацією, яка стосується порівнянь двох сканувальних систем, якими автори користуються (рис. 6.12).

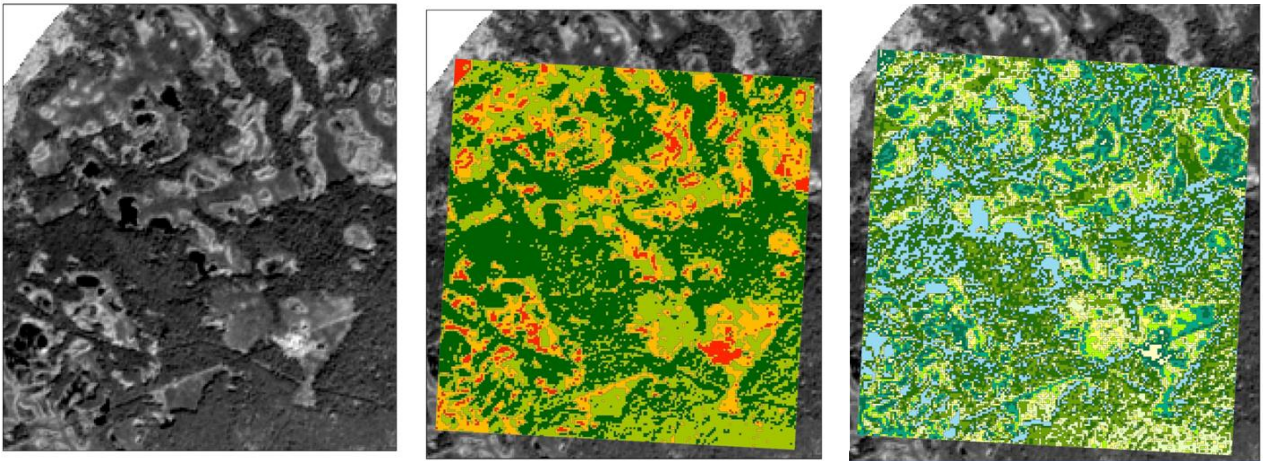


Тематичний растр за 8 класами

Тематичний растр за 12 класами



а) тематичний растр з виділенням 8 та 12 класів за знімком Landsat



б) тематичний растр з виділенням 8 та 12 класів за знімком Planet Scope

Рис. 6.12. Тематичні зображення,  
створені в процесі дешифрування космічних знімків:  
а – Landsat 8, б – Planet Scope<sup>49</sup>

Проведення класифікації в поєднанні з польовими дослідженнями визначило майбутні індикативні об'єкти для території інтересу. Зокрема, загалом основним індикатором зміни ландшафтів стали рослинні угруповання, а більш детальну ландшафтну структуру було отримано за допомогою високоточних космічних знімків, а отже, й визначило ще один вид об'єктів як індикаторів змін – контури водних об'єктів.

### 6.11. Алгоритм індикативного геосистемного (ландшафтного рівня) моніторингу<sup>50</sup>

За результатами вищевикладеного можна окреслити таку логічну послідовність дослідницьких дій та технічних заходів задля досягнення мети індикативного моніторингу наземно-космічними методами. Якщо синтезувати методичні підходи, що окремо описні вище, то алгоритм створення та функціонування моніторингу можна поділити на три частини:

А. Попередній етап. Укладання великомасштабної ландшафтною карти.

Б. Підготовчий етап. Виділення та формалізований опис ландшафтних індикаторів.

<sup>49</sup> Planet Scope – сканер високої роздільної здатності (раніше не згадувався через обмежену доступність матеріалів).

Залубовська О., Овчаренко А., Черваньов І. Ландшафтні дослідження: від парадигми через ГІС-технологію до моніторингу (на прикладі території НПП «Слобожанський»). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2023. Вип. 59. С. 110–124. DOI: 10.26565/2410-7360-2023-59-09.

<sup>50</sup> Факультативний параграф.

В. Основний етап. Відслідковування (моніторинг) індикаторів та ретроспективний аналіз змін їхнього стану.

Надалі подаємо ці етапи в логічній послідовності дій.

А. ПОПЕРЕДНІЙ ЕТАП включає наступну послідовність дій.

А.1. Апріорний огляд ландшафтної будови території за літературними джерелами, фондовими матеріалами парку та тематичними і ландшафтними картами. Цей крок завершується вибором маршруту рекогносцирування за сукупністю опрацьованих даних.

А.2. Планування маршруту, складання абрису, виявлення можливих тестових ділянок для більш детального опису.

А.3. Рекогносцирування території згідно із запланованим маршрутом.

А.4. Попереднє обстеження тестових ділянок (об'єктів), картування ландшафтних контурів та опис ділянок із використанням адаптованої методики ландшафтної зйомки (вже відомий нам алгоритм Міллера). Результат: описи тестових ділянок, за можливості абриси окремих територій.

А.5. Камеральний етап: використовуючи дані дистанційного зондування, визначаємо доцільну роздільну здатність, тип зйомки, а також інформативність каналів електромагнітних хвиль (у нашому дослідженні це було показано вище, нами було використано дані з трьох доступних супутників – Landsat-8, Sentinel-2 та Planet Scope та комбінації оптичних «вікон» зйомки, що дозволяють ідентифікувати контури ландшафтних виділів. Окрім вибору знімків, важливим є також вибір способів дешифрування для конкретних задач та типів знімків.

А.6. Укладання ландшафтної карти-гіпотези за результатами попереднього етапу шляхом навчання комп'ютерної програми розпізнаванню (дешифруванню) оптичних образів ландшафтних виділів та побудова шляхом оверлейних функцій дворівневої ієрархії ландшафтної структури території «фація-урочище» (у нашому випадку для виділення урочищ ми скористались раніше укладеною картою).

*Результатом етапу є карта-гіпотеза (фаціального рівня) та ієрархічна ландшафтна структура.*

Б. ПІДГОТОВЧИЙ ЕТАП. Для визначення індикаторів необхідно проаналізувати укладену ландшафтну карту та визначити перелік перспективних об'єктів-індикаторів шляхом порівняння різночасових знімків – образів ландшафтної структури території.

На цьому етапі необхідно виконати наступну послідовність дій.

Б1. порівняння космічних знімків з метою знайти дві важливі хаарктеристики: інваріант ландшафту – стійкі просторові відношення, що прослідковуються на всіх знімках; контури, об'єкти та фонове зображення, що помітно змінюються.

Б2. Всіма доступними способами (як візуальним, так і машинним) ідентифікуємо дані об'єкти та проводимо повторне рекогносцирування та польову зйомку, яка буде вже більш глибокою. Задачею такої зйомки буде відбраковка певних невдалих (з точки зору подальшого використання) виділів та виділення перспективних для подальшого моніторингу. У нашому випадку такими були дві категорії: а) ті, що змінюються за контурами (це перш за все водно-болотні угіддя) та б) ті, у яких спостерігаємо тренд змін фототону в обраних діапазонах сканування, адже це свідчить про тренд зміни рослинності.

Б3. Для цих контурів використовуємо всю доступну нам інформацію, оверлейний аналіз, додаткове польове знімання, аби переконатись у правильності вибору. Для кожного контуру укладаємо свого роду вектор ознак, що надалі буде слугувати ідентифікатором змін.

Результат даного етапу – виділи з ландшафтної карти тільки контурів і наповнення (текстура зображення, фототон) кожного типу контурів та векторних характеристик за оптичними показниками й іншими характеристиками, що можуть бути не візуалізованими, проте суттєвими.

В. ОСНОВНИЙ ЕТАП. Далі ландшафтну карту вже не використовуємо і працюємо тільки з картою індикаторів та векторами їхніх характеристик. Роботу на цьому етапі можна звести до такої послідовності дій.

В1. Проводимо способом перебору пошук схожих векторів опису, використовуючи цифровий запис ландшафтної карти та порівнюючи наявні по території описи (у нашому випадку – вектори) ландшафтних характеристик із нашими еталонами, що були встановлені на попередньому етапі. Таким чином ми ідентифікуємо так звані фаціальні об'єкти-індикатори.

В2. Змінюємо інформаційну базу – використовуємо інший знімок даної території, повторюємо ті самі дії.

В3. Ретроспективна імітація моніторингу. Шляхом порівняння векторів сукупності оптичних характеристик для одних і тих самих точок (у нашому випадку – контурів виділених фацій) і порівняння їх за формальними правилами. У результаті ті компоненти вектора, що найбільш зазнають змін, стають ознаками, які слід надалі моніторити.

КІНЦЕВИЙ РЕЗУЛЬТАТ: формалізована (у вигляді векторів ознак) характеристика індикаторів та прослідковування змін шляхом порівняння векторів. Надалі за змінами певних найбільш чутливих компонентів векторів ознак можна картографувати результати моніторингу, і тоді вже можна розпізнати місцеві та регіональні зміни (останні складуть тренд, а місцеві – відхилення від нього, тобто залишкову поверхню). Цей аналіз добре розписаний у роботах зі структурного аналізу фізичних полів, у т. ч. рельєфу в багатьох роботах І. Черваньова.

### Питання для самоперевірки та контролю знань

1. Пояснити блок-схему моніторингу довкілля.
2. У чому полягає експлікація території моніторингу?
- \*3. У чому сенс апріорного аналізу території?
- \*4. Які елементи території є інваріантними щодо моніторингових спостережень?
5. Які дані про ландшафти території є атрибутивними?
- \*\*6. На яких матеріалах і підставах укладається карта-гіпотеза?
- \*7. Чим різняться поміж собою карта-гіпотеза та підсумкова ландшафтна карта?
8. З яких видів роботи складається польова ландшафтна зйомка?
9. З яких міркувань обираються лінії ландшафтних трансектів?
- \*10. Як визначається мета рекогносцирування території? З яких окремих завдань вона складається?
- \*11. Як готується та здійснюється ландшафтне профілювання території?
- \*\*12. Як відбувається суцільна (площадна) ландшафтна зйомка ключових об'єктів?
13. Які матеріали отримуємо в результаті рекогносцирування?
- \*\*14. Складіть характеристику ландшафтного профілю, наведеного на рис. 6.8.
- \*\*15. З яких видів роботи складається площадна ландшафтна зйомка?
16. Що таке геодані?
- \*\*17. Поясніть рис. 6.9, користуючись таб. 6.1.
- \*\*18. Що таке оптичний образ ландшафту?
- \*\*19. Що таке ландшафтний образ території?
- \*20. Змістовно проаналізуйте рис. 6.12.
21. За якими групами атрибутивних ознак характеризуються ландшафтні виділи території?
22. Як формується електронна база даних і яке значення їй надається?
- \*\*23. Чому геосистемний (ландшафтний) моніторинг мусить бути індикативним?
- \*\*24. Дослідити й графічно відобразити алгоритм геосистемного моніторингу ландшафтного рівня організації території. Порівняти з моніторингом довкілля.

## Тема 7. Приклади успіхів і невдач керування об'єктами довкілля

Важко переконати в наведених абстракціях, не маючи переконливих прикладів їхнього конкретного прояву. Дещо, значною мірою з авторського досвіду, слід навести для переконливості теорії. Навіщо вам це знати? Маємо аж три мети:

- а) щоб ви не повторювали помилок;
- б) щоб повірили самі й переказали іншим фахівцям, що будь-який реальний моніторинг потребує *геосистемних знань*;
- в) щоб ви зрозуміли своє потенційне місце в системі геосистемного моніторингу – як стратега, мозкового центру організації чи експерта такої системи.

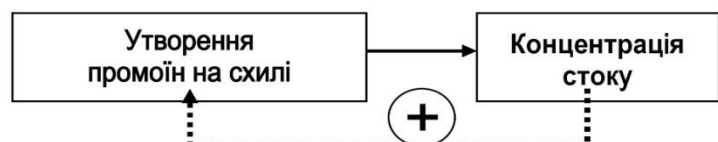
Жодна частина геосистеми не може існувати без інших функціональних частин (гірські породи, кора вивітрювання, ґрунти – субстрат, основа; рельєф – елемент просторового керування, матриця відтворення геосистеми; клімат та води – провідні елементи, що забезпечують мобільність; біота – домінуючий елемент розвитку, еволюції).

Довгі роки географи були зайняті пошуком усіх цих характеристик геосистем, намагаючись довести наявність високої цілісності, автономності та ін. навіть тоді, коли ці властивості не підтверджені. Правильніше показати такий рівень прояву цих властивостей, що існує насправді, доказово, особливо таких, яких немає в біосистемах, механічних планетних та зоряних системах і т. ін.

Нижче наведемо приклади організації деяких геосистем.

**Приклад 1. Турбулентні геосистеми.** Геосистеми організовані за принципом зворотного зв'язку. У тривало існуючих геосистемах цей зв'язок від'ємний, стабілізуючий, або стеження за відхиленням (від норми чи попереднього стану) (рис. 7.1). Системи такого роду дуже поширені в природі, а нам відомі з техніки (автопілот). Вони є й елементами більш складних систем, виступаючи в ролі їхніх регуляторів. Турбулентні геосистеми виникають спонтанно. Вони нестійкі (водні струмені, повітряні вихори та ін.), тому проявляються короткочасно й стохастично – як статистичні ансамблі станів, що відбуваються різноманітно в просторі й часі. Такою турбулентною системою є стан повітря (відомий нам як погода), моря (шторм, штиль та проміжні стани), злива, паводок. Турбулентним системам властивий позитивний зворотний зв'язок. Їхня саморегуляція – за автопідсиленням початкового руху від одного стану до іншого (рис. 7.1).

Рис. 7.1. Елементарний прояв позитивного зворотного зв'язку в турбулентній геосистемі



**Пояснення:** достатньо з'явитись на схилі промоїні від початкової концентрації води під час зливи (наприклад, на стежці), і далі цей процес самопідсилюється, бо з поглибленням промоїни площа водозбору зростає, збільшується величина потоку – і врешті утвориться яр.

У таких системах зручно та реально організувати керування.

1. Кожна з описаних систем переходить з одного стану в інший, тобто розвивається, автоматично, через зворотну дію певного елементу – керуючого «органу» (підсистеми).

2. Керування автоматично здійснюється за допомогою деякого впливу (матеріального чи, частіше, інформаційного):

а) **прямий** (речовинно-енергетичний) зв'язок (на схемі прямі темні лінії): позитивний, якщо зростання А зумовлює зростання В, його символ на схемі «+». Якщо А зумовлює зменшення В, то він *негативний*; символ негативного (стабілізуючого) зв'язку «-»;

б) **зворотний** зв'язок (сигнально-інформаційний) від В до А (показаний пунктиром). Ним регулюються процеси: *стабілізація* (символ «-»); *автопідсилення* (символ «+»).

**Приклад 2.** Використання саморегуляцій у складній геосистемі. З цих елементарних регуляцій як з пазлів створюється будь-яка складна система саморегуляції в геосистемі. Наведемо приклади.

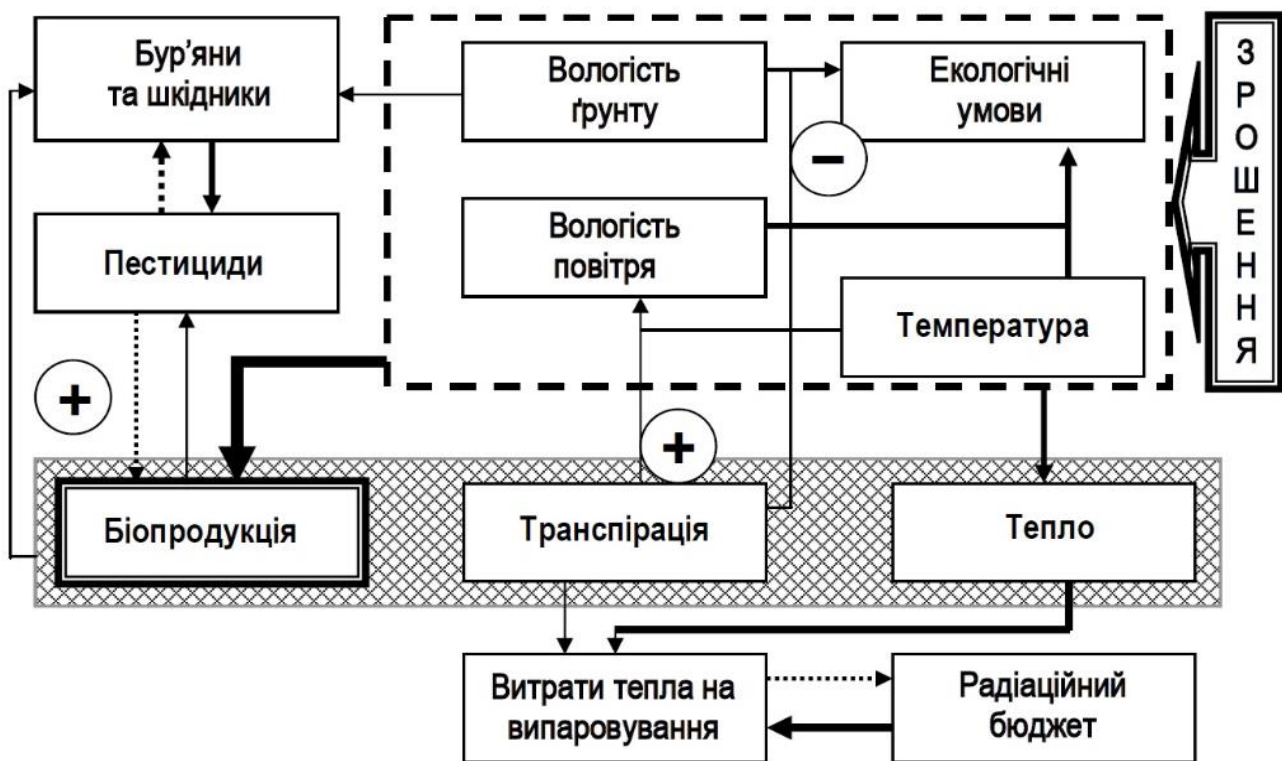


Рис. 7.2. Приклад саморегуляції в складній агросистемі: інтенсивність процесів трансформації та міграції пестицидів в умовах зрошення

*Пояснення до рисунка.* Кінцевою метою всієї агросистеми є біопродукція. Біопродукція (за кількістю та якістю) залежить від екологічних умов, які визначаються термодинамічною обстановкою поля (температурою і співвідношенням тепла та вологи в повітрі та ґрунті (блок екологічних умов обведений на схемі товстим пунктиром). Від екологічних умов залежить біопродукція та її якість, але водночас цьому заважають шкідники та бур'яни. Тому застосовують пестициди.

Внесення пестицидів має наслідком зворотний вплив на розвиток шкідників і бур'янів, бо одночасно зменшує і сумарну біопродуктивність екосистеми (це мінус). За допомогою зрошення покращують екологічний стан, домагаючись підвищення біопродуктивності (це плюс). Але це активізує всі перелічені і навіть викликає інші процеси, показані на схемі (мають різний знак). Пунктирами показано зворотні зв'язки – додатні (+) і від'ємні (–).

**Приклад 3.** Саморегулювання в умовах зрошення. Зрошення найчастіше розглядають лише як полив, тобто зволоження ґрунту з метою зміни його водного балансу, що начебто є суто позитивним впливом.

Проте сумна статистика: у Середній Азії (тодішня територія переважно Узбецької РСР) щорічно виводили з користування до 10 тис. га зрошуваних земель і стільки ж знаходили нових (благо, пустелі поряд). А що значить окультурити 10 тис. га зрошуваних земель? Це рекультивувати, побудувати зрошувальні системи, підвести воду – машини, люди і т. п. Коштувало це щорічно 10 млрд руб./дол. бюджету країни. Один з авторів (І. Черваньов) був експертом і бачив підготовлені чеки (пласкі ділянки з бордюрами під заливання водою) для вирощування бавовни прямо на краю піщаної пустелі!

Проте деякими науковцями-меліораторами, також географами давно ведуться дослідження з гідрометеорологічного обґрунтування зрошуваного землеробства. Принципова відміна цього напряму полягає в тому, що спрямовуються зусилля не на насичення ґрунту водою, а на покращення екологічного стану приземного шару повітря застосуванням дощування і особливо – аерозольного (дуже дрібними крапельками) зрошення (замість поливу по чеках або борознах). Це не зовсім підходить для рису – він повинен стояти у воді, – проте придатне для інших культур. Така заміна поливу на зрошення – це шлях більш тонкого, ніж традиційний інженерно-меліоративний варіант, впливу на ландшафт сільськогосподарських полів через механізми саморегулювання, що можна зрозуміти. Ми на початку курсу згадували світлу пам'ять професора нашої кафедри Георгія Петровича Дубинського, науковій школі якого вдалося розробити й експериментально обґрунтувати такий прогресивний підхід: *беремо обмаль води – розпилюємо на крапельки – вода випаровується, частково не досявши поверхні ґрунту – температура повітря знижується, вологість зростає – рослини почуватимуться комфортніше – значний об'єм води заощаджується – ґрунт не*

засолюється – дренажна вода (основний забруднювач водойм) не застосовується – землі набувають оптимального стану.

Отже, з геосистемних міркувань необхідно змінити мету водної меліорації: не максимально зволожити ґрунт, а оптимізувати стан геосистеми приземного середовища «повітря-рослина-ґрунт», і тоді «і вовки (рослини) ситі, і вівці (ґрунт+вода) цілі». У цьому викладі ми оминули цілий ряд побічних ефектів (зокрема енергетичний), щоб запобігти надмірно розлогому поясненню. Приклад складної системи, саморегулювання випаровування,

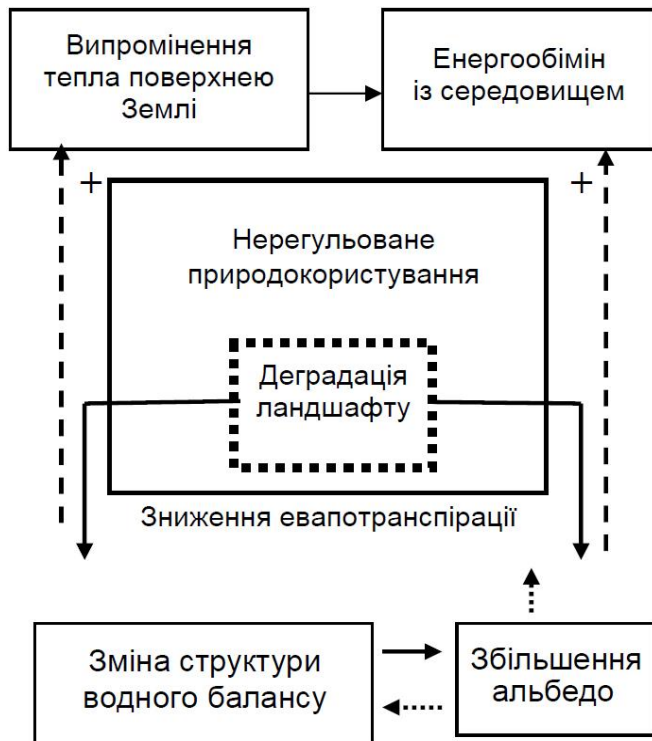


Рис.7.3. Комплексна зміна стану геосистеми внаслідок нерегульованого (хижацького) природокористування

ландшафту (пустелі). Ми розробляли цю модель для Аральського моря (якого натепер, на жаль, вже немає). Проте це можуть бути Балхаш, Чад, Мертве море, ізольований лиман на узбережжі Чорного моря.

Яким є водний баланс безстічного озера? (За майбутній об'єкт варто взяти один з відчленованих лиманів Причорномор'я.) Він досить простий: притік води мусить врівноважуватись (бо озеро безстічне) випаровуванням та втратою води на інфільтрацію (наприклад, у піщаній пустелі ця втрата суттєва; проте з часом після насичення водою піску чи іншого субстрату встановлюється рівновага: вода мігрує і в піщану товщу, і може повертатись до озера – усе залежить від рівня води в цій водоймі (рис. 7.4).

що стабілізується, наведено на рис. 7.3. Коротко (за аналогією з попереднім) це розмірується так: випаровування відбувається – середня температура знижується (–) – зростає вологість (+) – збільшується конденсація (+) – знову зростає випаровування (+) – температура спадає (–) і т. д. по другому, третьому і т. д. колу. На схемі це показано більш складно (рис. 7.3).

**Приклад 4.** *Порушення саморегулювання безстічного озера.* Функцію саморегулювання виконує, як правило, один з активних (у даній геосистемі) компонентів. Завдання геосистемного моніторингу – його визначити.

Розглянемо приклад безстічного озера в умовах аридного

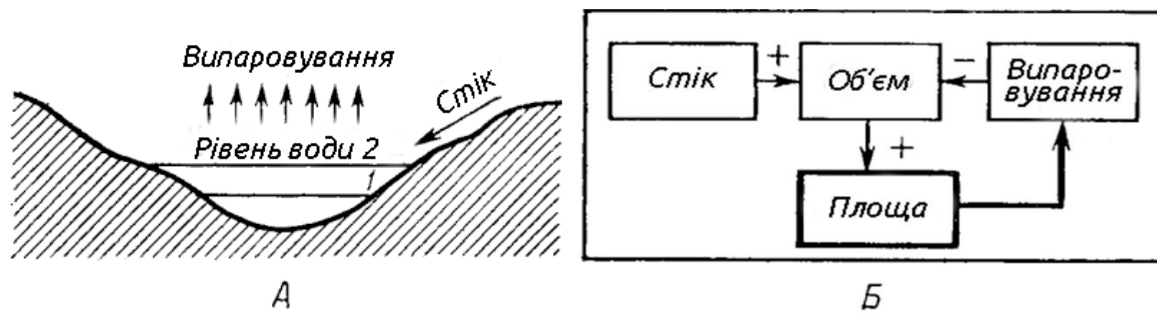


Рис. 7.4. Динамічна рівновага на основі негативного зворотного зв'язку<sup>51</sup>  
 А – безстічне озеро, рівень води в якому визначається рівністю стоку і випаровування; 1, 2 – рівні води (див. текст); Б – модель системи «безстічне озеро»; виділено керуючий елемент і контур управління

А від чого залежить випаровування? По-перше, від стану повітря (але він примхливо змінюється, і ми могли би оцінити його лише статистично, сказавши, що через сухість повітря воно є необмеженим резервуаром, який лише частково (через опади) повертає воду до озера); по-друге – і це тут найважливіше – випаровування залежить від площі дзеркала озера. Отже, водний баланс водойми виглядає так:

$$V = W - E, \quad (1)$$

де  $V$  – об'єм води озера,  $W$  – притік з водозбору,  $E$  – випаровування.

До притоку ми зарахували й опади на поверхню озера (на водозбір вони потрапляють і надходять у озеро в якості притоку теж); проте в умовах аридного клімату цей показник нижчий за похибки оцінки притоку й випаровування, і ним можна (тут) нехтувати. Випаровування є добутком випаровуваності на площу:

$$E = A * S, \quad (2)$$

де  $A$  – випаровуваність,  $S$  – площа дзеркала.

Далі. Уявімо собі, що три або п'ять років підряд (чи довше – значення не має) були посушливі, приток зменшився, і що буде з балансом? Вірно: зміна буде від'ємною, це ситуація 1, згідно з тим, що  $W_1 < W$  (тут і далі індекси 1, 2 означають відповідні ситуації) бо  $V_1 < V$ . Величина  $E$  зміниться чи ні? Не зміниться, доки не спаде рівень озера, бо від нього залежить площа (у більшості рівнинних озер, у т. ч. перелічених, вертикальний перетин озера нагадує блюдце. В іншому випадку все буде інакше). Через брак води рівень впаде, і площа дзеркала теж. Врешті рівень встановиться на позначці 1, що нижча від початкової. Зрозуміло, що площа дзеркала випаровування змен-

<sup>51</sup> Геренчук К. І. та ін. Загальне землезнавство: навч. Посіб. для географ. спец. ун-тів. Геренчук К. І., Боков В. О., Черваньов, 1984.

шилась. Зменшення площі призводить до зменшення випаровування. З рівняння (2) витікає, що випаровування зменшиться:  $W_1 < W$ . І що далі? Рівновага встановиться на іншому рівні, де всі величини менші за вихідні.

Самостійно розгляньте варіант 2, якщо приток води зріс.

З цих сценаріїв 2 висновки:

а) саморегулювання завжди відновиться, але на рівні, який відповідає балансовому рівнянню (за зменшення притоку як (1), за його зростання – як (2));

б) регулятором рівноваги балансу системи є площа дзеркала  $S$ .

Неврахування цього «хрестоматійного» для нас способу саморегулювання коштувало економіці СРСР щорічно протягом півтора десятків років приблизно 10 млрд руб. на рік у доларовому еквіваленті.

**Приклад 5.** *Порушення саморегулювання проточного озера.* Наводимо більш складний реальний приклад помилкового судження на цю ж властивість саморегулювання, неправильна оцінка якої коштувала економіці СРСР десятків (може, й сотень – це лише моя оцінка) мільярдів доларів. Стосується озера Севану в повоєнні роки середини ХХ ст.

Після другої світової війни в Закавказзі відчувся дефіцит електроенергії, і у свідомості інженерів майнула думка про Севан як потенційне джерело дешевої енергії. Була епоха початку масового будівництва ГЕС у СРСР. А тут озеро площею 2 000 км<sup>2</sup>, ще й на висоті біля 2 км над рівнем моря – себто величезний обсяг потенційної енергії. Інженер, обчисливши об'єм води (перемноживши середню глибину на площу), отримає об'єм води, а перемноживши його на висоту, визначить гігантську величину потенційної енергії, яку можна перетворити на кінетичну електричного струму, обертаючи цією водою турбіни ГЕС. Але де їх встановити? У Севан впадає декілька десятків гірських річок, але витікає лише одна – Раздан (тоді називалась Занга). Звісно, на ній і будувати! Спроекували не одну, а цілих 7 ГЕС – Севано-Зангінський каскад, одна з перлин перших післявоєнних п'ятирічок. Щоб збільшити водність потоку Занги, поглибили її виток з озера, підірвавши бар'єр, що його регулював. Виробництво енергії зросло, і Закавказзя дійсно від цього виграло. Проте Севан став міліти. Хоча озеро глибоководне, проте зниження рівня викликало серйозні перебудови прибережного господарства – адже берегова лінія відсунулась від об'єктів (як це давно було відомо щодо ефекту обмілінь Каспію – десятки мільярдів витрат на рік). Який би ви запропонували вихід?

Їх декілька:

а) зменшити видаток води з озера, пожертвувавши виробництвом енергії (але ж 7 ГЕС – це не копійки!);

б) зменшити випаровування. Проте як? Зменшити площу озера в декілька разів;

в) збільшити приток води, змінивши на «+» баланс (див. попередній приклад).

Перше відкинули (хоча каскад і так потерпав – на нижні ГЕС води не вистачало, бо є й інші споживачі води). Вирішили йти шляхом «б». Як зменшити випаровування? З попереднього прикладу зрозуміло: зменшити площу дзеркала. Задля цього знизити рівень так, щоб баланс встановився на новому нижчому рівні. Коли точилася ця розмова з фахівцями, вже знизили рівень на 14 м, але марно: через крутість берегів і стрімкість дна в береговій зоні ефект виявився незначним. До того ж на деяких відмілинах у дельтах річок, що звільнилися від води, буйно розвинулась болотна рослинність, яка випаровує більше за відкрите плесо. Випаровування в береговій зоні зросло, звівши нанівець ефект від навіть незначного зменшення дзеркала. Отже, варіант «б» провалився. Була навіть інженерна думка штучно зменшити випаровуваність з поверхні двома способами: вкривши озеро плівкою рідини чи якимось інакше. Але тоді озеро стало би велетенською калюжею, яка би тхнула сірководнем через анаеробний процес, що розвинувся би без газообміну з атмосферою.

На радість вірмен, десь у середині 60-х рр. до Вірменії прибув М. Хрущов. Місцеві зуміли налякати високого гостя, і він погодився на варіант «в». Знайшли кошти, щоб пробити 64-кілометровий тунель від сусідньої річки Арпа. І запустили її в Севан, відновивши його водний баланс. Але якою ціною?

**Приклад 6.** *Сприяння опустелюванню через природний механізм саморегулювання. Як починається опустелювання? Як лишай на живому тілі.* І. Черваньов мав досвід співпраці з представниками країн Африки із зони Сахелю (південної окраїни Сахари), які раніше були аспірантами. Усі, хто займається проблемами опустелювання, вважають, що пустеля насувається фронтально, своїм краєм на більш сприятливу землю напівпустелі. Але ось парадокс, який виявили аспіранти-тубільці: опустелювання зростає не від Сахари, а практично у зворотному напрямі. Причому процес плине з *найкращих, найсприятливіших місцин*: від оазисів, колодязів, процвітаючих поселень – чим багатші, тим інтенсивніше. Але як? Тут система *позитивного зворотного зв'язку* (знову-таки *турбулентна система*). Варто в умовах високої аридності знищити хоча б частково рослинність (витоптуванням худобою чи людьми, збиранням хмизу на паливо), меліорацією – і опустелювання розпочинає наступ: від оазису, окремого колодязя, багатого на худобу людного поселення. Відбувається ланцюжок змін з позитивним зворотним зв'язком. Початок: сприятлива для населення напівпустеля. Велика кількість худоби, зростаюча потреба в деревині для палива. Далі: *рослинність пригнічується, розріджується – а саме вона добуває воду з глибини піску і транспірує її – зменшується випаровування вологи – втрачається саморегулю-*

вання мікроклімату – погіршуються екологічні умови – подальше висушування приземного шару повітря – подальше пригнічення рослинності – піщана арена. Фінал: несприятлива для життя пустеля. Бачив таке неодноразово в Каракумах і Кизилкумах (тепер це Центральна Азія).

Що тут є регулятором? Рослинний покрив. За чим слід спостерігати? Саме за ним. Які мусять бути заходи захисту довкілля? Регулювання навантаження. Знаходили поховані в піску дерева та міста, цілі оазиси з переконливими артефактами минулого добробуту.

За такою ж схемою відбувається деградація будь-чого в турбулентній системі: розвивається пожежа в лісі чи іншому місці; прискорена ерозія; катастрофічно зменшується біорізноманіття тощо. Схема такого процесу виглядає так, як на рис. 7.1.

**Приклад 7.** Стимулювання опадів через штучну конвекцію (створення турбулентної геосистеми). З курсу «Загальне землезнавство» відомо, що племена Центральної Африки викликають випадіння опадів у вигляді злив за допомогою штучних пожеж. Як цей парадокс пояснити?

У ясну суху безхмарну погоду (у савані це нормально), люди оточують великий масив сухої савани і чекають, коли стовп нагрітого повітря здійметься до рівня конденсації. Як усе гарно вгадано: піде злива, пожежа згасне, а дощ вкриє значно більшу площу. Схоже явище буває під час катастрофічних пожеж та вивержень вулканів (але якщо початкові умови як у цьому прикладі).

**Завдання.** Скласти модель уявлення про те, яким чином викликаються опади за допомогою потужної пожежі.

Відповісти на питання:

1. Чим регулюється цей процес?
2. У якому разі він буде стійким, тобто опади будуть продовжуватись довго? (Підказка: цей складний приклад вимагає врахування впливу конденсації водяної пари над джерелом конвективного підйому повітряного стовпа.)

**Пояснення:** цей процес регулюється станом повітряного стовпа в зоні пожежі. Чим вищою є температура повітря у вогнищі пожежі, тим більшою стає його нестійкість, і, відповідно, імпульс руху нагрітого повітря вгору зростає.

Процес не стане стійким ніколи, бо він регулюється додатним зворотним зв'язком. Він набуде квазістійкого характеру, якщо вертикальний повітряний стовп досягне рівня конденсації. При конденсації вологи в краплі води розпочинається злива, а тепло конденсації додатково підігріває – вже згори – повітряний стовп, сприяючи «тязі». Такий стан буде зберігатися доти, поки буде достатньо атмосферної вологи, що мусить віддавати тепло повітряному стовпу. А звідки вона береться? Від прискореного випаровування під час стрімкого руху урагану вздовж земної поверхні (найчастіше океану).

Отже, що є регулятором у цій турбулентній системі? *Випаровування*. Ще в давнину китобої навчилися вгамовувати більш локальну систему такого ж типу – торнадо. Вони виливали за борт китовий жир – результат тяжкої праці, – щоб залишитись живими й на незневіченому судні. Жир розтікався водою тонесеньким шаром, радикально гальмуючи випаровування, і торнадо руйнувався.

**Приклад 8.** *Руйнування механізму самозбереження ландшафту в умовах вічної мерзлоти.* В одній із недавніх робіт розглядався вплив вологості ґрунту, що регулює тепловий баланс, в умовах екстремальних територій Крайньої Півночі Євразійського континенту. Запитаємо себе: чому ліс росте на багаторічній мерзлоті, але гине, якщо мерзлота деградує, хоча із загальних міркувань нам здається, що мерзлота – негативний фактор середовища? Чи є мерзлота тільки реліктом, чи її наявність пов'язана з регулюючою роллю деяких геосистем?

Дослідження показали, що багаторічна мерзлота зберігається й існує (а може бути – і виникає) як природна реакція геосистеми на дефіцит тепла. Причому регулюючу роль надають живі організми, насамперед лісова рослинність. Для того, щоб тепло сконцентрувалося у верхньому найбільш важливому для рослин кореневому шарі ґрунту, який не є мерзлим цілорічно, а не пішло на глибину і не втратилося через розсіювання, системі необхідно його тут локалізувати, обмеживши його рух униз. Цю функцію здійснює відносно сухий шар ґрунту (бо він мало теплопровідний), що утворюється в її нижніх горизонтах за рахунок того, що дерева саме з нього висмоктують вологу. Ось така розумна система. Знищення лісу – далі руйнування мерзлоти – далі болото – такий ланцюг негативних змін буває побічним наслідком політично виправданих перетворень середини 60-х рр. ХХ ст., здійснених навіть з благородною метою успішного освоєння цілих земель (наприклад, на території сухостепової частини заповідника «Асканія-Нова», з благородною метою (рис. 7.5).

Схожий приклад з протилежною роллю рослинності – для сухого степу. Зазвичай сухий степ вкритий багаторічними залишками рослин – степовим войлоком, або повстю. Він ізолює шар коренеперебування трав'яних рослин степу, який влітку ще висушується через висмоктування вологи корінням. Отже, степова повсть і сухий ґрунт виконують роль екрана, зменшуючи теплообмін між ґрунтом і повітрям. Кількість вологи, що висмоктується корінням на транспірацію її листям, тим більша, чим сушіше і гарячіше повітря. Два ці шари разом узяті ізолюють від поверхні шар вологовбирання, де знаходяться основні запаси ґрунтової вологи. Вона надходить знизу у формі водяної пари (на її утворення витрачається тепло, отже, це знижує температуру). Це покращує екологічні умови коренеіснування. Над поверхнею ґрунту рослини покращують екологічні умови за рахунок

транспірації вологи, на випаровування якої витрачається сонячне тепло. Таким чином, геосистема протистоїть екстремальній температурі, яка б встановилася за відсутності такого саморегулювання.

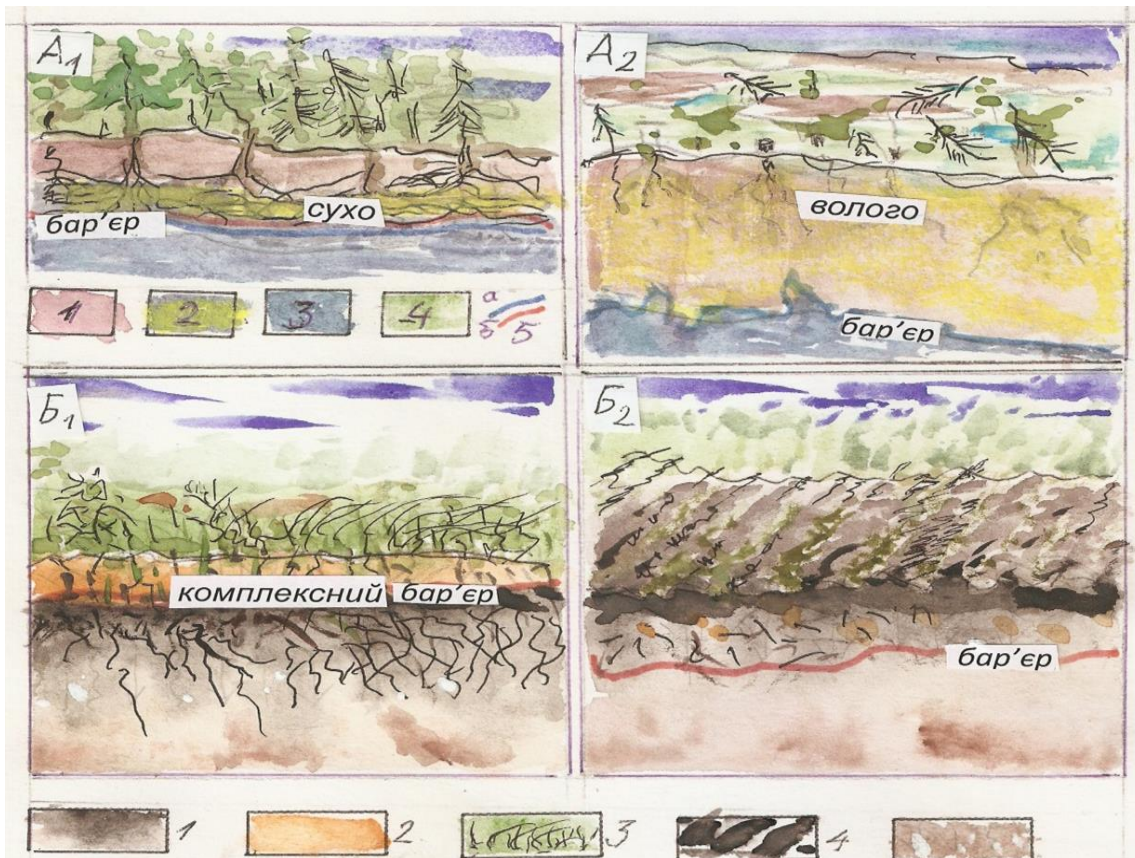


Рис. 7.5. Термічні ефекти в геосистемах  
(авторська ілюстрація І. Черваньова)

$A_1, A_2$  – геосистема тайги на багаторічній мерзлоті. Умовні позначення:  
1 – верхня (сезонна) частина діяльного шару; 2 – нижня його частина;  
3 – «вічний» шар багаторічної мерзлоти; 4 – рослинний покрив тайги.

$B_1, B_2$  – геосистема сухого степу. Умовні позначення: 1 – ґрунт; 2 – степова повсть; 3 – рослинний покрив; 4 – рілля; 5 – ілювіальний горизонт ґрунту

Узимку, коли коріння рослин відмирають або «засинають», шар коренеіснування втрачає ізолюючу роль. Натомість спрацьовує термодинамічний механізм: у міру промерзання ґрунту теплота фазового переходу «закривається» згори степовою повстю, тому промерзання не стає глибоким. Якщо випадає сніг, він посилює цей ізолюючий ефект: рослини та тварини в ґрунті знаходяться в кращих умовах зовнішнього середовища, ніж на поверхні.

Сухий ґрунт гірше проводить тепло, ніж вологий. Тому сухий шар ґрунту, що втратив вологу завдяки рослинам, – це той утеплювач, який ізолює тепло, що надходить взимку знизу, у межах самого ґрунту. Завдяки цьому все тепло, одержуване ґрунтом знизу, залишається в кореневому шарі, тому доступніше рослинам.

Терморегулятором у цьому випадку є шар сухого ґрунту, який створюється рослинністю. Якщо що-небудь скоїти – спалити той войлок, зорати чи ще щось, – така регуляція втратиться і екологічні умови погіршаться.

### Питання для самоперевірки та контролю знань

1. З якою метою варто вивчати історичні приклади природокористувань? Адже натеper його умови докорінно змінилися.

2. Пояснити новий для моніторингу природокористування термін «турбулентна геосистема». Продумайте та назвіть основні позитиви й негативи їхнього прояву та ролі в системі геосистемного моніторингу.

3. Зробіть самостійний аналіз рис. 7.1. Залишаючи структуру схеми незмінною, знайдіть інший приклад, ніж наведений у тексті, турбулентності геосистемного процесу.

Відповідно зробіть її аналіз, користуючись наведеним прикладом як матрицею.

4. Проаналізуйте рис. 7.2. Подумайте, чи діє така саморегуляція за відсутності зрошення?

5. Дослідивши приклад 3, поясніть, чим відрізняється стратегія поливу від сучасного бачення зрошення? Яке це має значення для моніторингу зрошуваних земель?

6. Як пояснити наявність в аридних регіонах покинутих оазисів та оброблюваних земель?

7. Як би позитивно вплинув геосистемний моніторинг на збереження об'єктів, названих у попередньому питанні?

8. Розгляньте схему саморегулювання безстічного озера. Назвіть відомі вам схожі об'єкти тієї ж природи. Що слід моніторити щодо їхнього стану та тенденцій?

\*9. Відомо зі ЗМІ, що рівень Каспійського моря почав зніматися. До цього три десятиліття спостерігався процес обміління. Що можемо сказати: чи ефективно застосовувати інженерні заходи (напр., віддамбування північної частини для збереження судноплавства), чи процес саморегулювання інженерними заходами не зупинити?

\*10. Розгляньте сценарії подій, наведені в прикладі 4, і модифікуйте їх по відношенню до іншої водойми, напр., водосховища (на основі прикладу 5).

11. Наведіть приклади саморегулювань проточних водойм на території України. Що змінилось радикально руйнуванням гребель у ході воєнних дій і чим завершиться саморегулювання залишкової частини Каховського водосховища та, можливо, інших подібних об'єктів? Скористуйтеся наведеними наприкінці прикладу 5 можливостями.

\*12. Вивчаючи приклад 6, поясніть для себе парадокс: чому опустелювання розпочинається з найкращих земель (це вперше пояснено африканськими аспірантами кафедри). Як можна було б запобігти вкрай руйнівному процесові засобами керування природокористуванням?

\*13. Чи є процес опустелювання проявом турбулентності? Обґрунтуйте своє судження.

14. Наведіть приклади природної та штучної конвекції. Як штучна (довільна чи створена) конвекція впливає на геосистемні процеси: розподіл температури, погоду тощо?

15. Складіть модель уявлення про те, яким чином викликаються опади за допомогою потужної пожежі. Поясніть цей актуальний парадокс (з огляду на повторюваність лиха в різних регіонах світу).

16. Складіть на основі рисунку і пояснення руйнування вічної мерзлоти блок-схему процесу, вказавши позитивні й негативні зворотні зв'язки.

17. Те ж саме розробіть стосовно саморегулювання стану ґрунту в сухому степу.

**Електронний супровід  
(запис лекцій професора Ігоря Черваньова)**

**Організація геосистем в аспекті моніторингу:**

[https://www.youtube.com/watch?v=YKtHJj7\\_L-w&list=PLi8Q6Skq6AN-tFtUVbaOXT4MBOCXlvcV1](https://www.youtube.com/watch?v=YKtHJj7_L-w&list=PLi8Q6Skq6AN-tFtUVbaOXT4MBOCXlvcV1)

**Географічний простір:**

<https://www.youtube.com/watch?v=pS01TsKmWbM&list=PLi8Q6Skq6AN-tFtUVbaOXT4MBOCXlvcV1&index=2>

<https://www.youtube.com/watch?v=cOfY5RNgwHA>

**Геосистемний час:**

<https://www.youtube.com/watch?v=2qIfWCn-pTk&list=PLi8Q6Skq6AN-tFtUVbaOXT4MBOCXlvcV1&index=3>

## Література

Андрієнко Т. Л. Програма Літопису природи для заповідників та національних природних парків / Т. Л. Андрієнко, С. Ю. Попович, О. І. Прядко та ін. Київ, 2002. 102 с.).

Бодня О. В., Овчаренко А. Ю., Черваньов І. Г. Геоекологічний аналіз короткочасних трендів зміни структури території НПП «Слобожанський» за даними космічної зйомки Planet Score. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2017. Вип. 47. С. 176–181. DOI: 10.26565/2410-7360-2017-47-23.

Бодня О. В., Овчаренко А. Ю. Індикативний ландшафтний моніторинг національних природних парків (на прикладі території НПП «Слобожанський»). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2018. Вип. 49. С. 192–207.

Вебер Макс. Протестантська етика і дух капіталізму / переклад з нім. О. Погорілого. Київ: Основи, 1994. 261 с.

Гродзинський М. Д. Ландшафтна географія: стара назва нової науки чи відродження майже забутого? *Український географічний журнал*. 2017. № 2. С. 59–64.

Закон України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо державної системи моніторингу довкілля, інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та інформаційного забезпечення управління у сфері довкілля» № 2973-IX від 20.03.2023. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2023. № 63. 208 ст.

Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» № 1264-XII від 25.06.1991 (у редакції від 10.10.2024). *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*. 1991. № 41. 546 ст.

Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» № 2059-VIII від 23.05.2017. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*. 2017. № 29. 315 ст.

Закон України «Про стратегічну екологічну оцінку» № 2354-VIII, від 20.03.2018. Відомості Верховної Ради (ВВР). 2018. № 16. 138 ст.

Закон України «Про екологічний аудит» від 24 червня 2004 року № 1862-IV. *Відомості Верховної Ради України*. 2004. № 45. 500 ст.

Залюбовська О., Овчаренко А., Черваньов І. Ландшафтні дослідження: від парадигми через ГІС-технологію до моніторингу (на прикладі території НПП «Слобожанський»). *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Геологія. Географія. Екологія»*. 2023. Вип. 59. С. 110–124. DOI: 10.26565/2410-7360-2023-59-09.

Клименко М. О. Моніторинг довкілля : підручник для студентів ВНЗ / М. О. Клименко, А. М. Прищепка, Н. М. Вознюк. Київ: «Академія», 2006. 359 с.

Кукурудза С. Л., Гумницька Н. О., Нижник М. С. Моніторинг природних комплексів. Львів, 1995. 35 с.

Ломницька Я. Ф. Склад та хімічний контроль об'єктів довкілля. Львів: Новий Світ–2000. 2011. 588 с.

Лущик А. В. Моніторинг екзогенних геологічних процесів як складова моніторингу довкілля в Україні / А. В. Лущик та ін. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2002. № 1. С. 73.

Мельник Л. Г. Екологічна економіка : підручник. Суми : Університетська книга, 2003. 345 с.

Міллер Г. П. Польове ландшафтне знімання гірських територій. Київ, 1996. 162 с.

Моделювання і прогнозування стану довкілля / За ред. В. І. Лаврика. Київ : Академія. 2010. 397 с.

Моніторинг довкілля / за ред. В. Боголюбова. Херсон: [б. в.]. 2012. 528 с.

Овчаренко А. Ю. Можливості ГІС-технологій у аспекті здійснення крупномасштабного ландшафтного картографування у польових практиках студентів-географів. *Збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії»*. 2019. Вип. 30. С. 70–80.

Панас Р. М. Основи моніторингу та прогнозування використання земель. Львів : Новий Світ–2000. 2007. 222 с.

Петлін В. М. Ландшафтно-екологічна експертиза. Львів : Вид-во ЛНУ ім. І. Франка. 2005. 236 с.

Позаченюк К. А. Основи геоекологічної експертизи. Одеса : Астропринт. 1998. 350 с.

Полетаєва Л., Сафранов Т. Моніторинг навколишнього природного середовища : навч. посіб. Київ: КНТ, 2007. 172 с.

Постанова Кабінету Міністрів «Про деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем» від 13 червня 2024 року № 684. *Урядовий кур'єр від 19.06.2024*. № 124.

Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» від 30 березня 1998 року № 39. *Урядовий кур'єр від 19.06.2024*. № 124.

Постанова Кабінету Міністрів «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу біологічного та ландшафтного різноманіття» від 17 січня 2025 року № 45. *Урядовий кур'єр від 22.01.2025*. № 17.

Пріпутніков О. А. Ресурсний підхід як методологічне підґрунтя формування моделі інвайронментальної економіки / О. А. Пріпутніков // *Держава та регіони*. № 1 (64). 2012. С. 77–81.

Руденко Л. Г. Нові завдання географії на шляху до інформаційного суспільства. *Нові географічні знання й напрямки досліджень*. Київ : ІГ НАН України, МААН. 2006. С. 33–43.

Руденко Л. Г., Олещенко В. І., Черваньов І. Г. Географічна наука на рубежі століть. *Україна та глобальні процеси: географічний вимір*. Матер. ІХ з'їзду УГТ. Київ–Луцьк : Вежа, 2000.

Черваньов І. Г., Залюбовська О. В., Овчаренко А. Ю. Обґрунтування вибору індикативних об'єктів для ландшафтного моніторингу природоохоронної території та дослідження їх за даними дистанційного зондування й польового знімання. *Український географічний журнал*. 2019. Вип. 1 (105). С. 15–23. DOI: 10.15407/ugz2019.01.015.

Черваньов І. Г., Грищенко Н. В. Інвайронментальна економіка: методологія, підходи та конструктивні напрямки. *Соціальна економіка*. 2012. № 4. С. 169–179.

Черваньов І. Г., Карасьов О. О. Нематеріальне природокористування. *Людина і довкілля: проблеми екології та неоекології*. Харків : ХНУ. 2013. Вип. 3.

Aldrich II. Organizations and environments. Englewood Cliffs, N. J.: Prentice Hall, 1979.

Costanza R. An Introduction to Ecological Economics. J.Cumberland, H.Daly: St. Lucie Press. 1997. 288 p.

Crickler T. D. A short story of environmental and resource economics. *Handbook of environmental and resource economics*. Cheltenham: Edward Elgar, 1999. Pp. 32–45. DOI: 10.26565/2410-7360-2018-49-15.

Holling C. S. Resilience and stability of ecological systems. *Annual review of ecology and systematics*. Vol. 4 (1973). Pp. 1–23.

J. Anthony Stallins, Joy Nystrom Mast & Albert J. Parker. Resilience Theory and Thomas Vale's Plants and People: A Partial Consilience of Ecological and Geographic Concepts of Succession. *The Professional Geographer*. Vol. 67(1). 2013. Pp. 28–40

Jurkovich R. A core typology of organizational environment. *Administrative Science Quarterly*. 1974. Vol. 19. № 3. Pp. 380–394.

Karasov, O., Heremans, S., Külvik, M., Domnich, A. & Chervanyov, I. On how crowdsourced data and landscape organization metrics can facilitate the mapping of cultural ecosystem services: an Estonian case study. *Published in Land, Basel (Swiss.)*. Academic Open Access Publishing Volume 9, Issue 5. 2020. p. 158. [Land] Manuscript ID: land-784592; doi: 10.3390/land9050158.

Karasov, O., Külvik, M., Chervanyov, I., & Priadka, K. Mapping the extent of land cover colour harmony based on satellite Earth observation data *Geojournal*. 84(4). 1057. 2019. 1072 p. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-018-9908-x>

Tretyakov O. S., Bodnia O. V., Balynska M. O., Ovcharenko A. Ju. [and other]. Features of interpretation of plant association of national natural park “Slobozhanskiy” using Landsat 8 satellite data. *Збірник наукових праць «Проблеми безперервної географічної освіти і картографії»*. 2015. Вип. 21. С. 73–79.