

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

**О. Є. Поморцева**

# **ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

**Харків  
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова  
2022**

**Поморцева О. Є.** Геоінформаційні системи в задачах моніторингу : конспект лекцій для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти всіх форм навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) / О. Є. Поморцева ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2022. – 242 с.

Автор

канд. техн. наук, доц. О. Є. Поморцева

Рецензент

**К. А. Мамонов**, доктор економічних наук, професор кафедри земельного адміністрування та геоінформаційних систем (Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова)

*Рекомендовано кафедрою земельного адміністрування та геоінформаційних систем, протокол № 5 від 29.12.2022*

© О. Є. Поморцева, 2022

© ХНУГХ ім. О. М. Бекетова, 2022

## ЗМІСТ

Перелік умовних скорочень.....	4
1 Основні терміни та поняття моніторингу, класифікація систем моніторингу довкілля.....	5
2 Світовий досвід організації систем екологічного моніторингу .....	34
3 Картографічне моделювання в екологічних дослідженнях .....	63
4 Особливості екологічних досліджень за картами .....	94
5 Технології введення параметрів довкілля.....	119
6 Методи і засоби моніторингових досліджень.....	141
7 Інформаційне забезпечення екологічного моніторингу .....	193
8 Інформаційні технології у системі аналізу просторових змін.....	229
Список рекомендованих джерел.....	240

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АА – автоматичний аналізатор.
- АЗІС – автоматизована земельна інформаційна система.
- ВВ – вимірювана величина.
- ГДК – гранично допустима концентрація.
- ДЗ – джерело забруднення.
- ДЗЗ – дистанційне зондування Землі.
- ЕРА – агенція з охорони навколишнього середовища США (Environmental Protection Agency).
- ЕХП – електрохімічний перетворювач.
- ЄДСЕМ – єдина державна система екологічного моніторингу.
- ЗВ – засоби вимірювань.
- ЗКП – залишкова кількість пестицидів.
- ЗР – забруднювальна речовина
- САУ – система автоматичного управління.
- СУБД – система управління базами даних.
- ТЕС – теплоелектростанція.
- ЗП – забруднення повітря.
- ЗР – забруднююча речовина.
- ІЧ – інфрачервоний.
- КВС – контрольно-вимірювальна станція.
- МВВ – методика виконання вимірювань.
- НС – надзвичайна ситуація.
- ПЗЗ – прилад із зарядовим зв'язком
- ПТФ – педотрансферна функція.
- ПІД – полум'яно-іонізаційний детектор.
- РАН – Російська академія наук.
- РНПЗ – реєстр надходження та поширення забруднювачів.
- ФМІ – Фінський метеорологічний інститут.
- ХГ – хроматографія.

# **1 ОСНОВНІ ТЕРМІНИ ТА ПОНЯТТЯ МОНІТОРИНГУ, КЛАСИФІКАЦІЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ ДОВКІЛЛЯ**

Порушення стійкості системи «людина – природа – суспільство» в сучасних умовах обумовлено суттєвим деструктивним впливом людства на стан навколишнього середовища в результаті надмірного росту продуктивних сил і кількісного зростання чисельності населення. Все це призвело до величезного посилення антропогенного навантаження на екосистеми Землі і практично до незворотних змін у всій біосфері. Інтенсивний розвиток науково-технічного прогресу зумовив виникнення низки глобальних екологічних проблем, кожна з яких здатна призвести до знищення нашої цивілізації. Серед цих проблем найбільш пріоритетними є: дефіцит прісної води, зниження видового біологічного і ландшафтного різноманіття планети, парниковий ефект, озонові діри, кислотні дощі, забруднення Світового океану, опустелення, загибель лісів тощо.

Зменшення рівня антропогенного впливу на біосферу можна досягти якісним управлінням соціально-економічними системами всіх рівнів, забезпечивши їх стратегічну орієнтацію на принципи сталого (стійкого, гармонійного) розвитку (в розумінні *sustainable development*).

Одним з основних шляхів реалізації концепції сталого розвитку суспільства вважається впровадження на всіх організаційних рівнях науково обґрунтованої системи екологічного та соціально-економічного менеджменту, який би будувався на об'єктивних даних відповідної системи екологічного та соціально-економічного моніторингу (рис. 1.1), що, у свою чергу є інформаційним базисом концепції сталого розвитку і свого роду початковою функцією управлінського циклу.

Система моніторингу повинна в інформаційному плані забезпечити організацію необхідних інформаційних потоків і поліпшити спостереження за основними процесами та явищами в біосфері. Для прийняття раціональних управлінських рішень необхідною умовою є наявність якісного інформаційного забезпечення щодо динаміки різних показників, які характеризують стан навколишнього середовища. При цьому, всі негативні тенденції, що відбуваються в розвитку складної системи «людина – природа – суспільство», підвищують актуальність як екологічного, так і соціально-економічного моніторингу.

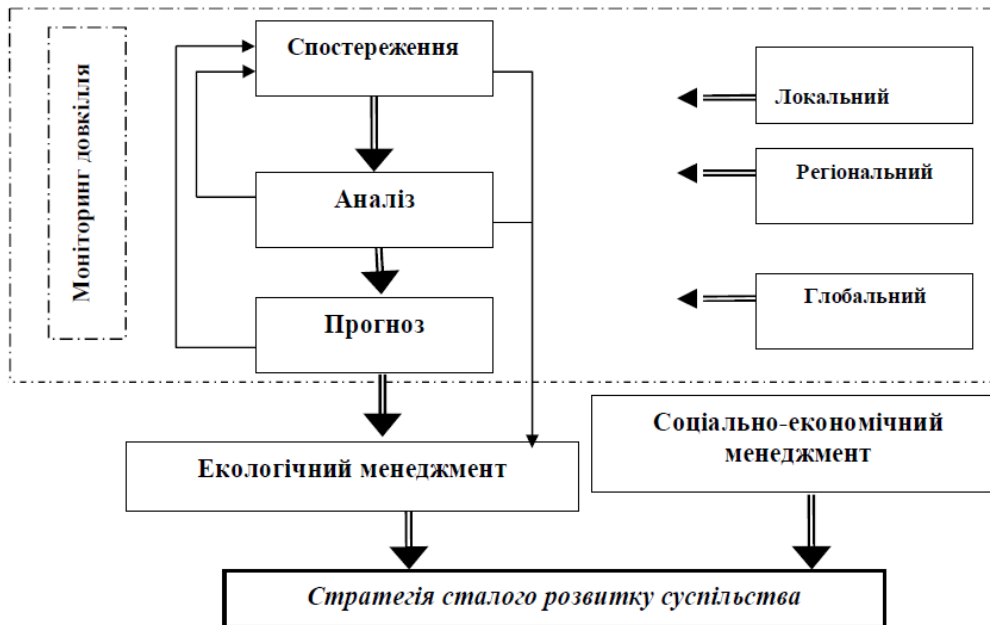


Рисунок 1.1 – Орієнтовна блок-схема реалізації концепції сталого розвитку суспільства

Природні зміни стану навколишнього середовища вивчаються існуючими геофізичними службами (гідрометеорологічною, сейсмічною, гравіметричною та ін.). А для того, щоб виділити антропогенні зміни на фоні природних, виникла необхідність в організації спеціальних спостережень за змінами стану біосфери під впливом людської діяльності.

Згідно з концепцією SCOPE (з англ. – Наукового комітету з проблем навколишнього середовища) систему повторних спостережень одного і більше компонентів довкілля у просторі і в часі з певними цілями і згідно з попередньо підготовленою програмою було запропоновано називати **моніторингом**.

## Основні поняття і визначення

### *Історичні аспекти формування поняття «моніторинг довкілля»*

Термін «моніторинг» (від латинського monitor – той, що наглядає, нагадує, спостерігає) виник перед проведенням Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища (Стокгольм, 5 -16 червня 1972 р.). Перші пропозиції з нагоди такої системи були розроблені експертами спеціальної комісії SCOPE у 1971 р. Основні елементи моніторингу як системи, вперше описані у роботі Р. Манна (1973).

Формуванню наукових основ сучасного моніторингу навколишнього

середовища були присвячені роботи академіка І. П. Герасимова (1975, 1976) і професора Ю. А. Ізраеля (1984), в яких розроблені основні принципи формування системи екологічного моніторингу, а також частково відображені міжнародні аспекти глобальної системи моніторингу.

Обговорення системи моніторингу активізувалось перед першою міжурядовою нарадою з моніторингу, скликаною в Найробі (Кенія, лютий 1974 р.) Радою керуючих Програми ООН з навколишнього середовища (UNEP – United Nation Environment Program). В матеріалах наради були викладені основні положення та цілі програми глобальної системи моніторингу навколишнього середовища, в яких приділялась особлива увага формуванню попереджень про зміни стану природного середовища, пов'язані з забрудненнями, а з другого боку – попередженню про загрозу здоров'ю людини, про загрозу стихійних лих, а також про виникнення інших екологічних проблем. Більшість рішень цієї наради були схвалені на другій сесії Ради керуючих UNEP і отримали визнання (R. Mann, 1973).

Детальне обговорення основних завдань моніторингу, а також різноманітних аспектів, пов'язаних з обґрунтуванням та реалізацією систем моніторингу, відбулось на міжнародному симпозіумі з комплексного глобального моніторингу забруднення навколишнього природного середовища в Ризі у грудні 1978 р.

Професор Ю. А. Ізраель вважав, що термін «моніторинг» з'явився на противагу терміну «контроль», який включав не лише спостереження і одержання інформації, але й елементи активних дій, тобто елементи управління (control – англійською означає як контроль, так і управління). В нашій науково-технічній літературі термін «контроль» передбачає тільки одержання та аналіз інформації і не передбачає активних дій.

Моніторинг довкілля в сучасному розумінні можна розглядати як аналітично-інформаційну систему, яка охоплює такі основні напрями:

- спостереження за станом довкілля і за факторами, які впливають на окремі елементи довкілля;
- оцінювання та аналіз фактичного стану всіх складових довкілля;
- прогнозування стану довкілля і оцінювання цього стану;
- забезпечення-науково-інформаційної підтримки прийняття управлінських рішень.

Таким чином, система моніторингу довкілля – це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу

інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки.

### Етапи формування моніторингу довкілля як системи

Очевидно, що для правильної організації управління якістю навколишнього природного середовища необхідною умовою є формування повноцінної системи моніторингу.

За допомогою системи моніторингу виявляються критичні ситуації, виділяються критичні фактори впливу і найбільш чутливі до впливу елементи біосфери. У процесі здійснення моніторингу важливо отримати дані як про абіотичну складову середовища, так і про стан біоти, а також отримати інформацію про функціонування екосистем та реакції екосистем на можливі збурення.

Універсальним підходом до визначення структури системи моніторингу антропогенних змін навколишнього природного середовища є його розподіл на основні блоки: «Спостереження», «Оцінка фактичного стану», «Прогноз стану довкілля», «Оцінка прогнозованого стану» та «Підтримка прийняття управлінських рішень» (рис. 1.2).

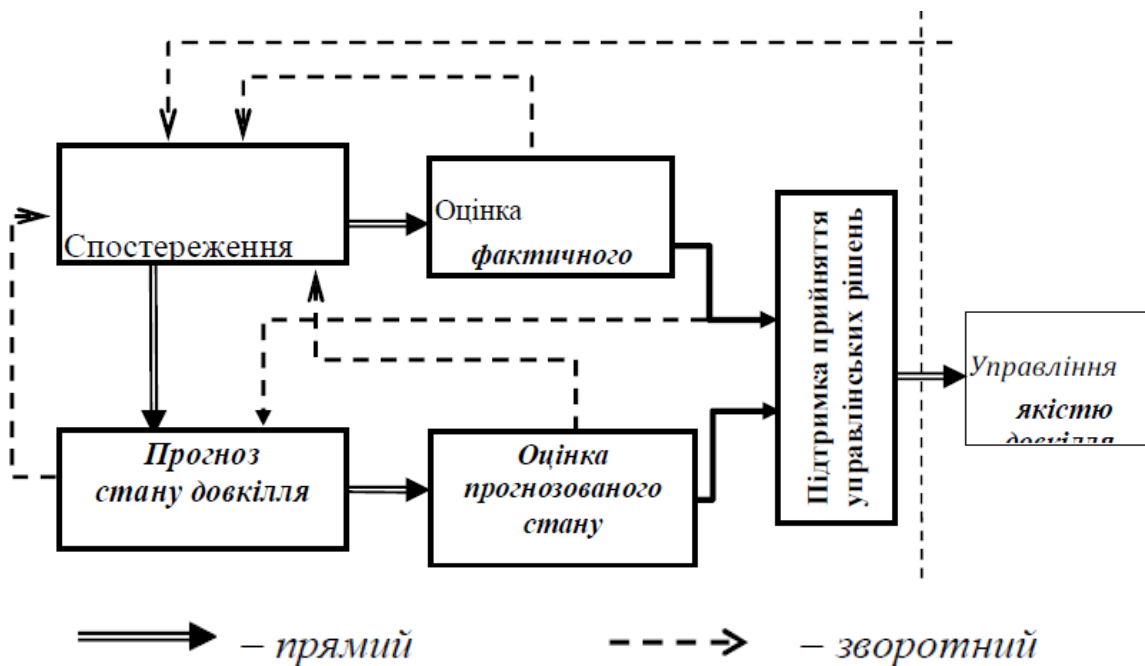


Рисунок 1.2 – Структура системи моніторингу довкілля



Загалом, до блоків оцінювання часто відносять процедури аналізу і обробки даних спостережень, а до блоку прогнозування – процеси моделювання змін стану довкілля.

Блоки «Спостереження», «Оцінка фактичного стану» і «Прогноз стану довкілля» тісно пов'язані між собою, оскільки прогноз стану навколишнього середовища можливий лише за наявності достатньої інформації про його фактичний стан (прямий зв'язок). Прогноз, з одного боку, має враховувати дані спостережень та закономірності зміни стану природного середовища, а з іншого боку – спрямованість прогнозу, значною мірою, повинна визначати структуру і склад мережі спостереження (зворотний зв'язок).

Дані, що отримані в результаті спостережень чи прогнозу та характеризують стан навколишнього природного середовища, повинні оцінюватись в залежності від того, в якій галузі людської діяльності вони використовуються (за допомогою спеціально вибраних чи розроблених критеріїв). Така оцінка повинна забезпечувати, з одного боку, визначення збитків від впливу відповідної діяльності, а з другого – давати змогу оптимізувати людську діяльність з урахуванням існуючих екологічних резервів. При таких оцінках обов'язковим є визначення допустимих навантажень на навколишнє природне середовище з урахуванням інтегральних характеристик і показників.

Безпосереднє визначення таких показників є певним етапом оцінювання стану довкілля, оскільки в результаті таких вимірювань можна відповісти на питання про його стан. При визначенні допустимих для екосистеми антропогенних навантажень необхідно виходити з екологічного резерву даної системи та інтервалу допустимих коливань її стану. Важливо при цьому пам'ятати про біологічну стійкість системи і враховувати залежність між збуреннями і ефектами, які виникають під дією цих збурень. При визначенні екологічного резерву екосистеми необхідно добре знати і вміти виявляти критичні фактори антропогенних збурень та критичні елементи біосфери, вплив на які може призвести до різких змін у природному середовищі.

### **Класифікація систем моніторингу довкілля**

Постанова Кабінету Міністрів України від 30 березня 1998 р. № 391 «Положення про державний моніторинг довкілля» визначала такі види

моніторингу довкілля, які стали загальноприйнятими: загальний (стандартний), оперативний (кризовий), фоновий (науковий).

**Загальний (стандартний) моніторинг** — це оптимальні за кількістю параметрів спостереження на пунктах, об'єднаних в інформаційно-технологічну мережу, які дають змогу на підставі оцінки і прогнозу стану довкілля регулярно розробляти управлінські рішення на всіх рівнях.

**Оперативний (кризовий) моніторинг** – це вивчення спеціальних показників на цільовій мережі пунктів у реальному масштабі часу за окремими об'єктами, джерелами підвищеного екологічного ризику в окремих регіонах, які визначено як зони надзвичайної ситуації, а також у районах аварій зі шкідливими екологічними наслідками для забезпечення оперативного реагування на кризові ситуації та прийняття рішень щодо їхньої ліквідації, створення безпечних умов для населення.

**Фоновий (науковий) моніторинг** – це спеціальні високоточні спостереження за всіма складовими довкілля, а також за характером, складом, кругообігом і міграцією забруднювальних речовин, за реакцією організмів на забруднення як на рівні окремих популяцій чи екосистем, так і біосфери в цілому. Його проводять на базових станціях у природних і біосферних заповідниках, а також на інших природоохоронних територіях.

Об'єктами спостереження системи моніторингу можуть бути окремі точки і зони, розміри яких не перевищують десятків кілометрів (локальний моніторинг). Якщо об'єктами спостереження є локальні джерела підвищеної небезпеки, наприклад території поблизу місць поховання радіоактивних відходів, хімічні заводи тощо, то такий моніторинг називається **імпактним**. При збільшенні масштабів спостереження до тисяч квадратних кілометрів здійснюється регіональний моніторинг. Спостереження за загальносвітовими процесами і явищами в біосфері Землі та в її екосфері є предметом глобального моніторингу.

Система державного моніторингу довкілля країни має три рівні:

Локальний – території окремих об'єктів (підприємств, міст, ділянки ландшафтів).

Регіональний – у межах адміністративно-територіальних одиниць, на територіях економічних і природних регіонів.

Національний – територія України в цілому.

Є чимало інших підходів до класифікації систем моніторингу за

різними критеріями.

Національним (державним) моніторингом називають систему моніторингу в межах однієї країни – така система відрізняється від глобального моніторингу не тільки масштабами, але й тим, що основним завданням національного моніторингу є одержання інформації та оцінки стану навколишнього середовища в національних інтересах. Так, підвищення рівня забруднення атмосфери в окремих містах чи промислових районах (на певному часовому інтервалі) може і не мати суттєвого значення для зміни стану біосфери в глобальному масштабі, але може бути надзвичайно важливим для прийняття певних рішень і виконання заходів у даному регіоні, тобто на національному рівні.

Найбільш універсальним підходом до формування систем моніторингу є організація глобальної системи моніторингу з одночасним вирішенням всіх задач, які виникають при цьому. Тут необхідно виділити моніторинг антропогенних забруднень та моніторинг антропогенних збурень і змін, не пов'язаних із забрудненнями.

### ***Підходи до визначення об'єктів моніторингу довкілля***

Узагальнена класифікація можливих систем (підсистем) моніторингу наведена у таблиці 1.1. В усіх системах блок спостереження за станом навколишнього середовища повинен забезпечувати спостереження як за джерелами антропогенного впливу і станом елементів біосфери, так і за зміною їх структурних і функціональних показників (у тому числі за відгуками живих організмів на різні впливи).

При цьому необхідно попередньо отримати дані про початковий (фоновий) стан всіх складових біосфери, що його забезпечує система фонового або базового моніторингу.

Кожна система моніторингу довкілля, в залежності від її призначення, має свої об'єкти дослідження, але існує декілька загальних підходів щодо визначення цих об'єктів в цілому.

**1. Класифікація систем моніторингу в контексті спостережень.** Виділяють 5 розділів спостережень – від локальних джерел і факторів впливу на довкілля до впливу змін стану довкілля на здоров'я і добробут населення (табл. 1.2). Спостереження за локальними джерелами впливів і забруднень та за факторами впливів виділені у спеціальний розділ (розділ А). Такі джерела можуть бути природними (виверження вулканів) і

антропогенними (викиди промислових підприємств; сільськогосподарські джерела – тваринницькі ферми і поля після внесення хімічних добрив та засобів для боротьби зі шкідниками рослин; повітряний водний та наземний транспорт тощо).

Таблиця 1.1 – Узагальнена схема класифікації систем моніторингу

<b>Принцип класифікації</b>	<b>Існуючі або перспективні системи моніторингу</b>
За універсальністю системи	Глобальний, включаючи фоновий та палеомоніторинг. Національний, «міжнародний» (моніторинг трансграничного переносу ЗР), регіональний
За реакцією основних складових біосфери	Геофізичний моніторинг, біологічний моніторинг (в тому числі генетичний), екологічний моніторинг (включаючи геофізичний і біологічний)
За основними складовими біосфери	Моніторинг антропогенних змін в атмосфері, гідросфері та літосфері
За джерелами впливу	Моніторинг джерел забруднень, інградієнтний моніторинг (окремих забруднювальних речовин, радіоактивних випромінювань, шумів тощо)
За факторами впливу	Біотичний та абіотичний
За рівнем гостроти та глобальності	Моніторинг океану, клімату Землі, моніторинг озоносфери тощо
За методами спостережень	Аерокосмічний моніторинг (дистанційні методи). Моніторинг за фізичними, хімічними та біологічними показниками
За системністю підходу	Медико-біологічний або санітарно-гігієнічний (стану здоров'я населення), біоекологічний, кліматичний. Варіанти: біо-, геоєкологічний, біосферний, природно-господарський та ін.

Спостереженням за факторами впливів (головним чином, антропогенних) потрібно приділити найбільшу увагу. Важко проаналізувати стан середовища і виявити причини змін у ньому без досконалого вивчення факторів впливу – різноманітних забруднювальних речовин, випромінювань тощо. Спостереження за факторами впливів внесені також у розділ спостережень за станом середовища (розділ Б), оскільки в деяких випадках вони досить повно характеризують стан середовища (наприклад, за геохімічними даними).

Таблиця 1.2 – Класифікація реакцій природних систем, джерел і факторів впливу, які охоплюють системою моніторингу

<b>Розділ спостережень</b>	<b>Класифікація</b>
А. Локальні джерела та фактори впливу	А.1. Джерела забруднень і впливів. А.2. Фактори впливу (забруднювальні речовини, випромінювання і т. д.)
Б. Стан навколишнього природного середовища	Б.1. Стан середовища, який характеризується фізичними та фізико-географічними даними. Б.2. Стан середовища, що характеризується геохімічними даними, даними про склад та характер забруднень
В. Стан біотичної складової біосфери	В.1. Реакція біоти – відгуки та наслідки: а) в окремого організму, б) у популяції, в) в угрупованнях та екосистемі
Г. Реакція великих систем і біосфери в цілому	Г.1. Реакція великих систем (погода і клімат). Г.2. Реакція біосфери в цілому
Д. Стан здоров'я та добробуту населення	Д.1. Вплив стану довкілля на захворюваність і здоров'я населення. Д.2. Вплив змін стану довкілля на добробут населення

До розділу Б відносять спостереження за хімічним складом (природного і антропогенного походження) атмосфери, опадів, поверхневих і підземних вод, вод океанів та морів, ґрунтів, відкладень дна, рослинності, тварин, а також спостереження за основними шляхами розповсюдження забруднень. Саме ці спостереження найчастіше відносять до першоступеневих за важливістю в системі моніторингу.

В цей же розділ включені також спостереження за станом середовища і змінами цього стану, які характеризуються геохімічними даними, тобто спостереження за кругообігом речовин у природі, за складом сторонніх домішок у біосфері (у тому числі радіоактивних речовин), за різноманітними специфічними фізичними характеристиками середовища, включаючи спостереження за шумовим, тепловим забрудненнями (поняття забруднень в останніх випадках є умовними, але загальноприйнятими) і різноманітними випромінюваннями (іонізуючими і

неіонізуючими).

Розділ В включає спостереження за реакцією біоти на різноманітні фактори впливів і змін станів довкілля. До цих спостережень належать спостереження за відгуком (оборотні зміни) і наслідками (необоротні зміни) в біоті. Можливі спостереження за функціональними та структурними біологічними ознаками.

До функціональних ознак можна віднести, наприклад, приріст біомаси за одиницю часу, швидкість поглинання різноманітних речовин рослинами і тваринами; до структурних – чисельність видів рослин і тварин, загальну біомасу. Ці спостереження повинні бути організовані на різних рівнях – окремого виду і популяції, угруповання і екосистеми.

Розділ Г – спостереження за реакцією великих систем (погоди, клімату) і біосфери в цілому – включає всю систему спостережень, перерахованих у розділах Б і В та вимагає спеціальних узагальнень і оцінок.

При вивченні антропогенного впливу на біосферу потрібно визначити глобальний фоновий стан біосфери у теперішній час в місцях, віддалених від локальних джерел впливу, і локальний фоновий стан, характерний для кожного регіону.

Для оцінювання стану довкілля, з урахуванням змін антропогенного характеру, необхідно вміти впізнавати додаткові природні можливості самовідновлення для використання їх в інтересах людини. Для цього потрібно знати величину гранично допустимих навантажень (ГДН) на середовище та екологічний резерв даної екосистеми.

Розділ Д є не менш важливим, ніж інші. Через велику складність і малу дослідженість впливу довкілля на людину, повне комплексне обстеження є задачею дуже складною і досі не вирішеною в повному обсязі.

Таким чином, задача екологічного моніторингу полягає у виявленні в екосистемах змін антропогенного характеру (на фоні природних флуктуацій). Вирішити цю задачу можна різними методами, зокрема шляхом безпосередніх вимірювань окремих характеристик забруднень біоти та її реакцій на ці забруднення, а також за допомогою неперервних вимірювань інтегральних показників на значних територіях.

**2. Система екологічного моніторингу в контексті екологічного менеджменту.** Місце моніторингу у системі екологічного менеджменту

показано на рисунку 1.3.

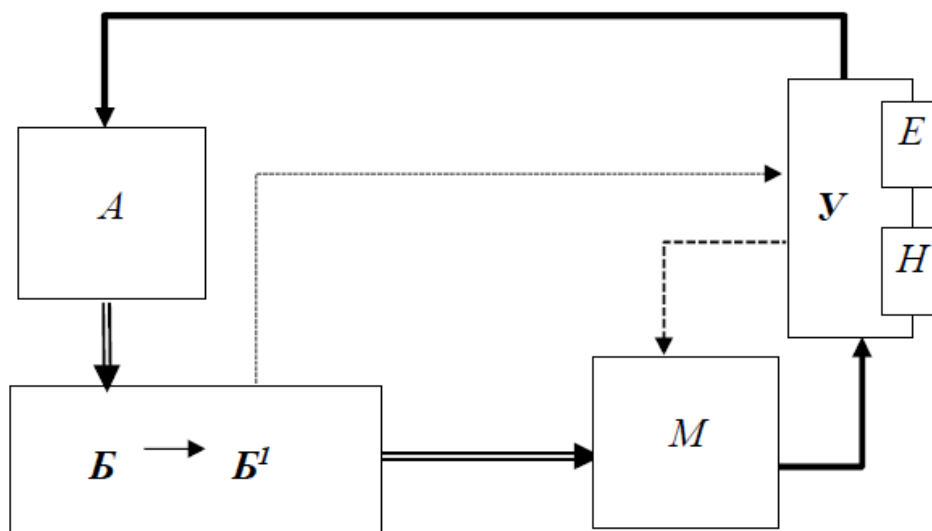


Рисунок 1.3 – Блок-схема системи екологічного менеджменту

На схемі наведено умовно об'єднані енергетичні та інформаційні потоки. Елемент біосфери з рівнем стану Б під дією антропогенного впливу (А) змінює свій стан  $B \rightarrow B^1$ . За допомогою системи моніторингу (М) отримується «фотокартка» цього зміненого (а, за можливості, і початкового) стану, виконується узагальнення даних, аналіз та оцінювання фактичного та прогнозованого стану. Ця інформація передається в блок управління (У – блок прийняття рішень). На підставі цієї інформації, в залежності від рівня науково-технічних розробок (Н), економічних можливостей (Е) та з урахуванням еколого-економічних оцінок, приймаються рішення з обмеження або припинення антропогенного впливу для профілактичного «зміцнення» або послідовного «лікування» даного елементу біосфери.

### ***Фактори, індикатори та показники, які досліджуються в системі моніторингу довкілля***

Як відомо, комплекс антропогенних факторів (рис. 1.4) дуже різноманітний – це і забруднення природного середовища різними речовинами, і фізичний вплив, який порушує природне покриття планети, і вилучення поновлюваних і не поновлюваних ресурсів тощо. Вивчення і оцінювання негативних наслідків антропогенних збурень з метою їх попередження або зменшення збитків є винятково важливою задачею як для оптимізації економічної діяльності, так і для збереження довкілля та

здоров'я населення.

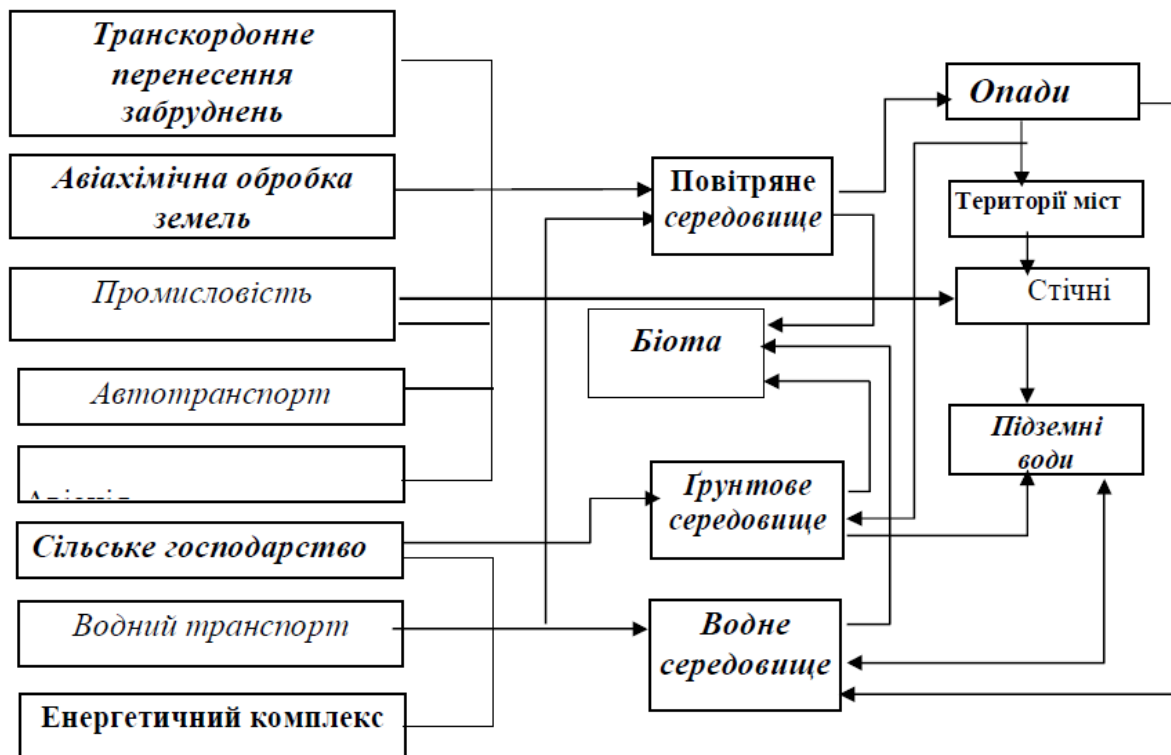


Рисунок 1.4 – Блок-схема впливу основних джерел забруднення на біосферу

При здійсненні моніторингу стану біосфери необхідно організувати досить представницьку мережу спостережень (вимірювань) за найбільш важливими факторами впливу і показниками стану навколишнього природного середовища. В залежності від конкретної задачі моніторингу ці фактори і показники можуть бути різними.

Найбільш складними є проблеми, пов'язані зі значними антропогенними збуреннями, які характеризуються масштабністю виявлених змін та ефектів (аж до глобального охоплення), а також значною інерційністю та гостротою негативних наслідків.

При визначенні індикаторів та показників слід шукати компроміс між достовірністю і доступністю інформації. При цьому втрати інформації мають бути мінімальними, а сам показник повинен забезпечувати інформативність, реальність і можливість практичної реалізації, а також спрощення інформації таким чином, щоб допомогти уповноваженим особам приймати обґрунтовані рішення, а громадськості – зрозуміти проблему.



Показники спрощують складну реальність і є «вижимкою» інформації, отриманої в процесі спостережень та аналізу даних моніторингу. Більшість екологічних показників слід розглядати у нерозривному взаємозв'язку між собою.

Як правило, показники розробляють для:

- допомоги у виробленні оптимальної екологічної політики;
- порівняння країн та регіонів;
- формування розуміння проблеми;
- вивчення взаємозв'язку з діяльністю промисловості і причинно-наслідкових зв'язків.

В Європейській агенції з навколишнього середовища (ЄАНС; англ. – ЕЕА) виділяють п'ять типів інтегральних показників.

**Описові показники (А).** Наприклад, частка органічного землеробства на всіх сільгоспугіддях, %.

**Показники виконання (В)** – показники, що характеризують хід виконання намічених цілей (викиди парникових газів).

**Показники ефективності (С)** – показники, що характеризують екологічну ефективність, наприклад, рівень викидів на одиницю ВВП.

**Показники політичної ефективності (D)** – показники, що характеризують зв'язок змін навколишнього середовища з політичними заходами (реагування).

**Сумарні показники добробуту (Е)** – показники, що характеризують розвиток суспільства, наприклад, показники сталого розвитку. Виходячи з основних задач системи моніторингу довкілля, необхідно, насамперед знаходити фактори, які призводять до найбільш серйозних, довгострокових змін у навколишньому середовищі (і джерела збурень), а також виявляти елементи біосфери, найбільш чутливі до таких збурень або критичні ключові елементи, пошкодження яких може призводити до гибелі екосистем. Необхідно відмітити, що визначення пріоритетів для підсистем моніторингу при вирішенні різних задач може призвести до різних результатів для одного і того ж фактора збурення. Наприклад, збитки від збільшення CO<sub>2</sub> в атмосфері для деяких екосистем незначні, а в багатьох випадках збільшення CO<sub>2</sub> навіть корисне – воно сприяє збільшенню продуктивності рослин. З іншого боку, накопичення CO<sub>2</sub> призводить до парникового ефекту і можливих змін клімату з різними негативними наслідками для біосфери.

На першій нараді з моніторингу в Найробі (1974 р.) було розроблено метод, вибрано критерії та визначено пріоритетність різних забруднювальних речовин (табл. 1.3). Знайдені пріоритети було розбито на вісім класів (чим вищий клас, тобто менший його порядковий номер, тим вищий пріоритет) з визначенням середовища і типу програми вимірювань («І» – імпактний, «Р» – регіональний, «Б» – базовий і «Г» – глобальний).

Таблиця 1.3 – Класифікація пріоритетних забруднювачів за класами пріоритетності

Клас	Забруднювальна речовина	Середовище	Тип програми
1	Діоксид сірки (завислі частинки). Радіонукліди ( $^{90}\text{Sr} + ^{137}\text{Cs}$ )	Повітря. Їжа	I, P, B I, P
2	Озон. ДДТ та інші хлорорганічні сполуки. Кадмій та його сполуки	– тропосфера – стратосфера Біота Їжа, Вода	I B I, P I
3	Нітрати, нітрити. Оксиди азоту	Питна вода, їжа Повітря	I I
4	Ртуть та її сполуки, свинець. Діоксид вуглецю	Їжа, вода, повітря, їжа Повітря	I, P I B
5	Оксид вуглецю. Нафтовуглеводні	Повітря. Морська вода	I P, B
6	Фториди	Свіжа вода	I
7	Азбест. Арсен (миш'як)	Повітря. Питна вода	I I
8	Мікротоксини. Мікробіологічні зараження Реакційноспроможні забруднення	Їжа. Їжа Повітря	I, P I, P I

Якщо говорити про спостереження за територіями, то найвищий пріоритет мають міста та зони, з яких беруть питну воду. Серед середовищ вищий пріоритет мають атмосферне повітря та вода прісних водойм (особливо малопроточних). Для повітря найважливішими інгредієнтами є пил, оксиди сірки, вуглецю та азоту, важкі метали, бенз(а)пірен та пестициди. Для води – біогенні продукти, феноли та нафтопродукти. Серед джерел забруднень найвищий пріоритет мають автомобільний транспорт, ТЕС, підприємства кольорової металургії тощо.

Моніторинг охоплює спостереження за джерелами і факторами

антропогенного впливу – хімічними, фізичними (випромінювання, механічні дії) та біологічними, а також за ефектами, які викликають різні дії у навколишньому середовищі, в першу чергу за реакцією біологічних систем. Особливо поширеними вважаються інтегральні показники стану природних систем.

**Інтегральними показниками**, які характеризують зміни в екологічній рівновазі, вважають такі:

- збалансованість біологічної продуктивності (відношення первинної біологічної продуктивності до вторинної);
- швидкість утворення біологічної продукції (відношення біопродуктивності до загальної біомаси);
- інтенсивність кругообігу біогенних речовин.

При організації спостережень за зміною стану екосистем необхідно, в першу чергу, приділяти увагу можливим порушенням і перебудовам в умовах ведення лісового господарства, землеробства та тваринництва.

Для здійснення моніторингу антропогенних змін природного середовища необхідно визначити найбільш представницькі види ознак і відгуків в екосистемі. Для цього необхідно вивчити характер відгуків елементів біосфери на збурення як за допомогою натурних, так і лабораторних експериментів, математичного моделювання та аналізу результатів польових спостережень.

Нижче наведено деякі правила підбору показників для контролю за станом біологічних систем:

- необхідно відбирати показники, що їх відносять тільки до процесів з гомеостатичними механізмами;
- необхідно надавати перевагу показникам, які характеризують неспецифічний відгук на збурювальний фактор;
- необхідно надавати перевагу інтегральним показникам.

Вважається, що наявність норми за одними показниками і патологій за іншими, а також їх співвідношення можуть однозначно визначити «хворобу» біологічної системи. Оцінювання ефекту від шкідливого збурення можна звести до підбору єдиного показника стану екосистеми, який об'єднує окремі відгуки системи так званою функцією бажаності.

Проведені дослідження свідчать, що основну частку забруднень атмосферного повітря (до 85%) становлять діоксид сірки, пил, оксид вуглецю та оксиди азоту. Решта припадає на частку специфічних речовин,

пов'язаних з роботою окремих галузей промисловості. Вони присутні у повітрі відносно невеликої кількості населених пунктів, де розміщено такі підприємства. До таких речовин відносять сірковуглець, хлор, сірководень, аміак, сполуки фтору, вуглеводень. Під час моніторингу необхідно передбачати також проведення вимірювань, які характеризують стан середовища (мутність атмосфери, рН водного середовища), спостереження за рядом гідрометеорологічних величин, достатніх для інтерпретації питань переносу, розсіювання та міграції забруднювальних речовин, сонячної радіації (в тому числі ультрафіолетового випромінювання).

Значною проблемою є забруднення повітря великих міст бенз(а)піреном – у деяких містах максимальні концентрації досягають 0,4–0,7 мкг/м<sup>3</sup>. Особливе місце займають важкі метали – концентрації свинцю в повітрі багатьох міст досягають значних величин (до 4,5 мкг/м<sup>3</sup>).

Основним джерелом забруднення відкритих водойм суші є стічні води різних промислових підприємств, стоки комунальних господарств міст та поверхневі сільськогосподарські стоки. У воді річок, озер та водосховищ спостерігаються нафтопродукти, феноли, залізо, мідь, цинк, важкі метали та інші шкідливі речовини.

### **Державна програма моніторингу довкілля України**

В основу Державної системи моніторингу довкілля України, яка формується відповідно до Постанови Кабінету Міністрів від 30 березня 1998 р., № 3912, покладено досвід гідрометеорологічних служб, а також результати аналізу існуючої інформації про забруднення природних середовищ. Наукова концепція Державної системи моніторингу навколишнього природного середовища України була розроблена українськими вченими в кінці 80-х на початку 90-х років 20-го століття (Примак, 1992; Адаменко, 1993).

Здійснення моніторингу окремих об'єктів довкілля регламентується низкою постанов Кабінету Міністрів України, а саме: «Про затвердження Порядку організації та проведення моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря» (від 09.03.1999, № 343), «Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод» (від 20.07.1996., № 815), «Про затвердження Положення про моніторинг земель» (від 20.08.1993 № 661), «Про затвердження Положення про моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення» (від 26.02.2004., № 51), а також

розпорядженням Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції Державної програми проведення моніторингу навколишнього природного середовища» (від 31.12.2004 № 992-р) і низкою нормативно-методичних документів з питань моніторингу довкілля.

Основні завдання державної системи моніторингу довкілля:

- організація єдиної державної системи пунктів спостереження за всіма компонентами природного середовища;
- формування і налагодження автоматизованої системи збору, обробки, узагальнення і зберігання систематичної інформації про кількість та екологічний стан природних ресурсів (формування відповідних банків чи баз даних і систем управління ними);
- оцінювання природно-ресурсного потенціалу та допустимого рівня використання ресурсів;
- інвентаризація джерел забруднення і вивчення ступеня антропогенного впливу на компоненти природного середовища;
- розробка прогнозів можливих змін екологічної ситуації та «рівня здоров'я» довкілля;
- розробка управлінських рішень, спрямованих на забезпечення раціонального природокористування і сталого розвитку держави на всіх рівнях (локальному, регіональному і національному).

Для раціонального розміщення пунктів загальнодержавної служби моніторингу і визначення пріоритетних забруднювачів беруть до уваги:

- відомості загального характеру про існуючі та можливі джерела забруднення (великі міста, промислові райони, крупні тваринницькі комплекси, підприємства в зоні унікальних природних об'єктів тощо);
- результати спостережень минулих років за рівнями забруднень (більшою частиною експедиційних), які носять орієнтовний характер;
- дані про рівні забруднення природних середовищ в сусідніх країнах та великих містах.

Державна система моніторингу довкілля – це відкрита інформаційна система, пріоритетами функціонування якої є збереження природних екосистем; відвернення кризових змін екологічного стану довкілля і запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям. Державна система моніторингу довкілля України будується за ієрархічним принципом і має три організаційні рівні (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Ієрархічна структура Державної системи моніторингу довкілля України

Створення і функціонування Державної системи моніторингу здійснюється на принципах:

- узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин;
- систематичності спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього;
- своєчасності отримання, комплексності оброблення та використання екологічної інформації, що надходить і зберігається в системі моніторингу;

– об'єктивності первинної, аналітичної і прогнозної екологічної інформації та оперативності її доведення до органів державної влади, органів місцевого самоврядування, громадських організацій, засобів масової інформації, населення України, зацікавлених міжнародних установ та світового співтовариства;

– сумісності технічного, інформаційного та програмного забезпечення її складових частин;

– оперативності доведення інформації до органів державного управління, інших зацікавлених адміністративних органів, підприємств, організацій, установ;

– доступності екологічної інформації населенню України та світовій спільноті.

**Першим ступенем** на локальному рівні є пункти спостережень, звідки інформація передається в локальні центри збору та переробки. Для автоматизованої системи – це локальна система, що обслуговує окремий район (місто) і складається із 2-х частин – контрольно-вимірювальних станцій та інформаційно-аналітичного центру, де отримані дані обробляються, сортуються і передаються на другий ступінь.

**Другий ступінь** – це рівень відомчих та регіональних інформаційно-аналітичних центрів. З таких центрів інформація про рівні забруднення навколишнього природного середовища передається відповідним зацікавленим організаціям різних відомств і міністерств.

**Третім ступенем** системи є державний, який включає державний інформаційно-аналітичний центр моніторингу довкілля і головні інформаційно-аналітичні центри відповідних міністерств і відомств, де збирається та обробляється інформація про забруднення природного середовища в масштабі всієї країни.

Окрім національного, регіонального і локального рівнів, екологічний моніторинг організовується також в межах адміністративних підрозділів (областей, районів, міст, сіл), рекреаційних зон, або в межах галузей нафтогазового, агропромислового, лісогосподарського та інших комплексів (рис.1.6).

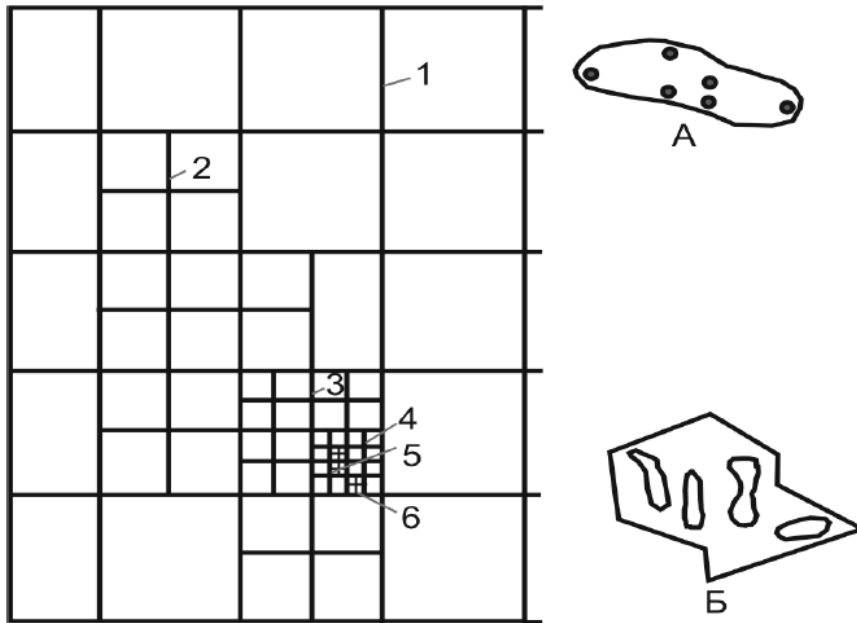


Рисунок 1.6 – Картографічна ієрархія систем екологічного моніторингу України:

А – природна екосистема, Б – природно-антропогенна екосистема.

1 – національний рівень (1 : 1 000 000, розмір сітки мережі – 10×10 км);

2 – регіональний рівень (1 : 500 000, 5×5 км),

3 – обласний рівень (1 : 200 000, 2×2 км);

4 – локальний районний рівень (1 : 50 000, 500×500 м);

5 – міський рівень (1:10 000 м, 100×100 м);

6 – об'єктний рівень, рівень підприємства (1:5 000 – 1:1 000, від 50×50 до 10×10 м)

Дієва організація і впровадження екологічного моніторингу довкілля України та її адміністративних областей, районів і міст – це невідкладна задача державної природоохоронної служби. Система державного моніторингу повинна бути організована так, щоб можна було забезпечити не тільки спостереження та аналіз стану довкілля, а й забезпечувати органи державного управління оперативною інформацією, прогнозами і попередженнями про можливі зміни довкілля для підтримки управлінських рішень та розробки науково обґрунтованих довгострокових та оперативних екологічних програм.

**Регіональна система моніторингу** – це система, що реалізує завдання моніторингу в межах адміністративної області. Регіональна



система моніторингу має бути пов'язана із загальнодержавною системою і включати в себе елементи та інформацію локальних систем.

**Локальна система моніторингу** – система, яка функціонує в межах окремого району, міста чи об'єкта. Локальна система моніторингу має бути пов'язана із загальнодержавною та регіональною системами моніторингу.

**Відомча або корпоративна система моніторингу** – це система, що належить окремим суб'єктам моніторингу довкілля і входить складовою частиною до державної системи моніторингу. За своїм рангом відомча система моніторингу може функціонувати на державному, регіональному та локальному рівнях.

Основними завданнями суб'єктів системи моніторингу є:

- довгострокові систематичні спостереження за станом довкілля;
- аналіз екологічного стану довкілля та прогнозування його змін;
- інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки;
- інформаційне обслуговування органів державної влади, органів місцевого самоврядування, а також забезпечення екологічною інформацією населення країни і міжнародних організацій.

### ***Суб'єкти державної системи моніторингу довкілля***

В Україні функції із здійснення спостережень за станом об'єктів навколишнього природного середовища покладено на центральні органи виконавчої влади, які є суб'єктами державної системи моніторингу довкілля (ДСМД), також підприємства, установи та організації, діяльність яких призводить або може призвести до погіршення стану довкілля, зобов'язані здійснювати екологічний контроль за виробничими процесами та станом промислових зон, збирати, зберігати та безоплатно надавати дані і/або узагальнену інформацію.

Моніторинг довкілля здійснюється Міністерством екології та природних ресурсів (Мінприроди), Держгідрометслужбою Міністерства надзвичайних ситуацій (МНС), Міністерством охорони здоров'я (МОЗ), Міністерством аграрної політики (МАП), Держкомлісгоспом, Держводгоспом, Держкомземом, Держжитлокомунгоспом, Держгеослужбою Мінприроди та їх органами на місцях, а також

підприємствами, установами та організаціями, що належать до сфери їх управління. Всі ці організації і установи є суб'єктами системи моніторингу за загальнодержавною і регіональними програмами реалізації відповідних природоохоронних заходів.

Моніторинг довкілля здійснюють (суб'єкти моніторингу):

1. Мінприроди – контроль атмосферного повітря та опадів: вміст забруднювальних речовин (ЗР), у т.ч. радіонуклідів; транскордонне перенесення ЗР; джерел промислових викидів в атмосферу (вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів); поверхневих і морських вод (гідрохімічні та гідробіологічні дослідження, вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів); підземних вод (оцінка ресурсів, гідрогеологічні та гідрохімічні дослідження складу і властивостей, у т.ч. залишкової кількості пестицидів та агрохімікатів); джерел скидів стічних вод (вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів); водних об'єктів у межах природоохоронних територій (фонова кількість ЗР, у т.ч. радіонуклідів); ґрунтів різного призначення, у т.ч. на природоохоронних територіях (вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів); геохімічного стану ландшафтів (вміст і поширення природних і техногенних хімічних елементів та сполук); радіаційної обстановки (на пунктах стаціонарної мережі); геофізичних полів (фонові та аномальні дослідження); стихійних та небезпечних природних явищ: ендегенних та екзогенних геологічних процесів (їх видові і просторові характеристики, активність прояву), повеней, паводків, снігових лавин, селів (у районах спостережних станцій); підземних вод; ендегенних та екзогенних процесів; геофізичних полів (фонові та аномальні визначення); геохімічного стану ландшафтів; державне еколого-геологічне картування території України для оцінювання стану геологічного середовища та його змін під впливом господарської діяльності; наземних і морських екосистем (фонова кількість ЗР, у т.ч. радіонуклідів); звалищ промислових і побутових відходів (склад відходів, вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів).

2. МНС (на територіях, підпорядкованих Адміністрації зони відчуження і зони обов'язкового відселення, а також в інших зонах радіоактивного забруднення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС) – контроль атмосферного повітря (вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів); поверхневих і підземних вод (вміст ЗР, у т.ч. радіонуклідів); наземних і водних екосистем (біоіндикаторні визначення); ґрунтів і ландшафтів (вміст ЗР, радіонуклідів, просторове поширення); джерел викидів в атмосферу

(вміст ЗР, обсяги викидів); джерел скидів стічних вод (вміст ЗР, обсяги скидів); об'єктів поховання радіоактивних відходів (вміст радіонуклідів, радіаційна обстановка).

3. МОЗ (у місцях проживання і відпочинку населення, у т.ч. на природних територіях курортів) – контроль атмосферного повітря (вміст шкідливих хімічних речовин); поверхневих вод суші і питної води (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення); морських вод, мінеральних і термальних вод, лікувальних грязей, озокериту, ропи лиманів та озер (хімічні, бактеріологічні, радіологічні, вірусологічні визначення); ґрунтів (вміст пестицидів, важких металів, бактеріологічні, вірусологічні визначення, наявність яєць геогельмінтів); фізичних факторів (шум, електромагнітні поля, радіація, вібрація тощо).

4. Мінагрополітики (МАП) – ґрунтів сільськогосподарського використання (агрохімічні, радіологічні та токсикологічні визначення (РЛ та ТЛ), залишкова кількість пестицидів (ЗКП), агрохімікатів і важких металів (АХ і ВМ)); сільськогосподарських рослин і продуктів з них (РЛ та ТЛ, ЗКП, АХ і ВМ); сільськогосподарських тварин і продуктів з них (зоотехнічні, РЛ та ТЛ, ЗКП, АХ і ВМ); поверхневих вод сільськогосподарського призначення (РЛ та ТЛ, ЗКП, АХ і ВМ).

5. Держкомлісгосп – ґрунтів земель лісового фонду (РЛ, ЗКП, АХ і ВМ); лісової рослинності (пошкодження біотичними та абіотичними чинниками, біомаса, біорізноманіття, РЛ, вміст ЗР); мисливської фауни (видові, кількісні та просторові характеристики, РЛ).

6. Держводгосп – річок, водосховищ, каналів, зрошувальних систем і водойм у межах водогосподарських систем комплексного призначення, систем міжгалузевого та сільськогосподарського водопостачання (вміст ЗР, у т.ч. РН); водойм у зонах впливу атомних електростанцій (вміст РН); поверхневих вод у прикордонних зонах і місцях їх інтенсивного виробничо-господарського використання (вміст ЗР, у т.ч. РН); зрошуваних та осушуваних земель (глибина залягання та мінералізація ґрунтових вод, ступінь засоленості та солонцюватості ґрунтів); підтоплення сільських населених пунктів, прибережних зон водосховищ (переформування берегів і підтоплення територій).

7. Держкомзем – ґрунтів і ландшафтів (вміст ЗР, прояви ерозійних та інших екзогенних процесів, просторове забруднення земель об'єктами промислового і сільськогосподарського виробництва); рослинного покриву

земель (видовий склад, показники розвитку та ураження рослин); зрошуваних і осушених земель (вторинне підтоплення і засолення тощо); берегових ліній річок, морів, озер, водосховищ, лиманів, заток, гідротехнічних споруд (динаміка змін, ушкодження земельних ресурсів).

8. Держжитлокомунгосп – питної води централізованих систем водопостачання (вміст ЗР, обсяги споживання); стічних вод міської каналізаційної мережі та очисних споруд (вміст ЗР, обсяги надходження); зелених насаджень у містах і селищах міського типу (ступінь пошкодження ентомошкідниками, фітозахворюваннями тощо); підтоплення міст і селищ міського типу (небезпечне підняття рівня ґрунтових вод).

Окрім цих основних суб'єктів моніторингу довкілля, традиційно виділяють ще такі:

9. Держгідрометслужба – атмосферного повітря та опадів (вміст ЗР, у т.ч. РН, транскордонне перенесення шкідливих речовин); річкових, озерних, морських вод (гідрохімічні та гідробіологічні визначення, вміст ЗР, у т.ч. РН); ґрунтів (вміст ЗР, у т.ч. РН); радіаційної обстановки (на пунктах стаціонарної мережі та за результатами обстежень); стихійних та небезпечних природних явищ (повені, паводки, снігові лавини, селі тощо).

Всі суб'єкти державної системи моніторингу повинні забезпечувати постійне вдосконалення підпорядкованих їм мереж спостережень за станом довкілля, уніфікацію методик спостережень і лабораторних аналізів, приладів і систем контролю, створення банків даних для їх багатоцільового колективного використання за допомогою єдиної комп'ютерної мережі, яка забезпечує автономне і спільне функціонування складових цієї системи та взаємозв'язок з іншими інформаційними системами, які діють в Україні і за кордоном.

### ***Функціонування державної системи моніторингу довкілля***

Система моніторингу ґрунтується на використанні існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу і функціонує на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи.

Організаційна інтеграція суб'єктів системи моніторингу на всіх рівнях здійснюється органами Мінприроди на основі: загальнодержавної і

регіональних (місцевих) програм моніторингу довкілля, що складаються з програм відповідних рівнів, поданих суб'єктами системи моніторингу; укладених між усіма суб'єктами системи моніторингу угод про спільну діяльність під час здійснення моніторингу довкілля на відповідному рівні. До складу виконавців зазначених програм суб'єкти системи моніторингу можуть залучати підприємства, установи і організації незалежно від їх підпорядкування і форм власності.

Координацію діяльності суб'єктів державної системи моніторингу довкілля здійснює Міжвідомча комісія з питань моніторингу довкілля, утворена відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 17.11.2001, № 1551 «Про утворення Міжвідомчої комісії з питань моніторингу довкілля».

Методологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів державної системи моніторингу покладається на Мінприроди із залученням суб'єктів цієї системи, а також установи Національної академії наук, Української аграрної академії наук, Національного космічного агентства України (НКАУ) та Національного агентства з питань інформатизації при Президентові України і здійснюється на основі:

- єдиної науково-методичної бази щодо вимірювання параметрів і визначення показників стану довкілля, біоти і джерел антропогенного впливу на них;
- впровадження уніфікованих методів аналізу і прогнозування властивостей довкілля, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації;
- загальних правил створення і ведення розподілених баз та банків даних і знань, картування і картографування екологічної інформації, стандартних технологій з використанням географічних інформаційних систем.

Метрологічне забезпечення державної системи моніторингу також покладається на Мінприроди із залученням інших суб'єктів цієї системи та органів Держстандарту і здійснюється на основі:

- єдиної науково-технічної політики щодо стандартизації, метрології та сертифікації вимірювального, комп'ютерного і комунікаційного обладнання;
- єдиної нормативно-методичної бази, що забезпечує достовірність і порівнянність вимірювань і результатів оброблення екологічної

інформації в усіх складових частинах цієї системи.

Суб'єкти системи моніторингу, а також місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування, підприємства, установи і організації, незалежно від їх підпорядкування і форм власності, повинні здійснювати розроблення і узгодження з органами Мінприроди та МНС планів здійснення заходів з метою:

- організації системи спостережень за станом екологічно небезпечних об'єктів;
- запобігання екологічно небезпечній виробничій, господарській та іншій діяльності;
- захисту зареєстрованих у системі моніторингу постів (пунктів, станцій) спостережень за об'єктами довкілля від пошкодження та несанкціонованого перенесення;
- виділення в установленому порядку земельних ділянок під влаштування нових постів спостережень на підставі затверджених програм удосконалення і розвитку складових частин системи моніторингу.

Інфраструктура системи моніторингу, її складові частини, системоутворювальні та уніфіковані компоненти створюються на підставі відповідних технічних завдань і проектів, затверджених у встановленому порядку. Такі технічні завдання і проекти підлягають реєстрації в Міністерстві охорони НПС. Прийняті проектні рішення реалізуються в межах щорічних заходів загальнодержавної і регіональних (місцевих) програм екологічного моніторингу довкілля.

### ***Взаємовідносини суб'єктів державної системи моніторингу довкілля***

Взаємовідносини суб'єктів системи моніторингу ґрунтуються на:

- взаємній інформаційній підтримці рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання ресурсів та екологічної безпеки;
- координації дій для забезпечення функціонування системи екологічного моніторингу довкілля;
- ефективному використанні наявних організаційних структур, засобів спостережень та комп'ютеризації процесів діяльності;
- сприянні найбільш ефективному розв'язанню спільних завдань моніторингу довкілля та екологічної безпеки;
- відповідальності за повноту, своєчасність і достовірність інформації;

- колективному використанні інформаційних ресурсів та комунікаційних засобів;
- безкоштовному інформаційному обміні.

Мінприроди разом з МНС за погодженням з іншими суб'єктами системи моніторингу встановлює спеціальні регламенти спостереження за екологічно небезпечними об'єктами, критерії визначення і втручання у разі виникнення або загрози виникнення надзвичайних екологічних ситуацій. Центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадяни повинні негайно інформувати Мінприроди, МНС та їх органи на місцях про виникнення або загрозу виникнення надзвичайних екологічних ситуацій будь-якого походження.

Попередження про виникнення або загрозу виникнення небезпечних природних явищ, оцінювання їх розвитку і можливих наслідків покладається на:

- Держгідрометслужбу МНС – метеорологічні, гідрологічні та геліогеофізичні явища на суші і на морі;
- Держгеослужбу Мінприроди – екзогенні та ендегенні геологічні процеси.

Центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації, громадяни, які володіють об'єктивною інформацією про виникнення або загрозу виникнення небезпечних природних явищ, повинні негайно надавати її органам МНС і Мінприроди України. Державне еколого-геологічне картування території країни та її частин здійснюють підприємства, установи та організації, що також належать до сфери управління Держгеослужби.

Оцінювання впливу забруднення довкілля на стан здоров'я населення покладається на МОЗ та його органи на місцях (зокрема, на санітарно-епідеміологічні станції – СЕС), які повинні своєчасно інформувати органи державної влади та органи місцевого самоврядування про негативні тенденції або кризові зміни стану здоров'я населення внаслідок погіршення екологічної обстановки.

НКАУ надає всім зацікавленим суб'єктам системи моніторингу архівну та поточну інформацію з дистанційного зондування Землі, а також методичну і технічну допомогу користувачам щодо інтерпретації та

використання аерокосмічних даних.

Органи Держводгоспу надають усім зацікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про державний облік використання вод та скидання стічних вод водокористувачами.

Органи Мінагрополітики надають усім зацікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про фізичні, геохімічні та біологічні зміни якості ґрунтів сільськогосподарського призначення.

Органи Держкомзему надають усім зацікавленим суб'єктам системи моніторингу інформацію про стан земельного фонду, структуру землекористування, трансформацію земель, заходи щодо запобігання негативним процесам і ліквідації їх наслідків.

Національне агентство з питань інформатизації при Президентові України сприяє використанню в системі моніторингу сучасних комп'ютерних і комунікаційних засобів, які рекомендуються до застосування в національній інформаційній інфраструктурі.

Право володіння, користування і розпорядження інформацією, одержаною під час виконання загальнодержавної і регіональних (місцевих) програм моніторингу довкілля, регламентується законодавством. Інформація, що зберігається в базах даних державної системи моніторингу, використовується для прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки органами державної влади та органами місцевого самоврядування. Ця інформація надається їм безкоштовно відповідно до затверджених регламентів інформаційного обслуговування користувачів системи моніторингу та її складових частин. Спеціально підготовлена інформація на запит користувачів підлягає оплаті за домовленістю, якщо інше не передбачено нормативними актами або укладеними двосторонніми угодами про безкоштовні взаємовідносини постачальників і споживачів інформації. Такі угоди підлягають реєстрації в Міністерстві охорони НПС.

Мінприроди, МНС та їх органи на місцях здійснюють оперативне управління інформацією, одержаною на всіх рівнях функціонування системи моніторингу.

Фінансування робіт зі створення і забезпечення постійного функціонування системи моніторингу та її складових частин здійснюється відповідно до порядку фінансування природоохоронних заходів за рахунок коштів, передбачених у державному та місцевих бюджетах згідно з



законодавством.

### **Контрольні питання**

1. Дайте визначення системи моніторингу довкілля. Коли розпочались роботи зі створення системи моніторингу на міжнародному рівні?
2. Назвіть основні етапи (структурні блоки) моніторингу довкілля.
3. Які є принципи класифікації систем моніторингу довкілля?
4. Які види моніторингу ви знаєте?
5. Які виділяють рівні системи моніторингу довкілля?
6. Дайте визначення загального, кризового і фонових моніторингу.
7. Якою постановою затверджено положення про систему моніторингу довкілля в Україні?
8. Які основні фактори антропогенного впливу на довкілля ви знаєте?
9. Наведіть приклад класифікації антропогенних факторів.
10. Які класифікації показників та індикаторів в системі моніторингу довкілля ви знаєте?
11. Охарактеризуйте пріоритетні забруднювальні речовини за класами пріоритетності.
12. Які ви знаєте об'єкти системи державного моніторингу України?
13. Наведіть перелік суб'єктів системи державного моніторингу України та їх основних завдань щодо моніторингу довкілля.
14. Як забезпечується обмін інформацією між суб'єктами моніторингу?
15. Як забезпечується ефективна взаємодія між суб'єктами моніторингу?
16. Як забезпечується узгодженість нормативно-правового та методичного забезпечення між суб'єктами моніторингу?
17. Ким забезпечується узгодженість інструментального та інформаційного забезпечення між суб'єктами моніторингу?
18. Коли була організована глобальна система моніторингу навколишнього природного середовища (GEMS)?
19. Для чого створюють реєстри надходження та поширення забруднювальних речовин?

## **2 СВІТОВИЙ ДОСВІД ОРГАНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

### **Досвід організації систем екологічного моніторингу в зарубіжних країнах**

Зарубіжний досвід організації систем екологічного моніторингу, зокрема автоматизованих, свідчить про велику зацікавленість органів виконавчої влади різних країн у розвитку національних систем моніторингу, а також про високу економічну і соціальну ефективність цих систем, незважаючи на необхідність високого рівня інвестиційних вкладень.

#### ***Організація моніторингових досліджень в США***

Національне управління по боротьбі з забрудненням атмосфери США у 1968 р. розділило територію країни на 15 районів (кущів) за допустимим ступенем забруднення повітря. В кожному з цих районів встановлено комплекс автоматичних датчиків та телеметричних систем, об'єднаних в загальнодержавну систему контролю атмосфери. Організована у 1970 р. Агенція з охорони навколишнього середовища США (Environmental Protection Agency – EPA) об'єднала вказані райони в 10 регіонів, розділені в свою чергу на районні управління охорони атмосфери у відповідності з кущовими системами контролю забруднення повітря. Зараз функціонують телеметричні системи в Чикаго, Пітсбурзі, Нью-Йорку, Лос-Анджелесі, Детройті, Вашингтоні, Філадельфії, Сент-Луїсі та інших містах. Системи дозволяють використовувати багатоступеневу оперативну систему сигналізації про небезпечне забруднення атмосфери. Якщо на пунктах з неперервним вимірюванням забруднення атмосферного повітря (ЗП) отримують дані про перевищення критичних концентрацій забруднювальних речовин (ЗР), то по всій мережі вимірювань даного штату оголошується початок більш інтенсивного відбору проб. В подальшому, якщо концентрації забруднювальних речовин перебільшують значення, встановлені для першого сигналу тривоги, а прогноз метеорологічних умов не показує різких змін погоди, державна служба контролю отримує повідомлення про необхідність об'явлення сигналу «попередження». Далі, якщо протягом 24 годин рівень ЗП зберігається або зростає, а прогноз погоди вказує на подальше збереження

застійних умов, об'являють другий сигнал тривоги «застереження». При першому сигналі зупиняють спалювання сміття, від великих споживачів вимагається добровільне зменшення споживання палива і перехід на паливо з низьким вмістом сірчаних сполук, адміністрація звертається до населення з попередженням про небажаність користування автотранспортом. При другому сигналі тривоги добровільне обмеження розповсюджується на опалення будинків, закриваються деякі заводи, зменшуються викиди решти підприємств (за спеціальним планом), поліція обмежує рух автотранспорту. Третій ступінь тривоги «небезпека» пов'язаний з зупинкою підприємств, зведенням до мінімуму руху автотранспорту. Небезпечна ситуація визначається в цілому по контрольованому району на основі фонових (емісійних) даних, а при локальних підвищеннях концентрацій застосовують заходи до найближчих підприємств. Всі три типи «димових тривог» відносяться до надзвичайно інтенсивного ЗП: вже при оголошенні тривоги першого типу максимально допустимі концентрації CO, SO<sub>2</sub> та NO<sub>2</sub>, наприклад, в десятки разів перевищують ГДК.

Ще в кінці минулого століття в США створено інформаційні мережі «державних банків даних» про стан атмосфери та тенденції в зміні її якості, які використовуються для планування і реалізації заходів по боротьбі з ЗП. Американські спеціалісти вважають, що успіх подібних програм залежить в першу чергу від складності контрольно-вимірювальних станцій, ефективності процесів збору та переробки інформації про забруднення повітря.

Досвід побудови та експлуатації систем контролю ЗП в США використано рядом інших країн – Японією, Нідерландами, Францією, Великобританією, Канадою та деякими іншими.

Аналіз характеристик відомих зарубіжних систем свідчить про те, що ці системи суттєво відрізняються одна від одної числом контрольно-вимірювальних станцій (КВС) та частотою опитування мережі КВС. Перше визначається географічними, топографічними та метеорологічними умовами контрольованого району. Спостерігається тенденція до збільшення числа КВС: Чикаго – з 7 до 60, Нью-Йорк – з 10 до 40, Піттсбург – з 3 до 99, Берлін – з 6 до 82, Мюнхен – з 15 до 80, Нідерланди

– з 31 до 250. Відмічається тенденція до зменшення часу осереднення інформації датчиків і збільшення частоти опитування КВС із збільшенням площі контрольованого району.

Більшість зарубіжних систем використовують телефонні канали зв'язку. Комутовані телефонні лінії використовуються в одній з найбільш досконалих цифрових телеметричних систем «Емпайр стейтс систем» штату Нью-Йорк (та в кустовій системі Баварії), яка контролює забруднення одночасно повітряного і водного басейнів.

Сучасні автоматизовані системи контролю забруднень повітря використовують комп'ютерні системи, які працюють в реальному масштабі часу, що забезпечує високу ефективність та можливість прогнозування небезпечних ситуацій.

Аналіз зарубіжних систем контролю ЗП дозволяє визначити основні задачі такої системи:

Оперативний відбір та експрес-оцінка отриманої інформації, аналіз її репрезентативності, зміна режиму роботи в залежності від результатів, видача оброблених даних для наступного аналізу.

Накопичення та статистична обробка і сортування інформації про ЗП (отримання середньодобових, місячних, сезонних, річних та інших даних).

1. Створення картотеки джерел ЗП з даними про їх розташування, потужність, вид та циклічність викидів, присутність очисних споруд та можливих заходах тимчасового зменшення викидів.

2. Визначення ступеня небезпечності окремих джерел забруднення, розробка рекомендацій щодо характеру та черговості дій при несприятливих метеорологічних умовах.

3. Оперативний прогноз ЗП.

4. Попередження промисловим підприємствам та службі регулювання руху автотранспорту про значні поточні та прогнозовані концентрації ЗП та необхідність прийняття відповідних заходів.

5. Аналіз ефективності різних пристроїв та методів очистки викидів у процесі експлуатації, оперативна оцінка короткочасних локальних заходів по захисту біосфери від забруднень.

6. Аналіз ступеня ЗП в залежності від географічних, топографічних і метеорологічних факторів, пори року, доби і т.д., який відкриває широкі можливості для оптимального планування швидко зростаючих промислових комплексів і місць масового відпочинку населення, а також

для довгострокового прогнозу ЗП з врахуванням розвитку промисловості та транспорту.

7. Забезпечення центральних, регіональних, обласних та міських органів та зацікавлених організацій терміною і систематичною інформацією про ЗП, а також прогнозами і попередженнями про можливі різкі зміни його рівня для розробки і здійснення захисних заходів.

Оскільки змінити технологію виробництва, ввести нові ефективні комплекси очисних споруд на діючих підприємствах не завжди і не всюди економічно доцільно, особливе значення мають методи і засоби раціонального «управління» забрудненням повітря промислових комплексів та міст.

### ***Організація моніторингових досліджень у Великобританії***

Великобританія не має єдиної, попередньо запланованої, системи охорони навколишнього природного середовища. Це пояснюється в основному тим, що її формування розпочалось ще на початку 19 століття і продовжувалось майже до кінця 20 століття.

Серед задач охорони навколишнього середовища на перше місце у Великобританії ставлять питання, пов'язані з попередженням негативного впливу на здоров'я людини, захист тварин і рослин, питання рекреації і проблеми зменшення любых негативних наслідків для навколишнього середовища.

У Великобританії існує система заказників, національних парків, зелених поясів для захисту і збереження біологічних систем. Для боротьби із забрудненням на додаток до існуючих заходів організовується система моніторингу забруднень.

Система моніторингу створюється у Великобританії з 1980 р. у відповідності з існуючими потребами, а отримані результати використовуються для прийняття рішень в управлінні станом навколишнього середовища. Ця програма повинна забезпечити слідування як за причинами, так і за наслідками збурень. Основною метою моніторингу у Великобританії є визначення зв'язку між зміною рівнів забруднення і наслідками таких забруднень для біологічних систем.

Важливим для організації моніторингу визнається економічний аспект. Окрім того, визначення балансу між витратами на контроль і

регулювання забруднень та іншими програмами охорони природи потребує точної і повної інформації.

Моніторинг у Великобританії будується за двома напрямками:

1. Контроль якості – оперативно оцінюється «що діється» – проводяться вимірювання відомих забруднювачів, визначаються стандарти на такі забруднюючі речовини для навколишнього середовища і здоров'я людини.

2. Напрямок, який характеризується як «пильність» – мова йде про нову можливу небезпеку – нові забруднювачі, нова отрута, нові прояви реакцій біоти на дії різних речовин, нові хвороби. Для цієї частини моніторингу найбільш важливою є оцінка нових ефектів.

Особливістю побудови різних систем у Великобританії є те, що відповідальність за їх функціонування покладено на місцеву владу, окрім того, особлива увага приділяється тісному співробітництву між населенням і приватними компаніями.

Таким чином, незважаючи на те, що у Великобританії існують деякі національні програми, основні заходи в напрямку моніторингу виконуються на локальному рівні. Існують дві головні програми нагляду: Національна служба контролю забруднення атмосфери і Служба забруднення рік. Обидві програми представляють результати у вигляді карт рівнів забруднень.

Проведені вимірювання показали чітку кореляцію між визначеними концентраціями діоксиду сірки і диму та розрахованими (за кількістю і типом палива) викидами забруднень, а також частотою захворювань населення. Ця закономірність дозволяє дещо спростити моніторинг.

В працях англійських вчених відмічається, що для ефективної роботи необхідна організація централізованих служб; створюється мережа даних «раннього попередження» про найбільш небезпечні хімічні сполуки. Проводяться регулярні токсикологічні дослідження, епідеміологічні обстеження, клінічні випробування.

Для гармонізації (координації) програм моніторингу на різних рівнях у Великобританії створено декілька груп (комітетів) управління моніторингом. Вони займаються проблемами фізичних аспектів різних природних середовищ, питаннями здоров'я людей та станом біологічних систем. У Великобританії встановлені узгоджені показники якості навколишнього середовища, які враховують здатність окремих середовищ

переносити навантаження (природний ресурс). Таким чином, тут надають перевагу контролю показників якості навколишнього середовища над контролем джерел забруднення. У Великобританії визнано пріоритетним і здійснюється комплексний аналіз впливу різних речовин ще до їх появи з врахуванням реальної обстановки (особливо лікарських препаратів і пестицидів). Створено централізовану мережу реєстрів хімічних сполук, яка збирає основні відомості про забруднювальні речовини, результати їх перевірки та оцінки стану навколишнього середовища, створено єдиний банк даних по забрудненню біосфери.

Поблизу міста Бедфорда розташована одна з найбільш відомих фірм Великобританії в галузі метеорологічного приладобудування – CASELLA, яка розробляє і випускає найсучасніші прилади для вимірювання забруднення повітря газоподібними домішками та пилом, метеорологічних параметрів, в тому числі й автоматизовані прилади і системи.

### ***Організація моніторингових досліджень у Фінляндії***

Провідною організацією Фінляндії, яка займається питаннями моніторингових досліджень стану довкілля, є Фінський метеорологічний інститут (ФМІ), який було створено при Університеті Хельсінкі у 1919 році. Головними завданнями діяльності ФМІ є:

- спостереження за фізичним і хімічним станом атмосфери та магнітного поля Землі;
- підготовка і розповсюдження інформації про існуючий стан атмосфери, а також про її стан в минулому і майбутньому;
- дослідження в галузі метеорології, фізики та хімії атмосфери, космічної фізики, геомагнетизму.

Вирішення практичних задач здійснюється в тісному контакті з всесвітньо відомою фірмою VAISALA (яка має філії в США, Японії, ФРН, Франції та інших країнах) та Фінською Міжнародною Агенцією розвитку (яка бере активну участь у фінансуванні міжнародних програм з охорони навколишнього середовища).

Найбільшим відділом ФМІ є департамент приладів, який включає підрозділи з проблем спостереження за різними природними середовищами та засобів обробки результатів спостережень – 38 % працюючих. При загальній чисельності працюючих близько 600 чоловік, в адміністративному департаменті працює всього 36 чоловік (6 %).

Головним джерелом фінансування є бюджет (у 1994 році становив приблизно \$ 50 млн.).

ФМІ організовано і утримується на території Фінляндії (площа 338 тис км<sup>2</sup>, населення – 5 млн. чол.) три обсерваторії, 133 синоптичні та кліматологічні станції, 57 автоматичних станцій.

### **Системи моніторингових досліджень поверхневих вод**

До найголовніших документів у сфері водних ресурсів відноситься також Директива ЄС щодо моніторингу та менеджменту водних ресурсів (Water Framework Directive, 2000/60/EC), яка передбачає досягнення і дотримання статусу «доброї якості» усіх водних об'єктів Європи до 2015 року шляхом впровадження басейнового менеджменту. Практично всі країни ЄС інтенсивно працюють в цьому напрямку в плані визначення пріоритетів, завершення реєстру водних об'єктів, які потребують підсиленої охорони в кожному річковому басейні. Такий моніторинг повинен забезпечувати контроль за цілим рядом „елементів якості води», включаючи біологічні, хімічні (органічні та неорганічні забруднювальні речовини), гідро морфологічні та фізико-хімічні параметри.

Ця директива передбачає три типи моніторингу, який повинен забезпечити менеджмент водних ресурсів:

- **спостережний моніторинг**, спрямований на оцінку довгострокових змін якості води та формування бази даних щодо річкових басейнів;

- **оперативний моніторинг**, спрямований на отримання основних та додаткових даних про водні об'єкти, визначені в Директиві як такі, що знаходяться в незадовільному стані або містять антропогенно порушені екосистемами;

- **аналітичний моніторинг**, спрямований на оцінку причин негативних змін в річкових басейнах.

З метою забезпечення репрезентативності результатів екологічного моніторингу водних ресурсів Директива ЄС ініціює методи хімічних та біологічних досліджень, які вважаються необхідними для створення ефективних систем контролю за біонебезпеками та специфічними високо небезпечними хімічними сполуками (табл. 2.1).

Галузь науково-експериментального та інженерно-технологічного забезпечення моніторингу водних ресурсів в країнах ЄС та США



динамічно розвивається. З найсучаснішими розробками цієї галузі (портативні прилади, обладнання, витратні матеріали, аналітичні процедури спеціалізованих лабораторій, складні автоматизовані системи постійного моніторингу тощо) можна ознайомитись у періодичному міжнародному виданні International Environmental Technology. В сучасних розробках перевага надається методам, що дозволяють проводити комплексні вимірювання в неперервному автоматичному режимі, на противагу традиційним підходам з методологією точкового відбору проб, які останнім часом вважаються недосконалими. Найбільш прогресивними інженерними рішеннями в організації і проведенні моніторингу водних ресурсів вважаються застосування пробовідбірників пасивної дії, імуноіндикаторів та біосенсорів.

Таблиця 2.1 – Методи біологічного та хімічного моніторингу якості води, рекомендовані Водною Директивою ЄС

Назва методу	Будова, класифікація, аналітичні величини та принцип дії	Сфера застосування та основні переваги
1	2	3
Біоіндикація та біотестування	Оцінка реакції тест-організму (мікроорганізми, водорості, безхребетні) на забруднення в пробах води або в умовах in-situ. Біоломінесценція, стан метаболізму, кількість хлорофілу, флуоресценція; темпи росту чи розвитку. Входять до аналітичних систем визначення	Регулювання токсичності стоків очисних споруд, встановлення змін токсичності після аварійних розливів або визначення джерел забруднення. Враховується біоаккумуляція і фізичні перетворення поллютантів
Біосистеми завчасного попередження	Живий організм (чутливий елемент детектування змін в тест-організмі) або процесорний елемент передачі сигналу до системи реагування. Фізіологічні чи поведінкові зміни при гострій токсичності: – в мікроорганізмах чи водоростях; – потреба в біологічно активному кисні, темпи росту, чисельність популяції, фотосинтетична активність; – в молюсках – темпи дихання; – в безхребетних чи рибах – поведінка у плаванні	Моніторинг точок забору в системах питного водопостачання. Моніторинг стічних вод чи забруднених стоків з місць проведення ремедіаційних робіт

Продовження таблиці 2.1

1	2	3
Біомаркери	<p>Біореакції в середині організму під впливом дії полютантів (забруднювальних речовин):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– експозиції (вимірювання екзогенних речовин, їх метаболітів та продуктів взаємодії з ксенобіотиками);</li> <li>– ефекту (біохімічні, фізіологічні та інші зміни в середині організму);</li> <li>– чутливості (реакція організму на величину експозиції того чи іншого</li> </ul>	<p>Ефекти полютантів спочатку з'являються на молекулярному та субмолекулярному рівнях, потім на рівні організму та популяції. Як сигнали попереднього реагування при проведенні наукового моніторингу</p>
Пробовідбірники пасивної дії	<p>Абсорбція чи адсорбція полютантів з проби води рецепторним розчином. Еквілібричні (термодинамічної рівноваги). Кінетичні – визначається ступінь масового переносу до акцепторного розчину, яка пропорційна різниці в хімічних активностях полютанта в воді та акцепторному розчині, вираховується часово-вагова варіація концентрації полютантів</p>	<p>Можна вимірювати епізодичні змін концентрації полютантів без використання методу точкового відбору проб, порівнювати концентрації полютантів в біоті та у водному середовищі, оцінювати місце знаходження джерел забруднення; в поєднанні з біомаркерами та біоіндикаторами. Дозволяє встановлювати релятивну токсикологічну значимість полютантів (науковий моніторинг)</p>
Імуноіндикатори	<p>Містять антитіла селективного розпізнавання. З'єднані антигени з антитілами іммобілізуються на поверхні. Для фіксації цих точок з'єднання та передачі доступного для обчислення сигналу використовуються мічені атоми або інші індикатори (люмінесцентні)</p>	<p>Для оцінки присутніх у воді патогенів, скринінгу (екранування), встановлення місця подальшого проведення аналітичних робіт, термінового картування та встановлення джерел забруднення</p>

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3
Біосенсори	Імунохімічні, ензиматичні (ферментні), інкорпоровані в ДНК, цілі організми. Базуються на хімічному чи фізичному рецепторі розпізнавання окремого хімічного елемента чи речовини та перетворювача сигналу у доступну для обчислення форму (вольт амперметричні мікро прилади, інкорпоровані полімери тощо). Детектування реакції електрохімічними сенсорами відбувається на принципах потенціометричних вимірювань або вимірювань електроємності чи електропровідності.	Можна отримувати інформацію відносно біонакопичення поллютантів та цитотоксичності, генотоксичності чи мутагенності водної проби. В поєднанні з системами оптичної чутливості для детектування пестицидів, а в системах з флуоресцентними чи люмінесцентними вимірюваннями для визначення токсичності та концентрацій поллютантів. При моніторингу заборів питної води, стоків, поверхневих та ґрунтових вод. Для оперативного складання карт забруднення.

### Моніторинг надзвичайних ситуацій

Останнім часом в інформаційних джерелах часто зустрічається словосполучення «аварійний моніторинг» або «кризовий моніторинг». Під ним розуміють оперативні дії спеціалізованих аналітико-експертних груп реагування на надзвичайні ситуації техногенного характеру спрямовані на екстрену оцінку ситуації на місці та прийняття термінових заходів щодо ліквідації наслідків.

Найбільш складним завданням при проведенні аналітичних робіт на місці аварії є надзвичайно велике число сполук, які необхідно одночасно проаналізувати. Для того, щоб прийняти правильне рішення щодо вибору необхідних аналітичних методів та інструментів, доцільно керуватись спеціальним реєстром найбільш токсичних сполук, що можуть бути присутніми при виникненні подібних аварій. Одним із таких списків промислових токсичних речовин є «Реєстр надзвичайно небезпечних сполук», створений EPA US і доступний на вебсайті EPA. До цього реєстру входять 356 сполук. Нижче наведено список сполук, аналітичне визначення яких є особливо проблематичним (табл. 2.2).

До цього реєстру додаються також методики та інструкції щодо

аналітичного визначення та правил поводження з цими сполуками, зокрема, надаються рекомендації із застосування таких комбінованих інструментальних методів, як газова хроматографія та мас спектроскопія. Інноваційним методом для вимірювання миш'яку у воді вважається застосування приладу американської фірми TraceDetect, що складається із системи підготовки проб, аналізатора послідовного введення та анодного вольтамперометричного вольтаметра з датчиком-електродом Nano-Band.

У Великобританії моніторинг криптоспоридії (найпростіший паразит, що викликає діарею, стійкий до хлорування та інших дезинфікуючих засобів, може довгий час жити у воді) є стандартизованим і зареєстрований в протоколі методів моніторингу Державної інспекції питної води.

Таблиця 2.2 – Список речовин з «Реєстру надзвичайно небезпечних промислових сполук»

<b>Класифікація</b>	<b>Приклади</b>
Органічні сполуки (50% від всіх)	Акролеїн, акриламід, акрилонітрил, хлорометилкетон, анілін, хлороформ, колхіцин, циклогексиламін, ерготамін, тетрат, етилтіоціанід, гідрохінон, пропілонітрил, мітоміцин С, вінілацетат
Пестициди (30%)	Алдріл, хлордан, ендосульфат, етіон, метідатіон, паратіон, фосмет
Неорганічні сполуки (10%)	Хлорид хрому, трихлорид галію, гексахлорид телуру, селеніт натрію, сульфат талію, фосфід алюмінію, ціанід калію
Гази (5%)	Амоній, хлор, атілонексид, ціанід водню, фосфін, сульфід водню, трифторид бору, арсин, діоксид сірки
Органометалічні сполуки (5%)	Карбоніл кобальту, метилциклопетадіенілманганіз три карбоніл, карбоніл нікелю, фенілртутьацетат, тетраетил свинцю

Світова практика свідчить, що ефективна система моніторингу та менеджменту водних ресурсів є основною передумовою раціонального, контрольованого та безпечного водокористування.

В США, Англії та інших країнах Європи існують державні екологічні управління (агенції), до яких входять підрозділи, відповідальні за організацію і проведення моніторингу всіх складових довкілля (повітряного, водного, ґрунтів, біоресурсів). Ці підрозділи відповідають, також за акредитацію і сертифікацію лабораторій, персоналу, технологій, інструментарію і автоматизованих систем моніторингу як на промислових,

так і на житлово-комунальних об'єктах. В сферу діяльності цих підрозділів входить також розробка нормативно-правової документації та науково-інформаційне забезпечення, підготовка та реалізація цільових програм та проектів.

Керуючись положеннями Водної Директиви при Державному екологічному управлінні Великобританії започаткована нова програма сертифікації технологій моніторингу довкілля (рис. 2.1).

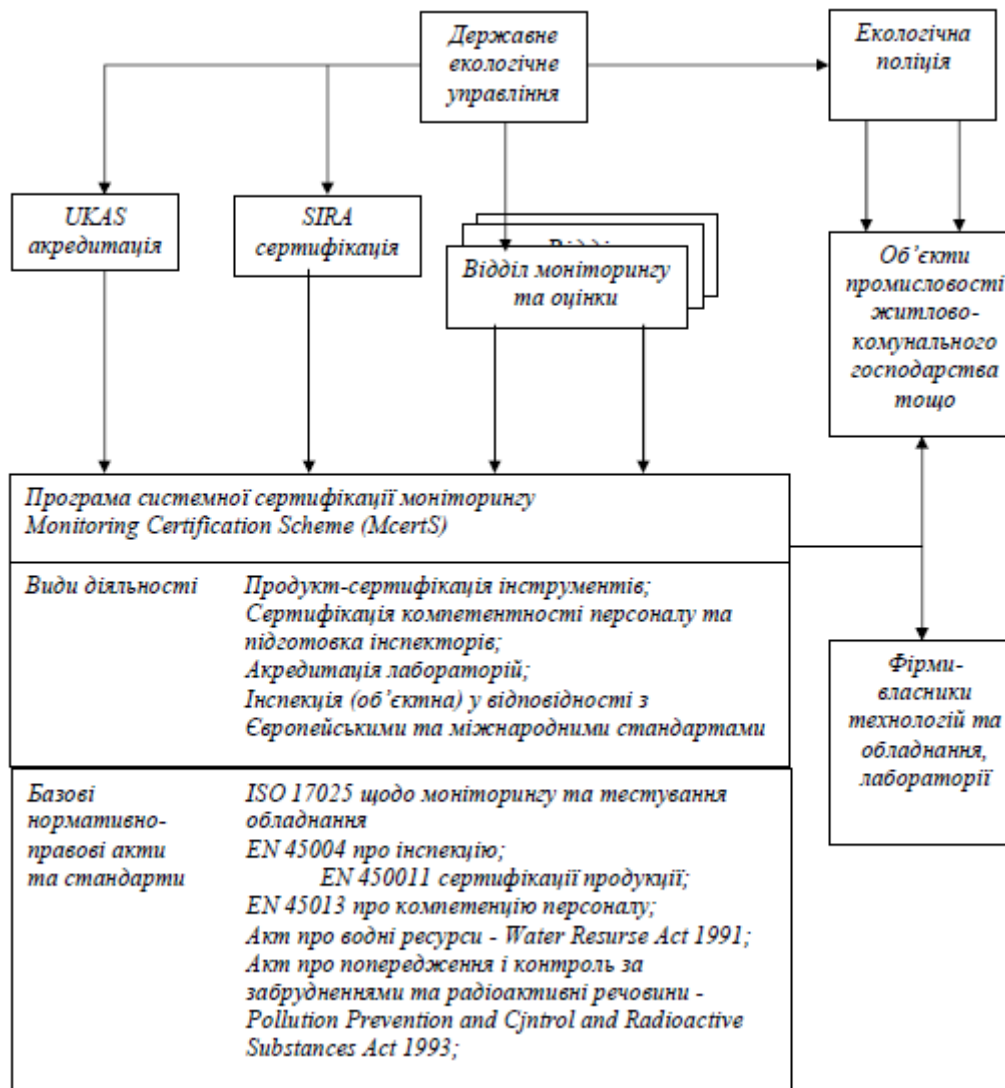


Рисунок 2.1 – Структура системи управління моніторингом водних ресурсів у Великобританії

Метою цієї програми є забезпечення якості і достовірності даних водного моніторингу, особливо їх відповідність прийнятним стандартам. Якість даних залежить від правильного використання відповідних методів, стандартів, процедур та обладнання, тренуваного та кваліфікованого

персоналу, ефективного планування, забезпечення та контролю якості. Завдяки цій програмі:

- відбувається забезпечення замовників (користувачів) сертифікованим інструментарієм та процедурами для проведення моніторингу з дотриманням як національних, так і міжнародних стандартів, зокрема, зростаючих вимог директив ЄС;

- надається можливість для виробників інструментів та провайдерів послуг у забезпеченні замовників потрібними сертифікованими інструментами та послугами;

- на вимогу ЄС на об'єктах проводяться незалежні інспектування систем моніторингу довкілля.

До сфери діяльності цієї програми входить також розробка регламентів та іншої документації, створення та обслуговування реєстрів сертифікованих лабораторій, фірм-виробників, обладнання та технологій моніторингу. Інформація про реалізацію цієї програми розміщується на вебсайті.

Environmental Agency GB разом з відомим видавництвом SWIG та Environmental Technology здійснюють проект під назвою «Екологічний моніторинг води та стічних вод» (Water Wastewater Environment Monitoring – WWEM). Мета проекту полягає у своєчасному висвітленні інформації про інновації у сфері моніторингу якості води шляхом організації міжнародних конференцій, семінарів, виставок тощо.

З 1977 році розпочалися роботи за міжнародною програмою UNEP/Water (United Nation Environment Program/Water) щодо організації системи спостережень за станом прісних вод, яка входить в систему глобального моніторингу навколишнього середовища (табл. 2.3). Міжнародна система моніторингу прісних вод базується на 344 станціях (з них 240 – розміщено на річках, 43 – на озерах, 61 – на джерелах підземних вод). Станції розташовані таким чином, щоб вести спостереження як на незабруднених, так і на забруднених територіях. Всі дані спостережень акумулюються в Канадському центрі континентальних вод (м. Барлінгтон, провінція Онтаріо) з метою вивчення стану забруднення прісних вод та розробки світових стандартів чистої води.

Таблиця 2.3 – Мережа постів спостережень за станом поверхневих вод у різних країнах світу

Країна	Площа, тис.км <sup>2</sup>	Кількість пунктів (станцій, постів)	Густота мережі, км <sup>2</sup> на один пункт
Австрія	84	700	120
Білорусь	208	130	1600
Велика Британія	244	250	877
Індія	3288	302	10889
Італія	301	489	615
Канада	9976	1116	8939
Китай	9597	3189	3009
Нідерланди	41,2	260	158
Німеччина	357	1122	318
Норвегія	324	607	534
Польща	313	690	453
Росія	17075	3470	4920
США	9363	60000	156
Україна	603	434	1388
Фінляндія	337	595	566
Франція	551	1005	548
Швейцарія	41,3	332	124
Швеція	450	590	763
Японія	372	4200	89

За головними структурними ознаками національні системи моніторингу вод в різних країнах відносяться в основному до трьох типів: першого – коли у країні діє єдина загальнонаціональна мережа гідрологічних і гідрохімічних станцій та постів (Велика Британія, Канада, Нідерланди, Японія); другого – коли паралельно діють декілька рівноцінних мереж збору інформації (Швеція); третього – коли пріоритетними є одна-дві мережі контролю якості води, а їх доповнюють ще декілька регіональних структур (США, Україна та деякі інші пострадянські країни).

На основі моніторингових досліджень зроблені висновки, що у слабо розвинутих країнах світу забруднення води здійснюється в основному побутовими водами; в країнах, що розвиваються – максимально високий рівень забруднення всіма видами стоків; а в розвинутих країнах кількість забруднених вод останнім часом зменшується, а пік забруднення припадає на 30-і – 50-і роки 20 століття.

## Стан робіт з організації моніторингу ґрунтів

Як вже згадувалось, моніторинг ґрунтів як самостійний науково-практичний напрямок був сформований на початку 70-х років минулого століття. У наступні роки значення моніторингу було визнано в багатьох країнах. У деяких з них були розроблені методологічні підходи і навіть функціонують повноцінні мережі, в інших – проводяться лише окремі спостереження. В цілому ж характерним є те, що до сих пір не має жодної методики, немає узгоджених програм і мереж. Навіть у країнах такого добре забезпеченого континенту, яким є Європа, моніторинг розвивається не достатніми темпами.

**Австрія.** Методика моніторингу ґрунтів була затверджена Федеральним міністерством сільського і лісового господарства у 1989 р. Згідно цієї методики, були відібрані зразки ґрунтів по мережі 4×4 км, а в деяких регіонах 2×2 і навіть 1×1 км. Глибина відбору проб – до 50 – 70 см через кожні 10 см. У відібраних зразках визначені щільність, гранулометричний склад, рН, загальний вуглець, вміст карбонатів, органічного вуглецю, загального азоту, обмінних катіонів Fe, Al, Mn, Ca, Mg, K, Na, ємність катіонного обміну, важкі метали (Al, P, As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mo, Ni, Pb, V, Zn), ємність нейтралізації, водорозчинні аніони і електропровідність. Результати першого (початкового) туру ґрунтового моніторингу показали, що більшість ґрунтів країни різко підкислені (рН < 4,2). Останній показник впливає на трансформацію мінералів, біохімічні і біологічні процеси. Середній вміст мікроелементів не перевищує фонових оцінок (Eikmann, 1991), виключаючи Cu, Cr, і As в деяких регіонах, а також Cd – в усіх лісних ґрунтах. В той же час констатувалось забруднення ґрунтів окремими елементами поблизу промислових комплексів.

У наступні роки в країні обговорювались питання подальшого ведення робіт з моніторингу ґрунтів. Від початкової ідеї повторювати дослідження першого туру кожні 5–10 років відмовлялись внаслідок її надмірної вартості. Було вирішено ввести наступні спостереження на строго фіксованих ділянках. Одночасно вдосконалювались методичні основи: ґрунтові карти і місця відбору зразків були узгоджені з ФАО, уточнена програма спостережень. Зокрема, гостро варіабельні показники вирішено було доповнити сезонними вимірюваннями, для ряду показників, параметри яких залежать від вологості ґрунтів, були знайдені моделі їх



переводу до повітряно-сухого стану.

Одночасно вдосконалювались методи обробки інформації, зокрема, оцінені різні моделі розрахунків ризику забруднення і ідентифікації причин деградації ґрунтів. Зокрема, була запропонована модель DVWK для прогнозування рухомості важких металів і забруднення ґрунтових вод (DVWK, 1988).

**Бельгія.** В цій країні поки що відсутня програма моніторингу, але дуже жваво обговорюються концептуальні підходи до вирішення цієї задачі. Важливо відмітити, що в Бельгії, починаючи з післявоєнних років до початку 80-х років, функціонувала Національна ґрунтова служба. За 25 років в службі накопичена значна кількість ґрунтової інформації в цифровому і аналоговому форматах, складені різномасштабні карти ґрунтів і їх окремі властивості. В останні роки ці дані були інтегровані в автоматизовану базу даних, яка містить інформацію високої якості. Геостатистична обробка бази даних (варіограми, крайгинг-аналіз), дозволила достатньо коректно екстраполювати ці дані і використовувати їх для розробки різних прогностичних моделей. Зараз бельгійські ґрунтознавці зробили висновок про те, що обстеження у рамках ґрунтознавчої служби себе вичерпали. Їм на заміну повинен прийти моніторинг ґрунтів на сучасній методологічній основі (ГІС; геопозиціювання; засоби дистанційного зондування, сумісні з наземними автоматизованими системами; педотрансферні функції; експертні системи тощо). При цьому, поступово сформувався наступний підхід до моніторингу ґрунтів.

**Перший етап** включає контроль окремих ґрунтових характеристик шляхом вимірювань, які повторюються. Набір визначень і їх глибина є стандартною, а періодичність – 5-10 років. Підвищена деталізація досліджень стосується лише так званих «hot spots» – «гарячих точок». Ґрунтові вимірювання повинні доповнюватись вивченням якості ґрунтових вод.

**Другий етап** передбачає екстраполяцію отриманих на попередньому етапі «крапкових» спостережень в просторі за допомогою педотрансферних функцій (ПТФ). Прогностичні моделі розроблені для більшості ґрунтових процесів (міграції води, металів, теплового і харчового режимів і навіть продуктивності) і регіоналізовані. При цьому дослідники достатньо чітко собі уявляють вірогідну природу ПТФ, а деякі

з них характеризують цей підхід як сурогат моніторингу (H. Vereecken, 1992), хоча і здатний відчутно зменшити витрати на прямі визначення.

**Третій етап** включає використання більш складних моделей, в яких ґрунтові дані інтегруються з метеорологічними, гідрологічними, даними продуктивності рослин і утворюють геоінформаційну систему, здатну відповісти на більшість запитань (агрономічного, економічного і особливо екологічного напрямку): баланс води і солей, загроза забруднення зони аерації нітратами, фосфором, важкими металами, силікатами, а також потребу в ресурсах та інші.

**Німеччина.** Рішення про розвиток робіт в галузі моніторингу ґрунтів і створенні відповідної інформаційної системи в країні було прийнято ще в 1985 р. Концепція системи була розроблена в 1987 р., а вже через 2 роки почалися систематичні спостереження.

Основою концепції була прийнята мережа з постійних моніторингових ділянок, яка керується і фінансується урядом Федеральних земель (Федеральним міністерством навколишнього середовища, охорони природи і ядерної безпеки, а також Федеральною Агенцією з навколишнього середовища). В Баварії були облаштовані 238 ділянок, в Баден-Вюртемберзі – 155, Нижній Саксонії – 25, Шлезвіг-Гольштейні – 22 і т.д. З цією мережею пов'язана мережа моніторингу лісових ґрунтів. Є також мережа вивчення забруднень ґрунтів повітряного походження (всього таких ділянок 17), а також мережа з 9 ділянок для спеціальних наземних і водних спостережень.

Структура і зміст інформаційної системи ґрунтового моніторингу розроблені групою дослідників із Нижньої Саксонії. Там же збираються і обробляються всі матеріали. База має відповідні системи управління, що дозволяє оперативно використовувати дані і виконувати велику кількість замовлень. Центральною частиною системи є пошукова частина, яка містить ключові слова, словник користування, каталог карт, даних, методів, посилань та ін. Так, наприклад, можна отримати інформацію про місце відбору зразків, використані методи дослідження (на даний час ці методи стандартизуються відповідно до вимог ISO/TC 190 і навіть забезпечені, в разі необхідності, перехідними коефіцієнтами для методів, розповсюджених у країнах бувшого Радянського Союзу), а також про результати обробки даних і карти. Основна база забезпечена різними підсистемами («діоксини», «ґрунтові умови в лісах», те саме в орних

грунтах та в інших категоріях ґрунтів тощо).

Не можна не підкреслити, що в Німеччині гармонізовано більшість складових інформаційної системи ґрунтового моніторингу – об'єкти, джерела фінансування, методи, виконавці. Дуже важливо також те, що доступ громадськості до цієї інформації є вільним.

**Угорщина.** Розгортанню робіт із моніторингу ґрунтів передувала значна робота з упорядкування, обробки і картування раніш отриманих матеріалів. Наслідком цих робіт став Національний атлас Угорщини, в якому відображені результати метеорологічних (з 1850 р.), гідрологічних (майже 1000 точок з 1935 р.), геологічних (з 1830 р.) і геоморфологічних спостережень. Ці дані склали основу ґрунтової інформаційної системи як фактори ґрунтоутворення. Власне ґрунтова інформаційна система включає карти трьох рівнів (крупно-, середньо-, і дрібно-масштабні) та різноманітні аналітичні дані. Великомасштабні карти, вперше складені ще у 30-ті роки, включають так звані практичні карти, генетичні ґрунтові карти, карти, які оцінюють можливості або обмеження для розвитку зрошення, і, нарешті, карти різних ґрунтово-меліоративних проектів. Середньомасштабні карти – це, в основному, цифровані (електронні) карти ґрунтів і ґрунтових властивостей, використані для інтегрованої оцінки агроекологічного потенціалу ґрунтів країни в М 1:100000. Разом із загальновідомими показниками на картах відображені дані найменшої вологоємкості, інфільтрації, насиченої і ненасиченої вологопровідності. Дрібномасштабні карти – це результат участі угорських ґрунтознавців в міжнародних проектах: ґрунтова карта світу ФАО/ЮНЕСКО, ґрунтова карта Європи ФАО, карта засолених ґрунтів світу, деградації (GLASOD), SOTER (цифрова карта ґрунтів і територій Європи), SOVEUR (карти можливого забруднення ґрунтів Європи), EUSOPOL (карта забруднення ґрунтів Європи), карта СТВ («Chemical Time Bomb» – довготривала оцінка ризику забруднення ґрунтів).

В 90-ті роки в Угорщині складені карти можливих деградацій ґрунтів (підкислення, фізичної деградації, ерозії і ін.).

Всі перераховані дані об'єднані в географічну інформаційну ґрунтову систему (HUNSIIS-TIR), яка складається з двох великих частин: банк ґрунтової інформації (топографічна, точкова і просторова) і банк моделей для оцінки режимів вологи, живильних елементів, можливих деградацій (водна і вітрова ерозія, підкислення, засолення, погіршення

структури, ущільнення, забруднення та ін.).

Нова система моніторингу ґрунтів як незалежна підсистема інтегрованої системи інформації про навколишнє середовище і моніторинг діє з 1992 р. Вона включає 1200 репрезентативних постійних ділянок, в тому числі 800 – на сільськогосподарських землях, 200 – в лісах і 200 – у так званих «hot spots» (які охоплюють 12 різних типів екологічної небезпеки або найбільш вразливих об'єктів: деградовані ґрунти; меліоративні об'єкти; ділянки, що розташовані поряд з джерелами забезпечення питною водою; заповідні території; промислові, сільськогосподарські і міські забруднені об'єкти; військові полігони; території відкритих гірських розробок; об'єкти акумуляції стічних вод та ін.).

Програма включає визначення майже 100 показників ґрунтів, рослин і вод, частина з яких вимірюється кожний рік, частина – 1 раз на 3 роки, частина – 1 раз на 6 років. Програма фінансується з державного бюджету і координується в основному науково-дослідницьким інститутом ґрунтознавства, меліорації і агрохімії. Результати моніторингу відкриті для громадськості, але з деякими обмеженнями із-за можливих помилок в інтерпретації результатів.

Самий головний результат майже 10-річного функціонування програми: в країні сформувалась атмосфера сприяння цій роботі і вважається, що без моніторингу створити комфортні умови для життя і чисте навколишнє середовище неможливо.

**Італія.** В цій країні початкові умови для розвитку моніторингу значно гірше, ніж в описаних вище країнах. Ґрунтові карти Італії в М 1:1000000 і 1:500000 видані в 60-і роки, вони схематичні і в значній мірі застаріли. В останні роки деякі регіони приклали зусилля в частині детального ґрунтового картування в М 1:250000. Більш детальні карти 1:100000 і 1:80000 є лише в окремих регіонах, а потрібного масштабу (детальніше, ніж 1:50000) – лише на території університетів і дослідницьких установ. Лише Ломбардія, Емілія-Романья і П'ємонт на даний час здійснюють детальне ґрунтове картування і супроводжують його фізико-хімічними аналізами в відповідності з європейськими підходами.

В останні роки зусиллями Міністерства продовольства, сільського і лісного господарства визначений список стандартних методів вивчення

основних властивостей ґрунтів, а також введений в дію проект RAJSA (комплексне наземне і дистанційне зондування територій з поступовим формуванням ГІС, яке включає декілька шарів ґрунтової, геоморфологічної, гідрографічної, соціально-економічної і статистичної інформації на локальному, провінціальному, регіональному і національному рівнях). Загальна мета проекту – охорона навколишнього середовища і розробка комплексу спеціальних обмежень, які б не допускали погіршення його якості.

**Нідерланди.** Єдина концепція моніторингу ґрунтів, води і повітря розроблена і здійснюється під керівництвом Національного інституту охорони здоров'я і навколишнього середовища. В цьому ж інституті збирається отримана на місцевому рівні інформація. Моніторинг ґрунтів включає періодичні спостереження на 4500 крапках (в 12 провінціальних регіонах), які складаються з описів профілів, аналітичних даних і карт, інтегрованих в ГІС. Система керується програмним засобом ORACLE. Картографічний матеріал (1:250000 і 1:50000) цифровано, цифрова полігональна версія карт обробляється за допомогою ARC/INFO, а растрова інформація – FORTRAN і ERDAS. Програмні засоби містять моделі для оцінки і прогнозу вилужування азоту, фосфору, пестицидів, підкислення, а також дозволяють розробляти рекомендації по керуванню всіма компонентами навколишнього середовища і продуктивністю аграрної сфери. Зокрема, за допомогою геостатистичної обробки даних, в комбінації з більш простими засобами, система моніторингу ґрунтів здатна складати різні тематичні карти (особливо важливі карти-факти і карти-прогнози забруднення ґрунтів, поверхневих і ґрунтових вод, відкладання забруднень повітряного походження, карти стану рослинності з урахуванням результатів дистанційного зондування), а також розробляти агрономічні і екологічні прогнози.

В останні роки голландські вчені намагаються поширити розроблену концепцію на всі країни об'єднаної Європи, використовуючи для цього фонди Європейської Комісії. Поки що ці акції були успішні в цілях гармонізації карт окремих частин континенту, створенні фрагментів різних ґрунтових баз, оцінки передрозташованості ґрунтів до забруднення, стандартизації методів і майже безуспішні в формуванні моніторингу ґрунтів.

**Норвегія.** Системи моніторингу в цій країні побудовані дуже

раціонально. Окрім звичайної мережі періодичних спостережень, яка майже всюди зустрічається, невід'ємною частиною моніторингу тут є всі довгострокові польові дослідження, які проводяться за єдиною методикою і обов'язково мають обладнання для визначення та обліку твердого і рідкого стоку (потім за цими даними в США розраховують інтенсивність водної ерозії), а також втрат хімічних елементів (N, P, K, Ca, Mg і S). Норвегія, згідно Конвенції про охорону Північного моря, зобов'язалась до 1995 р. знизити викиди хімічних елементів на 50% у порівнянні з 1989 р. і виконала ці зобов'язання. Для цього сільськогосподарське використання водорозділів ретельно контролюється, поступово зменшується внесення в ґрунт добрив і пестицидів, а їх стік контролюється в кожному базисі ерозії, перед його потраплянням в бухти. Моніторингові ділянки для контролю стоку розташовані майже на всіх водозборах, при цьому кожна з них охоплює площу у 5–10 км<sup>2</sup>, або від 5 до 30 ферм.

Іншою особливістю системи моніторингу ґрунтів в Норвегії є прийняття участі в ній всіх фермерів, котрі щорічно відповідають на питання по обробці, добривах та інших технологічних деталях. Відповіді фермерів контролюються дистанційними засобами. Останні строго орієнтовані на діагностику методів обробки ґрунту (оранка або поверхневі методи), визначення висіяної культури, напрям посіву, структура сівозмін. За даними зйомки розраховується ерозійний ризик і контролюються параметри полів, які входять в універсальне рівняння ерозії.

Аналітичні дані про ґрунти (їх програма майже стандартна, а періодичність 1 раз в 5 – 7 років) отримуються в основному в польових дослідженнях і на територіях поряд з ними (1 зразок з 20 га), а дані про скиди хімічних елементів в море дають можливість фактично оцінити якісний (природоохоронний) рівень сільськогосподарської практики.

Як і в інших країнах, результати моніторингу ґрунтів разом з іншими даними (метеорологічними, геологічними, агрономічними, радіоактивності та іншими) інтегровані в ГІС і відкриті для вільного використання.

**Румунія.** Моніторинг ґрунтів як 3-х рівнева система (безпосередні спостереження в постійній мережі 16×16 км, всього 960 репрезентативних ділянок, в тому числі 740 – на сільськогосподарських землях, 240 – в лісах; ідентифікація причин, які викликають негативний стан ґрунтів; розробка методів управління ситуацією) діє з 1992 р. Перший тур спостережень виконаний в основному співробітниками Інституту ґрунтознавства і

агрохімії. Програма періодичних спостережень складена з врахуванням європейських підходів, передбачає спостереження на суміжними середовищами (вода, повітря), «hot spots», використання стандартних методів, обладнання, відомих програмних засобів і моделей прогнозу, поступове формування ГІС. Румунія активно співпрацює з європейськими країнами в проектах ґрунтового картування, оцінок передрозташованості ґрунтів до деградації (забруднення, переущільнення та інші).

В країні є довгострокова програма реалізації моніторингу ґрунтів, яка передбачає 3 фази: 1-а фаза (3 – 4 р.) – підготовка кадрів для ведення безпосередніх спостережень і покращення інструментальної бази вимірювань; 2-а фаза (2 – 3 р.) – налагодження систематичних спостережень; 3-а фаза – повноцінне функціонування мережі і використання оброблених матеріалів в практичній роботі міністерств і відомств.

**Словаччина.** Концепція моніторингу ґрунтів розроблена в 1986р. Як початкові (умовно фонові) були зібрані дані про властивості ґрунтів, визначені в 1961-1970р.р. Програма передбачає спостереження в рамках широкої програми близько 50 показників ґрунтів, вод і рослин. Моніторинговий цикл складає 3 – 5 років. Мережа в лісових ґрунтах, створена на регулярній основі, включає 338 точок, в сільськогосподарських ґрунтах (нерегулярна мережа) – 248 точок. Ще 31 точка відбору дунайської води.

Система моніторингу ґрунтів Словаччини узгоджена зі спеціальною мережею контролю забруднення навколишнього середовища (1000 крапок спостереження) і геохімічною мережею (600 крапок). Дані всіх трьох окремих баз («ґрунт», «забруднення», «геохімія») експортуються за допомогою ARC/INFO в єдину географічну мережу. В останні роки Словаччина робить активні кроки для гармонізації своєї системи з системами сусідніх країн і в цілому з європейськими підходами.

**Словенія.** Система знаходиться в розробці, ознаки, які її відокремлюють – геоорієнтовність, висока суміжність різних релевантних баз даних, які є в країні, наявність засобів каталогізації, експорту-імпорту даних, стандартизація методів і оцінок, чітке відокремлення крапкової, полігональної і просторової інформації, наявність детального кодування всіх елементів, які входять до складу і значні можливості автоматизації любых операцій.

Вище був описаний дослід становлення і функціонування моніторингу ґрунтів в країнах, де застосовуються деякі зусилля для його розвитку. Як видно, цей дослід має як загальні, так і специфічні (місцеві) особливості. На жаль, задача гармонізації методів і підходів, яка здається настільки вірогідною і необхідною, до сих пір не вирішена. Навіть в країнах Європейського Союзу, не кажучи вже про країни Західної Європи, які знаходяться в тисках перехідного періоду, теоретичні основи, практика ведення робіт і наступні узагальнення далекі від закінчення. Все ж таки, наведена інформація представляє чималу цінність для всіх, хто цікавиться проблемами моніторингу ґрунтів. В тому числі і для України, яка в 70-80 роки мала добрі посилення для розвитку нового напрямку в дослідженні ґрунтів, знаходилась на рівні розвинутих країн Заходу, але сьогодні, на жаль, починає відчутно відставати. Відомчі підходи до моніторингу, які домінують в Україні, себе вичерпали. Потрібно активніше і повніше використовувати можливості геоінформаційних систем, які дадуть змогу інтегрувати тематичну початкову інформацію різних відомств в єдину систему. Нову інформацію потрібно отримувати з врахуванням міжнародного досвіду в спеціалізованій мережі, яка узгоджена з мережами інших компонентів середовища (водою, лісом, повітрям, надрами).

### **Реєстр викидів і переносу забруднювачів – як елемент системи моніторингу**

Починаючи з 1983 року в США введено реєстр токсичних викидів (Toxics Release Inventory – TRI), який передбачав систематичне збирання інформації про 330 хімічних речовин, що викидаються різними підприємствами штату Нью-Джерсі. В 1991 році Група попередження і контролю забруднень організації економічного співробітництва і розвитку (ОЕСР) запропонувала країнам, членам ОЕСР, впровадити механізм збору, обробки і публікації даних про забруднення навколишнього середовища шляхом створення Реєстру викидів і переміщення забруднювачів (РВПЗ), в англійській редакції – Pollutant Release and Transfer Register (PRTR). По суті програми TRI та PRTR ідентичні. В Україні більш правильно говорити про необхідність створення Реєстру надходження та поширення забруднювачів (РНПЗ), оскільки за термінологією, що у нас склалася, під терміном «викиди» в основному мають на увазі надходження забруднень тільки в атмосферу.



Досвід деяких країн (у т.ч. з високорозвинутими економіками) показує, що впровадження реєстрів (регістрів, інвентарів) надходження та поширення забруднювачів (РНПЗ) у навколишнє середовище є не тільки дієвим інструментом екологічної політики але й суттєвим доповненням і, в деякій мірі, альтернативою системи моніторингу навколишнього середовища. До цього ж Україну зобов'язує підписання і ратифікація Орхуської конвенції про доступ громадськості до інформації, що стосується довкілля.

З іншого боку, в конкурентному середовищі ринкової економіки, інформація про забруднення, є частиною позитивного «зеленого» іміджу компанії і стає для суб'єктів ринку одним з додаткових важелів конкурентної боротьби за споживачів і ринки збуту. Ефективність політичного тиску на країни та їх уряди через доступ до екологічної інформації громадськості спонукала певні міжнародні структури ініціювати прийняття низки міжнародних угод, більшість з яких вже підписала і Україна.

Разом з тим, різні форми та методи отримання екологічної інформації з розвитком інформаційних та телекомунікаційних технологій потребують визначення обсягу мінімально-достатніх даних для обґрунтування екологічних рішень в ланцюгу «забруднювач – орган – управління – громадськість».

Головними користувачами інформації РНПЗ є органи державного управління та громадськість. РНПЗ розглядається, з одного боку, як інструмент стратегічного екологічного управління, направлений на визначення пріоритетів та цілей щодо зменшення впливу забруднення на населення, екосистеми і природно-територіальні комплекси, а з іншого, як інструмент, який дозволяє об'єктивно контролювати досягнення екологічних цілей. Відкритість доступу до даних РНПЗ широким кіл громадськості в свою чергу дозволяє оцінювати ефективність діяльності екологічних служб та органів політичної влади. Власне участь широких кіл громадськості (самоврядування, неурядових громадських організацій, політичних партій та рухів, наукових, молодіжних, релігійних громад тощо) у вирішенні екологічних питань вимагає від адміністративних органів володіння якісною екологічною інформацією.

Історично, РНПЗ складається з трьох організаційних рівнів:

міжнародного, національного та регіонального. Зрозуміло, що така чітка ієрархічна будова визначається головним чином цілями та завданнями, які формулюються при створенні РНПЗ певного рівня, причому, базовим виступає національний рівень РНПЗ. Організаційні рівні зв'язані між собою інформаційними каналами через складну систему взаємоузгоджених класифікаторів, таких, наприклад, як довідники хімічних сполук, види галузей економіки, політико-адміністративного (територіального) устрою та інші. Оскільки політико-економічні регіони України мають свої певні і чіткі особливості економічної діяльності, вони повинні мати і власні регіональні РНПЗ. Отримана якісна і достовірна інформація щодо специфічних забруднювачів у регіонах може не завжди відповідати критеріям національної РНПЗ, але контроль за надходженням та поширенням саме їх може бути важливою регіональною екологічною ціллю. Таким чином, регіональний РНПЗ може мати деякі властивості, притаманні тільки йому – серед них перелік хімічних сполук, відбір і перелік джерел надходження забруднення, їх просторове положення, організаційні особливості та інші. Розглянемо їх більш детально.

Почнемо з найголовнішого, з джерел інформації для РНПЗ. Відомо, що в Україні є три основних джерела первинної інформації щодо надходження та поширення забруднювальних речовин, це:

- форми державної статистичної звітності;
- дозволи та ліміти на спеціальне використання природних ресурсів;
- фактичні дані про обсяги емісій, які надаються підприємствами при обчисленні екологічних зборів.

На жаль, як відомо, державною статистичною звітністю охоплена незначна частина промислових підприємств, а інформація наведена у відповідних формах здебільшого низької якості. При цьому самі ці форми не відповідають вимогам РНПЗ. Поточна система отримання спеціальних дозволів на емісію забруднювачів у навколишнє середовище, не зважаючи на позитивні моменти, має свої певні недоліки. Використання в РНПЗ такої інформації можливе лише за умови її суттєвої модифікації. Так, по-перше, необхідно перейти на використання міжнародних класифікаторів хімічних сполук, оскільки, ідентифікація таких забруднювачів як, наприклад, «аерозоль лакофарбових матеріалів» не відповідає на питання, яка, власне, хімічна сполука(и) надходить в атмосферне повітря. По-друге,

визначившись з якісним складом, важливо розглянути кількісний аспект. Знову ж, дозвільно-лімітна система діючого нормативно-правового поля передбачає принципове обмеження емісії будь-якого масового обсягу хімічних сполук. Єдине обмеження, яке існує, це вісім знаків після коми для викидів обсягу 1 г/с для всієї номенклатури забруднювачів. На практиці перевірити такі емісії та контролювати їх концентрації просто технічно неможливо.

Для вирішення регіональних екологічних проблем після відповіді на питання «Що?» та «Скільки?» постає питання «Де?». Просторове (географічне) положення джерела емісії має надзвичайно важливе значення, особливо на регіональному рівні, яке зараз, на жаль, ігнорується. Використання даних РНПЗ має проводитися не тільки в часовому зрізі, але і в просторовому. Тільки тоді використання даних РНПЗ допоможе реально вирішувати задачі екологічного управління.

Виконання проекту РНПЗ можна розділити на декілька напрямків, які можуть виконуватись фахівцями робочої групи і третіми особами паралельно:

- створення нормативно-правового забезпечення;
- підготовка організаційного забезпечення;
- розробка інформаційно-технічного забезпечення.

Нормативно-правове забезпечення передбачає обґрунтування можливості і доцільності висвітлення екологічної інформації з точки зору діючого в Україні законодавства. В цьому напрямку можлива розробка відповідних пропозицій щодо розробки нових Законів України (наприклад, «Про оцінку впливу на навколишнє середовище», «Про охорону атмосферного повітря», «Про відходи» тощо), а також внесення пропозицій про зміни і доповнення до Закону України «Про охорону навколишнього природного середовища».

Організаційне забезпечення передбачає систему заходів, яка б допомагала об'єднати зусилля різних відомств та установ, а також процедурно здійснювала отримання, обробку і висвітлення екологічної інформації, перевірку даних на достовірність та пристосування існуючих в Україні форм звітності до вимог РНПЗ в плані міжнародного співробітництва. При цьому треба пам'ятати, що питання про те, яку екологічну інформацію про надходження та поширення забруднювачів, з якою періодичністю, кому та для вирішення яких екологічних задач власне

необхідно збирати, накопичувати та передавати є нетривіальним і потребує ґрунтовного наукового дослідження. Проведені протягом останнього десятиріччя спеціальні дослідження та практичні приклади впроваджень РНПЗ показали, що цей екологічно важливий інформаційний ресурс може досягати значних обсягів і становити досить складну для реалізації технічну проблему.

Організаційні засади є не менш важливими та складними при створенні РНПЗ, оскільки постає питання про те, хто має збирати та накопичувати інформацію: державні чи недержавні органи. Яким чином отримати дійсно правдиву та об'єктивну інформацію, як перевірити її достовірність? Така інформація повинна надходити в регіональний центр, організований при авторитетній науковій організації або вищому навчальному закладі. Це дасть змогу запобігти адміністративному тиску з боку державних служб екологічного контролю, а з іншого – забезпечити доступ громадськості до РНПЗ, а також ефективно використовувати екологічну інформацію РНПЗ для наукового обґрунтування прийняття рішень. Зрозуміло, що такий центр повинен мати відповідний статус (підтриманий органами політичної влади) та відповідні матеріально-технічні і кадрові ресурси.

Інформаційно-технічне забезпечення включає в себе корпоративний сервер баз даних (наприклад, компанії INFORMIX, IBM, ORACLE, AQL та ін.), сервер просторових даних, програмне забезпечення і пакети Arc SDE та ArcGIS компанії ESRI, для роботи з картографічною складовою екологічної інформації.

Блок-схема реалізації проекту РНПЗ має такий вигляд (рис. 2.2).

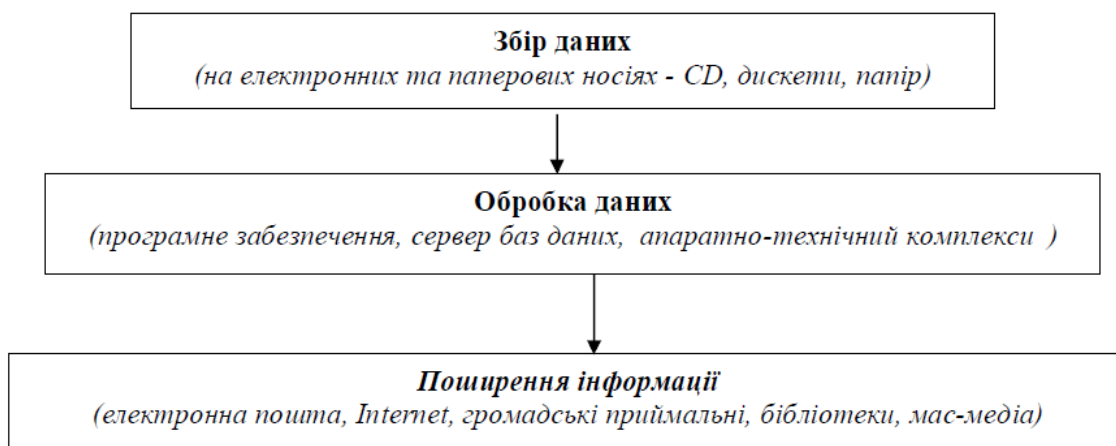


Рисунок 2.2 – Блок-схема реалізації проекту РНПЗ в Україні

Структурно проект РНПЗ складається з чотирьох взаємопов'язаних блоків:

– 1-й блок – «Юридичні особи». Формується у відповідності з класифікаторами Мінстату України з інформацією про належність до певної адміністративної території, міністерства (відомства), основної галузі економічної діяльності;

– 2-й блок – «Реєстр пріоритетних забруднювальних речовин». Формується в обсязі переліку граничнодопустимих концентрацій (ГДК) та орієнтовно-безпечних рівнів впливу забруднювальних речовин на довкілля та здоров'я людей (визначених МОЗ України та Мін ОНПС);

– 3-й блок – «Джерела емісії». Формується в обсязі, достатньому для проведення аналітичних розрахунків програмними пакетами, затвердженими Мінприроди України;

– 4-й блок – «Склад емісій підприємств». Формується з двох баз даних.

1. БД «Нормативні емісії», в кількості, яка встановлена для підприємств Дозволом та Лімітом на емісії.

2. БД «Фактичні емісії», в кількості, що дозволена підприємствам за державною статистичною звітністю по формі 2ТП.

Таким чином, створення Реєстру надходження та поширення забруднювачів (РНПЗ) є актуальною і науково обґрунтованою проблемою. Можна вважати, що зараз існують всі передумови для створення концепції розробки РНПЗ національного рівня. Практично ж цю роботу доцільно розпочинати з розробки РНПЗ регіональних рівнів, враховуючи особливості регіонів, а також національні та міжнародні вимоги до структури, форм звітності і якості інформації для РНПЗ.

### **Контрольні питання**

1. Яким чином організовано моніторингові дослідження у США?
2. Яким чином організовано моніторингові дослідження у країнах Європейського Союзу?
3. Назвіть та охарактеризуйте типи моніторингу поверхневих вод.
4. Охарактеризуйте у чому полягає моніторинг надзвичайних ситуацій.
5. Охарактеризуйте структуру системи управління моніторингом водних ресурсів.

6. Охарактеризуйте у чому полягає моніторингу ґрунтів.
7. Яким чином виконується моніторинг ґрунтів у зарубіжних країнах світу?
8. Яка функція припадає на «Реєстр викидів і переносу забруднювачів»?

## **3 КАРТОГРАФІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ**

### **Історія розвитку геоінформаційних технологій**

Першою реально працюючою геоінформаційною системою у світі вважається ГІС Канади, розроблена в середині 60-х років ХХ ст на базі перших ЕОМ і пакетної системи обробки даних. Основне призначення ГІС Канади полягало в обробці і аналізі даних, накопичених Канадською службою земельного обліку, для використання при розробленні планів землеустрою величезних площ переважно сільськогосподарського призначення.

Розробка перших геоінформаційних систем (Канадської ГІС, Інформаційної системи природних ресурсів штату Техас (1976), Австралійської ресурсної інформаційної системи та ін.) було результатом реалізації цілком очевидного прагнення застосувати унікальні і все зростаючі можливості ЕОМ, які з'явилися в 50-х роках ХХ ст., для зберігання і маніпулювання великими масивами накопиченої на той час різномірної інформації про природні і соціально-економічні умови і ресурси територій. Проте створення таких складних автоматизованих інформаційних систем зумовило необхідність вирішення цілого комплексу проблем, пов'язаних з особливостями кодування просторової інформації, необхідністю розробки програмного забезпечення для її зберігання і обробки, створення відповідної апаратури для введення і представлення просторових даних.

Географічні інформаційні системи, здатні реалізовувати функції, близькі до тих, що вони реалізують сьогодні (безумовно, з поправкою на технічний і технологічний рівні), виникли у 80-х роках минулого сторіччя. При цьому сучасні ГІС з'явилися як результат спочатку паралельного, а потім все більш тісного спільного розвитку геоінформаційних технологій в цілому ряді моно-дисциплінарних галузей. Серед таких галузей слід назвати автоматизоване картографування, комп'ютерне проектування (Computer Aided Designing – CAD), комп'ютерні науки, у тому числі комп'ютерну графіку, теорії і технології баз даних, мови програмування, а також дистанційне зондування і обробку методів дистанційного

зондування, просторовий аналіз, географічне і картографічне моделювання.

У межах вже майже п'ятдесятилітнього періоду історії розвитку геоінформаційних технологій можна з певною мірою умовності виділити такі етапи:

- кінець 1950-х – кінець 1970-х років;
- 80-ті роки;
- 90-ті роки ХХ століття – початок ХХІ століття.

**Перший етап** (кінець 50-х – кінець 70-х років ХХ ст.) разом зі створенням перших географічних інформаційних систем, перш за все в Канаді і США, характеризується розробленням перших комп'ютерних систем просторового аналізу растрових зображень й автоматизованого картографування з використанням плотерів. Першим і найвідомішим програмним пакетом, що реалізовував функції побудови картограм, карт ізоліній і TIN поверхонь, був пакет SYMAP (Synagraphic Mapping System), розроблений у 1967 р. у Гарвардській лабораторії комп'ютерної графіки і просторового аналізу (Harvard Laboratory for Computer Graphics & Spatial Analysis) Массачусетського технологічного інституту (керівник – Говард Фішер, США). У подальшому (70-ті роки – початок 80-х років ХХ ст.) у цій же лабораторії були розроблені інші програмні пакети (GRID, CALFORM, ODYSSEY та ін.), що забезпечували як цифрування карт і автоматичне картографування, так і просторовий аналіз. Одночасно подібного роду програмні продукти, відомі залежно від їх основного призначення під назвою або «пакетів картографічного аналізу», або «систем автоматизованого картографування», розроблялися і в інших наукових центрах Північної Америки і Західної Європи.

Найбільшу популярність у світі з цих більш пізніх розробок одержав пакет аналізу растрових даних MAP (Map Analysis Package), який реалізував алгоритми картографічної алгебри, основи якої були розроблені С.Д. Томліном, США. Цей пакет, а також його більш пізні версії PMAP, AMAP та ін. розповсюджував Йельський університет (США) за дуже низькою ціною (близько \$ 20).

Характерним для цього часу також було удосконалення методів аналізу просторових даних і технологій їх кодування і представлення. Зокрема, саме в цей період були розроблені теоретичні основи геостатистики, векторна топологічна структура просторових даних (DIME



– структура, США), технології графічного зображення тривимірних поверхонь та ін. Для другої частини даного періоду характерна тенденція до посилення міждисциплінарних зв'язків у середовищі розробників ГІС, у першу чергу, між ученими та інженерами. Проте в цей період геоінформаційні системи все ще залишаються спеціалізованими, створюваними на базі могутніх і дуже дорогих ЕОМ, унаслідок чого вони є системами унікальними з обмеженим колом користувачів.

**Другий етап** (80-ті роки ХХ ст.). У другій половині 70-х років – на початку 80-х років ХХ ст. на Заході в розробку і застосування ГІС – технологій були зроблені значні інвестиції як урядовими, так і приватними агентствами, особливо в Північній Америці. У цей період були створені сотні комп'ютерних програм і систем. Розробка ж (1973 – 1978) і широке розповсюдження недорогих комп'ютерів з графічним дисплеєм (що одержали назву «персональних») дозволили відмовитися від «пакетного» режиму обробки даних і перейти до діалогового режиму спілкування з комп'ютером за допомогою команд англійською мовою. Це сприяло децентралізації досліджень в галузі ГІС-технологій. Тісна ж інтеграція міждисциплінарних досліджень, їх спрямованість на вирішення комплексних завдань, пов'язаних із територіальним проектуванням, плануванням і управлінням, привели до створення інтегрованих ГІС, які характеризувалися більшою або меншою універсальністю.

За однією з оцінок у Північній Америці в 1983 р. було понад тисячу ГІС і автоматичних картографічних систем. У Європі розроблення ГІС проводилося в меншому масштабі, але основні кроки в галузі розроблення і використання ГІС-технології були зроблені і тут. Особливо слід відзначити Швецію, Норвегію, Данію, Францію, Нідерланди, Великобританію і Західну Німеччину.

Для 80-х років ХХ ст. у цілому характерне зростання наукового, політичного і комерційного інтересу до ГІС. Це було обумовлено усвідомленням необхідності створення державних інтегрованих ГІС, особливо у зв'язку з управлінням природними ресурсами і моніторингом навколишнього середовища. Показовими для цього періоду фактами є офіційне визнання у Великобританії в 1984 р. методів обробки просторових даних науково-дослідними пріоритетами і створення в США Національного центру географічної інформації і аналізу (NCGIA) Національної академії наук (1987), призначеного для проведення базових

досліджень в галузі географічного аналізу з використанням географічних інформаційних систем.

Важливу стимулюючу роль у посиленні інтересу до ГІС відіграло прагнення асимілювати для вирішення як наукових, так і практичних завдань, у тому числі і на комерційній основі, уже накопичених на той час масивів даних дистанційного зондування Землі. Розвиток геоінформаційних систем, особливо здатних інтегрувати дані дистанційного зондування («інтегрованих ГІС»), розглядається як необхідна умова ефективного використання матеріалів дистанційного зондування. Зокрема, у 1985 році Європейське космічне агентство стало спонсором досліджень, пов'язаних з інтегрованими ГІС, а Британський національний космічний центр видав замовлення на контракти з розроблення ГІС. У цей самий період починає випускатися цілий ряд міжнародних періодичних видань, присвячених різним теоретичним і прикладним аспектам ГІС, у тому числі теоретичний «International Journal eographical Information Systems» (Міжнародний журнал географічних інформаційних систем) – з 1987 р., і присвячених переважно прикладним аспектам ГІС – журнали «GIS World» (ГІС Світ) – з 1988 р., «Geo Info Systems» з 1990 р., «GIS Europe» (ГІС Європа) – з 1992 р. та ін., щорічно проводиться безліч присвячених ГІС наукових і науково-практичних конференцій різного рівня (від регіональних до всесвітніх).

У 80-ті роки ХХ ст. розробляються програмні ГІС-пакети (інструментальні ГІС), майбутні лідери світового програмного ГІС забезпечення – пакет ARC/INFO, розроблений Інститутом досліджень систем навколишнього середовища (Environmental System Research Inctitute, ESRI Inc.), пакет MapInfo фірми Mapping Information Systems Corp., пакет IDRISI, розроблений в Університеті Кларка, пакет Modular GIS Environment (MGE) фірми Intergraph – усі в США.

У кінці 80-х років ХХ ст. сформувалася світова ГІС індустрія, що містила апаратні і програмні засоби ГІС та їх обслуговування. У 1988 р., наприклад, тільки прямі витрати за цими статтями у світі перевищували 500 млн доларів США, а в 1993 р., склали близько 2,5 млрд. доларів.

Реалізацією могутнього інтеграційного потенціалу ГІС технології стала починаючи з середини 80-х років ХХ ст. низка міжнаціональних і глобальних проектів з моніторингу природного середовища, таких, як CORINE – Геоінформаційна система країн Європейського співтовариства і

GRID – Глобальний ресурсний інформаційний банк даних.

**Третій етап** (90-ті роки ХХ століття – початок ХХІ століття). Прогрес у ГІС-технології в 90-ті роки минулого століття значною мірою був пов'язаний з прогресом апаратних засобів, причому як комп'ютерів – виникненням 32-бітових, а потім 64-бітових міні і мікро ЕОМ, так і засобів введення і виведення просторової інформації – дигітайзерів, сканерів, графічних дисплеїв і плотерів. Для цього ж періоду характерне широке поширення так званих комерційних ГІС-пакетів («інструментальних ГІС»), що з'явилися ще в 80-ті роки ХХ ст. Здебільшого вони є програмним середовищем, яке дозволяє користувачу або достатньо просто створювати геоінформаційні системи відповідно до його власних запитів і можливостей, або вирішувати завдання, пов'язані з просторовою інформацією, з використанням геоінформаційних технологій. Світовими лідерами серед комерційних ГІС пакетів стають програмні продукти фірм ESRI (Arc/Info і Arc View GIS), Intergraph (MGE), Mapping Information Systems (MapInfo). Загальна ж кількість програмних ГІС пакетів обчислюється не одним десятком.

У розвинутих країнах світу ГІС технологія стає повсюдно використовуваною технологією обробки, аналізу і представлення просторово-координованої інформації при вирішенні різних завдань у географії, геології, екології, особливо при виконанні великих міждисциплінарних проектів, містобудівному плануванні, на транспорті, у кадастровій діяльності, регіональному плануванні і управлінні та багатьох інших сферах людської діяльності. У 1995 р. у світі геоінформаційні системи використовувалися більш ніж у 93 000 місцях, з них 65 % знаходилися в Північній Америці і 22 % – у Європі.

Фантастичними у цей період є прогрес апаратних засобів, постійне відновлення і модернізація відомих комерційних ГІС пакетів, поява деяких нових. Проте в цілому ринок програмного ГІС забезпечення вже поділений між основними «традиційними» виробниками. Простежується тенденція переключення масового інтересу від великих професійних інструментальних ГІС, що запускаються на робочих станціях або великих комп'ютерах фірм IBM, SUN, DEC та ін., до настільних інструментальних ГІС, здатних працювати на персональних комп'ютерах.

Помітна тенденція зміщення центра активності щодо освоєння і впровадження геоінформаційних технологій спочатку в країни Східної

Європи, а потім у Росію.

У колишньому Радянському Союзі дослідження в галузі геоінформаційних технологій розпочаті у вісімдесяті роки і в основному, були пов'язані з адаптацією зарубіжного (західного) досвіду.

Дослідження проводили Інститут географії і Далекосхідний науковий центр АН СРСР, Московський (кафедра картографії і геоінформатики), Казанський, Тбіліський, Тартуський і Харківський університети. У цей період (середина і друга половина 80-х років ХХ ст.) були розроблені перші автоматизовані системи картографування (наприклад, АКС МДУ), здійснювались дослідження з просторового аналізу, картографо-математичного моделювання, тематичного картографування та їх автоматизації, з теоретичного обґрунтування і розроблення перших геоінформаційних систем. Першою ГІС, розробленою в колишньому Радянському Союзі, мабуть, була геоінформаційна система Марткопського фізико-географічного стаціонару Тбіліського університету.

Перші ж програмні ГІС пакети на території колишнього Радянського Союзу були розроблені вже після його розпаду в 90-ті роки ХХ ст. Серед них найвідомішим є пакет GeoDraw/Географ, створений в 1992 р. у Центрі геоінформаційних досліджень Інституту географії Російської академії наук (РАН), який має декілька тисяч інсталяцій. Крім GeoDraw/Географ, у Російській Федерації розроблений ряд програмних ГІС пакетів, які мають по декілька сотень інсталяцій. Найвідомішими з них є пакети «Панорама» (Топографічна служба Збройних сил РФ), «Парк» (ТОВ «Ланеко», м. Москва), CSI-MAP (компанія «КСІ – технологія», м. Санкт-Петербург), Sinteks ABRIS (компанія «Трісофт», м. Москва), ObjectLand (ЗАТ «Радом-Т», м. Таганрог ) і «ІнГЕО» (компанія «Інтегро», м. Уфа). Проте більша частина ринку програмного ГІС забезпечення в Російській Федерації представлена продукцією західних фірм – ESRI, Intergraph, MapInfo, Autodesk та ін.

Темпи росту кількості реально діючих геоінформаційних систем досить вражаючі. За довідником видання комісії щодо збору та обробки географічної інформації Міжнародного географічного союзу «Програмне забезпечення обробки просторових даних», до початку 80-х рр. було створено близько 90 повномасштабних географічних інформаційних систем, а вже у середині 80-х рр. їхня кількість перевищувала 500; зараз їх вже кілька сотень тисяч.

Створюються значні системи субрегіонального та регіонального рівнів, часто на базі міжнародного співробітництва: GDPP – Проект глобальної бази даних; GRID – Глобальна інформаційно-ресурсна база даних; WDDDES – Світова база даних для наук про довкілля та ін.

Розвиток індустрії комерційних програмних засобів, які широко почали застосовуватись в останні роки при створенні конкретних ГІС як базова програмна оболонка; серед найбільш ефективних та широко застосовуваних – ARC/INFO, MAP/INFO, MGE, IDRISI, GRASS, SYSTEM-9 та ін. Комерційні програмні засоби розробляються для розв'язання типових завдань на основі ГІС. Наприклад, MGE (Modular GIS Environment) має кілька спеціалізованих пакетів: MGE Atlas – для створення атласів на базі ГІС; MGE Map Publisher зареєстрована для видання картографічних творів; MGE Dynamic Analyst забезпечує аналіз і демонстрацію динаміки явищ тощо. В умовах насиченого ринку доступними програмними засобами, створювачі систем мають можливість вибору найбільш ефективних програм для вирішення конкретних задач. Дуже часто в одній системі застосовується кілька модулів.

Розвиток та становлення ГІС технології в Україні почалися в останні роки, таке відставання великою мірою зумовлено відсутністю необхідних технічних засобів, а також не усвідомленням тих можливостей, які надаються даною технологією. Досвід створення ГІС в Україні обмежується окремими спеціалізованими системами, зорієнтованими на вирішення вузьких задач для території рангу міста, адміністративного району чи області.

Вольська С. Ю. та ін. розглянули стан розвитку ГІС технології в Україні в чотирьох основних аспектах.

**1. Технічні засоби** створення ГІС можуть базуватися (для невеликих систем) на персональних комп'ютерах (PC), але, як правило, вони далеко недостатні, необхідне потужне обладнання, а саме – робочі станції.

**2. Програмні комерційні засоби.** Тут ситуація практично така ж, як і по першій позиції, тому що сучасні найефективніші програми інколи коштують значно дорожче від обладнання. Програмні пакети, які надходять різними шляхами, як правило, не укомплектовані необхідною документацією і відповідним захистом, тому практично неможливо опанувати їх в цілому.

**3. Збір інформації** (враховуючи її підготовку та введення). Інформаційна база, яка існує в Україні і може розглядатися як потенційна база для ГІС різних рівнів. Важливою позитивною передумовою є наявність цифрової топографічної карти України в масштабі 1:500000, створеної в системі ГУГКК та військово-топографічної служби. Великомасштабні тематичні карти на всю територію України на точній основі представлені фактично тільки геологічною, гідрологічною та ґрунтів.

Стосовно статистичної інформації є позитивні і негативні аспекти. Наявність єдиних форм статистичної соціально-економічної звітності на всю територію України, скоординованої по вертикалій ієрархічній структурі, становить дуже реальну передумову для використання в ГІС. Водночас виникають дві проблеми. Перша пов'язана з тим, що первісна інформація часто залишається на нижчих ієрархічних рівнях (окремі підприємства, фабрики і т.п.) і не потрапляє до Мінстату, друга проблема пов'язана з некоректністю статистичної інформації. Практично таким же чином можна оцінити й інформацію про стан природного середовища. Наявність єдиної служби контролю за станом природних компонентів з єдиною методикою спостереження на всіх контрольних точках і єдиною методикою обробки інформації дуже важлива для використання в ГІС.

**4. Створення системи.** До процесу створення ГІС залучені: ГІС менеджер; ГІС координатор; ГІС аналітики (фахівці з кваліфікацією в галузі ГІС); менеджер системи (фахівець в галузі геоінформатики, розробник стратегії вирішення проблем); створювачі системи (створюють прикладні програми на базі програмної оболонки); програмісти (для вирішення багатьох дрібних завдань: сумісних даних, драйвери та ін.); кодувачі (підготовка інформації для введення, організація декодування); користувачі ГІС (плановики, дослідники довкілля, геологи та ін. Фахівці користувачі системи, замовники та експерти).

Усвідомлення ситуації, як склалася, зумовило постановку питання розробки концепції багатоцільової національної ГІС України. Ця концепція розробляється в межах державної програми фундаментальних досліджень. Основними установами-виконавцями є Інститут географії НАН України, Головне управління геодезії, картографії і кадастру (ГУГКК), Інститут кібернетики НАН України, СП «41», а також

залучаються спеціалісти та колективи інших установ. Мета даної програми – аналіз стану і шляхів розвитку ГІС технології і в Україні, виявлення ключових проблем та стратегії вирішення їх, а також розробка концептуальних положень щодо створення національної ГІС загального використання (багатоцільової) як бази для розвитку горизонтальних та вертикальних її складників (тобто спеціалізованих тематичних та ієрархічних територіальних).

Геоінформаційні технології в Україні набули розвитку в середині 90-х років ХХ ст. Серед позитивних чинників, що характеризують сучасний стан застосування геоінформаційних технологій у країні, слід відзначити такі:

- формування в державних установах і організаціях груп фахівців, які активно працюють у напрямку застосування ГІС у різних сферах людської діяльності, зокрема: у Державному проектному інституті Діпромісто (Київ); у Науково-дослідному інституті геодезії і картографи (Київ); в Управлінні земельних ресурсів Одеської обласної адміністрації; в Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова; у Національному університеті «Львівська політехніка» (Львів); у Національній гірській академії (Дніпропетровськ); у Харківському технічному університеті радіоелектроніки; в Українському центрі менеджменту Землі і ресурсів (Київ) та в ряді інших;

- створення ГІС-асоціації (1997) і Асоціації геоінформатиків (2003) України, що сприяють активізації і консолідації геоінформаційної діяльності в країні;

- щорічне проведення ГІС-форумів (1995–2001), конференцій «Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти» (з 2002 р.), конференцій користувачів продуктів фірми ESRI в Криму, а також окремих тематичних конференцій, семінарів, нарад, присвячених використанню геоінформаційних технологій (наприклад, «Геоінформаційні технології сьогодні» (Львів, 1999); «Геоінформаційні системи і муніципальне управління» (Миколаїв, 2000 р.) «Можливості ГІС/ДЗЗ-технологій у сприянні вирішення проблем Причорноморського регіону»;

- створення державних підприємств і комерційних компаній, що спеціалізуються на розробці і/або використанні геоінформаційних технологій, зокрема: державних науково-виробничого підприємства «Геосистема» (м. Вінниця) і науково-виробничого центру

«Геодезкартінформатика» (м. Київ); комерційних компаній «Інтелектуальні системи, Гео», «Інститут передових технологій», «ЕСОММ», ГЕОКАД, «Аркада», «Геоніка» (м. Київ); «Високі технології» (м. Одеса) та ін.;

– розроблення спеціалізованого геоінформаційного пакета «Рельєф-процесор» – Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, векторно-растрової інструментальної ГІС настільного типу ОКО – ВАТ «Геобіономіка» (м. Київ); програмних комплексів GEO+CAD і GeoniCS, призначених для обробки даних досліджень і геоінженерного проектування в галузі цивільного, промислового і транспортного будівництва – компанія «ГЕОКАД», АТ «Аркада» і НПЦ «Геоніка» (м. Київ) та ін.;

– створення електронного атласу України – пілотної версії комп'ютерного Національного атласу України (2000) – Інститутом географії НАН України і компанією «Інтелектуальні системи, Гео» (м. Київ);

– внесення курсів з ГІС і геоінформаційних технологій до програми підготовки фахівців природознавчих і екологічних спеціальностей у багатьох вищих навчальних закладах країни; відкриття у деяких з них курсів підготовки фахівців у галузі геоінформаційних систем і технологій, зокрема, в Університеті «Львівська політехніка» (м. Львів) – у рамках спеціальності «Картографія», в Одеському національному університеті ім. І. І. Мечникова – у рамках спеціальності «Географія», в Одеському державному екологічному університеті – у рамках спеціальності «Інформаційні технології», у Національній гірській академії України (Дніпропетровськ) – за фахом «Геоінформаційні системи і технології».

До факторів, що стримують розвиток геоінформаційних технологій, належать низький в цілому рівень комп'ютеризації в країні і відсутність у достатній кількості відповідних фахівців.

## **Функції та галузі застосування ГІС і геоінформаційних технологій**

Умовно функції ГІС можна поділити на п'ять груп, при цьому перші три належать до традиційних функцій геоінформаційних технологій, останні дві – до нових, що розвинулися останнім десятиліттям.

**1. Інформаційно-довідкова функція** – створення і ведення банків



просторово-координованої інформації, у тому числі:

– створення цифрових (електронних) атласів. Перший комерційний проект розробки цифрових атласів – Цифровий атлас світу – був випущений у 1986 р. фірмою Delorme Mapping Systems (США). Можна також відзначити Цифровий атлас Великобританії на оптичних дисках у результаті виконання британського Domesday Project (1987), Цифрову карту світу (Digital Chart of the World) масштабу 1:1000000, розроблену Картографічним агентством Міністерства оборони США у 1992 р. і т.д. і, нарешті, – електронну версію Національного атласу України, розроблену Інститутом географії НАН України і фірмою «Інтелектуальні Системи, Гео» (Київ, 2000); – створення і ведення банків даних систем моніторингу. Як приклади можна навести Глобальний ресурсний інформаційний банк даних (Global Resources Information Database, GRID), створений під егідою UNESCO у 1987 – 1990 рр., і Геоінформаційну систему країн Європейського Співтовариства CORINE, розроблену в 1985 – 1990 рр.;

– створення й експлуатація кадастрових систем, у першу чергу автоматизованих земельних інформаційних систем (АЗІС), або Land Information Systems (LIS), і муніципальних (або міських) автоматизованих інформаційних систем (МАІС), а також просторово-розподілених автоматизованих інформаційних систем водного і лісового кадастрів, кадастрів нерухомості та ін. Програмне забезпечення роботи з просторовими даними в кадастрових системах складають програмні ГІС пакети ARC/INFO, Arc View GIS, MGE Intergraph, MapInfo (США), SICAD (Німеччина), ILWIS (Нідерланди) та ін.

**2. Функція автоматизованого картографування** – створення високоякісних загально географічних і тематичних карт, що задовольняють сучасні вимоги до картографічної продукції. Прикладом реалізації цієї функції є діяльність в Україні Інституту передових технологій (м. Київ) з підготовки і друкування навчальних географічних і історичних атласів території України, а також Молдови і Росії на основі можливостей ГІС-пакетів фірми ESRI, США.

**3. Функція просторового аналізу і моделювання** природних, природно-господарських та соціально-економічних територіальних систем, що ґрунтується на унікальних можливостях, наданих картографічною алгеброю, геостатистикою і мережним аналізом, які складають основу аналітичних блоків сучасних інструментальних ГІС з розвинутими

аналітичними можливостями. Вона реалізується в наукових дослідженнях, а також вирішенні широкого кола прикладних завдань при територіальному плануванні, проектуванні і управлінні.

**4. Функція моделювання процесів** у природних, природно-господарських і соціально-економічних територіальних системах. Прикладами є сучасні просторово-розподілені моделі поверхневого стоку, змиву ґрунту та транспорту схилових і руслових наносів, різного роду забруднювачів, зокрема, LISEM, Csredis (Нідерланди), WEPP (США). Реалізується при оцінці і прогнозі поведінки природних і природно-господарських територіальних систем та їх компонентів при вирішенні різних наукових і прикладних завдань, у тому числі пов'язаних з охороною і раціональним використанням природних ресурсів.

**5. Функція підтримки прийняття рішень** у плануванні, проектуванні та управлінні. Найбільш активно цей напрямок в Україні розвивається в містобудівному плануванні і проектуванні. Певні успіхи є в галузі геоінформаційного забезпечення надзвичайних ситуацій. Діапазон прикладів тут може бути досить широким, якщо гнучко підходити до визначення змісту поняття «система підтримки прийняття рішень» (СППР), яка повинна передбачати:

- програмно-організовані банки просторової й атрибутивної інформації;
- базу знань, що складається з блока аналізу і моделювання, який містить набір моделей просторового аналізу і просторово-часового моделювання, а також довідково-інформаційного блока, який містить формалізовану довідково-нормативну базу з розглянутої проблеми;
- блок технологій штучного інтелекту, який забезпечує механізм формально-логічного висновку й ухвалення рішення на основі інформації, наявної в базі даних, довідково-інформаційному блоці і результатах просторово-часового аналізу та моделювання;
- інтерфейс користувача.

У багатьох випадках на практиці як СППР розглядаються інтегровані комп'ютерні системи, що містять систему програмно-реалізованих моделей, банк довідкової інформації і банк даних. Аналіз і оцінка результатів імітаційного або оптимізаційного моделювання виконуються поза системою кваліфікованим експертом чи групою експертів.

У чому найбільш головне призначення географічних інформаційних

систем? Воно складається в наданні можливості обробки й аналізу просторових даних, причому отримані результати служать найчастіше основою підтримки прийняття рішень у завданнях, використання ресурсів Землі або використовуються для керування середовищем, створеної людиною. Список галузей, де знаходять застосування географічні інформаційні системи:

- системи федерального й місцевого керування;
- керування надзвичайними ситуаціями й суспільною безпекою;
- керування навколишнім середовищем;
- сільське господарство;
- екологія й охорона природи;
- гірська промисловість і науки про Землю;
- лісівництво;
- дистанційне зондування й обробка зображень;
- водопостачання й водні ресурси;
- океанографія, морські ресурси;
- бізнес-географія;
- енергетичні мережі;
- телекомунікації;
- транспорт;
- нерухомість;
- охорона здоров'я;
- освіта.

Найцінніша властивість ГІС полягає в тому, що ці системи здатні обробляти спільно досить різномірну інформацію, а здатні вони це робити тому, що в якості загального ключа всіх наборів даних у них використовується географічне (просторове) положення. Звичайно ГІС представляє інформацію у вигляді карт і за допомогою символів, інтегруючи дані з різних джерел у загальній географічній системі відліку. Дивлячись на карту, людина дізнається, що знаходиться в області простору, що його цікавить, де перебувають ті або інші об'єкти й процеси, як вони розподілені в просторі, як до них можна добратися по автодорогах або в інший спосіб, що граничить із ними й що перебуває поблизу. При інтерактивній роботі з картою на комп'ютері ГІС може видати нову інформацію, що не є присутнім у явному виді на карті. Наприклад, можна визначити зміну в часі якої-небудь характеристики – скажемо, вмісту

шкідливої речовини в ґрунті на фіксованій території, знайти найбільш ефективний маршрут переміщення з однієї крапки в іншу, змоделювати реакцію на виникнення нового об'єкта й визначити необхідні відновлення в системі.

Всі ці можливості ГІС, як ми вже відзначали, обумовлені тим, що географічна інформаційна система як програмний інструментарій – це, по суті, система керування базами даних, здатна розпізнавати й обробляти просторові співвідношення.

Вченими підраховано, що 85 % інформації, з якою стикається людина в своєму житті, має територіальну прив'язку. Тому перерахувати всі сфери застосування ГІС просто неможливо. Цим системам можна знайти застосування практично в будь-якій сфері трудової діяльності людини. ГІС ефективні у всіх областях, де здійснюється облік і управління територією і об'єктами на ній. Це практично всі напрями діяльності органів управління і адміністрацій: земельні ресурси і об'єкти нерухомості, транспорт, інженерні комунікації, розвиток бізнесу, забезпечення правопорядку і безпеки, управління НС, демографія, екологія, охорона здоров'я, рекламні агентства, тощо.

ГІС дозволяють найточнішим чином враховувати координати об'єктів та площі ділянок. В галузі транспорту ГІС давно вже показали свою ефективність завдяки можливості побудови оптимальних маршрутів для перевозок в масштабі окремого міста або цілої держави. При цьому можливість використання найбільш актуальної інформації про стан дорожньої мережі та пропускної здатності дозволяє будувати дійсно оптимальні маршрути.

ГІС дозволяють вести облік чисельності, структури та розподілу населення і одночасно використовувати цю інформацію для планування розвитку соціальної інфраструктури, транспортної мережі, оптимального розміщення об'єктів охорони здоров'я, протипожежних загонів та сил правопорядку.

З допомогою ГІС можна проводити моніторинг екологічної ситуації і облік природних ресурсів. Вони не лише можуть дати відповідь, де зараз знаходяться «тонкі місця», але і завдяки можливостям моделювання підказати, куди потрібно направити сили і засоби, аби такі «тонкі місця» не виникали в майбутньому. За допомогою геоінформаційних систем визначаються взаємозв'язки між різними параметрами (ґрунтами, кліматом

і врожайністю сільськогосподарських культур), виявляються місця розривів електромереж.

Ріелтери використовують ГІС для пошуку, наприклад, всіх будинків на певній території, що мають шиферні дахи, три кімнати і 10-метрові кухні, а потім видачі детальнішого опису цих будов. Запит може бути уточнений введенням додаткових параметрів, наприклад, вартісних. Можна отримати список всіх будинків, що знаходять на певній відстані від конкретної магістралі, лісопаркового масиву або місця роботи. Компанія, що займається інженерними комунікаціями, може чітко спланувати ремонтні або профілактичні роботи, починаючи із здобуття повної інформації і відображення на екрані комп'ютера (або на паперових копіях) відповідних ділянок, скажемо водопроводу, і закінчуючи автоматичним визначенням жителів, на яких ці роботи вплинуть, з повідомленням їх про терміни передбачуваного відключення або перебоїв з водопостачанням. Для космічних і аерофотознімків важливе те, що ГІС можуть виявляти ділянки поверхні із заданим набором властивостей, відбитих на знімках в різних ділянках спектру. Але насправді ця технологія може з успіхом застосовуватися і в інших областях. Наприклад, в реставрації: знімки картини в різних областях спектру (у тому числі і в невидимих). Геоінформаційна система може використовуватися для огляду як великих територій (панорама міста, штату або країни), так і обмеженого простору, наприклад, залу казино. За допомогою цього програмного продукту управлінський персонал казино отримує карти з колірним кодуванням, що відображає рух грошей в іграх, розміри ставок, взяття «банку» і інші дані з гральних автоматів. Потрібна для ухвалення рішень інформація може бути представлена в лаконічній картографічній формі з додатковими текстовими поясненнями, графіками і діаграмами.

Тепер щось подібне до чудового глобуса є навіть у школярів. Звичайно, поки не у всіх а лише в тих, хто вивчає географію за допомогою геоінформаційної системи «Географія 3.0», розробленою, як і багато інших додатків ГІС технологій, фахівцями московського Центру досліджень екстремальних ситуацій.

Як і довільна інша ГІС, ця теж вміщує велику базу даних, що тим чи іншим чином пов'язана з вивченням географії. У неї є множина інформаційних шарів та опис громадної кількості об'єктів. Вся інформація доступна – її легко вивести на екран. Але саме головне – система дозволяє

працювати з даними в інтерактивному режимі: доповнювати бази даних, створювати нові, задавати питання та отримувати на них відповіді, використовувати одразу декілька інформаційних шарів та створювати свої власні комп'ютерні карти.

Отже, в ГІС закладені самі різні, зрозуміло оцифровані, карти. Це і звичайні фізичні – тривимірна карта світу і Росії в двох проекціях, і політичні, карти рослинності і тваринного світу, гідрографія, карти, на яких вказані населені пункти, залізничні і автомобільні дороги, місця розробки корисних копалин, клімат, ґрунти, нарешті, тектонічні структури і так далі. Інакше кажучи, ГІС – це виключно повний і детальний атлас світу, в деякому роді – довідник.

Але не це головне. Завдяки комп'ютерним технологіям в ГІС є маса можливостей, які, як мовиться, і не снилися звичайним картам, нехай навіть і оцифрованим.

По-перше, це система пошуку і можливість зміни масштабу карти. Можна клацнути «мишкою» на будь-якій крапці на карті і взнати, що це за місце, які його координати, якщо у нього є назва – те яке воно, в якій це країні, який народ там живе і скільки його там, що за клімат в цьому місці і інше.

За бажанням учень може збільшити масштаб і розглядати бажану точку уважніше, не гірше ніж на глобусі, або самому підписати цей об'єкт та супроводити його описом у вигляді файлу, що прикріплюється. Програма збагачується інформацією, яку учень зібрав та систематизував самостійно, як у вигляді документу так і у вигляді фото або відеозапису.

Є і інший варіант – набрати у вікні пошуку, скажімо, Ефіопське нагір'я або вулкан Кракатау, і розумна система негайно покаже ці об'єкти, а вже потім можна буде дізнатися про них подробиці, підключаючи ті або інші інформаційні шари.

ГІС дозволяє вимірювати відстані між точками на карті, площу, наприклад, країни або озера, довжину лінії, як прямої, так і хвилястої.

Можна вивести на екран відразу декілька карт (тематичних шарів) – наприклад, рельєфу Землі і основних родовищ корисних копалин, порівняти і проаналізувати цю інформацію. Або створити свою тематичну карту – наприклад, для ареалу мешкання якого-небудь народу в Африці. Можна нанести додаткову інформацію на вже наявну карту. Наприклад, створити карту свого населеного пункту і наносити на неї зміни – появу

нових будинків, доріг або заводів. Можливостей, що відкриваються і для учнів і для викладачів, в ГІС «Географія» величезна безліч.

Основними галузями застосовування ГІС у наш час є (Де-Мерс, 1999):

- управління земельними ресурсами, земельні кадастри;
- інвентаризація і облік об'єктів розподіленої виробничої інфраструктури і управління ними;
- тематичне картографування практично в будь-яких сферах його використання;
- морська картографія і навігація;
- аеронавігаційне картографування і управління повітряним рухом;
- навігація і управління рухом наземного транспорту;
- дистанційне зондування;
- управління природними ресурсами (водними, лісовими і т. ін.);
- моделювання процесів у природному середовищі, управління природоохоронними заходами;
- моніторинг стану навколишнього середовища;
- реагування на надзвичайні і кризові ситуації;
- геологія, мінерально-сировинні ресурси і гірничодобувна промисловість;
- планування і оперативне управління перевезеннями;
- проектування, інженерні дослідження і планування в містобудуванні, архітектурі, промисловому і транспортному будівництві;
- планування розвитку транспортних і телекомунікаційних мереж;
- комплексне управління і планування розвитку території, міста;
- сільське господарство;
- маркетинг, аналіз ринку;
- археологія;
- безпека, військова справа і розвідка;
- загальна і спеціальна освіта.

Зазначимо, що до переліку ввійшли тільки «основні», «найбільші» сфери використання ГІС без урахування наукових досліджень, використання в яких геоінформаційних систем і технологій стає все більш поширеним. Крім цього, наведений список не є остаточним, оскільки сфера використання ГІС постійно розширюється. До нього можна,

зокрема, додати медичну географію, епідеміологію, заповідну справу, туризм – сфери людської діяльності, у яких використання ГІС останніми роками стає все більш поширеним.

## Класифікація сучасних ГІС

Останніми десятиріччями у світі розроблено велику кількість різноманітних геоінформаційних систем. Запропоновано різні класифікації, кожна з яких певною мірою ранжирує існуюче різноманіття в певну кількість однорідних класів з використанням однієї або декількох ознак.

Звичайно геоінформаційні системи класифікують за такими ознаками:

- за призначенням – залежно від цільового використання;
- за проблемно-тематичною орієнтацією – залежно від сфери застосування;
- за територіальним охопленням – залежно від розміру території і масштабного ряду цифрових картографічних даних, що складають базу даних ГІС.

Наведемо узагальнення наявних класифікацій за цими ознаками.

За призначенням геоінформаційні системи поділяють на **багатоцільові** та **спеціалізовані**. Багатоцільовими системами, як правило, є регіональні ГІС, призначені для розв’язання широкого спектра завдань, пов’язаних з регіональним керуванням. Спеціалізовані ГІС забезпечують виконання однієї або кількох близьких функцій. До них, як правило, відносять геоінформаційні системи:

- інформаційно-довідкові;
- моніторингові;
- інвентаризаційні;
- прийняття рішень;
- дослідницькі;
- навчальні.

**Дослідницькі ГІС** створюються для забезпечення розв’язання будь-якої наукової проблеми або сукупності наукових проблем із застосуванням методів просторово-часового аналізу й моделювання. Прикладом може бути геоінформаційна система басейну річки Бутеня (Київська область, Богуславська польова експериментальна гідрометеорологічна база



УкрНДГМІ), створена для розв'язання проблеми прогнозу просторового перерозподілу радіонуклідів у басейні малої річки в рамках виконання міжнародного проекту SPARTACUS (SPARTACUS, 2000). База просторових даних геоінформаційної системи р. Бутені складається із понад тридцяти шарів даних, що характеризують рельєф (цифрова модель рельєфу і похідні від неї карти ухилів, експозицій, поздовжньої і поперечної кривизни схилів та ін.), гідрографічну мережу (карти місцевих ліній течії, водозборів, «вище розміщених елементів», ухилів, гідравлічної жорсткості та ін.), ґрунтовий покрив (карти генетичних типів ґрунтів, ґрунотвірних порід, еродованості, а також параметрів, що характеризують водно-фізичні і протиерозійні властивості ґрунтів та їх радіоактивне забруднення), природну і культурну рослинність (карти лісів, сільськогосподарських угідь, сівозмін і параметрів, що їх характеризують) і землекористування (карти типів землекористування, дорожньої мережі та ін.).

**Навчальні ГІС** розробляються для забезпечення навчального процесу, як правило, у вищих навчальних закладах. Як об'єкт у таких геоінформаційних системах частіше за все розглядаються території польових стаціонарів – баз навчальних польових практик студентів. Прикладами навчальних ГІС є ГІС «Сатіно», розроблена на географічному факультеті Московського державного університету ім. М. В. Ломоносова і ГІС Навчального географічного стаціонару «Кринички» (північ Одеської області), яка розробляється на геолого-географічному факультеті Одеського національного університету ім. І. І. Мечникова. Остання складається з банку просторової (картографічної) інформації і пов'язаних з нею атрибутивних даних для території польового стаціонару загальною площею близько 100 км<sup>2</sup> та бібліотеки прикладних модулів, що реалізують навчальні, наукові і прикладні завдання на основі банку даних і можливостей геоінформаційних технологій.

За проблемно-тематичною орієнтацією звичайно виділяють типи геоінформаційних систем, що відповідають «основним сферам застосування ГІС», тобто:

- земельно-кадастрові;
- екологічні і природо користувальницькі;
- інженерних комунікацій і міського господарства;
- надзвичайних ситуацій;

- навігаційні;
- соціально-економічні;
- геологічні;
- транспортні;
- торгово-маркетингові;
- археологічні;
- військові;
- інші.

У категорії «інші» в цій класифікації може бути поійменована ще достатньо велика, причому така, що продовжує збільшуватися, кількість типів ГІС, оскільки сфера застосування ГІС не обмежена переліком зазначених вище сфер розширюється далі.

**За територіальним охопленням** найбільш логічним є поділ геоінформаційних систем на:

- глобальні;
- загальнонаціональні;
- регіональні;
- локальні.

**Глобальні геоінформаційні системи** охоплюють або всю земну кулю, наприклад, як Глобальний банк природно-ресурсної інформації (GRID), або якусь її значну частину – як геоінформаційна система Європейського співтовариства CORINE, характеристика яких наведена в наступному пункті. Загальнонаціональні ГІС, як це впливає із назви, охоплюють територію всієї країни, регіональні – якусь її частину, таку, як економічний район, адміністративна область чи група суміжних областей, басейн великої річки і т. ін. До категорії «локальні ГІС» відносять геоінформаційні системи меншого територіального охоплення, але рекомендації щодо територіальних обмежень локальних ГІС відсутні. До даної категорії, як правило, належать і муніципальні геоінформаційні системи (МГІС) – специфічна категорія геоінформаційних систем, що розробляються для території міста або його частини.

Початкова інформація, яку збирають для складання карт, є неоднорідною для різних територій та об'єктів, а також сфер їх екологічної характеристики. До неї належать дані польових спостережень, матеріали дистанційного зондування, картографічні матеріали, створені раніше, текстові дані, відомості, які стосуються моніторингу довкілля,

інформаційні системи екологічних даних тощо. Шляхи отримання даної інформації також різноманітні й залежать від об'єктів картографування, його тематики, наявних відомостей та інших умов, що визначають конкретне завдання по створенню карт.

Картографічні бази включають цифрові карти і матричні контурні карти різних рівнів детальності, які мають різний початковий масштаб.

Матричні карти будуються на основі приписування блокам моделі цифрової або кодової характеристики. Цифрова характеристика визначає середнє значення певного параметру або показника в даному блоці. Наприклад: середнє значення абсолютної відмітки поверхні землі, середня потужність водоносного горизонту, відсоток лісистості, відносна забудованість території, приналежність даного блоку до певного району або до певного річкового басейну. В останніх двох випадках даному блоку приписують певний код. Відповідно, в базі даних зберігаються матриці показників і параметрів.

Контурні карти будуються шляхом виділення контурів полів об'єктів і показників, що мають однакові характеристики або значення. Наприклад, контури розподілу порід певного віку, ландшафтна карта, річкове русло. В базі даних в цьому випадку зберігається інформація тільки про контур об'єкту.

Контурні карти зручні для довідково-інформаційної системи, внаслідок їх меншої умовності, порівняно з матричними. Не виключається поєднання матричних і контурних карт для одного показника або характеристики.

Сучасний етап картографування характеризується інтенсивним впровадженням ГІС технологій і цифрових методів отримання карт з використанням відповідної інформації. Як указується в Концепції Національної програми інформатизації, в Україні, на основі картографічних баз даних, передбачається утворення багатоцільової інформаційно-технологічної бази з використанням геоінформаційних технологій збору, збереження, аналізу всієї сукупності відомостей для моделювання і подальшого прогнозу екологічного стану територій.

### ***Класифікація інформації для екологічного картографування та її коротка характеристика***

Зважаючи на різноманіття інформації, що використовується для

екологічного картографування, її класифікують по певних критеріях. Особливе значення для мети картографування має класифікаційний показник по умові просторової «прив'язки» інформації.

Для завдань екологічного картографування застосовують три основні типи об'єктів просторової «прив'язки» або локалізації інформації. До них належать:

- адміністративно-територіальний;
- геосистемний;
- моніторинговий.

**Адміністративно-територіальний тип.** Інформація по цьому типу включає різні види показників, які належать до адміністративно-територіальних одиниць країни, що картографуються. При цьому розглядаються такі адміністративно-територіальні одиниці як адміністративні області і райони; міста та інші населені пункти обласного та районного підпорядкування; сільськогосподарські, лісогосподарські, промислові та інші підприємства й організації.

Інформаційне забезпечення, що відповідає даному типу, наступне. По адміністративних областях і районах існують оглядові статистичні матеріали, які характеризують ресурси поверхневих вод, різне використання земель, забруднення атмосфери та ін. природних компонентів. Ці матеріали регулярно готуються відповідними службами: гідрометеорологічною, екологічною, сільськогосподарською, лісогосподарською тощо. По населених пунктах постійно розробляються узагальнені статистичні матеріали. Їх створенням займаються гідрометеорологічні, екологічні, санітарно-епідеміологічні, водогосподарські та ін. служби крупних населених пунктів і промислових центрів. Дослідження на національному рівні становлять основне джерело інформації, яке є базою для екологічного картографування країни у цілому. Вони включаються в річну доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні, що представляється Верховній Раді. Також використовується звітність обласних Державних управлінь по охороні навколишнього природного середовища. Крім того, розглядаються оглядові та статистичні матеріали, що стосуються сільсько-, водо- та лісогосподарських об'єктів.

**Геосистемний тип** включає:

- ландшафти як комплексні природні утворення, що піддаються

антропогенні дії;

- водозбірні басейни різного рівня, в межах яких здійснюється накопичення та перерозподіл забруднюючих речовин;
- компоненти природного середовища, що розглядаються як підсистеми;
- техногенні територіальні утворення різного вигляду ієрархічного рівня.

По об'єктах цього типу, як правило, відсутні статистичні та інші інформаційні матеріали, які регулярно готуються. У зв'язку з цим для цілей екологічного картографування необхідно проводити спеціальні дослідження.

**Моніторинговий тип** включає різні територіальні об'єкти, по яких ведуться екологічні вимірювання: конкретні точки (пункти) земної поверхні; лінії (маршрути) досліджень; площі зйомок.

Моніторинг ведеться:

- постійно діючими стаціонарними станціями і пунктами мережі спостережень і контролю стану навколишнього природного середовища;
- наземними і авіа-космічними мобільними способами регулярного і періодичного або разового збору екологічної інформації.

Існуюча система екологічних досліджень і вимірювань утворює неоднаковий ступінь інформаційного забезпечення при розробці екологічних карт. Найдоступнішою для користувача по показнику просторової «прив'язки» є система основних матеріалів (табл. 3.1).

В загальному вигляді класифікація джерел інформації для екологічного картографування представлена в таблиці 3.2. Кожний тип інформації, вказаний в ній, може мати більш детальний поділ. Найбільш важливі та широко використовувані при картографуванні матеріали – статистичні, картографічні, аерокосмічні.

Таблиця 3.1 – Основні джерела інформації для створення екологічних карт

Типи об'єктів локалізації інформації	Джерела інформації
Адміністративно-територіальний: райони, міста і ін. поселення обласного підпорядкування лісо-, водо- та сільськогосподарські об'єкти	Державні і відомчі статистичні форми звітності і огляди земельних, лісових., водних і ін. ресурсів забруднення компонентів ОПС національного і обласного рівня. Галузеві статистичні форми звітності і стану лісо-, водо-, сільськогосподарських об'єктів
Геосистемний: Басейни річок. Ландшафти. Компоненти ландшафтів. Техногенні об'єкти	Матеріали екологічних досліджень наземними і дистанційними методами, існуючі картографічні джерела, техніко-економічні обґрунтування, оцінка впливу на навколишнє природне середовище проектованої діяльності (ОВНС) та ін. матеріали
Моніторинговий: Станції (пости) спостережень, лінії (маршрути) досліджень, площі досліджень	Бюлетені і довідники про стан атмосферного повітря, поверхневих вод і ін. Матеріали екологічних досліджень наземними і дистанційними методами

Таблиця 3.2 – Класифікація джерел екологічної інформації

Критерії класифікації екологічної інформації	Тип екологічної інформації
1	2
Характер джерела інформації	Картографічна. Аерокосмічна. Статистична. Описова
Період тимчасового обхвату	Довгострокова (10 і більше років). Середньострокова (5 – 10 років). Поточна (річна). Сезонна ( частина року) Оперативна. Екстрена
Об'єкт «прив'язки» інформації. Ступінь покриття території	Адміністративно-територіальна. Природно-територіальна(геосистемна). Покомпонентна (в середині геосистем). Мережна (моніторингова). Безперервна(континуальна). Переривиста (дискретна)

### Продовження таблиці 3.2

1	2
Характер об'єктів «прив'язки» інформації	Точкова. Лінійна. Площадна
Вид подачі інформації. Рівень розгляду (дослідження) по територіальному охопленню	Кількісна. Якісна. Бальна (ранжована). Глобальна (Земля в цілому). Трансгранична (Україна з прилеглими територіями). Національна. Регіональна. Місцева (локальна)
Рівень розгляду за ієрархією об'єктів	Біосферна (мегаекологічна). Ландшафтна (ландшафтно-екологічна). Екосистемна (синекологічна) Популяція (демекологічна). Видова (аутекологічна)
Групи організмів (суб'єкти оцінки)	Флористична. Фауністична. Антропосистемна
Вид дії на організм	Фізичні параметри. Хімічні параметри. Біологічні параметри

**Статистична інформація.** Відповідно до законодавства в Україні проводиться робота по створенню статистичної інформації, яка передбачає єдині принципи та методики отримання даних. В межах країни існує автоматизована система збору, збереження, обробки та розповсюдження статистичної інформації, яка може бути використана у картографуванні. При цьому велике значення мають статистичні матеріали, отримані при режимних спостереженнях, на об'єктах мережі гідрометеорологічної служби, спеціалізованих стаціонарах, включаючи заповідники.

Наприклад, для отримання початкової інформації по розрахунках параметрів забруднення навколишнього природного середовища широко використовуються статистичні матеріали по клімату.

Картографічні матеріали характеризуються чіткою просторовою локалізацією об'єктів, класифікацією або рубрикацією якісних і кількісних показників, що відображаються.

Велике значення для вивчення динаміки природного середовища під впливом природних процесів і антропогенної діяльності мають старі карти і плани, створені на основі зйомок. Зіставляючи їх із сучасними, а також з аеро- і космічними знімками знаходять і аналізують зміни географічних об'єктів і явищ за період 50, 100 та 150 років.

Аерокосмічна інформація в даний час достатньо обширна. Космічна система вивчення природних ресурсів Землі включає: пілотовані космічні станції типу «Салют»; автоматичні космічні апарати типу «Метеор» і «Космос»; пункти прийому та міжгалузевої обробки інформації; центри отримання, первинної обробки та розповсюдження космічної інформації.

Широко використовуються телевізійні та сканерні зображення високої та середньої роздільної здатності, які одержуються з російських супутників «Метеор», американських «Ландрат», французьких «Спот». Елементи роздільної здатності становлять 20 – 85 м. На зображеннях сканерів високого ступеня розрізнення, особливо кольорових синтезованих знімках, виділяються ті ж об'єкти, що і на фотографічних, але при цьому забезпечується регулярне повторення зйомки. Вони зручні для автоматичної обробки, оскільки поступають з орбіти в шифрованому вигляді та використовуються для оперативного контролю.

Фотографії, отримані в цій системі, мають велику якість зображення місцевості (декілька метрів). Вони забезпечують можливість стереоскопічного вивчення об'єктів і дають цінну інформацію про всі об'єкти поверхні.

Особливо актуальне значення має космофотоінформація для вивчення стану, використання й обліку земель, які зумовлюють оцінку екологічного стану земельних ресурсів. Використання космічної інформації при екологічному картографуванні дозволяє налагодити систематичне спостереження за станом земельних ресурсів.

Переваги використання космічних фотознімків при екологічному картографуванні земель визначаються об'єктивною оптичною інформативною місткістю, достовірністю, точністю і необхідною періодичністю отримання інформації.

Зміст карти, що розробляється з використанням космофотознімків, може бути розділений на три частини: **загальногеографічну** (елементи топографічної основи), **тематичну**, яка відображає сучасне розміщення і використання земель та **екологічну**. Тематичний зміст карти включає: сільгоспугіддя (рілля, багаторічні насадження, пасовища, сінокоси), землі лісового та водного фонду, землі населених пунктів і інші.

Екологічне навантаження карти відображає екологічний стан земельних ресурсів (підтоплення, руйнування від ерозійних процесів) і землі, які пошкоджені господарською діяльністю людини (кар'єри,



промислові зони, відвали). Вибір способів зображення об'єктів, що картографуються, зумовлюється вимогами генералізації, призначенням і масштабом карти.

Інформаційні джерела, що використовуються для розробки карти включають, разом з космофотознімками, топографічні та тематичні карти, фондові та літературні матеріали, які підбираються та аналізуються в напрямі, що дозволяє одержувати повну інформацію про екологічний стан земель. Підбір інформації повинен відповідати тематичній орієнтації досліджень і мати конкретний територіальний обхват. Одним з визначальних чинників вибору і оптимізації параметрів космічних фотознімків є спектральний діапазон, від якого залежить можливість сприйняття закладеної в них інформації і використання її для певної мети.

Розпізнавання сільськогосподарських угідь на космічних знімках проводиться переважно по прямих дешифрувальних ознаках. Оцінка екологічного стану земель здійснюється на основі аналізу специфічних відхилень у кольорі та структурі фотозображення з використанням індикаційних еталонів. У процесі складання карти розробляються індикаційні таблиці прямих і непрямих дешифрувальних ознак картографованих об'єктів.

### **Застосування ГІС технологій в інформаційному забезпеченні екологічного картографування**

В даний час все більш важливою при вирішенні завдань екологічного картографування є організація інформаційного забезпечення і логічне обґрунтування задач і процедур по переробці інформації, які реалізуються в геоінформаційних технологіях. При цьому відбувається сумісне використання картографічних і географічних методів, а також математичних моделей. Основна мета такого завдання спрямована на отримання нових карт оцінювального характеру, що дозволяє оперативно виробляти природоохоронні заходи.

У створенні та використанні екологічних карт чітко виділяються два рівні картографування, відповідно до яких можна розрізнити два основні типи карт, і, відповідно, два напрями формування інформаційних фондів у ГІС.

В основі розробки екологічних карт першого типу лежать фактологічні дані, отримані шляхом інструментального вимірювання

рівнів забруднення, дані топографічних і тематичних карт, результати обробки аерокосмічних зображень, обліково-статистичні, наукові та інші матеріали. Ці дані складають основу для формування першого інформаційного фонду базової екологічної картографічної інформації в ГІС, задача якого полягає в організації первинних уявлень про просторово-часовий розподіл окремих елементів екологічних явищ, які картографуються. Прикладами екологічних карт першого типу є карти констатацій про джерела та інтенсивність забруднень об'єктів, різних геосфер.

На основі екологічних карт першого типу розвивається інший інформаційний фонд вищого, ніж попередній, рівня. Він дає основу для розробки системи принципово нових екологічних карт – карт другого типу. Їх зміст пов'язаний з виявленням зворотного зв'язку впливу суспільства на природу та ступеню стійкості природи до подальших впливів. Відмінна особливість екологічних карт другого типу – їх орієнтація на оперативне відображення динаміки екологічних процесів, результатів екстраполяції виявлених тенденцій, зіставлення і фактичного розвитку подій з прогнозними варіантами. Екологічні карти другого типу містять експертні оцінки.

При такому підході розширюються можливості екологічного картографування, знімаються обмеження, зумовлені лише одним варіантом картографічного зображення того чи іншого екологічного явища або процесу. Це підвищує можливості вибору більш оптимальних рішень по охороні навколишнього природного середовища на основі екологічних карт і математико-картографічного моделювання.

Як і більшість складних програмних продуктів, найбільш поширені такі ГІС, як Arcinfo або Mapinfo, не зважаючи на наявність внутрішніх мов програмування (Avenue та MapBasic відповідно), підтримують можливість підключення додаткових модулів, реалізованих в інших програмних середовищах. Крім того, при програмуванні на внутрішніх мовах існує можливість підключення бібліотек процедур і функцій з інших мов програмування.

При розробці ГІС додатків враховується той факт, що для вирішення більшості задач, зв'язаних із застосуванням ГІС при картографуванні, достатньо створення баз даних (у вигляді таблиць), елементи яких мають просторову прив'язку, а також елементарних процедур роботи з ними.

Внаслідок цього внутрішні мови програмування в ГІС орієнтовані, в першу чергу, на розробку додатків такого типу, незважаючи на недоліки, які пов'язані з втратою простоти створення та швидкості реалізації вирішення інших задач. Тому, при розробці складного ГІС проекту уважно підходять до питання вибору програмних засобів, що використовуються на його окремих етапах.

Беручи до уваги наявність складних обчислювальних алгоритмів, вживаних при вирішенні задач, які зв'язані з використанням картографічної інформації при моделюванні, існує необхідність і можливість (враховуючи простоту програмування та високу швидкість обчислень) застосування системи MATLAB для їх вирішення. Перспективним напрямом застосування системи MATLAB є розрахунок задач, пов'язаних з використанням змістовних характеристик явищ, для успішного вирішення яких необхідна проста й ефективна організація доступу до даних, закладених в картографований об'єкт.

Типовим прикладом карти, що відображає окрім синтетичного картографованого показника та його аналітичні характеристики, є ландшафтна карта. Текстовий опис елемента легенди ландшафтної карти складається з опису геолого-геоморфологічного, рослинного (геоботанічного) та ґрунтового компонентів ландшафту і зв'язків між ними і їх складовими. Оскільки «найприроднішим» для ГІС є табличне представлення даних, то запис структури ландшафту доцільно здійснити у вигляді таблиці зв'язків між компонентами, що становлять ландшафт. Очевидно, що при записі у вигляді таблиці більшість елементів таблиці не міститиме ніяких посилань і, отже, для прискореного доступу до даних і зменшення об'єму пам'яті, що використовується, доцільно застосувати метод запису розріджених (sparse) матриць.

Останнім часом у зв'язку з багатою різноманітністю проблем, вирішуваних за допомогою ГІС технологій, відбувається розподіл програмного забезпечення за його призначенням. Якщо раніше створювалися «повні» ГІС пакети, то зараз ставка робиться на ГІС основу («геометричні алгоритми», алгоритми роботи з базами даних і інтерфейс) і модулі, що підключаються. При цьому спрощуються способи підключення бібліотек процедур і функцій, написаних за допомогою інших мов програмування, у тому числі і спеціалізованих, що відкриває широкі можливості для їх застосування при вирішенні завдань, пов'язаних з

картографічним моделюванням.

Велику перспективу має застосування ГІС і в інформаційному забезпеченні регіонального медико-екологічного аналізу. Медико-екологічне картографування як частина комплексних географічних досліджень ґрунтується на широкому використуванні кількісних і якісних показників. Поєднання різних за призначенням показників природних і антропогенних передумов хвороб людини розкривають основні тенденції погіршення ступеня географічної комфортності геосистем топологічного та регіонального рівнів. Їх подальший синтез дозволяє отримати інтегральні характеристики при визначенні меж ареалів передумов хвороб людини і медико-екологічних ситуацій.

В структурі ГІС обов'язковою ланкою передбачається блок, що містить в собі інформацію медико-географічного і медико-екологічного напрямку. ГІС як мультимодульна система має постійні та тимчасові інформаційні потоки, які забезпечують взаємозв'язок між її окремими блоками на компонентному, інтегральному і комплексних рівнях.

Структура інформаційних блоків медико-екологічного модуля ГІС є відкритою та передбачає постійне надходження додаткової інформації компонентного, інтегрального і комплексного рівнів. Медико-екологічний модуль є багаторівневою системою інтеграції кількісних і якісних показників, зосереджених в приватних соціально-орієнтованих модулях ГІС. Детальний та аргументований процес аналізу медико-екологічних ситуацій ґрунтується на досить великому банку даних. Це одна з важливих вимог до структури медико-екологічного модуля ГІС, оскільки його банк даних повинен постійно поповнюватися цільовою інформацією. На цій підставі можна вважати, що медико-екологічна структура модуля ГІС відповідає всім необхідним вимогам, як системного аналізу, так і основним принципам систем відкритого типу. В медико-екологічному блоці ГІС передбачається картографічний блок, який забезпечує дослідження класифікації території по сукупності актуальних і потенційних медико-екологічних ситуацій. Така процедура включає обґрунтування по вибору базових і ключових картографічних основ, принципів ранжирування території по сукупності антропогенних навантажень, складання компонентних і комплексних медико-географічних і медико-екологічних карт, типологічного районування природних передумов хвороб людини і типологічного ранжирування антропогенних передумов хвороб людини.

Отримані карти потрібно розглядати як етап регіонального аналізу формування проблемних медико-екологічних ситуацій.

### **Контрольні питання**

1. Які компоненти складають ядро ГІС?
2. Охарактеризуйте ключові компоненти програмного забезпечення.
3. Наведіть схематичне зображення компонентів ГІС.
4. Дайте характеристику сферам застосування ГІС технологій.
5. Що таке інформаційні технології?
6. Дайте характеристику основним етапам розвитку геоінформаційних технологій.
7. Що таке географічні інформаційні системи?
8. Які ви знаєте об'єкти просторової локалізації інформації для екологічного картографування? Дайте їх коротку характеристику.
9. Наведіть класифікацію джерел інформації для екологічного картографування. Як можна, на вашу думку, деталізувати приведені в ній типи екологічної інформації?
10. Яку роль відіграють ГІС технології в інформаційному забезпеченні екологічного картографування? Обґрунтуйте відповідь.
11. Назвіть напрями формування інформаційних фундацій в ГІС і дайте їм коротку характеристику.
12. Охарактеризуйте програмне забезпечення ГІС, яке використовується для екологічного картографування.
13. Розкрийте суть застосування ГІС в медико-екологічному картографуванні.
14. Що лежить в основі розробки екологічних карт?
15. Назвіть найбільш важливі та широко використовувані при картографуванні матеріали.

## **4 ОСОБЛИВОСТІ ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗА КАРТАМИ**

### **Візуалізація інформації в ГІС**

Подання інформації в зрозумілій і зручній для користувача формі є однією з основних функцій будь-якої системи обробки даних. Оскільки ГІС орієнтовані переважно на обробку просторово-розподілених даних, вони подають оброблену інформацію у вигляді різних карт, картодіаграм, тривимірних і анімізованих зображень.

Побудова картографічного зображення є досить складним науково-методичним і технологічним процесом. Для створення карт та інших геозображень у різних прикладних науках (картографії, геології, землевпорядкуванні, гідрографії та ін.) розроблені різні стандарти і нормативні вимоги. У той самий час технологія ГІС дає користувачу значно більші можливості для створення й обробки картографічної інформації, які в багатьох випадках не передбачені чи не затребувані традиційними методами паперових технологій.

На екран дисплея можна вивести кілька вікон з різними тематичними картами для їхнього спільного візуального аналізу; електронні карти легко масштабуються з можливістю автоматизованої генералізації; спеціальні засоби редагування дозволяють швидко змінювати підписи, умовні позначення і загальне компонування картографічного зображення. За наявності картографічної бази даних користувач одержує можливість робити швидкі інтерактивні запити про властивості того чи іншого об'єкта курсором миші, складати запити з використанням математичних і логічних функцій, робити вибірки, будувати тематичні карти й картодіаграми. Користувач може ставити перед інформаційною системою запити типу: «Які населені пункти з якою загальною чисельністю населення знаходяться на відстані 100 км від АЕС», «Які сади і виноградники знаходяться в межах двох годин їзди від міста N» – і одержувати відповіді в картографічній і табличній формі.

Внаслідок легкості побудови та аналізу карт за наявності готових картографічних баз даних картографічний аналіз і подання даних досить поширені в таких сферах діяльності, як маркетинг земельних ділянок, доставка товарів і надання послуг населенню, територіальне керування, освіта та ін. Для обслуговування широкого кола нових споживачів

геоінформації з'явився клас програмних продуктів ГІС, призначених для надання інформації кінцевому користувачу з мінімальним набором функцій введення і редагування даних (ГІС в'юери). Так само існує велика кількість програмних продуктів ГІС, призначених для обробки і подання інформації в стандартах конкретної прикладної галузі діяльності (геологічні карти і розрізи, архітектурні і кадастрові плани, топографічне і гідрографічне картографування) з відповідними шаблонами і наборами умовних знаків. У таких програмних продуктах велика увага надається також можливостям одержання твердих копій картографічних зображень з урахуванням нормативних вимог до їхньої точності і зовнішнього вигляду.

Основні принципи виведення інформації на екран дисплея чи тверді носії, дизайн зображень і зручність сприйняття їх людиною характеризуються в цілому поняттям візуалізація.

### ***Методи і технології візуалізації інформації в ГІС***

Процес одержання зображення на екрані чи аркуші паперу в різних випадках може містити в собі безліч окремих технологічних операцій, які необхідно виконувати в певному порядку. Вихідні дані, що зберігаються у файлах різних форматів ГІС пакетів, як правило, являють собою набори ідентифікаторів просторових об'єктів, координати їхніх опорних точок, посилання на записи в базах даних, посилання на бібліотеки умовних знаків та ін. У деяких випадках цифрова картографічна база даних створюється з урахуванням вимог подальшої візуалізації у середовищі визначеного ГІС пакета і може бути представлена як карта визначеного відомчого стандарту без додаткової обробки. У більшості ж випадків цифрові карти являють собою контури об'єктів у визначеному універсальному форматі, призначені для експорту в різні формати пакетів ГІС. У цьому випадку для одержання повноцінного геозображення необхідна додаткова обробка даних.

### ***Подання картографічних шарів***

Уся сукупність об'єктів на вихідній карті чи групі карт, покладених в основу цифрової картографічної бази даних, може бути розбита на групи однотипних об'єктів – гідрографічних, адміністративних границь, доріг, населених пунктів та ін. Такі групи об'єктів, як правило, цифруються,

зберігаються й обробляються у вигляді окремих наборів файлів даних. При візуалізації кожний файл даних подається як окремий картографічний шар.

**Шар** (layer, theme, coverage, overlay) – сукупність однотипних (однієї мірності) просторових об'єктів, що стосується однієї теми (класу об'єктів) у межах деякої території й у системі координат, загальній для набору шарів. За типом об'єктів розрізняють точкові, лінійні і полігональні шари, а також шари з тривимірними об'єктами (поверхнями). Пошарове, чи багат шарове подання є найбільш поширеним способом організації просторових даних у пошарово організованих ГІС (layer-based GIS). Для зручності збереження й обробки великих наборів даних кожний із шарів може бути розбитий на фрагменти в результаті операції фрагментування (tiling); при відображенні на екрані виконується зворотне зшивання. Звичайно «нарізання» на фрагменти успадковує прийнятну схему розграфлення карт (по окремих аркушах топокарт, по градусній сітці). Логічна нерозривність отриманого фрагментованого шару забезпечується засобами, що підтримують безшовні бази даних (Баранов и др., 1997).

У більшості програмних ГІС пакетів картографічний шар є основною одиницею подання даних – на рівні шарів здійснюються пошук, завантаження і вивантаження даних у середовище ГІС, до об'єктів шару застосовуються функції пошуку, форматування, зміни графічних змінних.

У разі збігу систем координат можливе багаторазове накладення картографічних шарів у векторному поданні, також можливе використання растрових картографічних шарів. Через те що растрові карти непрозорі, вони звичайно використовуються у вигляді підкладки на задньому плані комбінованого векторно-растрового зображення. Кількість одночасно виведених на екран картографічних шарів обмежена ресурсами комп'ютера.

Для контролю і керування візуалізацією картографічних шарів у різних ГІС пакетах існують спеціальні інструменти. У деяких програмних оболонках функції керування шарами поєднуються з функціями легенди і керування графічними змінними (ArcGIS Desktop). Для керування шарами доступні функції відкриття і закриття одного шару, відкриття і закриття групи шарів, закриття усіх раніше відкритих шарів.

При одночасному відкритті і перегляді кількох шарів необхідно упорядковувати їх взаємоположення і взаємоперекриття. В екранних вікнах, що керують відображенням шарів, можна побачити розміщення



окремого шару порівняно з іншими шарами, а так само покроково перемістити обраний шар нагору чи вниз усієї групи шарів.

Для кожного шару характерними є такі властивості:

1. **Видимість** (visible) – включається чи виключається відображення цього шару на екрані (при цьому шар залишається в оперативній пам'яті і бере участь у всіх інших дозволених операціях). Крім цього, є функції відображення шару залежно від масштабу екранного подання, задаються найменший і найбільший масштаби, за яких шар бачимо на екрані; включається чи виключається відображення службової інформації для окремих об'єктів шару – опорних точок, центроїдів полігонів, напрямків ліній та ін.

2. **Редагованість** (editable) – у шар, що редагується, дозволено вносити зміни за допомогою всіх доступних інструментів створення і редагування форми об'єктів, а також змінювати графічні змінні об'єкти. Як правило, можна редагувати тільки один шар. Із шару можна одержувати атрибутивну інформацію за допомогою запитів (selectable), за допомогою різних засобів побудови запитів, у протилежному разі всі запити ігноруються.

3. **Підписування** (auto label, labeled) – у відповідному шарі включається режим автоматичного друку пояснювальних підписів для картографічних об'єктів, наприклад, назв країн, міст, вулиць. За замовчуванням для підпису береться вміст першого текстового поля з атрибутивної бази даних, є можливість настроювання на будь-яке інше поле бази даних або використання як підпису результату обчислень (злиття фрагментів тексту) у кількох полях. Так само може задаватися формат відображення підпису – шрифт, розмір і колір шрифту, прив'язування до центра точки, лінії чи полігона (у центрі або збоку зі зсувом униз чи вверх). Задається метод контролю накладення і дублювання підписів (наприклад, підписи не можуть накладатися один на одній при даному масштабі, не може бути двох однакових підписів та ін.).

4. **Для відображення службової інформації** (наприклад, підписів) поверх усіх відкритих шарів даних створюється косметичний шар. Вміст косметичного шару існує, поки залишається відкритим базовий шар, щодо якого виводиться службова інформація; за необхідності косметичний шар може бути збережений у вигляді окремого файлу даних. Спеціальні тематичні шари утворюються при створенні тематичних карт, вони

прив'язані до шару, на основі якого створена тематична карта. Переміщення за списком накладення шарів базового шару зумовлює переміщення і похідного тематичного шару.

### ***Подання екранних видів (вікон)***

Програмні продукти ГІС здебільшого працюють під керуванням операційної системи Windows і використовують властивості екранних вікон для подання інформації. Екранні вікна ГІС пакетів підпорядковуються основним функціям роботи з вікнами – переміщенню по робочій області екрана, згортанню і розгортанню розміру вікон, розміщенню вікон каскадом або мозаїкою, можливості вертикального і горизонтального прокручування зображення у вікні. Одночасно може бути відкрита велика кількість різнотипних вікон; розміщення та вміст вікон на екрані дисплея називається екраним видом (View).

Для візуалізації інформації в ГІС звичайно використовується кілька типів екранних вікон. Уся просторова інформація виводиться у вікно карти, атрибутивна – у вікно табличного браузера, діаграми – у вікно діаграм, готові звітні форми – у вікно звітів та ін. Існують спеціальні вікна для виведення легенд тематичних карт, вікна відображення результатів запитів, вікна для перегляду текстів програм. Кожний тип вікон має свої правила роботи і свій інтерфейс.

При роботі з вікном карти в більшості програмних ГІС пакетів доступні такі функції.

**1. Встановлення області відображення** за допомогою зазначення розмірів і пропорцій вікна карти. Можуть установлюватися режими автоматичного вписування у вікно карти за координатами крайніх точок об'єктів усіх відкритих картографічних шарів, об'єктів активного шару, об'єктів просторової вибірки. Розмір і масштаб відображення можуть задаватися за допомогою рамки, що розсікає, – область зображення, що потрапило в прямокутну рамку, збільшується до розмірів поточного вікна карти. У багатьох ГІС пакетах доступні функції автоматичної зміни або збереження масштабу при зміні розмірів вікна карти.

**2. Зумування (zoom)** – покрокове збільшення або зменшення видимого масштабу зображення у вікні карти. Керування зумуванням здійснюється з меню, що випадає, або піктографічного меню; стандартна піктограма – лупа зі знаком «плюс» або «мінус». При використанні

покрокового зумування звичайно відбувається зменшення/збільшення масштабу у два рази. Так само можливе завдання довільного масштабу відображення у встановлених одиницях вимірювання. Поточний масштаб зображення відображається в рядку стану або спеціально виділеної області службової частини екрана.

3. **Панорамування** – горизонтальне прокручування зображення у вікні карти з використанням смуг прокручування (scrolling) або спеціального інструмента «долонька».

Для відображення карти у вікні може використовуватися одна з картографічних проекцій, що містяться в спеціальній бібліотеці. У ГІС пакетах звичайно вмонтовані глобальні і велика кількість регіональних проекцій.

Для вікна табличного браузера доступні функції сортування полів таблиці виведення або заборона виведення визначених полів, зміна порядку проходження полів, зміна шрифту для виведення вмісту таблиці. Перегляд вмісту таблиці здійснюється за допомогою горизонтальних і вертикальних смуг прокручування.

Шляхом установа розміру, місця розміщення і властивостей екранних вікон формується екранний вигляд, призначений для певного виду роботи: екранного цифрування, аналізу, картографічного або табличного подання деякого набору даних. Такий екранний вигляд може бути збережений під певним ім'ям. У процесі подальшої роботи при завантаженні даного екранного вигляду (робочого набору, проекту) відбувається автоматичне завантаження всіх пов'язаних з даним видом картографічних шарів, їхній розподіл по вікнах, вирівнювання, масштабування, підписування, встановлення легенд тематичних карт, виведення таблиць, побудова діаграм та ін.

### ***Подання векторних об'єктів***

Для візуалізації просторових об'єктів цифрових векторних карт використовуються **графічні змінні** (graphic variables, graphic factors, semiological factors) – графічні засоби, використовувані для побудови окремих картографічних знаків, знакових систем, графічних образів у цілому. Для кожного типу зображень і рівня керування побудовою зображення використовуються різні графічні функції або бібліотеки готових графічних елементів.

Для об'єктів типу **точка** створена велика кількість різних бібліотек умовних позначень. У більшості випадків ці бібліотеки оформлені у вигляді файлів шрифтів True Type, що входять до системного реєстра Windows. Такі бібліотеки символів універсальні й одночасно доступні для різних ГІС пакетів. Звичайно бібліотеки символів організовані за тематичним принципом – геометричні символи, топографічні символи, символи з малюнками будинків, транспортних засобів, рослин, фігурками людей і тварин, геологічні і метеорологічні символи, стрілки «північ – південь», рози вітрів та ін. Доступні такі настроювання символів: зміна розмірів, кольору, кута нахилу. Для контрастного відображення символу на кольоровому фоні карти передбачений колір, що облямовує.

Відображення **лінійних** об'єктів виконується за допомогою певного набору графічних змінних, кількість і зовнішній вигляд яких залежить від конкретного ГІС пакета. Для ліній може бути змінений тип (суцільна, переривчаста з різною довжиною штрихів і пробілів, із заповненням, з поперечними і зигзагоподібними елементами та ін.), колір лінії і заповнення лінії, товщина (задається в лінійних або відносних одиницях). Доступні згладжування перегинань лінії в опорних точках (сплайнові функції), згладжування з'єднань і перетинів ліній.

Для об'єктів типу **полігон** доступні настроювання границі полігона (border, boundary) і його внутрішнього заповнення (fill). Для границь полігонів доступні ті самі бібліотеки, що використовуються для оформлення лінійних об'єктів. Для внутрішньої частини полігона доступні суцільні заливання (основним чи напівтоновим кольором із стандартної бібліотеки, за необхідності може бути створений новий колір) і штрихування (вибирається тип штрихування, колір ліній чи фігур штрихування, колір міжштрихового простору). У деяких програмних пакетах доступне заповнення полігонів за допомогою текстур або растрових зображень.

При оформленні текстових об'єктів доступні всі настроювання шрифтів Windows (розмір, колір, нахил, підкреслення), так само використання фона, що забезпечує кращу видимість кольорового оформлення карти.

### ***Подання поверхонь і растрових карт***

Для растрових даних, поданих у вигляді безперервних поверхонь, у

різних ГІС пакетах передбачені кольорові або чорно-білі **палітри**. Палітра являє собою послідовність кольорів або яскравості, за допомогою яких на екрані або папері відображаються числові значення комірок растрової поверхні. Кількість кольорів у палітрі обмежена; як правило, використовується 16 або 256 градацій кольору, розміщених у певному порядку. При візуалізації перший колір палітри присвоюється найменшим значенням поверхні, останній – найбільшим, іноді доступний реверс (зворотний порядок проходження кольорів). Для визначення послідовності присвоєння градації кольору конкретним числовим значенням відображуваної поверхні використовуються різні методи. Зміна подання растрової карти може бути досягнута за допомогою різних методів групування (класифікації) значень, зміни кількості класів, різних методів присвоєння кольору різним класам значень.

При використанні **лінійної класифікації** весь діапазон значень рівномірно розподіляється між мінімальним і максимальним значеннями, ширина класів однакова, кожний клас відповідає порядковому кольору палітри. Таке подання найбільш оптимальне при рівномірному розподілі значень в інтервалі між найбільшими і найменшими значеннями поверхні (наприклад, при відображенні цифрових моделей рельєфу з рівномірним кроком висотних рівнів). На рис. 4.1 наведені різні варіанти візуалізації карти, що являє мережу елементарних водотоків у межах басейну ріки. Значення кожної комірки растра відображає кількість комірок, які знаходяться вище за течією (з яких дана комірка одержує водне живлення). Змінюючи верхнє значення відображуваного діапазону, можна одержати різні варіанти видимості водотоків різного класу.

У межах поверхонь, отриманих розрахунковими методами, часто спостерігаються одиничні аномально високі або низькі значення. При використанні лінійної класифікації ці аномальні значення приводять до угруповання основної маси значень в один-два класи і появи значної кількості порожніх класів. У цих випадках рекомендується використання **логарифмічної** або **експоненційної класифікації** (ширина кожного наступного класу збільшується у відповідній залежності). Якщо аномальні значення є наслідком похибки розрахункового методу, їх виведення можна відмінити, знайшовши мінімальні і максимальні значення для відображення поверхні. На рис. 4.2 наведена карта того самого басейну ріки в логарифмічній шкалі.

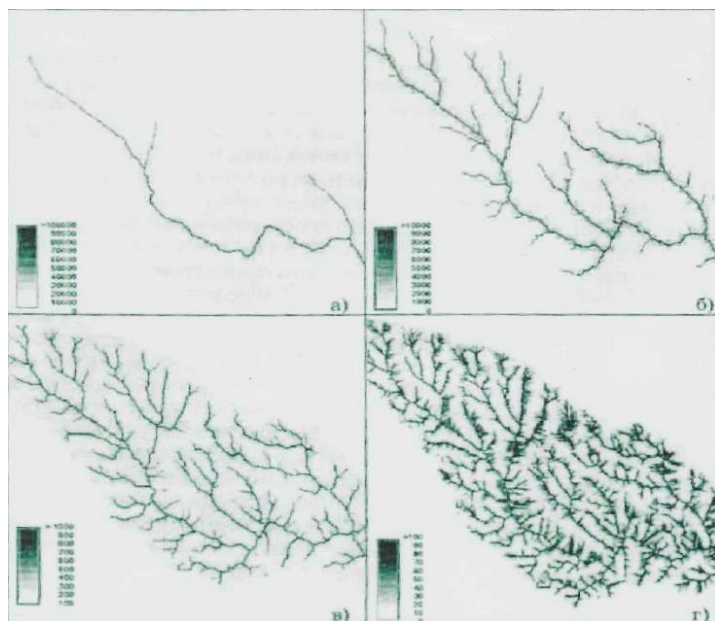


Рисунок 4.1 – Варіанти візуалізації карти, що являє мережу елементарних водотоків, при зміні верхнього значення відображуваного діапазону:  
 а) до 100000 клітинок; б) до 10000 клітинок; в) до 1000 клітинок;  
 г) до 100 клітинок



Рисунок 4.2 – Візуалізація карти, що являє мережу елементарних водотоків, у логарифмічній шкалі

Залежно від використовуваних кольорів і порядку їхнього проходження палітри бувають **монохромними** (від білого через

збільшення насиченості до базового кольору), **двоколірними** (два базових кольори на кінцях палітри і перехідні кольори між ними), **багатоколірними** (у палітрі кілька базових кольорів з перехідними ділянками між ними). Для передачі різних характеристик поверхонь можуть використовуватися палітри з різною плавністю передачі кольору, а так само з різкими змінами колірною тону для підкреслення градієнтів.

Для відображення поверхонь у системах роботи з растровими даними може бути передбачено кілька десятків стандартних палітр, а також надані можливості для створення палітр користувачем. Для відображення класифікованих растрових карт (наприклад, для меж землекористування чи ґрунтових ареалів) використовуються спеціальні переривчасті палітри, у яких сусідні кольори підбираються з максимальними розбіжностями.

При відображенні поверхонь також використовується метод **побудови ізоліній**. Користувач може використовувати різні методи класифікації для визначення кроку ізоліній, а так само колір ізолінії залежно від її числового значення. Деякі програмні оболонки дозволяють підписувати значення ізолінії, креслити штрихи, згладжувати ізолінії за допомогою сплайнових функцій.

Метод **затінення (відмивання) рельєфу** добре виявляє і відображає топографічні поверхні. У цьому випадку задаються кутове азимутальне положення й висота над горизонтом джерела освітлення, розраховується кут падіння променів на різні ділянки поверхні, розраховується рівень насиченості базового залежно від освітленості елемента растра. Такі напівтонові карти часто використовуються для відображення рельєфу при створенні поліграфічних макетів політичних карт країн, материків і світу.

Метод **побудови векторів** відображає напрямок відхилення (зміни температур, концентрації, тиску) між сусідніми елементами поверхні. Напрямок відображається за допомогою стрілок, так само для відображення градієнта між сусідніми елементами растра може використовуватися різний колір або товщина стрілок. За необхідності суміжні елементи растра групуються в блоки певного розміру (2 x 2; 5 x 5; 10 x 10 клітинок, інші довільні значення), у цьому випадку стрілка характеризує середній напрямок зміни значень для всіх елементів блока.

Метод **тривимірних (3D) блок-діаграм** використовує кілька типів відображення рельєфу: у вигляді профілів по одній з горизонтальних осей,

у вигляді сітки профілів по обох горизонтальних осях (каркасне зображення), у вигляді трикутних граней TIN моделі рельєфу. Так само можуть відображатися ізолінії рівних значень поверхні з рівномірним або змінним кроком. Задаються вертикальний і горизонтальний кути для огляду отриманого тривимірного зображення, вертикальний масштаб, проекція відображення (ортогональна або перспективна), обмеження перегляду по вертикальних і горизонтальних осях, обрізка країв області блок-діаграми за визначеним контуром. Колір каркасних ліній та ізоліній задається як залежно від значень комірок растра поверхні за палітрою, так і вручну користувачем.

На тривимірну блок-діаграму можливе накладення інших типів зображень – контурних і векторних карт, безперервних або дискретних текстур, а також графічних файлів із сканованими картами чи аерокосмоснімками.

На основі блок-діаграм за наявності в ГІС пакеті відповідного функціонального модуля будуються різні анімаційні схеми перегляду – задаються напрямок і кут огляду спостережної камери, положення джерела висвітлення, траса руху точки огляду та ін. Отримані зображення з високою фотореалістичною якістю записуються в спеціальний файл із визначеним часовим кроком, на основі окремих кадрів будуються анімаційні фільми з можливістю перетворення і перегляду в стандартних відеоформатах. Такі методи візуалізації використовуються в різних авіаційних або суднових тренажерах, на яких екіпажі освоюють дії в обстановці визначеного аеропорту, протоки та ін.

### **Тематичне картографування. Картодіаграми**

Крім оглядових загальногеографічних і топографічних карт у практиці географічного аналізу і подання даних широко використовуються тематичні карти, створені на основі аналізу атрибутивних даних, пов'язаних з тим чи іншим набором просторових об'єктів (наприклад, кількість населення в містах або адміністративних одиницях). Тематичні карти і картодіаграми використовуються для візуального аналізу просторово-розподіленої інформації, у зв'язку з цим сприйняття й аналіз таких карт людиною значною мірою залежать від методики їхньої побудови і візуальних характеристик.

Побудова тематичних карт і картодіаграм із використанням



просторової основи у вигляді точкових, лінійних і полігональних об'єктів і пов'язаних з ними записів з табличних баз даних є однією з найбільш поширених функцій ГІС. При побудові картодіаграми пов'язана з об'єктом інформація візуалізується у вигляді картографічних знаків, що відбивають якісні або кількісні характеристики кожного об'єкта. Процедура побудови тематичної карти або картодіаграми звичайно реалізована у вигляді спеціального програмного модуля, виклик якого здійснюється за допомогою спеціального пункту меню. У більшості програмних продуктів ГІС реалізована побудова декількох типів карт за тематичними шаблонами.

Користувач має можливість вибрати тип створюваної карти, вибрати з атрибутивної бази дані характеристики, за якими буде будуватися карта, вибрати стиль оформлення карти (колір, тип символу та ін.).

Атрибутивна інформація, на основі якої будується карта (одне чи кілька полів бази даних), називається тематичною змінною. Як тематична змінна може використовуватися вираження, що обчислює нове значення на підставі значень одного чи кількох полів з використанням математичних, логічних і просторових операторів або функцій.

У більшості програмних ГІС пакетів доступні такі тематичні шаблони:

- ранжовані діапазони;
- стовпчасті картодіаграми;
- кругові картодіаграми;
- ранжовані символи;
- точки з заданими вагами;
- індивідуальні значення.

### ***Ранжовані діапазони***

Шаблон «Ранжовані діапазони» («Градуировані кольори») відображає одну тематичну змінну у вигляді розбитого на визначені діапазони набору числових значень обраної змінної (наприклад, чисельності населення по країнах світу). Кількість і межі діапазонів встановлюються користувачем, виходячи з поставленого завдання. У той самий час кількість діапазонів істотно впливає на сприйняття карти і можливість проведення аналізу взагалі. Велика кількість діапазонів (понад 10) утруднює загальне сприйняття карти, колірне розходження між сусідніми діапазонами може

бути занадто малим. Мала кількість діапазонів (менше 5 – 4) значною мірою узагальнює значення між сусідніми діапазонами, багато окремих груп значень можуть бути нівельованими. Найбільш часто рекомендується використовувати 5 – 7 діапазонів.

Залежно від призначення карти для визначення меж діапазонів можуть бути використані різні методи розбиття вибірки числових даних на діапазони. У більшості ГІС пакетів доступні такі методи поділу усієї вибірки значень картографованої тематичної змінної на діапазони (за кількістю діапазонів).

**Метод рівної кількості значень (Equal Count)** – у кожний діапазон входить рівна кількість записів з табличної бази даних. Якщо число записів не кратне кількості діапазонів, спірні записи визначаються в той діапазон, до якого ближче значення запису (рис. 4.3).

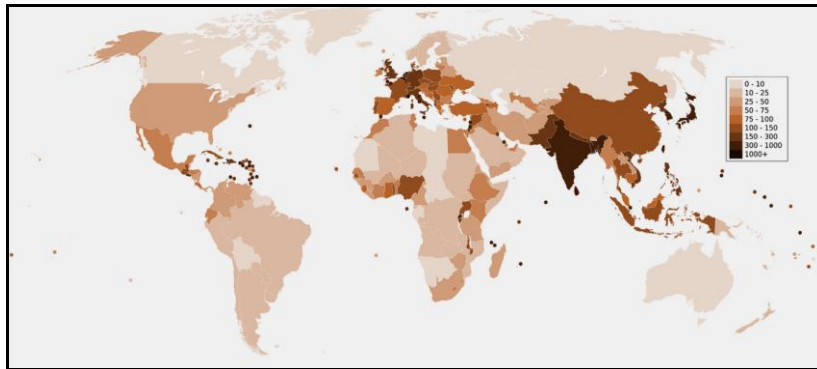


Рисунок 4.3 – Візуалізація карти чисельності населення країн світу методом рівної кількості значень

**Метод рівних інтервалів (Equal Ranges)** – кожний діапазон має приблизно рівну різницю між верхнім і нижнім значеннями діапазону (рис. 4.4).

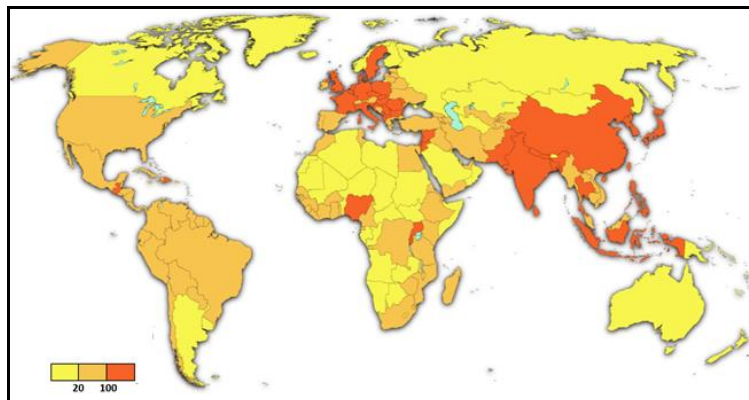


Рисунок 4.4 – Візуалізація карти чисельності населення країн світу

методом рівного розкиду значень

**Метод природного розбиття (Natural Break)** – діапазони створюються на основі розривів між групами близьких числових значень (рис. 6.5).

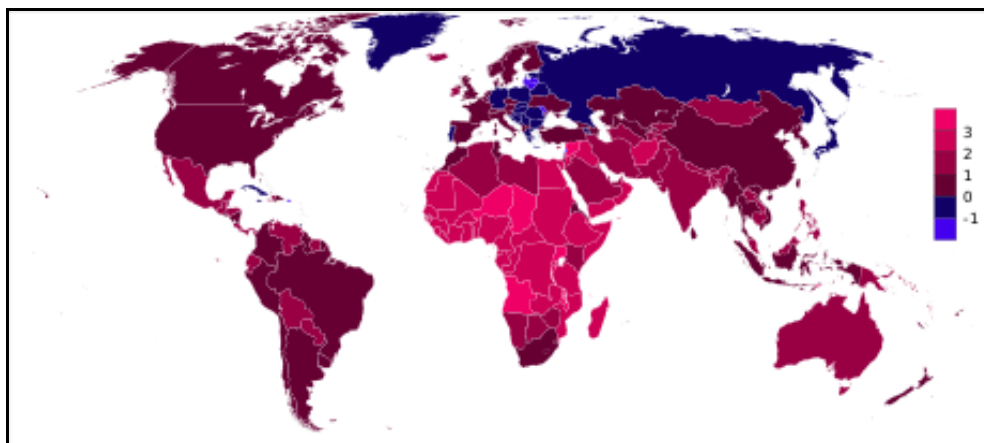


Рисунок 4.5 – Візуалізація карти чисельності населення країн світу методом природного розбиття

**Метод розбиття з використанням середньоквадратичного відхилення (Standard Deviation)** – середина середнього діапазону відповідає середньому значенню усієї вибірки значень; верхній діапазон містить значення, що перевищують суму середнього і середньоквадратичного відхилення; нижній діапазон містить значення, що не перевищують різниці середнього і середньоквадратичного відхилення (рис. 4.6).

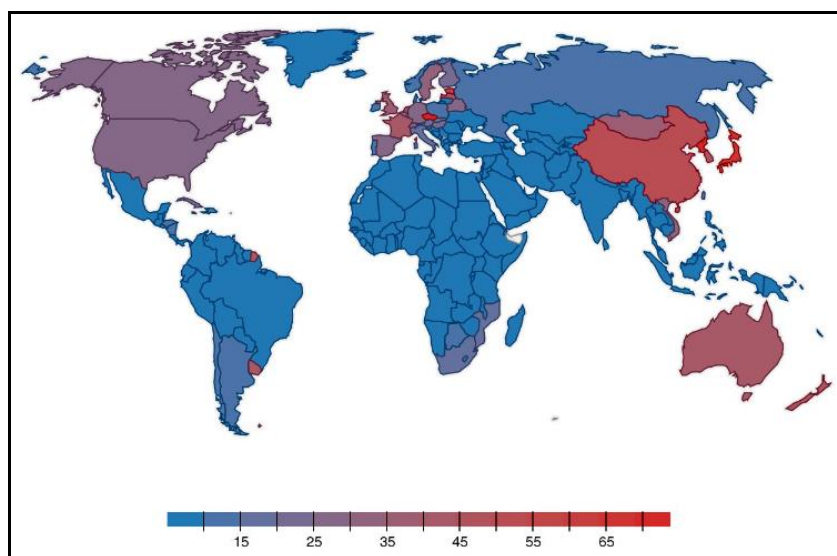


Рисунок 4.6 – Візуалізація карти чисельності населення країн світу методом середньоквадратичного відхилення

**Метод ручного розбиття (Custom)** – доволіно встановлювані користувачем верхні і нижні межі діапазонів. Кожному діапазону присвоюється визначена графічна змінна залежно від типу картографічного об'єкта (точка, лінія або полігон). Графічні характеристики (тип, колір і розмір символу; колір, тип і товщина лінії; заповнення і колір полігона) вибираються з відповідних бібліотек, так само користувачу може бути запропонована деяка кількість готових шаблонів оформлення карти.

### *Стовпчасті та кругові діаграми*

Різні діаграми є найбільш поширеним способом візуалізації числових даних, показуючи кількісні розбіжності або вагові внески в загальну суму числових значень. За наявності в базі даних однотипних числових значень, що характеризують більш загальну тематичну характеристику (наприклад, чисельність вікових або національних груп у загальному населенні країни), стає можливою побудова відповідних картодіаграм.

Шаблон «Стовпчаста картодіаграма» відображає кілька однотипних тематичних змінних. Кожна змінна відображається у вигляді ранжованого стовпця в діаграмі, що дозволяє візуально порівнювати числові значення різних змінних. При виборі групи змінних слід враховувати порівнянність числових значень (відсотки, частки, абсолютні значення).

Для екранного подання можуть бути задані параметри стовпців: висота залежно від відображуваного значення, ширина стовпця, колір або штрихове заповнення. Може використовуватися різне розміщення стовпців (поруч або накладення зверху, нахил уліво чи вправо, різні варіанти прив'язування до центра базового об'єкта). Так само задаються пояснювальні заголовки і підписи стовпців.

Шаблон «Кругова картодіаграма» також відображає кілька тематичних змінних. Кожна змінна відображається у вигляді ранжованого кругового сектора в діаграмі, що дозволяє візуально порівнювати числові значення різних змінних. При виборі групи змінних необхідно враховувати порівнянність числових значень (відсотки, частки, абсолютні значення).

При оформленні зовнішнього вигляду кругових картодіаграм використовуються такі налаштування: встановлення залежності діаметра

значка картодіаграми від сумарного числового значення окремих сегментів або встановлення рівного розміру для всіх значків, застосування напівкруглої діаграми. Установлюється колір для сегментів картодіаграми, основні підписи і підписи сегментів. Так само визначаються прив'язування картодіаграми до центра базового об'єкта, кут початку першого сегмента та ін.

### *Легенди тематичних карт і картодіаграм*

Легенда є обов'язковим елементом карти, у якому подаються всі текстові і числові пояснення до графічного оформлення об'єктів на карті. У різних програмних ГІС пакетах підходи до створення й оформлення легенд можуть бути різними: легенда автоматично створюється при завантаженні кожного тематичного шару, постійно відображається на екрані і модифікується при редагуванні зовнішнього вигляду просторових об'єктів (ArcGIS); або легенда відображається в спеціальному вікні в процесі створення відповідної тематичної карти (Mapinfo).

Шаблони тематичних карт і картодіаграм автоматично генерують свою легенду зі своєю системою пояснювальних умовних знаків і підписів. Користувач має можливість модифікувати умовні знаки і підписи до них; зміни одночасно відображаються на карті і легенді. Так само користувач має можливість змінювати розмір і форму вікна легенди, створювати заголовки вікна легенди.

Легенди растрових карт генеруються в спеціальній області екрана при використанні того чи іншого методу візуалізації. Типова легенда растрової поверхні являє собою вертикальний стовпець, розділений на прямокутні блоки, кількість блоків відповідає кількості використаних класів, колірне заповнення блоків відповідає обраній палітрі. На границях блоків підписуються граничні числові значення. Аналогічним способом відображаються колір і числові значення ліній при контурному методі візуалізації поверхні.

### **Кarti як результат і засіб візуалізації**

Значне поширення програмних засобів ГІС, що вміщують функціональні можливості картографічних редакторів, зняття грифа таємності з топокарт масштабу 1 : 100 000 і поява комерційного доступу до матеріалів вітчизняної і зарубіжної космозйомки дозволяють створювати цифрові карти в різних науково-виробничих і комерційних організаціях,

навчальних закладах і навіть індивідуально в домашніх умовах. Багато науково-дослідних і навчальних організацій одержали можливість створювати власні банки картографічної інформації і самостійно забезпечувати картографічне обслуговування своєї роботи, однак поряд із позитивними моментами цієї діяльності є й негативні. Основними факторами, що викликають справедливі нарікання з боку картографічних організацій, є недотримання стандартів просторової точності цифрованих карт, а також порушення авторських прав при створенні цифрових копій топокарт і атласів. У випадку комерційного використання таких матеріалів відбувається подальше нагромадження просторових похибок (і відповідно, похибок вимірювання відстаней і площ). У наш час у країні триває розробка стандартів на тематичний зміст і просторову точність деяких видів карт, проводиться сертифікація виробників цифрових карт, програмного й апаратного забезпечення.

Картографія як сфера точних наук віддавна використовує математичні методи і тому раніше за інші науки про Землю почала використовувати можливості ЕОМ для побудови картографічного зображення. Удосконалення методів картографо-математичного моделювання обумовило застосування ЕОМ і для формування тематичного змісту карт.

Цифрове картографування, цифрова картографія – порівняно новий складний термін, а також цілий науковий теоретичний і прикладний розділ, що перебуває на стику взаємодії географії, картографії, математичних методів обробки даних і інформатики. Як впливає з буквального визначення даного терміна, цей науковий розділ займається створенням і вивченням цифрових аналогів традиційних картографічних зображень. У зв'язку з різними підходами до тлумачення суті «цифрової картографії» на сьогодні існують різні погляди на місце і роль цього напрямку в сфері наук про Землю – від повного заперечення традиційних методів (тепер усе можна автоматизувати і взагалі не думати, як це робиться), до заперечення можливості застосування методів автоматизації складання карт (тільки паперові карти можна називати «картами», свої твори програмісти нехай називають якось інакше»). Істина звичайно знаходиться між двома крайніми точками зору – карти, побудовані за допомогою різних програмних і технічних засобів, давно перевершили за точністю і дизайном традиційні технології, але при їхньому створенні

повинні використовуватися основні методи, розроблені картографічною і суміжними науками для виявлення й подання просторових об'єктів і їхніх взаємозв'язків.

Розвиток картографії – безупинний процес, що включає теорію і технологію створення карт. Теоретична картографія вивчає основні положення про форму і методи зв'язку між реально існуючими об'єктами й процесами та їх відображенням на картах. Центральним об'єктом картографії є власне **карта** – образно-знакова модель, математично визначене, зменшене, генералізоване зображення поверхні Землі, іншого небесного тіла чи космічного простору, що показує розміщені чи проєктовані на них об'єкти в прийнятій системі умовних знаків.

Велика частина інформації про навколишнє середовище сприймається людиною візуально, через зір. Саме на зорове сприйняття розраховані різні картографічні зображення. Карта, паперова або цифрова, повинна мати ряд властивостей (Берлянт, 1997):

- просторово-часову подібність відображуваних об'єктів і явищ;
- змістовну відповідність властивостей і характеристик явищ, їх типових особливостей, генезису, ієрархії і внутрішньої структури;
- метричність, що передбачає вимірювання координат, довжин і обсягів (геометрична метричність), а також вимірювання змістовних характеристик карти (атрибутивна метричність);
- однозначність – передбачає, що кожен знак на карті має лише єдиний зафіксований у легенді зміст, будь-яка точка на поверхні з координатами  $X$ ,  $Y$  має тільки одне значення  $Z$ ;
- наочність й оглядовість, які забезпечують різні картографічні масштаби і відповідні цим масштабам набори відображуваних об'єктів. Об'єкти відображаються за допомогою картографічних символів, логічна структура й описи яких подані в легендах.

Термін «**цифрова карта**» протягом більш ніж двадцятилітньої історії змінювався і розвивався разом із розвитком технологій цифрового картографування і зміною відомчої належності організацій. Протягом тривалого періоду цифрові карти створювалися в Державному управлінні геодезії і картографії колишнього СРСР, де було дано таке визначення цифрової карти: «цифрова модель земної поверхні, сформована з урахуванням законів картографічної генералізації в прийнятих для карт проєкції, розграфці, системі координат і висот» (Картография цифровая.

ГОСТ 28441–90).

Більшість визначень цього періоду виходили з положення, що цифрова карта повинна бути копією її паперового аналога.

У наш час з'явилася велика кількість доступного програмного забезпечення і вихідних даних, які дозволяють створювати найрізноманітніші зображення, що мають з картами тільки спільну координатну основу. На позначення таких зображень А. М. Берлянт (1997) введений у науковий обіг термін «геозображення». **Геозображення** (geoimage, georepresentation) – будь-яка просторово-часова масштабна генералізована модель земних (планетних) об'єктів або процесів, яка представлена в графічній образній формі. Розрізняють (Берлянт, 1997):

- **двовимірні** плоскі геозображення (2D geoimages, flat geoimages), наприклад, карти, плани, електронні карти, аеро- і космічні знімки;
- **тривимірні**, або об'ємні, геозображення (3D geoimages, volumetric geoimages), наприклад, стереомоделі, анагліфи, блок-діаграми, картографічні голограми;
- **динамічні** – геозображення (dynamic geoimages), тобто анімації, картографічні фільми, мультимедійні карти й атласи.

Унаслідок того що карта сама є моделлю будь-якої місцевості, усе частіше виникають думки, що цифрова карта не повинна бути копією паперової карти з її системою умовних знаків (моделлю моделі), а прямо відображати реальну дійсність, використовуючи власний арсенал засобів створення зображення і різноманітних джерел даних. За ступенем ускладнення зв'язків між окремими елементами підсумкової карти і використання спеціальних програмних та технічних засобів створення карт до цього часу склалася така система визначень (Берлянт, 1997).

**Цифрова карта** (digital map) – цифрова модель місцевості, створена шляхом цифрування картографічних джерел, фотограметричної обробки даних дистанційного зондування, цифрової реєстрації даних польових зйомок або іншим способом. Цифрова карта є основою для виготовлення звичайних паперових, комп'ютерних, електронних карт, вона входить до складу картографічних баз даних, є одним із найважливіших елементів інформаційного забезпечення ГІС і може бути результатом функціонування ГІС.

Основними складовими цифрової карти є координатна система і набір елементарних графічних об'єктів, що відображають місце



розміщення просторових обрисів відповідних реальних об'єктів чи явищ. У більшості ГІС пакетів цифрові карти подаються окремим картографічним шаром і містять тільки однотипні об'єкти, а також є основною одиницею збереження даних (файлом або групою зв'язаних файлів).

**Електронна карта** (electronic map) – картографічне зображення, яке візуалізоване на дисплеї комп'ютера на основі даних цифрових карт чи баз даних ГІС з використанням програмних і технічних засобів у прийнятій для карт проекції і системі умовних знаків.

**Картографічна база даних** (cartographic data base, cartographic database) – сукупність взаємозалежних картографічних даних з будь-якої предметної (тематичної) області, представлена в цифровій формі (у тому числі у формі інших картографічних баз даних) при дотриманні загальних правил опису, збереження і маніпулювання даними. Картографічна база даних доступна багатьом користувачам, не залежить від характеру прикладних програм і підпорядковується системі керування базами даних (СКБД).

**Картографічний банк даних, КБД**, (cartographic data bank, cartographic databank) – комплекс технічних, програмних, інформаційних і організаційних засобів збереження, обробки і використання цифрових картографічних даних. До складу КБД входять картографічні бази даних з окремих предметних (тематичних) областей, система керування базами даних, а також бібліотеки запитів і прикладних програм. Розрізняють єдиний центральний картографічний банк даних (central cartographic databank), що містить увесь фонд інформації з даної теми, і розподілений картографічний банк даних (distributed cartographic databank), що являє собою територіально роз'єднану систему регіональних або локальних КБД, об'єднаних у мережу під єдиним керуванням.

За оцінками різних дослідників, інформаційний обсяг різних цифрових карт і геозображень, що зберігаються в пам'яті комп'ютерів в усьому світі, вже в кілька разів перевищує обсяг паперових карт, і розрив постійно збільшується. У зв'язку з цим усе частіше виникають думки, що традиційна картографія має поступитися місцем новим комплексним дисциплінам – **геоінформатиці, геоматиці, геоікониці**.

У картовидавничій практиці колишнього СРСР, а згодом – України, методи автоматизованої картографії використовуються більше 20 років,

розроблена низка відомчих стандартів цифрових карт і автоматичних картографічних систем (АКС). У першу чергу ці системи призначені для автоматизації виробництва і збереження номенклатурних листків стандартних топографічних карт різних масштабів. Широко використовуються методи автоматизованого дешифрування космо- і аерофотознімків для відновлення карт і побудови горизонталей рельєфу. У той самий час потреби більшості споживачів картографічної продукції значно випереджають можливості аерогеодезичних підприємств за термінами відновлення топокарт, а також за номенклатурою відображуваних об'єктів. У зв'язку з цим виникла велика кількість відомчих стандартів цифрової картографії, у яких топокарти необхідні тільки для початкового координатного прив'язування.

При складанні багатьох видів відомчих карт, наприклад, земельного кадастру, природоохоронних і надзвичайних ситуацій, використовується інформація з атрибутивних баз даних, даних дистанційного зондування, матеріали польових зйомок і описів. На методики і технології складання карт значно впливають галузеві підходи до виділення і класифікації просторових об'єктів, районування, просторової інтерполяції. Для одержання таких зображень використовуються програмні й апаратні засоби, не передбачені стандартами відомчої картографії. Оскільки такого роду картографування в наш час, як правило, виконується програмними засобами ПС, у науковій літературі все частіше вживається термін **геоінформаційне картографування** як визначення інтегрального напрямку, що передбачає методи автоматизованого картографування, обробки даних дистанційного зондування, геоінформатики і теоретичних методів системного картографування для конкретної предметної області.

### *Програмні і технічні засоби візуалізації картографічної інформації*

Різні групи користувачів картографічної інформації можуть висувати різні вимоги до технологій її візуалізації. Це може бути простий перегляд готового картографічного зображення на екрані дисплея і друкування копії на звичайному принтері формату А4; презентація за участю серії карт та інших геообразень з використанням проєкційного устаткування; підготовка оригінал-макета великоформатної карти для подальшого друку на спеціальному поліграфічному устаткуванні, підготовка і перегляд анімованих карт тощо. Для обслуговування різних груп користувачів

розроблений ряд спеціальних програмних ГІС продуктів, що містить різний набір функціональних можливостей для подання даних.

### *Електронні атласи*

Електронні атласи в багатьох випадках подібні до своїх паперових аналогів з додатковими функціями автоматизації пошуку даних. Типовий електронний атлас містить інформаційний блок, який складається із серії електронних тематичних карт, текстових статей, фотографій, звукових і відеофрагментів, і блок керування, що містить систему меню, каталог, систему гіперпосилань, підказки й ін. Більшість електронних атласів є кінцевим продуктом і не допускає зміни свого змісту користувачем.

Інтерфейс таких атласів дозволяє переглядати зміст як у вільному режимі, переходячи від одного блока інформації до іншого за допомогою гіперпосилань, виконувати пошук даних за ключовими словами, так і використовувати сценарії для тематичного показу, наприклад, шкільних уроків з гідрографії суші, клімату, геології. На екран виводяться відповідні фрагменти тематичних карт, пояснювальні тексти й ілюстрації, відеофрагменти. У багатьох країнах розробляються національні електронні атласи, призначені для використання в навчальних закладах. У вищих і середніх навчальних закладах України поширюється Електронний атлас України, створений Інститутом географії НАН України і підприємством «Інтелектуальні системи ГЕО». Так само в комерційному продажі з'явилися електронні атласи окремих регіонів України, атласи міжнародної і національної транспортної мережі, атласи великих міст та ін., виконаних різними державними і комерційними підприємствами.

### *ГІС в'юери*

Назва цього класу програмних продуктів означає, що вони призначені для перегляду (viewing) готових картографічних продуктів, підготовлених у середовищі інших програмних ГІС продуктів. Багато виробників програмного забезпечення ГІС створює і вільно поширює такі програми для демонстрації можливостей своїх базових програм. Наприклад, компанія ESRI безкоштовно поширює свій ГІС в'юер ArcReader, призначений для перегляду і друку готових галерей карт.

Такі програмні продукти дозволяють користувачу: завантажувати довільний набір карт; виконувати операції пошуку необхідної інформації за допомогою засобів організації запитів; виконувати оформлення карт із

використанням різних готових шаблонів умовних знаків; виконувати операції зміни масштабу перегляду; керувати відображенням окремих тематичних шарів. Також до складу ГІС в'юера можуть входити функції друку карт чи їх фрагментів.

У свою чергу, для підготовки готових картографічних зображень у визначеному форматі, що не допускає їх редагування, до інструментальних ГІС входять спеціальні програмні модулі публікації карт. До складу програмних засобів ГІС фірми ESRI входить модуль ArcGIS Publisher, що дозволяє на основі зображень, створених різними картографічними або аналітичними модулями, створювати екранне зображення для кінцевого користувача. Також модуль ArcGIS Publisher дозволяє готувати картографічні зображення для Internet сайтів, що підтримують функції навігації по карті, інтерактивних запитів на основі картографічної або атрибутивної інформації, генерації растрових зображень для друку та ін.

### **Системи автоматизованого картографування**

ГІС–пакети ArcGIS Desktop (ESRI), Mapinfo, GIS Office (Intergraph), AutoCAD (Autodesk) і багато інших містять різні функціональні модулі, що дозволяють виконати весь цикл робіт зі створення картографічного зображення або електронного атласу, починаючи зі збору інформації з різних джерел і закінчуючи поліграфічним макетом. У багатьох випадках ці функціональні модулі поєднуються в спеціалізоване робоче місце для картографа-дизайнера. Залежно від предметної області використання підсумкових карт і технологій їхнього виготовлення функціональний склад такого робочого місця може значно змінюватися.

Основа системи автоматизованого картографування складають банки даних цифрової картографічної й атрибутивної інформації. Тематичний банк даних, створений для обслуговування певної предметної області (наприклад, створення топографічних карт, архітектурних планів, кадастрових карт, геологічних, гідрологічних, автодорожніх, туристичних карт) містить певний фіксований перелік об'єктів. Кожному об'єкту заздалегідь присвоюється певний тип умовного знака і параметри їхнього відображення в різних типах карт; при відкритті певного картографічного шару одночасно відбувається і його оформлення в системі умовних знаків. Також при постійному картографуванні певної території у певному масштабі створюються спеціальні шаблони (templates), в яких

зазначаються межі області відображення карти, масштаб карти, відображається стандартна легенда карти й елементи оформлення карти – рамка, заголовок, масштабна лінійка, стрілка «північ – південь», текстові виноски, логотипи та ін. Для одержання повноцінної карти в цьому випадку досить вибрати потрібний шаблон, далі відбувається завантаження необхідних тематичних шарів і їхнє оформлення.

Бібліотеки картографічних символів, ліній, заливок полігонів, палітр для відображення поверхонь, елементів допоміжного оформлення карт, картографічних легенд, таблиць, картодіаграм і звичайних діаграм є важливим ресурсом, який забезпечує можливості картографа-дизайнера щодо створення різних типів карт. У багатьох випадках до складу функціональних засобів ГІС пакетів входять засоби створення і редагування точкових символів, штрихувань, текстур, типів ліній та ін., що дозволяють створювати бібліотеки картографічних символів для широкого кола карт та інших геообразень.

Для подання атрибутивних даних у табличній формі до складу багатьох програмних продуктів ГІС входять спеціальні програмні засоби – генератори табличних звітів. Найбільш поширений генератор табличних звітів Crystal Reports фірми Seagate Software (США), що входить до складу ГІС пакетів ArcGIS і Mapinfo Professional. На основі картографічних банків даних ці програмні продукти створюють багатосторінкові табличні звіти з картографічною і діловою графікою.

За необхідності одержання поліграфічних відбитків карт або інших геообразень, створюваних з використанням різних ГІС пакетів, до складу систем автоматизованого картографування входять спеціальні програмні модулі, призначені для контролю правильної передачі кольору і прискорення виведення на пристрої друку великоформатних карт. Програмні модулі – **денситометри** – дозволяють коректно переходити від колірної подачі екрана (модель RGB) до колірної подачі пристроїв друку (модель CMYK). Прискорення виведення на широкоформатні струминні плотери забезпечують програмні модулі – **растеризатори**, що перетворюють поле зображення векторних карт у масиви растрових пікселів, які складаються із сотень мільйонів елементів.

Останнім часом усе більшого поширення набувають анімовані зображення на основі серій послідовно відображуваних електронних карт. Таким методом візуалізуються процеси поширення хмарного покриву,

забруднень у повітряному або водному середовищі, поширення води або сейсмічних хвиль у геологічному середовищі. Як уже зазначалося в попередніх розділах, така візуалізація може виконуватися як зі стаціонарної точки огляду, так і в режимі вільного або керованого «польоту».

### **Контрольні питання**

1. Охарактеризуйте технологію побудови картографічного зображення.
2. Дайте характеристику поняття «візуалізація».
3. Що таке картографічні шари?
4. Опишіть властивості картографічних шарів.
5. Як відбувається робота з вікнами карти в програмних ГІС пакетах?
6. Охарактеризуйте графічні змінні для візуалізації просторових об'єктів цифрових векторних карт.
7. Охарактеризуйте подання поверхонь і растрових карт в ГІС.
8. Що таке тематичне картографування?
9. Що відображає шаблон «Ранжовані діапазони»?
10. Дайте характеристику діаграм, як найбільш поширеного способу візуалізації числових даних.
11. Як генеруються легенди тематичних карт і картодіаграм?
12. Охарактеризуйте поняття «цифрове картографування», «цифрова картографія».
13. Що таке гео зображення?
14. Обґрунтуйте вживання терміну «геоінформаційне картографування».
15. Що таке електронні атласи?
16. Дайте характеристику ГІС в'юерів.
17. Що складає основу системи автоматизованого картографування?

## 5 ТЕХНОЛОГІЇ ВВЕДЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДОВКІЛЛЯ

### Введення даних у ГІС

Введення даних є обов'язковою операцією, необхідною для функціонування ГІС. Для різних типів даних розроблені спеціальні технології введення, що відповідають функціональним можливостям, включеним до складу програмного ГІС забезпечення, розроблені спеціалізовані периферійні пристрої.

Як вихідні матеріали, з яких виконується введення даних у ГІС, у наш час використовуються:

- топографічні карти;
- загально географічні карти різного тематичного змісту;
- архітектурні плани і плани землевпорядкування;
- дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ);
- матеріали польової інструментальної зйомки;
- стандартні статистичні звітні форми в паперовому й електронному поданні;
- текстові джерела, фотографії й ілюстрації;
- рукописні карти і тексти.

Залежно від типу джерел вхідних даних застосовуються різні технології введення даних. У першу чергу розділяються методи введення просторових і атрибутивних даних, для чого розроблені різні види графічних і табличних редакторів. Залежно від виду і якості вхідних матеріалів можуть використовуватися методи ручного або автоматизованого введення.

Основний вплив на вибір джерел даних і технологію їхнього введення чинить сфера застосування оброблюваної в ГІС інформації. Залежно від цілей роботи розрізняються вимоги до просторової і семантичної точності вхідних даних, часу їх збирання (створення), методів попередньої підготовки і формалізації даних. Наприклад, вхідні дані, придатні для створення електронного або паперового атласу адміністративної області, не можуть без додаткової підготовки використовуватися для створення системи земельного кадастру, де вимоги до точності вимірювання довжин і площ об'єктів у кілька разів вищі. Для

систем, що моделюють природні або суспільні процеси, також необхідні особливо підготовлені й описані блоки даних, отриманих як зі стародавніх рукописних текстів, так і за допомогою найсучасніших систем збору інформації з космосу. На технологію збору і введення даних також впливають методи подальшого аналізу і подання підсумкової інформації.

Введення даних, незважаючи на впровадження автоматизованих технологій, як і раніше, залишається найбільш складною і трудомісткою операцією при створенні і функціонуванні ГІС. Найбільш часто використовуються технології сканування паперових картографічних матеріалів, геометрична корекція сканованого зображення для усунення просторових похибок, цифрування паперових або сканованих карт із використанням ручної або напівавтоматизованої технології розпізнавання картографічних об'єктів.

За оцінками різних експертів, вартість введення даних може досягати 80% вартості всього ГІС проекту, включаючи вартість апаратних засобів і зарплати висококваліфікованого персоналу. Помилки і пропуски, допущені при введенні даних, можуть призвести до перекручування інформації на наступних етапах її обробки і цілком знецінити кінцевий результат. Тому перед введенням даних виконується оцінка інформаційних потреб системи на всіх етапах її функціонування, підбираються джерела даних, улаштовується перелік інформаційних об'єктів, створюються їх докладні формалізовані описи, розробляється план послідовного цифрування. Обов'язковим елементом введення даних є вибірковий або повний контроль точності і повноти введення.

## **Джерела вхідних даних для ГІС**

### ***Картографічні матеріали***

Карти як джерело просторових даних для ГІС, як і раніше, зберігають свою актуальність. Хоча частина матеріалів, отриманих методами ДЗЗ і польової інструментальної зйомки, постійно зростає, на різних картах можна знайти різнобічну і відповідним чином формалізовану інформацію про багатьох реальних або виявлених різними методами просторових об'єктів.

Для просторового прив'язування і копіювання даних при побудові



багатьох картографічних баз даних, включаючи тематичні карти і цифрові моделі рельєфу, використовуються топографічні карти – загальногеографічні карти універсального призначення, що докладно зображують місцевість. Топографічні карти поділяють на великомасштабні (1 : 50000 і більше), середньомасштабні (1 : 100000 – 1 : 500000) (рис. 5.1) і дрібномасштабні, або оглядово-топографічні (дрібніше 1 : 500000). У кожній країні існує офіційно прийнята державна система картографічних проєкцій, масштабів, розграфлення і номенклатури карт та умовних знаків для топографічних карт. Великомасштабні топографічні карти (1 : 50000, 1 : 25000 і 1 : 10000) створюються за матеріалами польових топографічних зйомок, а всі інші – складаються камерально за більш великомасштабними картами.

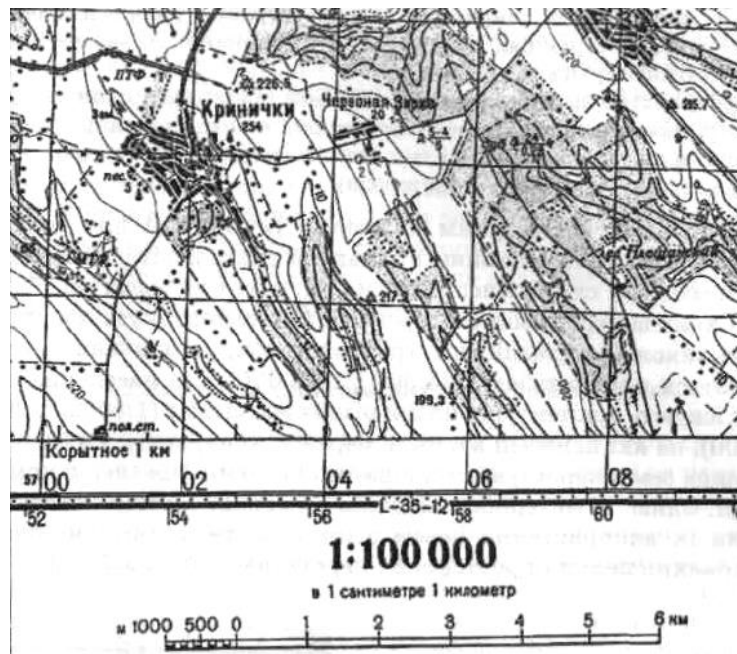


Рисунок 5.1 – Фрагмент топографічної карти масштабу 1:100000

Одним із найважливіших елементів карт, що впливають на точність представлення об'єктів у просторі за координатами  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  є координатна і висотна система.

Для топографічних карт, створених у системі картографічних установ колишнього СРСР, а згодом і України, використовується координатна система Гаусса-Крюгера – система плоских прямокутних координат і рівнокутна картографічна проєкція з тією самою назвою. У проєкції Гаусса-Крюгера поверхня еліпсоїда на площині відображається по меридіанних зонах, ширина яких дорівнює  $6^\circ$  (для карт масштабів

1 : 500000 – 1 : 10000) і 3° (для карт масштабів 1 : 5000 – 1 : 2000). На аркушах топокарт відображається картографічна рамка як з географічними координатами (градуси/хвилини/секунди), так і топографічними координатами (метри відносно початку координат зони). З урахуванням перекручувань проєкції, технології топографічної зйомки і додрукової підготовки листа карти, просторова похибка при відображенні будь-якого об'єкта на поліграфічному відбитку карти має не перевищувати 0,1 мм. Виходячи з цієї величини, можна визначити величину систематичної похибки і, відповідно, точність цифрової карти, побудованої на основі топокарти обраного масштабу. Для масштабу 1 : 200000 закладена похибка становитиме близько 20 м, для 1 : 100000 – 10 м, для 1 : 10000 – 1 м. Таким чином, для одержання підсумкової точності цифрової карти 1 м і нижче необхідно використовувати топокарти масштабу 1 : 10000 або матеріали спеціальної топографічної зйомки.

Для визначення висотних координатних систем використовуються референц-еліпсоїди – геометричні моделі усередненої поверхні земної кулі. У різних країнах використовуються різні еліпсоїди і початкові точки відліку висот (для топокарт, що виробляються на Україні, використовуються еліпсоїд Красовського і Балтійська система висот), тому при використанні топокарт різних країн слід порівнювати висотні системи. Проблема розбіжностей висотних систем загострилася з початком масового застосування приймачів супутникового визначення координат і висот. Система GPS використовує Всесвітню висотну систему WGS-84 і для її спільного використання з даними національних топокарт необхідно вносити відповідні виправлення.

За топокартами можна визначити і безпосередньо цифрувати такі просторові об'єкти:

- систему координат (географічну чи топографічну);
- місце розташування і висоти пунктів опорної геодезичної мережі;
- оцінки висот рельєфу, контури і глибину ерозійних форм;
- місце розташування гідрографічних об'єктів, оцінки урізів води, глибин, ширини русла, швидкості і напрямку течії;
- назву населеного пункту, кількість будинків, тип і контури великих будівель, кар'єрів та ін.;
- тип покриття, ширину проїжджої частини й узбіччя для автодоріг, конструкцію, довжину і вантажопідйомність мостів, висоту

(глибину) насипів і виїмок;

- контури лісових масивів або ділянок природної рослинності, тип деревних порід, висоту і густоту рослинності, ширину лісосмуг;
- місце розташування і тип елементів лінійної технічної інфраструктури (ЛЕП, трубопроводи).

Найбільш достовірним джерелом інформації про контури водних просторів, глибини і характер дна є навігаційні карти, що мають той самий масштабний ряд, що і топографічні.

Схеми внутрішньогосподарського землевпорядкування, що містять також інформацію про ґрунтовий покрив, звичайно виготовляються в масштабах 1 : 25000 і 1 : 10000. Для населених пунктів існують архітектурні плани різних масштабів (1 : 5000, 1 : 2000, 1 : 500), на які нанесені вулична мережа, контури будинків, межі ділянок землекористування, підземні і наземні інженерні комунікації. Однак ці матеріали виконані в умовній системі координат, і для їх використання разом з іншими джерелами необхідне виконання певних просторових перетворень (рис. 5.2 а, б).

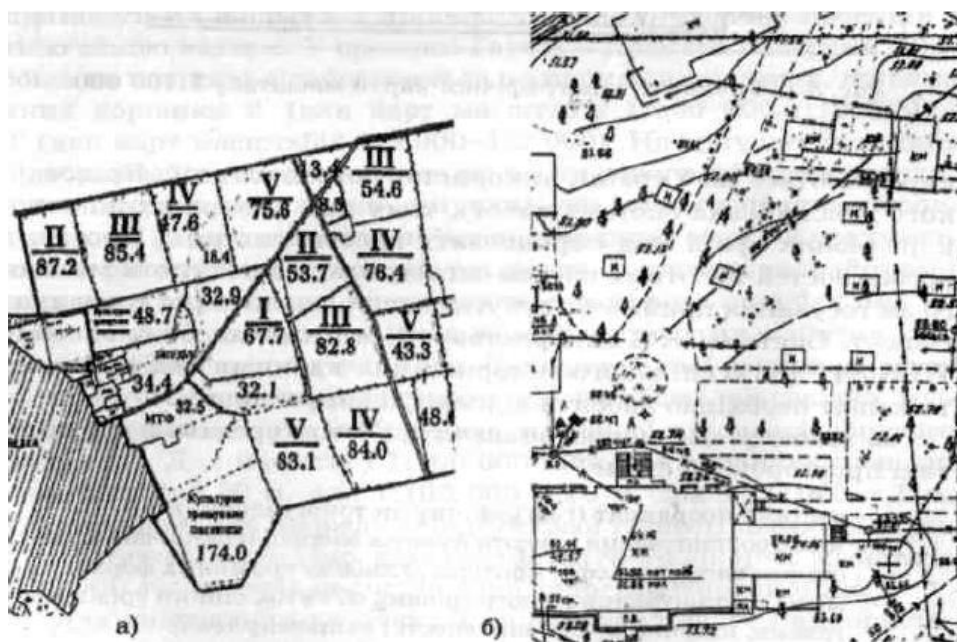


Рисунок 5.2 – Фрагменти схеми землевпорядкування М 1:25000 (а) і архітектурного плану М 1:500 (б).

Різні загально географічні і тематичні карти також можуть бути джерелом даних для ГІС. Більшість таких карт виконані в масштабі дрібніше 1 : 1000000 у різних картографічних проекціях і має значні лінійні

або кутові перекручування. Цифрування таких матеріалів вимагає урахування параметрів картографічних проекцій, дані про які є в більшості картографічних редакторів. У процесі обробки таких карт можуть знадобитися процедури загальної або локальної трансформації зображень для прив'язування системи координат джерела даних під систему координат загальної бази даних ГІС проекту.

### *Дані дистанційного зондування Землі*

Методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) базуються на реєстрації і подальшій інтерпретації відбитої сонячної радіації від поверхні ґрунту, рослинності, води та інших об'єктів. Винос пристроїв, що реєструють, у повітряний або навколотземний простір дозволяє одержати значно більш широке охоплення території порівняно з наземними методами досліджень. При дистанційному зондуванні значний вплив на якість і застосовність одержуваних даних чинять спектральний діапазон зйомки, просторова точність, радіометрична точність, просторове охоплення, оперативність і повторюваність зйомки, вартість даних.

Фіксування випромінювання виконується як з використанням хімічних, фотографічних методів, так і електронних фоточутливих елементів. У першому випадку зображення поверхні Землі фіксується на фотоплівці, що вимагає доставки її на поверхню Землі, проявлення і друку знімків. Для наступного сеансу зйомки необхідний запуск нового космічного апарата, тому в наш час ця технологія практично не використовується на автоматичних супутниках (в основному на населених орбітальних станціях і кораблях). Основний обсяг даних ДЗЗ виробляється за допомогою електронних приладів, що фотореєструють відбиту сонячну радіацію так званих приладів із зарядовим зв'язком (ПЗЗ). Ці прилади дозволяють реєструвати різні діапазони хвиль відбитої сонячної радіації у видимій, так і в ультрафіолетовій та інфрачервоній спектральних зонах.

На основі таких елементів створюються електронні скануючі пристрої, що можуть установлюватися на різних космічних апаратах, призначених для зйомки атмосфери, океану і поверхні суші. При встановленні радіолокаційних систем такі супутники можуть визначати висоту і довжину хвиль, рівень водної поверхні, розливи нафтопродуктів на поверхні води. З природно-ресурсних супутників ведуться спостереження за кольором і щільністю рослинного покриву, кольором і

текстурою ґрунтів, кольором води, температурою земної поверхні. З космосу здійснюється високоточна зйомка для топографічного картографування, радіолокаційна зйомка рельєфу і вологості поверхневого шару ґрунту. Зйомка ведеться безупинно згідно з маршрутом прольоту супутника, дані постійно передаються на наземні станції.

На наземних станціях виконується обробка інформації, що надходить: здійснюються геометрична корекція (усуваються кутові перекручування крайових зон, лінійні перекручування уздовж лінії зйомки і т. ін.); радіометрична корекція (усуваються перешкоди, що виникають при зйомці, передачі і прийомі даних, атмосферні перешкоди, вирівнюється освітленість); нарізка на ділянки визначеного розміру, прив'язування до системи координат і т. ін. Такі матеріали можуть передаватися замовнику протягом тижня після зйомки. Багато комерційних систем можуть проводити зйомку визначеної ділянки, для чого змінюється кут нахилу знімальної камери або орбіта супутника. У центрах обробки інформації накопичені великі архіви цифрових даних.

У наш час діють кілька комерційних систем дистанційного зондування, дані яких активно поширюються і на Україні. Досить поширені дані американської системи Landsat (рис. 5.3), французької SPOT, індійської Irs, російської «Ресурс». Дані високої просторової точності пропонуються знімальними системами Iconos і QuickBird (США).



Рис. 5.3. Знімок високої просторової точності знімальної системи ДЗЗ Landsat – м. Одеса

Додаткова обробка й аналіз даних ДЗЗ (виділення і порівняння різних спектральних діапазонів, сполучення знімків з різним просторовим дозволом, класифікація і виділення зон з визначеними характеристиками) виконуються за допомогою спеціального програмного забезпечення. Найбільш відомими програмними пакетами обробки даних ДЗЗ є ERDAS IMAGINE (США) і ErMapper (Австралія). Основні характеристики даних, отриманих за допомогою цих знімальних систем, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні технічні характеристики систем дистанційного зондування Землі природно-ресурсного призначення.

Система (країна)	Скануючий пристрій	Спектральні канали (мкм)	Смуга зйомки, км	Просторова точність, м	Повторюваність, днів
1	2	3	4	5	6
Ресурс-О (Росія)	МСУ-СК	0,5–0,6, 0,6–0,7, 0,7–0,8, 0,8–1,1, 10,4–12,6	600	140 (видимий)  550 (тепловий ІЧ)	24
	МСУ-Э	0,5–0,6, 0,6–0,7, 0,8–0,9	45	до 25 (видимий і ближній ІЧ)	24
Landsat (США)	ETM	0,52–0,9	185	15 (панхроматичний)	16
		0,45–0,52 0,52–0,6 0,63–0,69 0,76–0,9		30 (багатоспектральний)	
		10,4–12,5		60 (тепловий)	
IRS (Індія)	PAN	0,5–0,75	70–96	5,8 (видимий)	5
	LISS-3	0,52–0,59 0,62–0,68 0,77–0,86 1,55–1,7	142	23,5 (видимий) 23,5 (видимий) 23,5 (ближній ІЧ) 70,5 (тепловий ІЧ)	24
	WiFS	0,62–0,68 0,77–0,86 1,55–1,75	804	188 (видимий) 188 (ближній ІЧ) 188 (тепловий ІЧ)	5

Продовження таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6
SPOT (Франція)	HRV (SPOT 1,2,3)	0,5–0,59, 0,61–0,68, 0,79–0,89	60	10 (панхроматичний) 20 (багатоспектральний)	26
	HRVIR (SPOT 4)	0,5–0,59, 0,61–0,68, 0,79–0,89, 1,58–1,73	60	10 (панхроматичний) 20 (багатоспектральний)	26
Січ-1 (Україна)	МСУ-М	0,5–1,1		1500 (видимий і ближній ІЧ)	
	МСУ-С	0,5–1,0		340 (видимий і ближній ІЧ)	
QuickBird (США)		0,45–0,9	6,5	0,61 (панхроматичний) 2,44 (багатоспектральний)	1–4

Дані з електронних геодезичних приладів являють собою файл із координатами та ідентифікаторами точок зйомки. У таких файлах також може міститися інформація про проведені виміри – вертикальні і горизонтальні кути, відстані. Файли даних можуть створюватися в спеціальних фірмових форматах або в звичайному текстовому форматі ASCII. Спеціальні програмні пакети для обробки даних геодезичних вимірів або модулі координатної геометрії інструментальних пакетів ГІС (пакет Інвент-Град (Україна); програмні пакети CREDO компанії «Кредо Діалог» (Білорусь), розширення Survey Analyst, сімейства пакетів ArcGIS компанії ESRI (США) та ін.) зчитують такі дані за допомогою спеціальних конверторів.

Текстові дані перетворюються в координати точок прив'язування, для яких за обмірюваними кутами і відстанями визначаються місця розташування точок по контурах об'єктів (будинків, доріг та ін.), створюється графічний векторний файл. Якщо прилад підтримує введення ідентифікаторів і описів об'єктів під час зйомки, ці дані можуть автоматично вводитися в атрибутивну базу даних.

### *Джерела атрибутивних даних*

Джерелом атрибутивних даних для ГІС можуть бути стандартні

звітні форми різних державних, комерційних і громадських організацій, наукові звіти і публікації, дані спостережень на гідрометеорологічних станціях та ін. Велика частина таких документів створюється і подається в цифрованому вигляді у форматах програмних пакетів обробки документів Word, Excel, Access. До складу більшості пакетів ГІС, що працюють з реляційними таблицями для збереження атрибутивних даних, входять спеціальні модулі імпорту й експорту даних у формати Excel і Access.

Для обробки текстових даних розробляються методи їх групування, формалізації, переведення в табличну форму. При обробці паперових джерел можуть використовуватися методи автоматизованого розпізнавання тексту.

## **Технології цифрування вхідних даних**

### ***Сканування***

Сканування в наш час є одним з основних видів перетворення зображень з паперових (плівкових та ін.) типів носіїв у різні формати електронних зображень. Сам термін «сканування» означає, що площина вихідного зображення проглядається послідовно по смугах, кожна смуга, у свою чергу, поділяється на окремі елементи. Відбите оптичне електромагнітне випромінювання кожного елемента зображення реєструється світлочутливим датчиком, при цьому відбувається осереднення колірних і яскравих характеристик (елемент зображення тепер може вважатися пікселем); залежно від поточних налаштувань сканера пікселю присвоюється певний код у бітовому, сіро-кольоровому або RGB форматах, після чого інформація про порядкове положення і колір пікселя записується в растровий графічний файл.

Якість сканування визначається точністю місцеположення елементів сканера, що зчитують (різниця між положенням пікселя на вихідному документі й в електронному файлі, що може бути розрахована за допомогою спеціального програмного забезпечення), і якістю передачі кольору (у більшості випадків визначається користувачем на око). Якість сканованих картографічних документів вимагає контролю й у більшості випадків – геометричної корекції сканованої копії карти.

Матеріал, що сканується, повинен бути відповідним чином підготовленим, не зім'ятим, не мати складок, розривів. Дуже зношені документи бажано підклеїти на картон. За необхідності на документ



можуть бути нанесені маркери на позначення ділянки сканування чи для орієнтації щодо лінії північ – південь (верх – низ). Підготовлений документ укладається на поверхню сканера (заправляється в ролики, закріплюється на барабані).

Просторова точність при скануванні карти залежить від дрібності деталей вихідного зображення. Для топографічних карт звичайно досить установити 200 чи 300 dpi (іноді для систем автоматизованого розпізнавання об'єктів може використовуватися точність 400 – 600 dpi), для контурних або виконаних вручну планів може бути досить 100 – 150 dpi. Залежно від розміру ділянки сканування, глибини кольору і просторового дозволу автоматично розраховується розмір підсумкового файлу (для не стиснутого формату TIFF).

Процес сканування карт, як правило, здійснюється із середовища якогось графічного редактора, що дозволяє робити збереження і первинні перетворення отриманої копії. Більшість сучасних програмних пакетів для введення даних за допомогою сканера (MapEdit, Easy Trace, Descartes) призначена для роботи з растровими зображеннями і дозволяє робити два основних типи перетворень: змінювати кількість пікселів у зображенні, змінювати місце розташування групи пікселів усередині площини зображення (геометрична корекція); змінювати колірний режим або колірні характеристики всього зображення чи групи обраних пікселів (яскрава і колірна корекція).

Спотворення зображення є однієї з найбільш поширених помилок, що виникають у процесі сканування. Навіть незначні відхилення на частки градуса від базової лінії при великих розмірах карт призводять до лінійних перекручувань у кілька міліметрів. Це особливо помітно на стиках окремих фрагментів при зшиванні великих аркушів. За наявності ліній координатної сітки або маркерів перекіс може бути усунутий за допомогою функцій

«Поворот зображення на довільну величину». Кут повороту визначається шляхом завдання базових ліній (північ – південь, лінія рамки тощо), відносно яких розраховується виправлення. Поворот може здійснюватися покроково з візуальним контролем відносного положення ліній сітки карти з лініями координатної сітки робочого поля пакета обробки графіки. У разі потреби може здійснюватися поворот усього поля зображення на 90° за чи проти годинникової стрілки або розворот

зображення на  $180^\circ$ .

Часто сканування вихідного зображення проводиться зі значним «запасом» по краях. За необхідності краї, де лінійні і кутові перекручування найбільш значні, можуть бути обрізані, а фрагмент, що залишився, зберігається у вигляді нового графічного файлу.

У багатьох випадках доводиться створювати необхідне зображення з окремих фрагментів. Таке зшивання може здійснюватися як у вигляді злиття окремих файлів, так і складанням «мозаїк» з окремих файлів. Зшивання двох фрагментів (один із яких є базовим) здійснюється різними методами, що використовують зазначення декількох загальних точок у площині зображення, у зв'язку з чим фрагменти, що зшиваються, повинні значною мірою перекривати один одного. Може бути зазначено дві, три і більше спільних точок; при зв'язуванні фрагментів здійснюються кутові повороти, лінійні або площинні трансформації зображень.

**Афінне** перетворення може виправити зрушення, поворот і розтягання окремо по осі **X** і **Y**. Усі перетворення лінійні для всього растра, тобто рівнобіжні лінії залишаються рівнобіжними (рис 5.4 а, б). Для запуску перетворення досить трьох точок, що не лежать на одній прямій.

**Поліноміальне** перетворення виправляє більш складні, у тому числі і нелінійні перекручування. Якщо афінні перетворення допомагають позбутися неправильного положення аркуша на площині, то квадратичні допомагають виправити прогинання аркуша, перекручування сканування та ін. (рис. 5.4 в, г). Для запуску перетворення необхідно кілька точок, і розташовуватися вони повинні максимально хаотично. Якщо, наприклад, якісь чотири точки будуть утворювати прямокутник, рівнобіжний осям координат, то перетворення працюватиме некоректно.

Скановане зображення (наприклад, карти) з точністю 200–400 dpi утворить графічний файл розміром до 50–100 Мб. Загальний розмір сканованих даних для великого міста чи району може складати десятки і сотні гігабайт.

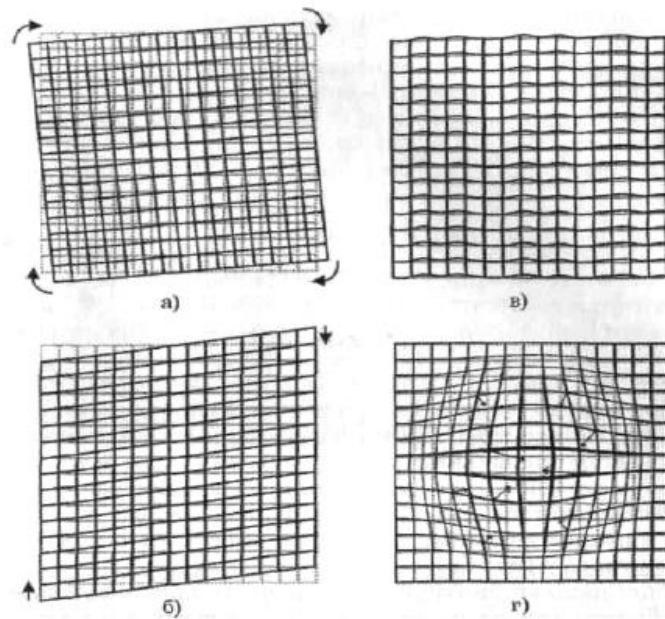


Рисунок 5.4 – Геометричні трансформації растрових зображень:  
 а) афінні перетворення кутових перекручувань; б) афінні перетворення перекосів; в) поліноміальні перетворення перекручувань сканування; г) поліноміальні перетворення перекручувань при прогинанні аркуша

Апаратні комплекси, що використовуються для сканування і підготовки вихідних картографічних даних, повинні мати значні обсяги оперативної і магнітної пам'яті, графічні прискорювачі, системи створення резервних копій даних на оптичні носії. Для зменшення розмірів файлів при їхньому збереженні і пересиланні використовуються різні технології стиснення графічної інформації, наприклад, для збереження і швидкого розпакування великих масивів стиснутих графічних даних використовується формат MrSID.

### ***Векторизування***

Скановані растрові картографічні матеріали використовуються для створення векторних цифрових карт. При гарній якості вихідних карт (гарне розрізнення ліній і контурів, відсутність фону і забруднень, чітка передача кольору) можуть використовуватися системи розпізнавання графічних образів і автоматичного промальовування їхніх контурів. Процедури розпізнавання растра і промальовування векторних графічних примітивів позначаються терміном **векторизування**. Векторизування може бути ручним і напівавтоматичним. Напівавтоматичне

векторизування в основному застосовується для лінійних даних, точкові об'єкти вводяться в ручному режимі, полігональні об'єкти також замикаються в ручному режимі.

Процес напівавтоматичного або ручного простежування лінії за її зображенням на растрі називається **трасуванням**. У різних програмних пакетах для векторизування різні інструменти трасування, заздалегідь прив'язані на визначені комбінації растрових елементів. Звичайно це основний трасувальник, призначений для простежування суцільних і пунктирних ліній, а також трасувальник ортогональних (що вигинаються тільки під прямим кутом), ламаних, точкових ліній, замкнутих прямокутних контурів, інструмент оконтурювання заштрихованих ділянок і інструмент оконтурювання залитих плям. Процес векторизування керується набором параметрів трасування, які можна поєднувати в стратегії трасування.

Для початку трасування суцільної або пунктирної лінії в автоматичному режимі зазначається початкова точка на «правильній» ділянці, де для автоматичного трасувальника не передбачається ускладнень. Для початку трасування пунктирної або точкової лінії потрібно послідовно вказати дві сусідні точки, таким чином задається зразковий крок і напрямок. Додаткові операції трасування ліній передбачають: максимальну відстань розриву між фрагментами лінії, максимальний кут повороту лінії і максимальну відстань пошуку початку іншої лінії під кутом від напрямку попередньої лінії, максимальну і мінімальну товщину лінії, що трасується, відстань між опорними точками вздовж лінії та ін. У разі затримки оператор у будь-який момент може взяти керування процесом векторизування на себе.

Для автоматизованого векторизування необхідне використання попередньо підготовлених растрових матеріалів. Рекомендується використовувати матеріали із заздалегідь розділеними тематичними шарами, тобто на карті, що векторизується, повинні бути елементи одного типу – горизонталі рельєфу, річкова мережа, дороги, контури будинків та ін.

Для підвищення яскравості і контрастності растрової карти використовується процедура інвертування кольору, за якої білий колір стає чорним, і навпаки. На рисунку 5.5 зображений екран програмного пакета для векторизування Easy Trace з фрагментом міського плану, що векторизується, у масштабі 1:500 з використанням процедури інвертування

кольору.

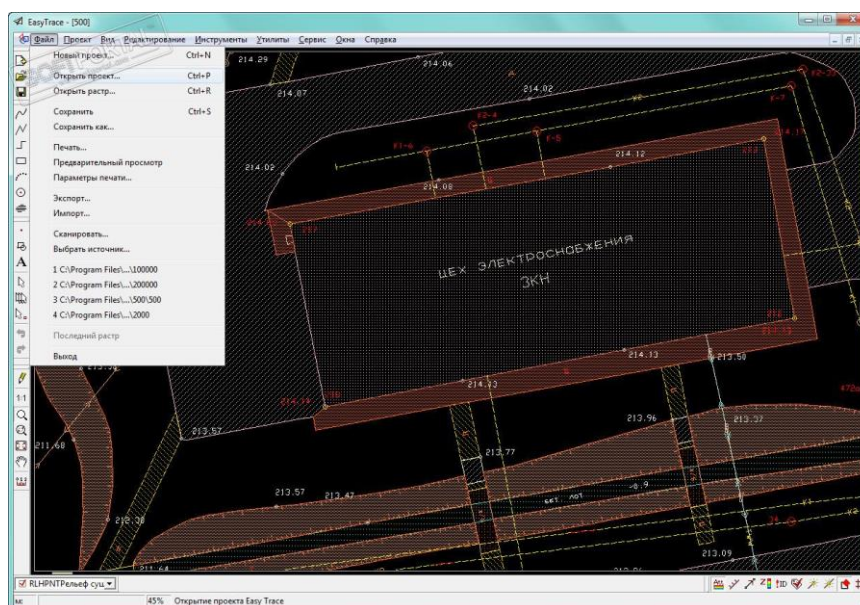


Рисунок 5.5 – Робочий екран векторизатора Easy Trace з ділянкою міського плану.

У процесі створення векторних об'єктів здійснюється присвоєння ідентифікаторів (номерів трубопроводів, будинків, назв вулиць, висот горизонталей рельєфу тощо). Одним із режимів автоматичної ідентифікації є присвоєння значень висот лініям горизонталей рельєфу, глибин та інших ізоліній з рівним кроком зміни значень. Для автоматичної ідентифікації група близько розташованих ліній перекреслюється перпендикулярним відрізком, для якого задаються початкове значення і крок зміни значень. Аналізують послідовність перетинання ліній і виконують присвоєння значень у порядку проходження ліній.

Відомим в Україні векторизатором є пакет Digital державного науково-виробничого підприємства «Геосистема» (м. Вінниця).

### *Геокодування*

**Геокодування** – метод і процес позиціонування просторових об'єктів відносно деякої координатної системи і їхніх атрибутів. Для геокодування необхідні табличний набір координатних даних – широта і довгота, координати X і Y, вулична адреса, файл просторової бази даних, у координатах якої буде здійснюватися пошук місця розташування точки, а також установлення в ці координати точкового об'єкта з заданими атрибутами.

У наш час у різних ГІС пакетах (Mapinfo, Arc View та ін.) реалізовані функції адресного прив'язування даних з використанням файлів спеціального формату, у яких формалізована інформація з вуличних мереж (StreetMap, рис. 5.6). Вулична мережа міста розбивається на окремі квартальні відрізки, для кожного відрізка в базі даних описані назва вулиці, номер будинку початкової точки відрізка з правого боку, номер будинку останньої точки відрізка з правого боку, номер будинку початкової точки з лівого боку і номер будинку кінцевої точки з лівого боку вулиці. Правий і лівий бік визначаються напрямком цифрування відрізка вулиці. При геокодуванні адреси будинку, описаної назвою вулиці і номером будинку, знаходиться відрізок з необхідною назвою та інтервалом номерів будинків, далі на відповідній стороні (парні/непарні номери) знаходиться приблизне місце розташування будинку за різницею між номерами будинків на початку і кінці ділянки. Розміри будинків і можливі пропуски між ними в даному методі не враховуються.



Рисунок 5.6 – Подання вуличної мережі у форматі StreetMap.

Методами геокодування можна досить швидко створювати картографічні бази даних для інформації, що має текстове координатне прив'язування. Крім вуличних адресних координат, існують шаблони для створення об'єктів (точкових або площинних) за назвами міст і адміністративних одиниць, за кодами поштових округів та ін. (рис. 5.7).



Рисунок 5.7 – Геокодування місця розташування будинків за адресним прив'язуванням в базі даних формату StreetMap

Необхідно контролювати ідентичність адресних координат у геокодованій базі і базі координатного прив'язування – географічні і топографічні координати повинні бути в одному числовому форматі з базовою системою координат; назви вулиць в обох наборах даних не повинні мати різночитань, скорочень; буквені ідентифікатори будинків (наприклад, корпус 3а) повинні зберігатися в окремому полі та ін.

### Контроль якості створення цифрових карт

Якість є одним з основних керуваних параметрів процесу створення цифрових карт поряд з їхнім складом, вартістю, інформаційними ресурсами.

Залежно від сфери використання цифрових карт до них висуваються різні вимоги. Ці вимоги (просторова точність, склад об'єктів, точність опису об'єктів) мають бути сформульовані ще на етапі проектування цифрової карти. Залежно від вимог просторової і семантичної точності підбираються вихідні картографічні матеріали, плануються додаткові польові зйомки або використання ДДЗЗ, складаються номенклатура і класифікація об'єктів, вибирається програмне забезпечення, периферійні пристрої введення даних та ін.

У наш час можна виділити дві основні сфери використання цифрових карт:

– як основи для створення різних паперових карт або картографічних ілюстрацій;

– як основи для просторових вимірів, розрахунків, аналізу.

У першому випадку просторова точність визначається точністю поліграфічного відбитка створюваної карти і залежить від методу друку, системи умовних знаків, відображуваного масштабу та ін. При створенні цього типу карт можна обмежитися візуальною подібністю картографічних об'єктів, просторова похибка допускається від 0,1 – 0,2 мм у видимому масштабі карти. При створенні картосхем величина просторової похибки може не вважатися визначальним фактором якості, іноді в просторову основу свідомо вносяться перекручування для кращого відображення якісних, ілюстративних характеристик відображуваного явища або об'єктів.

У тому випадку, коли цифрова карта є основою для розрахунків відстаней, площ і обсягів у кадастрових, будівельних або навігаційних ГІС, просторові похибки можуть спричинити значні перекручування підсумкових просторових розрахунків, що, у свою чергу, приводить до похибок розрахунку вартості земельних ділянок, вартості будівництва, оподаткування та ін. У таких додатках просторова точність визначається точністю використовуваних приладових вимірів (до 0,1 мм на місцевості). Створення таких цифрових картографічних основ вимагає значних ресурсів і виконується тільки спеціалізованими організаціями, що мають відповідне технічне забезпечення і кваліфікованих фахівців.

У наш час в Україні найбільш значний обсяг робіт із введення картографічних даних здійснюється в процесі трансформації паперових топографічних карт різних масштабів у цифрову форму.

Забезпечення якості створених цифрових карт можливе лише за умови високого рівня організації виробництва, що відповідає кваліфікації персоналу, який володіє спеціальними знаннями і навичками.

Підготовка цифрових картографічних матеріалів на базі топографічних карт проводиться відповідно до вимог таких документів:

– нормативи щодо створення електронних карт місцевості масштабів 1:1 000 000, 1:500 000, 1:200 000 (ГП МЦЕК МНС та Укргеодезкартографія (Київ, 1998));

– положення про редагування цифрових карт місцевості, які виготовляються на основі картографічних матеріалів з використанням



растроскануючого обладнання (затверджене Укргеодезкартографією 02.06.97 р.);

- положення про порядок організації контролю при виготовленні цифрових карт (затверджене Укргеодезкартографією 14.02.97 р.);

- технічні умови на створення серії топографічних карт областей масштабу 1:200 000 (затверджені Укргеодезкартографією в травні 1996 р.);

- класифікатор інформації, яка відображається на топографічних картах масштабів 1:10 000, 1:25 000, 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1 000 000 (затверджений начальником ГУГКК при КМ України і погоджений з начальником ЦТУ ГПІ Збройних сил України в 1998 р.);

- тимчасові правила щодо збору та встановлення географічних назв при виконанні топографічних робіт (затверджені Укргеодезкартографією 04.08.94 р.);

- типові редакційні вказівки на створення карт територій адміністративних районів (затверджені Укргеодезкартографією в грудні 1996 р.);

- умовні знаки до топографічних карт масштабів 1:200 000 і 1:500 000 (ВТУ ГПІ (Москва, 1983 р.)).

При створенні цифрових карт як вихідні картографічні матеріали використовують топографічні карти тих самих масштабів і незалежно від застосовуваної технології використовують такі параметри оцінки:

- повноту і правильність заповнення паспорта номенклатурного листа цифрової топографічної карти;

- точність планового розташування об'єктів;

- повноту об'єктового складу;

- повноту характеристик об'єктів;

- правильність визначення кодів об'єктів;

- правильність визначення характеристик об'єктів;

- відповідність формату;

- відповідність правилам цифрового опису.

Кількісна оцінка цифрових карт дається за допомогою:

- таблиць для оцінки точності планового розташування, де наведені максимально припустимі середні квадратичні похибки розташування об'єктів. Значення допуску залежать від типу об'єкта, масштабу, характеристик місцевості;

– розрахунків для обчислення одиничного показника якості, що визначається для кожного показника (правильність визначення коду об'єкта, повнота характеристик об'єкта тощо) і виражається у відсотках:

$$V = (J / K)100, \quad (5.1)$$

де  $V$  – одиничний показник якості;

$J$  – абсолютна кількість об'єктів з похибками (може виражатися сумою об'єктів з похибками різного типу);

$K$  – загальна кількість об'єктів цифрової карти.

Систематичні похибки при створенні цифрової картографічної продукції виникають унаслідок різних об'єктивних і суб'єктивних причин (відсутність необхідного обладнання, невідповідність технічних характеристик обладнання необхідної точності, відсутність чи слабка формалізація класифікаторів об'єктів, що цифруються, помилки введення через неопрацьовані інструкції з введення різних ситуацій, низька кваліфікація операторів, відсутність контролю).

До найбільш поширених помилок відносять:

– порушення просторово-логічних зв'язків у цифровій карті з багат шаровою структурою, наприклад, на всій цифровій карті в місцях перетинання автомобільних доріг і рік, під об'єктом «міст» (кам'яний, бетонний, залізобетонний) відповідна частина об'єкта «ріка» відсутня;

– неправильне введення семантичної (атрибутивної) інформації;

– систематична невідповідність коду об'єкта і його найменування за прийнятим класифікатором цифровій топографічній карті;

– порушення характеру локалізації. Усі полігональні гідрографічні об'єкти на цифровій топографічній карті подані у вигляді лінійних. Лінії проведені по центру об'єктів;

– відсутність регламентуючих документів і вироблення операторами самостійного колективного рішення щодо цифрування тієї чи іншої ситуації;

– відсутність опису правил цифрування подібних ситуацій у регламентуючих документах за відсутності технології взаємодії оператора і коректора карт;

– систематична помилка в плановому розташуванні точкових

об'єктів або вершин лінійних об'єктів через неточність оператора (наприклад, паралакс візира дигітайзера);

- усі об'єкти цифрової карти не мають координатного прив'язування;

- неадекватна вихідним матеріалам передача форми об'єктів цифрової карти через низьку кваліфікацію оператора і відсутність вихідного контролю.

У кількісній формі оцінка виражається одним числом – значенням показника якості, що відбиває визначену сукупність властивостей продукції. Наприклад, для показника якості «точність планового розташування об'єктів» середня квадратична похибка положення контуру рослинного покриву щодо вихідних картографічних матеріалів у масштабі цифрової топографічної карти 1:200 000 становить 0,2 мм.

Однією з найважливіших складових виробництва цифрових карт, що забезпечує їхню якість, є контроль якості. Виділяють такі види контролю:

- суцільний, при якому контролюються всі одиниці продукції;
- вибірковий – контролюється порівняно невелика кількість одиниць продукції із сукупності, до якої вона належить;
- статистично-вбірковий контроль, правила якого базуються на законах теорії ймовірностей і математичної статистики.

У цілому необхідний рівень якості цифрових карт досягається цілим комплексом заходів. З одного боку, це точне формулювання замовником і споживачем карти її змістовних характеристик, рівня просторової точності, вихідних матеріалів. З боку виконавця робіт необхідне розроблення чітких інструкцій персоналу щодо цифрування тієї чи іншої тематичної групи об'єктів, ідентифікації і класифікації об'єктів, порядку послідовного введення різних груп об'єктів. Залежно від виду робіт і їхньої критичності для якості карти в цілому організуються контрольні заходи. Технічна документація підсумкової карти є важливим елементом для оцінки всієї виконаної роботи.

У наш час багато цифрових карт, особливо в неспеціалізованих установах і організаціях, виконується в ручному режимі, тому суб'єктивний фактор, тобто кваліфікація оператора і контролера, є основним стримуючим фактором для збільшення кількості якісної цифрової продукції. Для підготовки кваліфікованого оператора для

екранного або апаратного дигітизування необхідно кілька років практичної роботи за наявності відповідної геодезичної, картографічної або географічної освіти. Унаслідок цього все більш істотним фактором картографічного виробництва стає зростання вартості кваліфікованої праці фахівців. Тому основною лінією зростання продуктивності цифрового картографування є подальший розвиток автоматизованих методів введення: підвищення якості розпізнавання картографічних образів сканованих карт і даних дистанційного зондування Землі.

### **Контрольні запитання і завдання для самостійної роботи**

1. Охарактеризуйте вихідні матеріали, з яких виконується введення даних у ГІС.
2. Обґрунтуйте значення карти як джерела просторових даних для ГІС.
3. Яка координатна система використовується для топографічних карт, створюваних у системі картографічних установ України?
4. На чому базуються методи дистанційного зондування Землі?
5. Охарактеризуйте системи дистанційного зондування.
6. Як обробляються дані з електронних геодезичних приладів дистанційного зондування?
7. Чим визначається якість сканування?
8. Поясніть термін векторизування матеріалів.
9. Дайте характеристику процесу геокодування.
10. Якими засобами можна забезпечити якість створюваних цифрових карт?

## 6 МЕТОДИ І ЗАСОБИ МОНІТОРИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

### Метрологічні засади організації спостережень за параметрами довкілля

**Метрологія** (від грецьких слів μέτρον – міра, λόγος – наука, слово) – це наука про вимірювання. Одним з головних завдань метрології є забезпечення єдності вимірювань шляхом використання єдиних, узаконених (стандартизованих), одиниць вимірювання і встановлення допустимих похибок результатів вимірювання.

Відповідно до визначення, вимірювання (згідно ДСТУ 2681-94) – це знаходження значень вимірюваних величин експериментальним шляхом та обчислення за допомогою спеціальних технічних засобів. Числовим значенням вимірюваної величини є число, яке виражає відношення цієї величини до одиниці вимірювання.

Одиницею вимірювання називають значення вимірюваної величини, прийняте за одиницю. Предметом вимірювання є вимірювана величина (ВВ) – властивість, загальна в якісному відношенні множині об'єктів і індивідуальна в кількісному відношенні у кожного з них.

Сукупність ВВ, зв'язаних між собою деякими залежностями, утворює систему ВВ. Об'єктивно ці залежності представляють за допомогою незалежних рівнянь, число яких ( $m$ ) завжди менше числа величин ( $n$ ). Тому  $m$  величин даної системи визначають через інші величини, а  $n-m$  величин – незалежно від інших. Останні величини називають основними ВВ, а інші – похідними ВВ.

Одиницею фізичної величини називається конкретна фізична величина, якій за визначенням надано числове значення, що дорівнює одиниці.

В міжнародній системі одиниць SI в якості основних обрано сім величин і відповідних їм одиниць. До них належать: довжина (метр – **м**), маса (кілограм – **кг**), час (секунда – **с**), сила електричного струму (ампер – **А**), температура (кельвін – **К**), сила світла (кандела – **К**), кількість речовини (**моль**). Окрім цього, у систему включені ще дві додаткові величини: плоский кут (**радіан**) і тілесний кут (**стерадіан**), а також 111 похідних величин.

Система SI пред'являє ряд вимог до запису значень ВВ. Так, скорочені назви одиниць ВВ, встановлених на честь визначних вчених,

прийнято писати з прописної букви, а повні назви цих одиниць записуються малими літерами, наприклад, 1 кельвін і 1 К; 1 ньютон і 1 Н і т.д. Похідні величини, кратні  $10^6$ ,  $10^{-6}$ , позначаються відповідно як 1 МДж і 1 мДж.

**Види вимірювань.** По способу одержання значення вимірюваної величини розрізняють прямі, непрямі, сукупні і спільні.

*Прямим називають* вимірювання, при якому шукане значення ВВ знаходять безпосередньо з експериментальних даних.

*Непрямим називають* вимірювання, при якому шукане значення ВВ знаходять на підставі відомої залежності між цією величиною й іншими величинами (їх називають аргументами), що піддаються прямим вимірюванням.

Сукупними і спільними називають вимірювання, при яких одночасно знаходять значення відразу декількох ВВ. Для цього вирішують систему рівнянь, коефіцієнти в яких одержують у результаті прямих вимірювань. При сукупних вимірюваннях знаходять декілька однойменних ВВ, а при спільних вимірюваннях визначаються кілька різнойменних ВВ.

**Основні операції вимірювань.** Вимірювання – це багатоопераційна процедура, яка обов'язково включає такі дві найважливіші операції:

- відтворення фізичної величини заданого розміру;
- порівняння величин, тобто визначення співвідношення між однорідними ВВ.

**Засоби вимірювань.** Засоби вимірювань (ЗВ) – це технічні засоби, що використовуються при вимірюваннях і мають нормовані метрологічні властивості, тобто властивості, що впливають на результати і похибки вимірювань. Поряд із ЗВ при вимірюваннях можуть застосовуватися й інші технічні засоби, що не мають нормованих метрологічних властивостей, наприклад, лупа для зручності відліку, освітлювач для роботи в темний час доби і т.п.

Засоби вимірювань поділяються на дві групи:

- елементарні ЗВ, що реалізують тільки окремі операції вимірювання (міри, пристрої порівняння (компаратори), вимірювальні перетворювачі, масштабні перетворювачі);
- комплексні ЗВ, що складаються з функціонально повного набору елементарних ЗВ і забезпечують виконання усього вимірювання в цілому (вимірювальні прилади, вимірювальні установки, вимірювальні системи).

**Похибки вимірювань.** Похибкою вимірювань називається відхилення результату виміру від істинного значення вимірюваної величини.

Істинним значенням  $VV$  називається значення, що ідеальним образом відбиває в кількісному відношенні відповідну властивість об'єкта. Оскільки істинне значення  $VV$  ніколи не відоме, його на практиці заміняють дійсним значенням, тобто значенням, знайденим експериментально за допомогою високоточного (зразкового) приладу.

По способу представлення похибки вимірювань підрозділяють на абсолютні і відносні.

Абсолютна похибка  $\Delta X$  визначається таким чином:

$$\Delta X = X_{\text{вим}} - X_{\text{іст}} \sim X_{\text{вим}} - X_{\text{дійсн}} \quad (6.1)$$

де  $X_{\text{вим}}$  – результат виміру;

$X_{\text{іст}}$  – дійсне значення  $VV$ ;

$X_{\text{дійсн}}$  – істинне значення  $VV$ .

Відносна похибка дорівнює:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{\text{іст}}} \approx \frac{\Delta X}{X_{\text{вим}}} \quad (6.2)$$

Відносну похибку часто виражають у відсотках, використовуючи для цього такий вираз:

$$\delta X = \frac{\Delta X}{X_{\text{вим}}} \cdot 100\% \quad (6.3)$$

По місцю виникнення похибки вимірювань підрозділяють на методичні й інструментальні.

**Методична похибка** – це складова похибки вимірювання, що походить від недосконалості методу вимірювання.

Методична похибка може, наприклад, утворитися при непрямих вимірюваннях. Це відбувається, якщо залежність, що використовується при вимірюванні, містить величини, значення яких відомі приблизно. У цьому випадку навіть при відсутності похибок вимірювання аргументів результат непрямого вимірювання буде наближеним. Похибка, що утворюється при цьому, є методичною, бо її походження пов'язане з недоліками залежності, що лежить в основі метода вимірювання.

**Інструментальна похибка** – це складова похибки вимірювання, що залежить від похибок застосованих ЗВ. Вона є наслідком недосконалості конструкції ВП, недоліків матеріалів, з яких виготовлені елементи приладу.

**Похибки вимірювальних приладів.** Похибкою ВП називається різниця між показаннями приладу і істинним значенням вимірюваної величини. Похибки ВП класифікують по різних ознаках. По характеру зміни похибки поділяють на систематичні і випадкові.

Систематичною називається складова похибки, що залишається постійною чи закономірно змінюється при повторних вимірах постійної величини  $X$ .

Випадковою називається складова похибки, що змінюється випадковим (непередбаченим) образом при повторних вимірах постійної величини  $X$ .

По залежності від вимірюваної величини  $X$  похибки поділяють на адитивні і мультиплікативні. Адитивною називається складова похибки, що не залежить від величини  $X$ . Мультиплікативною називається складова похибки, що змінюється пропорційно величині  $X$ .

## **Методи і технічні засоби вимірювання параметрів довкілля**

### ***Класифікація методів дослідження стану довкілля***

Необхідною умовою для організації раціональної системи моніторингу довкілля є використання як класичних, хімічних та фізичних методів визначення і дослідження показників і параметрів довкілля, так і нових методів і сучасних інструментальних засобів.

Загалом методи дослідження поділяють на якісні і кількісні (рис. 6.1). Завданням якісного аналізу є виявлення наявності того чи іншого хімічного елемента чи сполуки у складі досліджуваної речовини. При кількісному аналізі визначають масовий вміст речовини в досліджуваній пробі або встановлюють кількісні співвідношення між складовими частинами речовини. Якісний аналіз зазвичай передує кількісному.



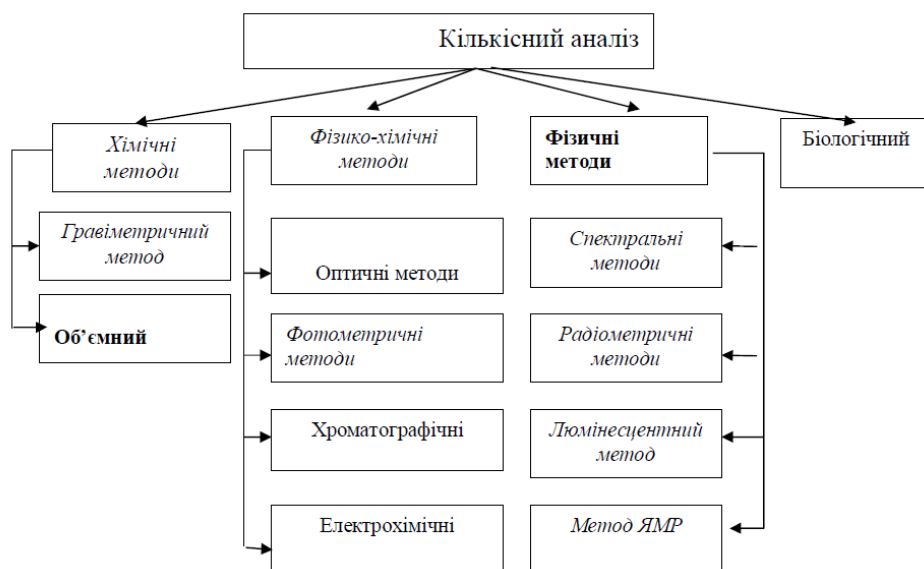


Рисунок 6.1 – Класифікація методів кількісного аналізу

### ***Аналітичні методи аналізу речовин***

У метрології вимірювання складу і концентрації речовин, що знаходяться в різних агрегатних станах (рідкому, твердому, газоподібному), називаються аналітичними. Розрізняють якісні і кількісні аналітичні вимірювання. Перші спрямовані на визначення переліку компонент, що входять до складу аналізованої речовини. Другі дозволяють визначити концентрації цих компонент. Компоненти, концентрації яких визначаються при вимірюваннях, називаються детектуємими.

У залежності від характеру використаних технічних засобів існуючі методи вимірювань концентрації шкідливих домішок можна умовно розділити на методи лабораторного і автоматичного аналізу.

При використанні першої групи методів, процедура вимірювання включає декілька етапів, основні з яких такі: відбір проби аналізованої речовини на пості контролю; доставка проби в хімічну лабораторію; хімічний аналіз проби в лабораторії; обробка даних аналізу з метою одержання результату виміру в необхідній формі.

Широке використання лабораторних методів обумовлено, насамперед, простотою вимірювальної апаратури і порівняно низькими вимогами до кваліфікації обслуговуючого персоналу. Поряд з цими перевагами, лабораторні методи мають ряд істотних недоліків. Це, насамперед, досить велика тривалість відбору проб (20 – 30 хвилин) і велике запізнювання інформації про вміст шкідливих домішок у

контрольованому середовищі.

Цих недоліків позбавлені методи другої групи, що реалізуються за допомогою автоматичних аналізаторів (АА). У них аналізована речовина надходить безпосередньо з контрольованого середовища (без участі оператора) і там піддається певному фізико-хімічному впливу. У результаті нього відбувається формування електричного сигналу, розмір якого пропорційний концентрації детектуємого компоненту.

Хоча в Україні, у принципі, використовуються методи обох груп, однак найбільше поширення одержали методи лабораторного аналізу в силу їх переваг, зазначених вище.

У залежності від того, які явища – фізичні чи хімічні – покладені в основу методів вимірювань, їх можна умовно розділити на електрофізичні та електрохімічні методи.

Електрофізичні методи засновані на використанні залежності фізичних властивостей речовин від їх складу і концентрації компонент.

### ***Оптико-спектральні методи аналізу речовин***

Галузь фізики та техніки, яка вивчає спектри електромагнітного випромінювання в ультрафіолетовому, видимому та інфрачервоному діапазонах, називають оптичною спектроскопією. Завданням спектроскопії є дослідження властивостей та структури речовин на основі вивчення особливостей її спектрів. Методи кількісного та якісного визначення складу речовини, що ґрунтуються на одержанні і дослідженні її спектрів, становлять суть спектрального аналізу.

**Емісійна спектроскопія** – це вивчення спектрів випромінювання атомів, молекул та іонів, збуджених різноманітними джерелами електромагнітного випромінювання, з метою якісного та кількісного визначення складу речовини. Методи емісійної спектроскопії ґрунтуються на вивченні структури та властивостей квантових систем відповідно до їх спектрів випромінювання. При цьому досліджувана речовина, в яку надходить аерозоль із розчину з окислювачем та паливним газом, збуджується полум'ям пальника (або дугою, іскрою, плазмою). Під впливом високої температури починається іонізація речовини і випромінювання її атомами світла певної довжини хвилі. Метод можна застосовувати для визначення лужних та лужноземельних елементів, лантанидів, деяких перехідних елементів, металоорганічних сполук.

**Індукована лазером спектроскопія** пробою є різновидом атомної емісійної спектроскопії, в основі якої лежить використання високоінтенсивного лазерного імпульсу. Цій метод дозволяє аналізувати речовину незалежно від її стану – твердого, рідкого або газоподібного. Оскільки всі хімічні елементи здатні випромінювати при нагріванні до високих температур, ця техніка є перспективною з точки зору детектування та ідентифікації біоаерозолів. Перевагою методу є можливість аналізу зразків у нано- та піко-кількостях.

**Абсорбційна спектроскопія.** Атомно-абсорбційний аналіз полягає у випаровуванні речовини, що досліджують (у полум'ї графітової трубки, плазмі високочастотного розряду), після чого через пару речовини пропускають оптичне випромінювання. Реєстрація ступеня ослаблення інтенсивностей ліній елемента, які визначають, дає можливість оцінювати концентрацію його у зразку. Метод атомно-абсорбційної спектроскопії є перспективним з точки зору дослідження об'єктів навколишнього середовища, зокрема атмосфери, ґрунтів, водоймищ. На сьогодні метод дозволяє визначити до 70 різних хімічних елементів і токсичних металів.

**Колориметричні методи.** Зазначені методи засновані на вимірюванні ослаблення світлового потоку за рахунок поглинання світла речовиною, що досліджують. Інгредієнт, який визначають, переводять у забарвлений стан за допомогою специфічної хімічної реакції. Прилади, що використовують у колориметрії, пов'язані або з візуальним порівнянням забарвлення робочого та стандартного розчинів (колориметри), або з визначенням абсолютних чи відносних інтенсивностей світлових потоків, які проходять через розчин (фотометри). До переваг спектрофотометричних методів можна віднести їхню простоту та відносно недороге обладнання, а недоліком є значна тривалість процесу вимірювань.

**Інфрачервона спектроскопія.** Якщо молекула знаходиться в основному електронному стані і цей стан не змінюється, то частота поглинутого світла визначається співвідношенням:

$$\nu_{\text{кол}} = \frac{E'_{\text{кол}} - E''_{\text{кол}}}{h} + \frac{E'_{\text{об}} - E''_{\text{об}}}{h} \quad (6.4)$$

Коливальні рівні енергії та частоти квантових переходів знаходять через коливальні координати, кількість яких для N-атомної молекули становить  $\pi = 3N - 6$ . У якості таких коливальних координат

використовують зміни величин, що характеризують відносно розміщення атомів у молекулі: зміну довжин зв'язків, кутів між зв'язками або зміни відстаней між незв'язаними атомами. У цілому коливальні координати молекул залежать від будови останніх та типу симетрії. Саме частоти власних коливань таких молекул як  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{O}_3$  та ін. проявляються у спектрах інфрачервоного поглинання.

**Оптико-акустична спектроскопія.** Під час проходження оптичним випромінюванням досліджуваного об'єкта відбувається поглинання кванта світла молекулами об'єкта, їх збудження та перехід на високоенергетичний рівень. Збуджені молекули, що повертаються в основний стан, віддають залишок енергії у вигляді тепла середовищу, яке оточує об'єкт. Чутливість методу досягає  $10^{-7} - 10^{-9} \text{ см}^{-1}$ . До недоліків методу можна віднести вплив вібрацій та акустичних шумів, залежність чутливості методу від тиску досліджуваного газу, складну процедуру калібрування спектрів, великі (більше 10 %) похибки вимірювань коефіцієнта поглинання.

**Спектроскопія на основі Фур'є-перетворення.** В інтерферометрі Майкельсона використовується джерело монохроматичного оптичного випромінювання. Одне з дзеркал інтерферометра здатне рухатися поступально. Якщо це дзеркало переміщується на відстань, яка дорівнює  $\lambda/4$  (де  $\lambda$  – довжина хвилі), то два променя будуть знаходитися в протифазі. Під час руху дзеркала з постійною швидкістю детектор буде реєструвати модульований по синусоїдному закону світловий сигнал.

**Традиційна спектроскопія** оперує в частотному масштабі, тобто досліджує потужність оптичного випромінювання залежно від частоти (довжини хвилі); спектроскопія Фур'є-перетворення використовує часовий масштаб, якщо реєструються зміни потужності оптичного випромінювання в часі. Якщо використовувати джерело немонохроматичного оптичного випромінювання, то завдяки Фур'є-перетворенню можна будь-якому частотному спектру зіставити специфічну інтерферограму – так званий спектр Фур'є. Методи спектроскопії Фур'є-перетворення характеризуються високим розділенням ( $< 0,1 \text{ см}^{-1}$ ), точністю і відтворюваністю.

Спектроскопія відбивання у ближній інфрачервоній області спектру. Ближня інфрачервона (БІЧ) область спектру обмежується діапазоном 760 – 2500 нм. Поглинання в БІЧ області зумовлене, насамперед, участю вищих гармонік (обертонів) основних коливань і комбінації цих гармонік з

основними коливаннями. Виникненню обертонів сприяє наявність в атомних структурах характерних груп таких як -ОН, -СН, -NH, С=О, Н-О-Н тощо. Перевагою методу спектроскопії відбивання в БІЧ області є можливість роботи з високими концентраціями рідких зразків, а також із твердими (або сипкими) непрозорими матеріалами за рахунок слабого поглинання в цій області спектра. Висока здатність об'єктів відбивати хвилі в БІЧ області дає можливість робити кількісний і якісний аналіз з високим ступенем селективності: цій обставині сприяє різноманіття обертонів і їх комбінацій, які формують специфічні спектри відбивання.

**Спектроскопія пружного розсіювання.** До цього типу розсіювання оптичного випромінювання можна віднести таке розсіювання, при якому частоти падаючого і розсіяного випромінювань однакові. Є три типи пружного розсіювання.

*Розсіювання Релея* виникає за рахунок зміщення зв'язаних електронів під впливом електричного поля, що падає на молекулу. Це поле сприяє утворенню диполя, який коливається і висилає електромагнітне випромінювання такої ж частоти. Розсіювання Релея характеризується тим, що інтенсивність розсіяного випромінювання змінюється залежно від четвертого ступеня довжини світлової хвилі. Саме такою залежністю можна пояснити природний блакитний колір неба, який отримується за рахунок відбивання сонячного світла від частинок пилу і водяної пари, присутніх в атмосфері.

*Розсіювання Мі* відбувається на частинках великих розмірів і супроводжується виникненням інтерференції світла, що призводить до появи інтерференційної картини і суттєвої зміни діаграми кутового розподілу розсіяного світла.

*Розсіювання Дебая* відповідає проміжному випадку між двома попередніми типами розсіювання – Релея і Мі. Аналіз характеру розсіювання Дебая і Мі лежить в основі нефелометрії і турбодиметрії – техніки визначення розмірів частинок, які утворюють суспензію в рідині.

Методи **спектроскопії комбінаційного розсіювання** також застосовуються для аналізу стану навколишнього середовища. Цей тип розсіювання включає втрату або набуття кванта коливальної енергії молекулою. Йдеться про непружне світлове розсіювання, коли фотон, що падає, має енергію значно більшу, ніж енергія, яку коливальний квант втрачає через збудження молекули – залишок енергії розсіюється.

Недоліком методу спектроскопії комбінаційного розсіювання є потреба у потужних лазерах як джерелах випромінювання.

*Флуоресцентна спектроскопія.* Суть флуоресцентних методів полягає в опромінюванні речовини, збудженні молекули цієї речовини та при випромінюванні світла у вигляді флуоресценції. Довжина хвилі випромінювання флуоресценції завжди перевищує довжину хвилі збудження. Реєстрація різноманітних параметрів флуоресценції (інтенсивності, спектрів випромінювання і збудження, часової кінетики, поляризації тощо) дає можливість одержати інформацію про речовину, яка є об'єктом дослідження. Перевагами методів флуоресцентної спектроскопії є висока чутливість, малі (до  $10^{-12}$  г) кількості речовини, необхідної для дослідження, селективність та універсальність.

### ***Іонізаційні методи***

Іонізаційні методи базуються на іонізації речовини, що аналізується і вимірюванні сили іонного струму, пропорційної концентрації компоненту, що визначається .

Існують різноманітні способи іонізації речовини. З них найбільше застосування в практиці аналітичних вимірювань одержали такі:

- іонізація газів електронами, отриманими за допомогою авто- чи термоелектронної емісії;
- іонізація газів за допомогою електричного розряду;
- опромінення речовини радіоактивним чи рентгенівським випромінюванням;
- опромінення речовини оптичним (звичайно лазерним) випромінюванням;
- іонізація шляхом сильного розігріву речовини – таку іонізацію прийнято називати термічною чи термоіонізацією.

Найбільш розповсюджені полум'яно-іонізаційний, масспектрометричний і радіоізотопні методи.

В основі полум'яно-іонізаційного методу лежить застосування термічної іонізації – для розігріву речовини, що аналізується, використовується водневе полум'я. Для реалізації цього методу використовується вимірювальний перетворювач, який називється полум'яно-іонізаційним детектором (ПІД). У практиці контролю забруднення атмосферного повітря полум'яно-іонізаційний метод знайшов

застосування в автоматичних газоаналізаторах, призначених для визначення концентрації вуглеводнів.

В основі мас-спектрометричного методу лежить поділ усіх іонів, що були одержані в процесі іонізації, на окремі пучки. Кожний з цих пучків містить іони з певним відношенням маси іона до його заряду. Вимірюючи силу іонного струму в одержаних пучках, можна судити про концентрації усіх компонентів речовини, що аналізується.

Іонізацію речовини при використанні радіоізотопних методів здійснюють з допомогою радіоактивного випромінювання. В практиці вимірювань найбільше розповсюдження дістали 2 основних види такого випромінювання, що мають досить високу іонізуючу здатність – це  $\alpha$ -випромінювання (ядра атомів гелію) і  $\beta$  - випромінювання (електрони, позитрони).

Основною частиною приладу, що реалізує радіоізотопний метод, є іонізаційна камера, через яку пропускається газ (пара), що аналізується. Усередині камери розташовують колектор іонів і джерело випромінювання – таблетка певного ізотопу. Наприклад, для одержання  $\beta$ -випромінювання часто використовують такі ізотопи, як  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{85}\text{Kr}$  чи  $^{147}\text{Pm}$ .

Радіоізотопні аналізатори газів, побудовані за диференціальною схемою, мають практично лінійну функцію перетворення, високу чутливість і здатні працювати при високих (до 300 °C) температурах.

### ***Теплові методи***

В основі теплових методів лежить залежність теплових властивостей речовини, від її складу і концентрації компонент. В основі цього методу лежить припущення, що теплообмін у системі «провідник-газ» здійснюється винятково за рахунок теплопровідності. Вимірювальні прилади, засновані на методі теплопровідності, називають катарометрами.

У практиці контролю стану природного середовища метод теплопровідності знаходить своє застосування як для побудови автоматичних газоаналізаторів, так і для створення детекторів, що працюють у складі газових хроматографів, розглянутих нижче.

### ***Хроматографічний метод***

Це один з найефективніших методів аналізу якісного і кількісного складу речовин, що містять значне число компонент (до 100–200).

Хроматографічний (ХГ) аналіз проводиться в два етапи. На першому етапі речовина, що аналізується, розділяється на окремі компоненти, на другому визначаються концентрації кожної з них. Прилади, що реалізують хроматографічний метод, називаються хроматографами.

Особливий інтерес у ХГ методі представляє перший етап – поділ на компоненти. Він починається з включення невеликого об'єму речовини (проби) до складу рухомої фази (РФ), що переміщується вздовж довгої трубки, названої хроматографічною колонкою.

Якщо робиться аналіз газової суміші (пари), то основою РФ є газ-носій, який прокачується через ХГ колонку за допомогою насоса. Якщо аналізується рідка чи тверда речовина, то основою ПФ є рідина, переміщувана уздовж ХГ колонки під дією перепаду тисків, капілярних чи гравітаційних сил.

ХГ колонка по всій довжині заповнюється спеціальною речовиною, що утворює нерухому фазу (НФ). У процесі переміщення РФ входить у контакт із НФ, і компоненти проби речовини розподіляються між РФ і НФ відповідно до їхніх властивостей. Причому, чим сильніше даний компонент взаємодіє з НФ, тим повільніше він рухається вздовж ХГ колонки. У результаті, шляхи, пройдені різними компонентами до певного моменту часу, будуть різними. Станеться просторовий розподіл компонентів по довжині ХГ колонки, і вони підійдуть до виходу з колонки по черзі.

У залежності від агрегатного стану рухомої фази розрізняють два основні різновиди ХГ методу, що називаються, відповідно, газова хроматографія і рідинна хроматографія. Газова хроматографія використовується для аналізу газових сумішей та парів.

У газо-адсорбційній хроматографії використовується твердий сорбент – речовина, що відрізняється пористістю й хімічною інертністю. Як правило, це оксид алюмінію, силікагель тощо.

У газо-рідинній хроматографії роль НФ виконує рідина, нанесена тонким шаром на інертний твердий носій (діоксид кремнію, полімери тощо). Різновидом цього виду хроматографії є капілярна хроматографія. У ній рідину наносять безпосередньо на стінки тонкої (діаметром 0,2–0,4 мм) трубки довжиною до 100 м і більше.

Похибка вимірювання концентрації за допомогою газових хроматографів звичайно складає 5–10 %. Хроматографи вищих класів



забезпечують похибки не гірше 0,5–2 %.

Трубки ХГ колонок для рідинної хроматографії найчастіше виготовляються з скла чи нержавіючої сталі. Робота детекторів, як правило, базується на вибіркового поглинанні оптичного випромінювання в різних ділянках спектру, тобто на спектрофотометричному методі.

### ***Методи вимірювань концентрації пилу в повітрі***

Значну частину промислових викидів, що забруднюють атмосферне повітря, складає пил. По діючим в Україні і інших країнах світу нормам вміст пилу в повітрі прийнято оцінювати з допомогою величини  $n_p$ , що називається масовою концентрацією пилу. Вона дорівнює сумарній масі пилових часток, що містяться в одиниці об'єму повітря. Однак  $n_p$  – це не єдиний показник, що має практичний інтерес. Важливе значення мають і такі характеристики пилу, як хімічний склад, розподіл його часток по розмірах тощо.

Методи вимірювань концентрації пилу в повітрі прийнято поділяти на дві групи – з попереднім осадженням пилу і без попереднього осадження.

Методи, що базуються на попередньому осадженні пилу включають:

- на першому етапі здійснюється виділення (осадження) пилу з повітря, що аналізується. Найчастіше з цією метою використовується метод фільтрації запиленого повітря через фільтр із спеціальної тканини;
- на другому етапі оцінюється кількість осадженого пилу. Для цього застосовуються електричні та неелектричні методів.

Перевагою цих методів є те, що через прилад прокачується досить великий об'єм повітря (декілька кубічних метрів), і виміряне значення  $n_p$  є середнім для цього об'єму.

**Методи без попереднього осадження пилу розділяють на:**

- оптичні, що базуються на явищах поглинання і розсіювання світла частками пилу;
- електростатичні, що базуються на вимірюванні сумарного електричного заряду часток пилу.

Оптичні методи вимірювання базуються на явищах поглинання і розсіювання світла частками пилу, зваженими у повітрі, що аналізується. При використанні цих методів мірою концентрації пилу служить інтенсивність одного з видів випромінювання:

- ослабленого в результаті проходження через шар запиленого повітря;
- розсіяного частками пилу.

Вимірюване випромінювання спрямовується на фотоелемент, де воно перетворюється у електричний сигнал, який після необхідного підсилення надходить до відлікового пристрою. Прилад може ефективно використовуватися тільки для того виду пилу, для якого він був градуїований.

Визначення концентрації пилу електростатичними методами, базується на вимірюванні електричного заряду, що переносять аерозольні частки. Важливою частиною приладу є вимірювальний електрод, який розташовується в потоці повітря, що аналізується. В результаті контакту з частками пилу електрод набуває заряд, розмір якого залежить від сумарної площі поверхні пилових часток.

Більш чуттєвими є прилади другого виду. Електризація порошин в них здійснюється різними способами. Наприклад, здатність пилових часток електризуватися при швидкому русі в потоці, коли повітря прокачується з великою швидкістю через довгий тонкий канал, на виході з якого розташовується вимірювальний електрод.

В даний час найбільше практичне застосування знайшла група методів, що базуються на попередньому осадженні пилу. Для визначення маси осадженого пилу на мережі контролю забруднення атмосфери використовується ваговий метод. Ваговий метод не потребує при вимірюваннях градуїованої характеристики.

### *Електрохімічні методи аналізу речовин*

В основі електрохімічних методів лежить використання електрохімічних перетворювачів (ЕХП). Для більш докладного розгляду їхньої роботи необхідно попередньо ознайомитися з деякими положеннями розділу хімії – електрохімії, які дозволяють описати зв'язок між електричними параметрами комірки ЕХП і величинами, що характеризують її стан.

Для заповнення комірки ЕХП використовуються винятково електропровідні розчини, називані іноді провідниками II роду. Речовини, що утворюють такі розчини, називаються електролітами. Функції розчинника у ЕХП звичайно виконує вода. Можуть використовуватися також інші

розчинники, наприклад, етанол, етиленгліколь, діметілформамід і ін.

Електроліти, що дисоціюють у розчинах не цілком, називаються слабкими. Електроліти, що практично цілком дисоціюють у водяних розчинах, називаються сильними. До сильних електролітів належать більшість солей, гідроксиди лужних і лужно-земельних металів, деякі кислоти ( $\text{HCl}$ ,  $\text{HBr}$ ,  $\text{HI}$ ,  $\text{HCl}_4$ ,  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{SO}_4$  і ін.).

Для опису стану іонів у розчині часто користаються величиною, називаною активністю (моль/л). Вона визначає умовну (ефективну) концентрацію іонів, відповідно до якої вони діють у хімічних процесах.

Для характеристики ступеня кислотності розчину широко використовується водневий показник рН, що описує активність водневих іонів  $\text{H}^+$ . Діапазон зміни рН для водяних розчинів складає 0...14 одиниць. Для неводних розчинів він інший. Наприклад, рН у розчинах на основі аміаку змінюється в межах 0...32,7 одиниць, у мурашиній кислоті рН лежить у межах 0...6,1 одиниць і т.д.

Електроліз є окисно-відновним процесом, при якому напівпроцеси окислювання і відновлення відділені друг від друга в просторі. Їх називають, відповідно, анодним окислюванням і катодним відновленням. Відзначимо, що при електролізі водяних розчинів електролітів у цих процесах, у принципі, можуть брати участь як іони електроліту, так і молекули води.

**Кондуктометричний метод.** Кондуктометричний метод базується на залежності електропровідності розчинів від їхнього складу і концентрації компонентів. Цей метод широко застосовується для вимірювання концентрації солей, основ і кислот у рідких середовищах і розплавах, для вимірювання солоності води, у тому числі, у Світовому океані, для вимірювання концентрації газів по зміні електропровідності розчину при поглинанні ним проби аналізованого газу.

Прилади, що базуються на розглянутому методі, називаються в залежності від об'єкта вимірювання – кондуктометричні концентратоміри, соленомірами, кондуктометричні газоаналізатори тощо.

Кондуктометричні концентратоміри, що випускаються промисловістю, забезпечують вимірювання електричної провідності в рідких середовищах з похибкою (1...5) % при температурах (0...110) °С і тисках до  $10^6$  Па.

При контролі забруднення повітря кондуктометричні

газоаналізатори застосовуються для вимірювань малих концентрацій широкого класу газів ( $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{NH}_3$  і ін.). При цьому похибка вимірювань не перевищує 5 %.

Відмінною рисою безконтактних КП є відсутність безпосереднього контакту вимірювальних електродів з розчином, що аналізується. Це дозволяє при вимірюваннях виключити вплив явища поляризації й інших небажаних видів взаємодії електродів і розчину.

**Потенціометричний метод.** При використанні потенціометричного методу електрохімічна комірка працює в режимі гальванічного елементу. ЕРС, що вироблюється таким елементом, залежить від концентрації відповідних іонів в аналізованому розчині.

При використанні методу граничного потенціалу електрохімічна комірка складається з двох частин (камер): вимірювальної і порівняльної. Вимірювальна камера заповнюється розчином, що аналізується, порівняльна – спеціальним розчином відомої концентрації. Камери розділені іонообмінною мембраною.

Більш широке застосування одержав метод електродних потенціалів, що базується на застосуванні гальванічних перетворювачів (ГП). Цей метод знайшов широке застосування для вимірювань активності водневих іонів  $\text{H}^+$ . Прилади, призначені для цієї мети, називаються рН-метрами

**Амперометричний метод** базується на вимірюванні сили струму, що протікає через комірку при електролізі речовини, що аналізується, чи речовини, що реагує з детектуємим компонентом.

Амперометричний метод досить широко використовується при побудові газоаналізаторів. У них досліджувану газову суміш (наприклад, атмосферне повітря) пропускають через електрохімічну комірку, заповнену спеціальним розчином. У результаті реакції компоненту газової суміші з цим розчином утворюються іони, що беруть участь в електролізі і визначають силу струму через електрохімічну комірку.

Різновидом амперометричного методу є полярографічний. Його найважливішою особливістю є застосування електрохімічної комірки зі спеціальною системою електродів, що забезпечує можливість одночасно проводити якісний і кількісний аналіз багатоконпонентних розчинів.

Полярографічний метод дозволяє одночасно виконати як якісний, так і кількісний аналіз досліджуваної речовини. Концентрації компонентів оцінюються по висоті відповідних сходинок полярограми.

Для відтворюваності результатів полярографічних вимірювань необхідно, щоб робочий електрод мав однорідну і безупинно обновлювану поверхню, і процес дифузії іонів до електрода мав стаціонарний характер.

### **Методи оцінювання і аналізу стану довкілля**

Як було зазначено у першому розділі, однією з головних складових моніторингу є здійснення оцінювання й аналіз стану довкілля. Здійснення спостережень за станом навколишнього середовища не повинно бути самоціллю – важливим є не стільки збирання інформації, скільки її обробка та використання для прийняття рішень, спрямованих на покращення стану довкілля або підтримці його на заданому рівні у відповідності до концепції сталого розвитку. За таких умов значна роль відводиться всебічному аналізу і коректній обробці екологічної інформації.

Інформація про стан навколишнього середовища є класичним прикладом просторово-розподіленої або, як її ще називають, просторово-орієнтованої інформації. Екологічна інформація характеризує об'єкти, які є розподіленими у просторі: річки, атмосферне повітря, ліси, ґрунти, моря тощо.

Здавна існують математичні методи, які дозволяють аналізувати закономірності процесів та явищ, які змінюються у часі й у просторі. Розглянемо найпоширеніші з них, які використовуються в системі моніторингу довкілля для аналізу і оцінювання різного роду характеристик та показників стану довкілля:

1. Порівняння даних та визначення їх максимуму і мінімуму:
  - порівняння показників стану довкілля з їх ГДК;
  - визначення максимального значення;
  - визначення мінімального значення.
2. Статистична обробка даних:
  - побудова варіаційного ряду;
  - побудова гістограми;
  - ідентифікація закону розподілу;
  - визначення основних статистичних характеристик: середнього арифметичного, середньоквадратичного відхилення, дисперсії, медіани, моди, ексцесу, коефіцієнту асиметрії тощо.
3. Інтерполяція даних:
  - звичайна інтерполяція, тобто знаходження значення функції між

декількома заданими вже відомими;

- апроксимація, тобто ідентифікація параметрів та структури математичної залежності, яка описує заданий набір точок;
- екстраполяція (прогнозування), тобто обчислення значень функції за межами того інтервалу, на якому ця функція будувалась.

#### 4. Згладжування даних.

Порівняння даних та визначення їх максимуму і мінімуму – це досить прості, але найбільш поширені операції обробки даних спостережень. При порівнянні з ГДК слід враховувати різні типи ГДК, наприклад, для води – «господарсько-питне», «комунально-побутове», «рибогосподарське».

Для системи моніторингу регіонального рівня, такий обсяг обробки даних є складним та довготривалим процесом. Тому, його краще автоматизувати з використанням систем управління базами даних (СУБД). На рис. 6.2 наведено приклад форми, яка дозволяє реалізувати описані вище операції під час обробки даних на прикладі моніторингу поверхневих вод.

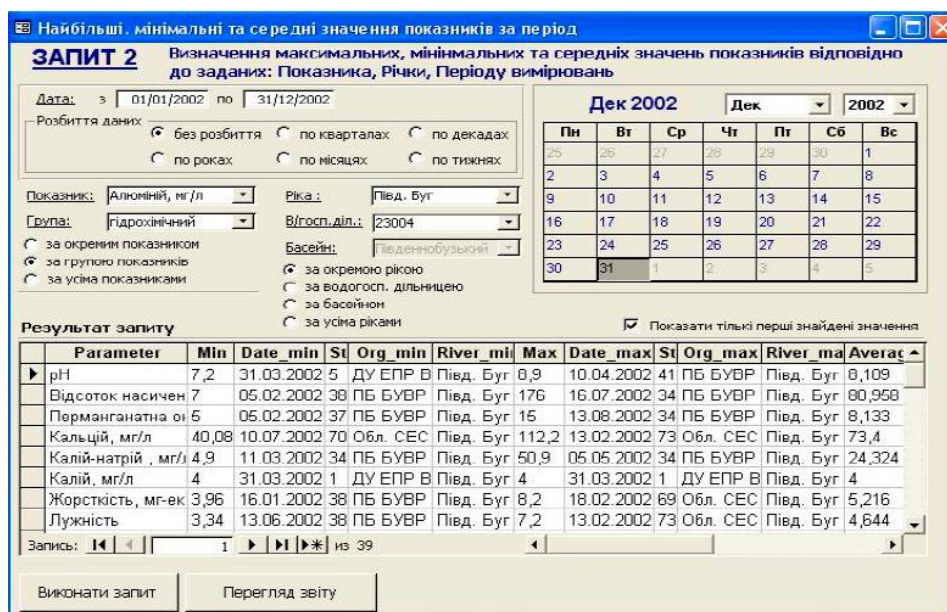


Рисунок 6.2 – Приклад бази даних гідрохімічних показників якості води в р. Південний Буг обласної системи моніторингу поверхневих вод

**Статистичну обробку** даних починають з формування варіаційного ряду за відомими правилами та критеріями. Далі будується графік або гістограма емпіричного закону розподілу значень показника. По ним

формується гіпотези про закон розподілу і за критеріями згоди (Пірсона, Колмогорова) визначається, яка з цих гіпотез є правильною. Далі для визначеного закону розподілу обчислюються параметри функції розподілу та основні статистичні характеристики: математичне очікування (середнє арифметичне), середньоквадратичне відхилення, дисперсія, медіана, мода, ексцес, коефіцієнт асиметрії тощо. Інколи допускається визначати тільки середнє арифметичне значення та середньоквадратичне відхилення.

Найбільш поширені два типи інтерполяції у просторі – одно- та двовимірні, які дозволяють по багатьох точках побудувати криву або поверхню, що може наближено описати залежність певного параметру від однієї чи двох координат.

**Інтерполяція даних** може розглядатись як порівняно простий спосіб розв'язання задач моделювання та прогнозування даних без урахування фізико-хімічної та біологічної природи процесів, характеристики яких розглядаються. Інтерполяція може проводитись багатьма методами:

- лінійна інтерполяція;
- поліноміальна інтерполяція;
- сплайн-інтерполяція.

**Екстраполяція**, тобто прогнозування значень функції за межами того інтервалу, на якому ця функція будувалась реалізується, як правило, у такій послідовності:

- для заданого набору даних розв'язується задача апроксимації та ідентифікується математична залежність  $y = f(x)$ ;
- в цю математичну залежність підставляється значення аргументу  $X_{\text{прогн}}$ , яке слід спрогнозувати, і проводиться відповідний розрахунок.

$$Y_{\text{прогн}} = f(x_{\text{прогн}}) \quad (6.4)$$

При цьому, варто знати, що специфіка методу найменших квадратів, який часто використовується на етапі апроксимації залежності  $f(x)$ , не дає права розв'язувати за її допомогою задачу екстраполяції – цей метод призначений тільки для використання на фіксованому інтервалі даних. В цьому легко пересвідчитись, якщо апроксимувати параболою перший напівперіод синусоїди, а потім по ній спрогнозувати наступні точки – зрозуміло, що похибка прогнозу буде недопустимою.

Згладжування даних зводиться до побудови кривої, яка має якомога меншу кривизну, відтворюючи тренд функції. Простіше кажучи, згладжування здійснює зменшення «піків» та «провалів» заданого

випадкового процесу. Є багато методів згладжування. Наприклад, в обчислювальному пакеті Mathcad Professional для цього використовується функція  $loess(X, Y, \beta)$ , основана на використанні параболічного сплайну, де  $X$  – вектор-стовпець заданого набору значень,  $Y$  – вектор-стовпець ординат,  $\beta$  – ступінь згладжування (варто вказувати лише від 0,05 до 0,5) (рис. 6.3).

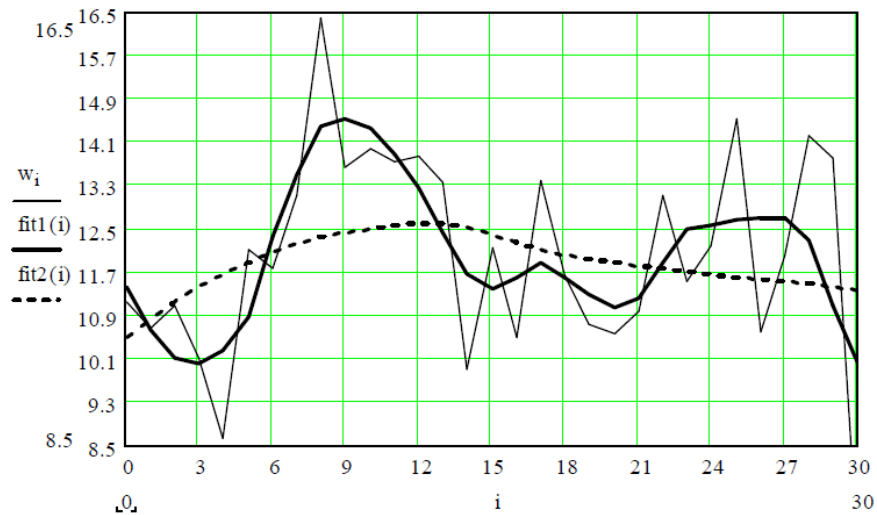


Рисунок 6.3 – Приклад згладжування значень спостережень в пакеті Mathcad Professional функцією **loess** з параметрами  $\beta_1 = 0,1$  та  $\beta_2 = 0,35$

Для реалізації широкого кола методів математичної обробки даних існують спеціальні математичні пакети: Matlab, Scilab, Maple, Mathcad, Mathematica, Statistica, SPSS та інші. Головним недоліком усіх цих пакетів є складність представлення вхідних даних у неприродному для них форматі. Вхідні дані треба перетворювати до спеціального формату та вигляду, який сприйматиметься тим чи іншим пакетом програм.

Як було зазначено вище, для екологічної інформації характерним є її просторова (географічна) прив'язка. Отже, більш прогресивним є застосування обчислювальних методів саме у пакетах програм для роботи з геоінформаційними системами (ГІС-пакетах).

### **Методи прогнозування стану довкілля**

Для здійснення прогнозування змін стану навколишнього середовища необхідно мати дані як про його сучасний і минулий стани та можливі реакції природних екосистем на техногенні впливи, так і майбутні техногенні впливи на даній території.



Під прогнозуванням антропогенних впливів і змін стану довкілля мають на увазі процес, одержання імовірнісних суджень про характер і параметри явищ і впливів, що розглядаються, у майбутньому. Прогнозна оцінка антропогенних впливів передбачає зіставлення прогнозованих параметрів, якими характеризуються ці впливи, з науково-обґрунтованими прийнятними значеннями.

Щодо прогнозування стану навколишнього середовища, то серед великої кількості методів варто відзначити три найбільш поширених:

- метод екстраполяції;
- метод експертних оцінок;
- метод математичного моделювання.

**1. Метод екстраполяції** оснований на припущенні про збереження в часі існуючих тенденцій розвитку основних процесів і припускає можливість поширення висновків, отриманих при спостереженнях над однією частиною явища, на інші його частини або поширення тенденцій, визначених в минулому, на майбутнє. При цьому, період спостережень має бути в декілька раз більшим за прогнозований період. Для екстраполяції можна використовувати математичні методи, зокрема, метод найменших квадратів. Найпростішим у застосуванні є метод графічної екстраполяції, який для підвищення точності прогнозування може поєднуватись з методом найменших квадратів та регресійним аналізом.

Суть графічного методу екстраполяції полягає у зображенні на графіку даних, які характеризують процес у минулому (наприклад, про чисельність популяції), з наступним подовженням отриманої кривої на прогнозований період. Метод екстраполяції використовують вибірково для короткотермінових прогнозів у випадках рівномірного розвитку процесів протягом значного терміну.

**2. Метод експертних оцінок** відноситься до евристичного прогнозування, серед яких найбільш розвиненим є метод Делфі. В основними елементами методу Делфі є:

- структурування потоків інформації як від експертів, так і до них;
- зворотні інформаційні зв'язки між учасниками;
- анонімність учасників.

Звичайно, ці характеристики можуть надати цілий комплекс переваг порівняно зі звичайним методом групової комунікації обличчям до обличчя. Комунікація всередині групи контролюється керівником вибірки,

який фільтрує матеріал, що не відноситься до теми дослідження. Таким чином запобігається одна з основних проблем групової комунікації – колективне відходження від теми.

Аргументи на користь метода Делфі:

- він є об'єктивним способом прогнозування дуже складних процесів, для яких не існує адекватних формалізованих моделей;
- іноді покладання на інтуїцію є не лише припустимим, але й необхідним, як у випадку складних і нібито непередбачуваних проблем. Але найкраще на користь метода говорить досвід вдалого його використання.

До аргументів проти метода Делфі можна віднести такі:

- залежність отриманого прогнозу від рівня компетентності експертів-учасників;
- чутливість результатів до можливої невизначеності в анкетах;
- труднощі з оцінкою кваліфікації експертів в даній галузі, які беруть участь в дослідженні.

Суть методу полягає у отриманні спеціалізованих експертних оцінок та обробці анкет методами математичної статистики. Опитувальні листи складають з послідовності основних факторів і ефектів впливу, розміщених за певними рангами значимості ( $i_n$ ). Потім, за результатами обробки опитувальних листів, визначається для кожного фактора чи ефекту його "вага". Далі методами математичної статистики визначають математичне очікування  $R$ , дисперсії оцінок експертів по кожній характеристиці, оцінка узгодженості суджень експертів і корекція запропонованих предиктором рангів значимості.

Треба зазначити, що застосування метода Делфі найбільш прийнятне для дослідження якоїсь однієї проблеми, тобто для однофакторного аналізу і прогнозування. Для дослідження багатфакторних процесів рекомендуються більш складні методи, наприклад, застосування даних метода Делфі в якості вихідних даних для побудови математичних моделей. В такий спосіб дослідники намагаються зменшити вплив такої негативної риси метода, як відірване розглядання майбутніх подій. Для врахування того факту, що вірогідність певних подій може збільшуватись або зменшуватись відповідно до здійснення інших подій, було розроблено метод аналізу перехресних впливів, який став логічним розвитком метода Делфі.

**3. Метод математичного моделювання.** Моделювання взагалі – це теоретичне або практичне дослідження об’єкта, в якому безпосередньо вивчається не сам об’єкт пізнання, а допоміжна штучна або природна система, яка знаходиться в деякому об’єктивному відношенні із об’єктом пізнання, здатна його замінити в певному відношенні і яка дає при його дослідженні в кінцевому рахунку інформацію про сам модельований об’єкт. Моделювання ґрунтується на методах теорії подібності. Подібними називаються явища, у яких всі процеси (повна подібність) або найбільш суттєві при даному дослідженні (неповна або локальна подібність) у будь-який момент часу і у будь-якій точці простору відрізняються від відповідних параметрів іншого явища у певне (постійне) число раз, що називають масштабом моделі.

Ознаками подібності й умовами встановлення її при реалізації моделювання обирають чисельно однакові критерії подібності.

Подібність явищ може бути фізичною і математичною. У фізично подібних явищах всі процеси (основні для даного дослідження) мають однакове фізичне походження. У математично подібних явищах процеси мають різне фізичне походження, але описуються однаковими рівняннями. Можливості встановлення подібності при математичному моделюванні виявляють за допомогою теорії подібності, яка ґрунтується на аналізі відповідних рівнянь, а також експериментальною перевіркою.

Найістотніша функція моделі – заміна об’єкта вивчення і виконання нею ролі засобу, інструменту пізнання, який можна застосовувати як до вивчення самого оригіналу, так і до подібних йому. Моделі ділять на такі основні групи:

- математичні – призначені для дослідження явищ на установках, які дозволяють реалізувати математичну подібність;
- геометричні (іноді їх називають макетами) – дають тільки геометричну подібність без відображення суті явищ, які відбуваються;
- фізичні – для дослідження явищ на установках, які зберігають подібність основних фізичних процесів досліджуваного явища.

Найбільш поширені у наукових дослідженнях фізичні та математичні моделі.

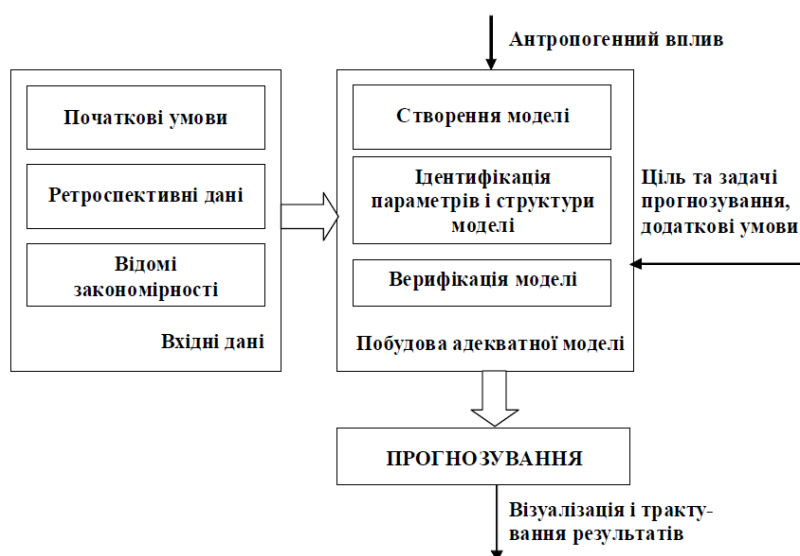
**Фізичне** моделювання дає можливість замінити у процесі дослідження складні об’єкти і процеси більш простими і досліджувати на основі цього замість реальних об’єктів і процесів їх прості замітники. При

цьому вони дають можливість наочно спостерігати за багатьма реальними процесами чи явищами. За допомогою фізичних моделей стає можливим вивчати і прогнозувати вплив окремих параметрів на досліджувані об'єкти.

**Математичні** моделі дозволяють кількісно досліджувати процеси і явища, які важко піддаються вивченню на фізичних моделях. Математичним моделюванням можна передбачити властивості або поведінку досліджуваного об'єкта чи процесу ще до їх створення. При математичному моделюванні виникають похибки трьох видів:

- первинна похибка – через розходження між дійсним значенням фізичної величини в натурі та її розрахунковим значенням, прийнятим для здійснення на моделі;
- вторинна похибка – через неточність відтворення на моделі модельованих величин (розрахункових значень) і похибки вимірювання;
- принципова похибка – через неповне врахування моделлю факторів, що впливають на досліджувані процеси (наприклад, зумовлених наближеним моделюванням).

У загальному випадку прогнозуюча система може мати математичні, логічні й евристичні елементи. На вхід системи надходить наявна на даний час інформація про явище, процес чи об'єкт, а на виході системи отримують інформацію про майбутні параметри явища, процесу чи стану об'єкта, тобто власне прогноз (рис. 6.4). На основі цієї схеми окремо проводиться прогнозування кожного з видів антропогенного впливу, що мають місце. Сумарний вплив враховується при оцінці прогнозних результатів.



#### Рисунок 6.4 – Схема процедури прогнозування стану довкілля

**Першим етапом** при прогнозуванні є збір і аналіз необхідної вихідної інформації, що стосується джерел, факторів і параметрів процесів антропогенного впливу в ретроспективі і в даний час. Значна частина зазначеної вихідної інформації може бути отримана в блоці екологічного моніторингу, де передбачається спостереження за джерелами, факторами антропогенного впливу і власне антропогенним впливом на навколишнє середовище. Частково вихідна інформація для прогнозування виробляється також блоком моніторингу, зв'язаним з оцінкою рівнів антропогенного впливу.

**Другий етап** прогнозування полягає у створенні математичної моделі процесу антропогенного впливу на навколишнє середовище, а також методів ідентифікації її параметрів і структури за вхідними даними. Модель розробляється з урахуванням даних ретроспективного аналізу модельованого процесу антропогенного впливу. При цьому важлива роль належить встановленню емпіричних чи підтвердженню теоретичних закономірностей формування факторів антропогенного впливу.

Необхідно відмітити, що при створенні моделі процесу антропогенного впливу виходять з цілей і задач прогнозування і враховують так званий інтервал попередження (заданий відрізок часу з моменту формування прогнозу до моменту в майбутньому, для якого цей прогноз робиться).

**Третім етапом** прогнозування є проведення необхідних розрахунків і візуалізація їхніх результатів. Результати розрахунків повинні бути представлені у вигляді, зручному для оцінки антропогенного впливу на об'єкти навколишнього середовища.

На заключному **четвертому етапі** прогнозування виробляється оцінка адекватності моделі реальним процесам і вірогідності одержуваної прогнозованої інформації. При цьому можуть використовуватися різні методи.

Оскільки майбутня ситуація, пов'язана з антропогенним впливом, залежить від багатьох факторів стохастичної природи і характеризується невизначеністю, то у такому випадку найбільше підходить метод максимуму правдоподібності. Зазначений метод ґрунтується на імовірнісному підході. Головна ідея методу полягає у визначенні так званої функції правдоподібності. Як правило за таку функцію приймається

умовна щільність імовірності.

Широке застосування в задачах прогнозування знаходить і досить відомий метод найменших квадратів, що є частковим випадком методу максимальної правдоподібності, коли перешкоди і збурення, що накладаються на детерміновану частину прогнозованого процесу, аддитивні і мають нормальний розподіл.

Окрім згаданих вище, застосовуються й інші методи. Наприклад, метод, заснований на визначенні мінімуму максимального відхилення параметрів детермінованої частини моделі від їхніх експериментальних значень та інші.

За результатами прогнозування виробляється оцінка антропогенних впливів. При цій оцінці прогнозовані параметри, що характеризують антропогенні впливи, порівнюються з їх критеріальними значеннями. На основі цього порівняння проводиться відповідний аналіз і формуються висновки про доцільність проведення тих чи інших природоохоронних заходів. У цьому складається головний принцип оцінки антропогенних впливів.

До критеріїв оцінки рівнів антропогенного впливу можуть відноситись гранично допустимі концентрації тих чи інших шкідливих речовин, допустимі рівні забруднення територій, гранично допустимі рівні шумів, електромагнітних випромінювань, теплових потоків, температурного градієнта тощо. Критичні значення параметрів відповідають науково обґрунтованим і прийнятним рівням антропогенних впливів.

## **Автоматизовані системи спостережень і контролю стану довкілля**

### ***Основні поняття автоматики***

Термін «автоматика» походить від грецького слова *automatic* – саморухомий. Автоматика – це по суті інша назва технічної кібернетики. В сучасному розумінні **автоматизація технологічних процесів** – це вищий ступінь механізації, при якому людина повністю виключена з певного технологічного циклу або навіть процесу. Тобто всі енергетичні, технологічні та управлінські функції передано машині, а за людиною залишаються лише функції контролю за роботою машини.

Є принципова різниця між поняттями *автоматична* та

*автоматизована система управління.*

**Автоматична система, або система автоматичного управління,** виконує комплекс дій, від отримання і переробки інформації до прийняття рішень і виконання дій управління. Прикладом таких систем є, наприклад, автопілот або система автоматичної стабілізації заданого курсу літака. Автоматичні системи розділяють на системи автоматичного контролю (САК), автоматичної сигналізації (САС), автоматичного управління (САУ).

Як правило, автоматичні системи проектують і використовують для відносно малих об'єктів: вимірювального пристрою, верстата, ракети, технологічної лінії, тощо. САУ представляють у вигляді структурної схеми (рис. 6.5), яка складається з окремих ланок  $Y_1(s)$ ,  $Y_2(s)$ , чутливого елемента та ланки порівняння.

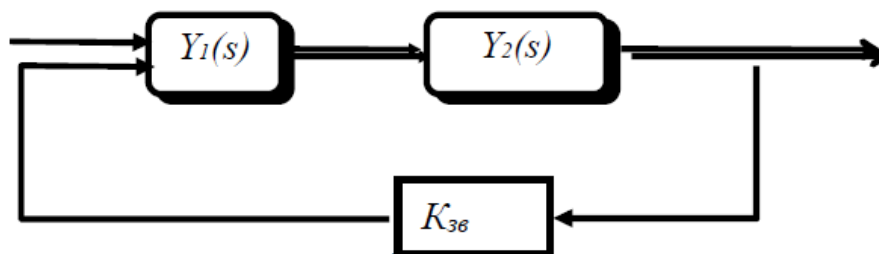


Рисунок 6.5 – Структурна схема типової САУ

Принцип зворотного зв'язку дозволяє отримати більш високу якість управління і широко використовується як у автоматичній (технічній кібернетиці), так і в кібернетиці взагалі. Кожна ланка такої моделі може бути описана диференціальними рівняннями того чи іншого порядку.

В **автоматизованій системі управління (АСУ)** процес прийняття управлінських рішень виконує людина. Прикладом автоматизованої системи є системи радіаційного моніторингу «РОДОС» та «Кільце», в яких повністю автоматично виконуються процеси збору інформації про стан радіаційної обстановки на десятках об'єктів, розташованих на значних територіях різних країн, автоматично виконується обробка цієї інформації але рішення приймають уповноважені особи.

**Автоматизовані системи** проектують для так званих «великих» систем – на рівні цеху, підприємства або навіть регіону чи держави. Для великих систем математичні моделі у вигляді диференціальних рівнянь малоприменні. У випадку великих систем використовують моделі у вигляді графів: транспортна мережа (мережевий граф), або мережа масового

обслуговування.

Таким чином, для великих технічних чи природних систем (економіка або ж екосистеми регіону, країни в цілому), розробляють автоматизовані системи управління (АСУ). На нижньому рівні цих АСУ можуть бути використані системи автоматичного управління (САУ), наприклад, для автоматичного відбору і первинного аналізу проб.

### *Автоматизовані інформаційні системи моніторингу*

Під автоматизованою інформаційною системою (АІС) мається на увазі система з розподіленою організацією збору й обробки інформації. Мета застосування АІС полягає в організації періодичного контролю одного чи ряду параметрів навколишнього середовища, а також обробки, документування й аналізу інформації, що збирається, як у режимі нормального функціонування (при наявності нормальної екологічної ситуації в межах об'єкта, що спостерігається), так і в аварійному режимі (в умовах різкого загострення екологічної обстановки). Оптимальним варіантом роботи в аварійних умовах є підвищення кількості контрольованих параметрів (включення в сферу контролю тих параметрів і характеристик стану навколишнього середовища, що не мали великого значення в нормальних умовах, але мають важливе значення для формування картини оперативної обстановки в кризовій ситуації), а також зниження періодичності проведення контролю цих параметрів.

Як автоматизована система, АІС широкого використовує обчислювальні засоби, програмне забезпечення, засоби зв'язку. Використання АІС у рамках глобальної системи екологічного моніторингу (ГСЕМ) вважається необхідним, оскільки це тільки підвищує продуктивність систем моніторингу довкілля, але й дозволяє формувати системи моніторингу на основі модульного принципу. Це також дає можливість забезпечити більш стійку роботу системи, а також підвищує її гнучкість, тобто можливість її модернізації з метою пристосування державної системи екологічного моніторингу (ДСЕМ) до вимог, що змінюються. Модульність у межах окремої АІС дозволяє підвищити надійності її роботи, а також дозволяє додавати, видаляти або реорганізовувати підсистеми контролю визначених параметрів навколишнього середовища у складі АІС. Інакше кажучи, АІС, як система, оснований на застосуванні інформаційних технологій, значно гнучкіша в



порівнянні зі своїми попередниками – системами моніторингу, заснованими на тандемі «людина – засіб вимірювання».

Немаловажним фактором при застосуванні АІС є також те, що вони можуть виконувати функції моніторингу в умовах, коли присутність людини ускладнена або, навіть, неможлива (наприклад, у складних метеорологічних умовах чи в аварійних ситуаціях, що супроводжуються викидами сильнодіючих отруйних речовин чи радіоактивним забрудненням).

Таким чином, АІС можна визначити як автоматизовану систему збору й обробки інформації, побудовану на модульному принципі і, як наслідок, гнучку і відкритую для будь-якого роду модифікацій, що дозволяють підвищити її ефективність у вирішенні поставлених задач.

Призначення і функції узагальненої АІС у рамках ДСЕМ. У складі ДСЕМ АІС є базовим елементом і призначена для збору, обробки, оперативного і довгострокового збереження інформації, прогнозування стану навколишнього середовища на її основі, а також надання інформації в локальні інформаційні центри, керівництву підприємств і їхніх підрозділів по охороні навколишнього середовища, місцевим органам з охорони навколишнього середовища, іншим користувачам інформації. АІС виконує наступні функції:

- автоматичне вимірювання контрольованих параметрів;
- збір інформації та її первинну обробку;
- контроль відхилення поточних значень зазначених параметрів від їхніх контрольних рівнів;
- відображення інформації та формування оперативної обстановки;
- документування інформації;
- прогнозування змін у навколишньому середовищі;
- передача інформації зацікавленим особам і суміжним системам.

**Перша функція** полягає у вимірюванні контрольованих параметрів на постах автоматичного контролю з використанням стандартних засобів. Збір і збереження отриманої в такий спосіб інформації (**функція 2**) також виконується на місці з застосуванням обчислювальної техніки. Цією технікою може бути або ноутбук або комп'ютер невеликої потужності, наприклад кишеньковий персональний комп'ютер Pocket PC.

**Третя функція** також реалізується безпосередньо на постах контролю при їхній великій кількості і полягає в подачі сигналу тривоги на

центр управління АІС при перевищенні поточного значення якого-небудь з контрольованих параметрів над нормативним. При малій кількості посад контролю ця задача покладається безпосередньо на центральну посаду управління системою. При кожному із зазначених вище підходів до її рішення, на центральній посаді управління, після одержання сигналу тривоги виробляється оповіщення вищестоящої структури, у яку дана АІС входить як підсистема. При критичних значеннях важливих параметрів функціонування АІС переводиться в аварійний режим оператором, або автоматично.

Формування оперативної обстановки, як і всі наступні функції АІС виконується на верхньому рівні системи, у центрі управління нею. Дана функція полягає в обліку інформації, що надходить, і перетворенні її у визначену форму (табличну, графічну, у виді файлу визначеного формату на комп'ютері і т.д.), доступну для аналізу й оцінки ситуації, що складається. Виконання цієї функції припускає також постійне опитування постів контролю з визначеною періодичністю для збору контрольованих на них параметрів.

Документування інформації – процес автоматичного формування обробленої інформації, а також її збереження з метою передачі іншим суміжним системам, проведення статистичного аналізу даних, прогнозування довгострокових змін обстановки (у нормальному режимі функціонування) і оперативних (в аварійному режимі) по контрольованих параметрах.

Прогнозування стану навколишнього середовища далеко не завжди входить у компетенцію АІС, однак у загальному випадку включення його в рамки задач даної АІС бажано, тому що дозволяє домогтися найбільш повної функціональної ефективності системи. Іншими словами, система моніторингу навколишнього середовища працює більш ефективно, якщо АІС, що входять у її склад, виконують усі функції по контролю параметрів стану навколишнього середовища.

Остання функція, обмін інформацією з іншими системами, дозволяє організувати взаємодію АІС з іншими компонентами ДСЕМ. Прикладом реалізації даної функції є, наприклад, передача даних про результати контролю рівня забруднення стоків місцевим органам охорони навколишнього середовища, на підставі чого останні приймають рішення, що дозволяють впливати на підприємство-забруднювач з метою

поліпшення ситуації та ін.

Кожна АІС виконує ряд другорядних функцій, спрямованих на підтримку працездатності і цілісності системи:

- контроль технічних параметрів стану АІС, насамперед пунктів спостереження, що входять до її складу;
- організація заходів щодо фізичного захисту підсистем.

Перша функція припускає автоматичний контроль параметрів мікроклімату, електричних мереж, електромагнітних полів з метою попередження й усунення можливих порушень у роботі основних ланок системи. Друга функція полягає в захисті блоків АІС (насамперед посад контролю, що працюють в автоматичному режимі, без постійної присутності персоналу) від несанкціонованого проникнення сторонніх осіб. Вона реалізується шляхом установки систем фізичного захисту й організації системи сигналізації і реагування.

**Внутрішня структура узагальненої АІС.** Структура АІС базується на принципах ієрархічності і модульності. Принцип ієрархічності полягає в поділі системи на кілька рівнів, причому кожний з цих рівнів виконує принципово інше коло задач, ніж інші. Для АІС визнано найбільш оптимальною дворівнева структура, за якої компоненти нижнього рівня ієрархії виконують задачі, пов'язані з проведенням безпосередніх вимірів визначених параметрів у крапках контролю і накопиченням даних спостережень на постах контролю з метою їх подальшої передачі на центр управління (верхній рівень системи). Центр управління системи виконує функції збору інформації з посад контролю, її обробки, прогнозування стану навколишнього середовища і передачі інформації підсистемам. Для взаємодії постів контролю і центра управління можуть бути використані різні лінії комунікацій (провідна і радіозв'язок, супутниковий зв'язок тощо).

Модульність АІС полягає в поділі кожного рівня на ряд окремих модулів, кожний з яких може виконувати свої задачі навіть у разі виходу з ладу суміжного модуля даного рівня системи. Наприклад, кожен пост контролю може бути як єдиним блоком, так і сукупністю блоків, що виконують функції вимірювань різних параметрів навколишнього середовища в даній крапці. З іншого боку, працездатність кожного модуля – посади контролю – не залежить від працездатності центрального блоку АІС.

За великої кількості постів контролю і великої кількості різних типів постів контролю може бути введений проміжний рівень – станції збору й обробки даних, функції яких полягають в опитуванні визначених постів контролю, упорядкуванні інформації і передачі її в центр управління АІС. З метою підвищення надійності функціонування системи можна також дублювати центр управління, причому, зазвичай, дублерами виступають саме станції збору даних. Структура узагальненої АІС відповідає практично всім розглянутим вище критеріям.

Центральний пост АІС у загальному випадку складається із взаємозалежних компонентів: системи опитування постів контролю, блоки обробки і документування даних, блок аналізу і прогнозу стану навколишнього середовища.

Організація пунктів контролю багато в чому залежить від кількості і типу параметрів навколишнього середовища, які спостерігаються, але в цілому вона складається з чотирьох блоків і схематично показана на рис. 6.6.

Таким чином, АІС за своєю структурою – дворівнева система з розподілом основних задач між функціональними блоками збору, передачі й обробки даних.

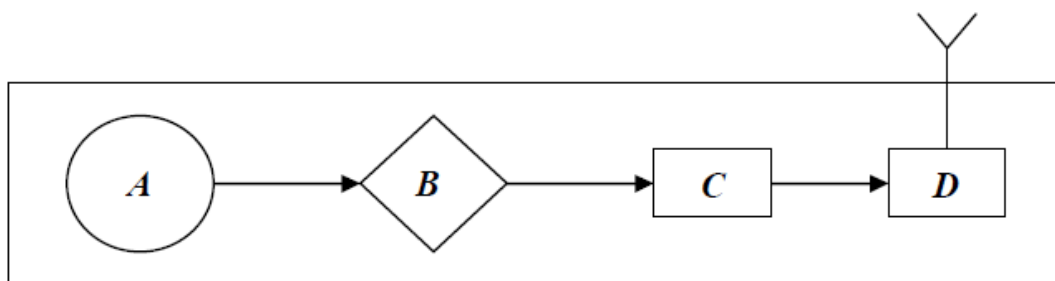


Рисунок 6.6 – Схема типового поста контролю, призначеного для вимірювань одного параметра навколишнього середовища  
А – засіб вимірювань; В – перетворювач (найчастіше – мікропроцесорний контролер); С – пристрій кодування цифрових даних для передачі їх у центр управління системи (найчастіше – модем для провідних ліній, радіомодем – для радіозв’язку), D – пристрій передачі даних

Ключовим підрозділом державної екологічної інспекції Мінприроди України є відділ аналітичного контролю. Саме в його функції входить проведення відбору проб та вимірювання параметрів стану води, газів та

грунту; складання актів та протоколів виконаних вимірювань; накопичення та зберігання отриманої інформації; аналіз та узагальнення результатів вимірювань за багатьма критеріями; передача інформації до відповідних держуправлінь екології та природних ресурсів для опрацювання, накладання штрафів та прийняття інших рішень тощо. Регіональні держекоінспекції регулярно звітують в головну Держекоінспекцію Мінприроди України для узагальнення даних та контролю якості власної роботи. При цьому, той факт, що головний аналітичний підрозділ Держекоінспекції розташований у Києві, а регіональні лабораторії та служби контролю – в регіонах накладає обмеження на своєчасність отримання різного роду узагальненої по Україні інформації та на оперативність прийняття управлінських рішень на її основі.

Автоматизована система контролю (АСК) «ЕкоІнспектор» представляє собою комплекс комп'ютерних програм для смартфона (для реєстрації інформації з відбору проб і вимірювань, що виконуються безпосередньо на місці. АСК «ЕкоІнспектор» забезпечує автоматизацію діяльності екоінспекторів як на регіональному, так і на загальнодержавному рівнях (рис. 6.7).

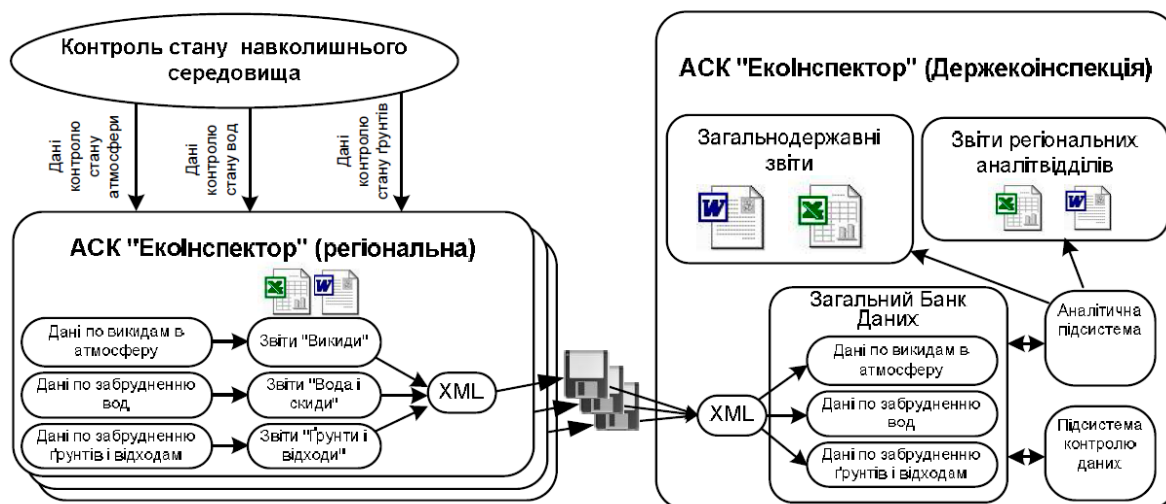


Рисунок 6.7 – Структура взаємодії регіональних та Державної екоінспекції

Основою системи є комплекс підсистем для обробки даних одного аналітичного відділу екоінспекції чи-то регіонального, чи-то загальнодержавного рівня. Програмне забезпечення загальнодержавного ж рівня додатково має комплекс підсистем для імпорту даних з усіх аналітичних відділів в єдиний банк даних, а також для їх обробки і

формування різного роду звітів.

Обробка даних аналітичного відділу екоінспекції. Комплекс підсистем для обробки даних аналітичного відділу екоінспекції складається з чотирьох підсистем:

- підсистема «Викиди», призначена для накопичення, оброблення та аналізування даних про викиди стаціонарних джерел забруднення (ДЗ) атмосферного повітря;

- підсистема «Ґрунти та відходи», призначена для накопичення, оброблення та аналізування даних про відходи ДЗ та стан забруднення ґрунту;

- підсистема «Вода та скиди», призначена для накопичення, оброблення та аналізування даних про скиди стічних вод та стан природних вод, головним чином, поверхневих;

- підсистема реєстрації інформації з відбору проб у викидах і вимірювань, що виконуються безпосередньо на місці проведення контролю.

Перші три підсистеми реалізовані на звичайному персональному комп'ютері (ПК), четверта має реалізацію і для звичайного ПК, і для кишенькового.

Кишеньковий ПК, який пропонується використовувати для вимірювань прямо «на трубі», у порівнянні зі звичайним, має переваги у вартості та його транспортуванні, що обумовлено, головним чином, малими габаритами пристрою (розміром з долонь людини). Однак, ця перевага одночасно є й недоліком – малі габарити екрану ускладнюють введення та редагування великих за розміром (наприклад, формату А3) форм. Тому, розроблена версія і для ноутбука, тобто переносного звичайного ПК.

Підсистеми «Викиди», «Ґрунти та відходи», «Вода та скиди» мають єдиний інтерфейс, основний алгоритм роботи та програмні модулі, які забезпечують загальну обробку інформації, її збереження та передавання. Вони можуть працювати на одному комп'ютері, хоча для зручності роботи трьох різних секторів аналітичних відділів екоінспекцій краще використовувати три окремих ПК.

Інтерфейс підсистем формувався, виходячи з таких вимог:

- максимальна відповідність структурі даних та алгоритму, до якого звикли екоінспектори «в ручному режимі»;

- мінімум рутинних операцій;
- максимальна захищеність від помилок при введенні даних.

Загалом, алгоритм роботи з системою в усіх трьох підсистемах проводиться в сім етапів:

**Етап 1.** Відбір проб. Проводиться відбір проб – для води і ґрунту «в ручному режимі», а для викидів – з використанням системи реєстрації даних на місці контролю (рис. 6.8).

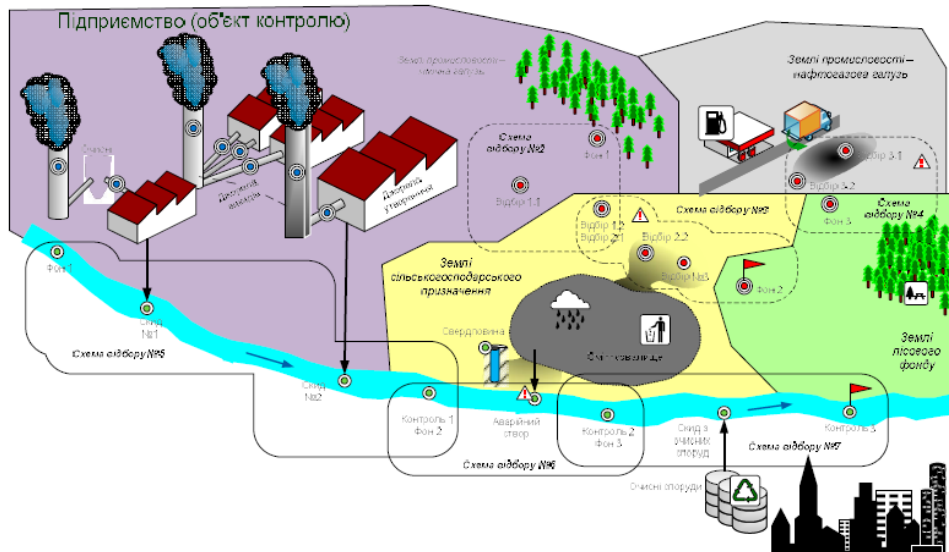


Рис. 6.8 – Основні типові схеми відбору проб під час екоінспекційного контролю стану забруднення довкілля

**Етап 2.** Формування акту відбору проб. Результатом відбору проб є заповнений Акт відбору проб (тут і далі ключові об'єкти моделі класів даних системи наводяться з великої літери); через особливості роботи екоінспекторів на підприємствах та вимоги законодавства тільки бланк Акта готується автоматично, а дані спостережень заносяться вручну.

**Етап 3.** Занесення даних Акта в комп'ютер.

**Етап 5.** Проведення вимірювань у пробах. За встановленим переліком показників якості (води, ґрунту чи газів) за затвердженими Мінприроди України методиками виконання вимірювань (МВВ) проводиться дослідження відібраних проб.

**Етап 5.** Формування Протоколу виконаних вимірювань. За результатами обстеження автоматично формується Протокол виконаних вимірювань.

**Етап 6.** Ведення Журналів вимірювань. За результатами обстеження





та об'ємної витрати при відборі проб речовин у вигляді суспендованих твердих частинок, що виконуються безпосередньо на місці проведення контролю і мають за мету розрахунок схеми проведення відбору проб у трубі;

- редагування довільних розрахункових співвідношень методик виконання вимірювань;
- виконання математичної обробки градуювальних характеристик;
- реєстрацію та накопичення інформації у базі даних;
- автоматичне формування акту відібраних проб та протоколу виконаних вимірювань за встановленими формами;
- аналіз та узагальнення результатів вимірювань за багатьма критеріями у табличному та графічному вигляді;
- зберігання інформації для Держекоінспекції та відповідних обласних держуправлінь екології та природних ресурсів на дискеті або у файлі для електронної пошти;
- представлення аналітичної інформації на загальнодержавному рівні у вигляді тематичних карт за допомогою геоінформаційних технологій;
- захист інформації.

### **Забезпечення наукової підтримки управлінських рішень за даними моніторингових досліджень**

Екологічне управління є специфічною галуззю державного управління і визначається як діяльність державних органів і об'єктів економічної діяльності, що спрямована на розробку і реалізацію цілей, проектів та програм екологічної політики з метою дотримання обов'язкових вимог природоохоронного законодавства. Така діяльність полягає у здійсненні функцій управління об'єктами і процесами, які впливають як на об'єкти навколишнього природного середовища, так і на економічну діяльність суспільства. Екологічне управління – це міждисциплінарна область, яка поєднує в собі сучасні науково-технічні досягнення, технології менеджменту, набутий людством позитивний та негативний досвід. Процес прийняття управлінських рішень відноситься до системно-орієнтованих процедур і може бути умовно зображений у вигляді багатокрокового алгоритму (рис. 6.10).

Управління у галузі охорони навколишнього природного середовища

визначається екологічним законодавством України як: «...здійснення функцій спостереження, дослідження, екологічної експертизи, контролю, прогнозування, програмування, інформування та іншої виконавчо-розпорядчої діяльності». Метою екологічного управління є реалізація законодавства, контроль за дотриманням вимог екологічної безпеки, забезпечення проведення ефективних і комплексних природоохоронних заходів, раціональне використання природних ресурсів, досягнення узгодженості дій державних і громадських органів.

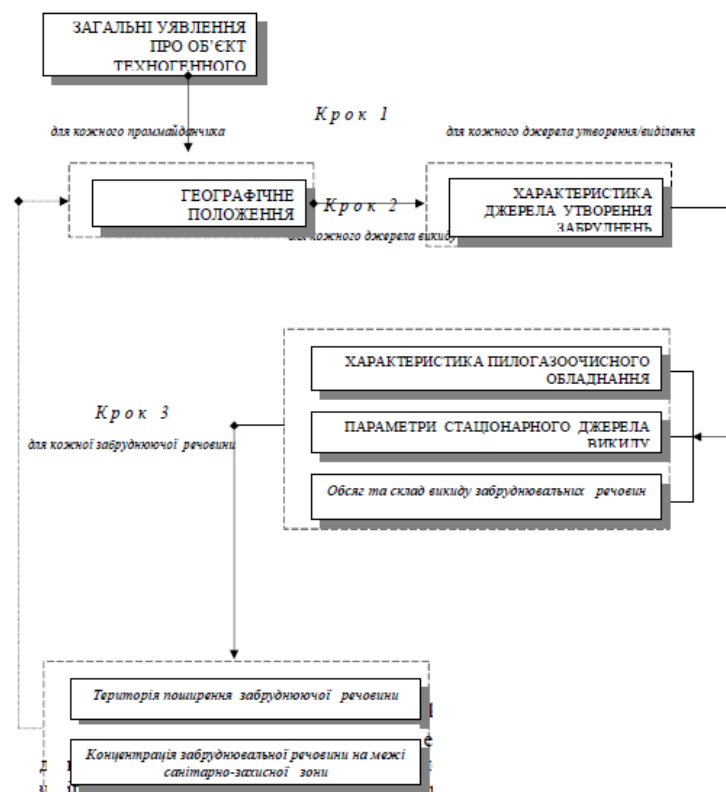


Рисунок 6.10 – Алгоритм процесу прийняття управлінських рішень

Екологічне управління є системним як за своєю суттю, так і за об'єктами управління – природно-територіальними комплексами та екологічними ПО).

Екологічне управління за своїми завданнями можна поділити на декілька областей:

- вирішення питань управління якістю повітряного басейну (ПО «ВИКИДИ»);
- вирішення завдань управління охорони водних ресурсів та водокористуванням (ПО «СКИДИ»);
- вирішення завдань поводження з промисловими і побутовими

відходами (ПО «ВІДХОДИ»);

- вирішення питань управління об'єктами природно-заповідного фонду, рослинного та тваринного світу (ПО «БІОРИЗНОМАНІТТЯ»);

- забезпечення екологічної безпеки від дії фізичних, хімічних, біологічних та ін. небезпечних для довкілля факторів (ПО «ЕКОБЕЗПЕКА»).

Ефективність прийняття управлінських рішень багато в чому визначається можливостями інформаційного забезпечення або інформаційної підтримки таких рішень. Організації інформаційного забезпечення екологічного управління на поточний момент притаманні такі особливості:

- понятійно-термінологічний апарат і основи національного нормативно-правового регулювання інформаційного забезпечення екологічного управління знаходяться на стадії формування;

- невизначеність обсягу інформаційних ресурсів, які відносяться до стану навколишнього природного середовища, рівня його забруднення, потенційних надзвичайних екологічних ситуацій природного та техногенного характеру і якими повинна оперувати відповідальна особа при прийнятті управлінських рішень;

- складності взаємоузгодження при прийнятті управлінських рішень з іншими галузями адміністративного управління територіями (економічного, соціального, демографічного, культурного тощо) в динамічному ринковому середовищі;

- обмеження доступу до джерел інформації внаслідок необхідності збереження державної, військової, службової, комерційної, податкової таємниць;

- проблемність визначення і забезпечення відповідальності за прийняті рішення, у т. ч. при можливих судових розглядах за позовами юридичних і фізичних осіб, держави.

Визначення «екологічної інформації» включає в себе не тільки будь-яку інформацію у письмовій, аудіовізуальній, електронній чи іншій формі стосовно стану елементів навколишнього середовища (повітря, вода, ґрунти, ландшафти і т. ін.) та їх взаємодії, але й впливу фізичних факторів (енергія, шум, випромінювання) на стан здоров'я, безпеку та умови проживання людей, стан об'єктів культури, будівель і споруд та діяльність чи заходи, які впливають або можуть впливати на стан та об'єкти

навколишнього природного середовища.

Аналіз функціональних задач щодо екологічного управління показує, що інформаційні ресурси можна розділити на три групи:

1. Об'єкти економічної діяльності як джерела негативного впливу на стан довкілля;

2. Стаціонарні та пересувні джерела забруднення атмосфери;

3. Концентрації забруднювальних речовин, що створюється джерелами забруднень в атмосфері, гідросфері та літосфері (включаючи ґрунти). Основними джерелами інформації можна вважати:

– державну статистичну звітність, форми («Звіт про екологічні збори, плату за природні ресурси та поточні витрати на охорону природи»/№1- екологічні витрати» Звіт про охорону атмосферного повітря», № 2-тп (повітря, вода); «Звіт про автотранспорт», №1-тр. тощо).

– експертна інформація (матеріали актів перевірок виконання природоохоронного законодавства).

Основними користувачами інформації та результатів її аналітичної обробки є органи місцевої державної влади, підрозділи органів центральної державної влади на місцях (Мінприроди – відділи екологічного моніторингу, охорони атмосферного повітря, екологічної експертизи; економіки природокористування; санітарно-епідеміологічного нагляду МОЗ – відділи комунальної та промислової гігієни; Держгідрометкому – відділи екологічного моніторингу та охорони атмосферного повітря) та громадськість.

Процес прийняття управлінських рішень в екології вимагає опрацювання значних масивів еколого-технічних, соціально-демографічних, фінансово-економічних та інших інформаційних ресурсів. Чим оперативніше і повніше будуть опрацьовані вказані інформаційні ресурси (за інших рівних умов), тим якісніше і ефективніше буде результат управління. Таким чином від ефективної інформаційної технології залежить правильність рішень та ефективність управлінських рішень.

Традиційні інформаційні технології зорієнтовані переважно ефективну обробку інформаційних ресурсів за логікою бізнес-процесів і дозволяють опрацьовувати тільки структуровані і формалізовані дані. Як правило, такі дані з метою технологічної зручності опрацювання організовують в бази даних. На жаль, подібні інформаційні технології не відповідають всім вимогам щодо опрацювання інформаційних ресурсів

екологічного управління. Так, наприклад, технології управління системами баз даних (СУБД) не задовольняють сучасним вимогам щодо обробки просторово-координованих даних, якими за своїм походженням та властивостями є більшість екологічних даних.

Просторово-координовані дані – це вид інформаційних ресурсів, що містить у своєму складі визначник, який вказує відношення інформації до конкретної ділянки простору. Прикладом такого виду інформаційних ресурсів стосовно земної поверхні є:

- топографо-картографічні дані (карти, плани, схеми, кадастри);
- дані, отримані засобами дистанційного зондування, у т.ч. за допомогою штучних супутників Землі (аерофотознімки, ортофотоплани тощо);
- дані, отримані геодезичним обладнанням з використанням засобів глобальної системи позиціонування (GPS).

В останні роки просторово-координовані дані стали широко застосовуватись різними галузями народного господарства (використання природних ресурсів, землекористування, реагування при надзвичайних ситуаціях, комунальні послуги та транспорт, водне, лісове та сільське господарство і т.д.). Використання просторово-координованих даних дозволило значно збільшити ефективність систем прийняття рішень.

Інформаційні технології, які створені для обробки просторово-координованих даних, дозволяють створювати, модифікувати, маніпулювати і відображати просторово-координовані разом з семантичними даними, моделювати і аналізувати просторові процеси та явища об'єднують під загальним терміном «геоінформаційні технології». Прикладні інформаційні та автоматизовані системи побудовані з їх застосуванням – геоінформаційними системами, або ГІС.

Відповідно до процесно-орієнтованого підходу говорять про п'ять рівнів або підсистем, за допомогою яких можна автоматизувати основні процеси обробки просторово-координованих даних (рис. 6.11).

На рівні першої підсистеми вирішується комплекс організаційних і технічних завдань, пов'язаних зі збором вихідної інформації, яка в наступній підсистемі, пройшовши попередню обробку та перевірку на достовірність, буде передана в підсистему управління даними.

В даній підсистемі інформація буде введена, доповнена чи модифікована та збережена. На цьому рівні також можливе виконання

первинного аналізу систематизованої інформації – узагальнення, формування повідомлень на запити, пошук і т.д. Четвертий рівень, призначений для виконання складних маніпулювань даними, і дозволяє забезпечити побудову і дослідження математико-географічних, аналітичних, стохастичних та інших моделей об'єктів та явищ, призначених для формування і аналізу управлінських альтернатив, їх оцінки за певними критеріями та ін. І нарешті, остання підсистема забезпечує представлення результатів обробки інформації у вигляді, зручному для розуміння їх широким колом зацікавлених сторін, у т. ч. громадськості.

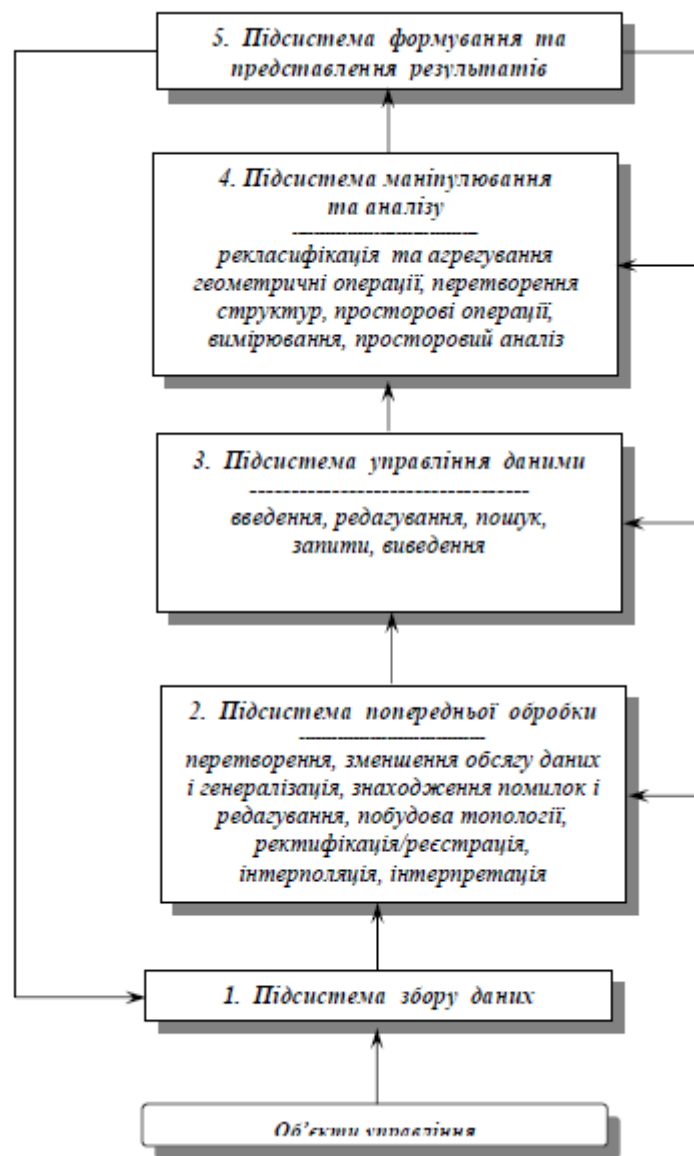


Рисунок 6.11 – Процесно-орієнтовний підхід до ГІС

Геоінформаційні технології є зручною базовою основою для створення прикладних ГІС екологічного управління. В залежності від конкретної предметної області екологічного управління вимоги щодо виду, кількості і якості даних, апаратно-системного та програмного забезпечення, можуть значно коливатися, що впливає на вартість ресурсів, які необхідні для створення і впровадження таких ГІС.

Необхідними складовими структурними елементами ГІС для екологічного управління є такі:

1. Просторово-координовані дані:

Базова цифрова топографічна модель території:

- адміністративно-територіальний устрій;
- гідрографія та гідромережа;
- зелені насадження.

Цифрова модель рельєфу території;

Дані про розташування природно-територіальних комплексів:

- типи ландшафтів;
- об'єкти природно-заповідного фонду та пам'ятки природи;

Антропогенне навантаження:

- квартальна промислова та житлова забудови;
- транспортна інфраструктура;
- розташування об'єктів техногенного екологічного ризику;
- розташування об'єктів техногенного екологічного впливу.

2. Семантичні дані:

- Статистичні соціально-демографічні та соціально-медичні дані.
- Характеристики об'єктів та процесів техногенного екологічного ризику.

– Характеристики та параметри джерел утворення та емісії забруднюючих речовин.

– Токсико-гігієнічні та фізико-хімічні характеристики забруднюючих речовин.

3. Спеціальне програмне забезпечення:

- базовий ГІС-пакет;
- система управління базами даних;
- програмно-розрахунковий комплекс моделювання поширення забруднення.

4. Апаратно-технічне та системне програмне забезпечення:

- комп'ютери;
- мережеве обладнання;
- периферійне допоміжне обладнання (сканери, плотери, принтери тощо).

Сучасні підходи та методи створення інформаційних систем, у т.ч. ГІС, розглядають їх проектування як поетапний і структурований процес, що визначається послідовністю вирішення взаємопов'язаних задач, які виконуються під час розробки, впровадження та супроводження інформаційної системи протягом її життєвого циклу. Накопичений досвід проектування ГІС показує, що це логічно складна, трудомістка та тривала за часом робота, яка вимагає високої кваліфікації задіяних в ній спеціалістів і часто та виконується, на інтуїтивному рівні із застосуванням неформалізованих евристичних прийомів, практичному досвіді, експертних оцінках і багато вартісних експериментальних перевірок якості функціонування ГІС.

Практика показує, що як в процесі проектування, так і при експлуатації, потреби користувачів уточнюються або, навіть, можуть змінюватись, що значно ускладнює розробку і супроводження таких систем. Для успішної реалізації проекту по створенню ГІС екологічного управління об'єкт проектування необхідно, перш за все, адекватно описати і побудувати повні та несуперечливі функціональні та інформаційні моделі ГІС.

У зв'язку з відсутністю типових проектних рішень для ГІС у галузі екологічного управління провідна роль належить формалізованому представленню відповідної предметної області (ПО). На цій стадії виконується повний об'єм науково-дослідних робіт, які направлені на вирішення наступних ключових задач:

1. Аналіз існуючих інформаційних технологій та систем.
2. Розробка концептуальної інформаційної моделі ПО.
3. Створення інформаційно-логічної моделі ПО.
4. Розробка геореляційної моделі ПО.

Розглянемо вирішення цих задач на прикладі ГІС екологічного управління ПО «ВИКИДИ».

Аналіз існуючих інформаційних систем та програмних продуктів, рекомендованих до використання Мінекобезпеки України (табл. 6.1) показав, що вони не задовольняють вимогам щодо обробки просторово-



координованих даних, вимогам цілісності та узгодженості системи збереження і обробки інформації. Лише, деякі з них підтримують державний класифікатор політико-адміністративного устрою України («NORMA», «LIMIT») і передбачають можливість сортування і вибірки за територіальною ознакою. Загалом всі рекомендовані програмні продукти призначені для використання в межах окремих автоматизованих робочих місць і забезпечення формування даних на об'єктному рівні. Вони мало придатні для використання в системі державного управління і застосовуються як комерційний програмний продукт для полегшення формування звітів нормативно-технічної документації, інвентаризації викидів стаціонарних джерел («ARMESCO»), проекту гранично-допустимих викидів («EOL»), дозволу та лімітів викидів забруднюючих речовин («NORMA», «LIMIT»).

Таблиця 6.1 – Функціональне призначення комерційних програмних продуктів

<b>Програмний продукт</b>	<b>Функція екологічного управління</b>
«ARMESCO»	інвентаризація джерел викидів
«EOL»	прогнозне моделювання впливу викидів на якість приземного шару
«NORMA»	формування проекту дозволу на викид забруднюючих речовин
«LIMIT»	формування проекту ліміту на викид забруднюючих речовин

ГІС, як і будь-яка інша інформаційна система, має певний життєвий цикл, який складається з наступних етапів: аналіз, проектування, реалізація, впровадження та супроводження. За методологією проектування інформаційних систем під моделлю життєвого циклу (ЖЦ) розуміють структуру, яка визначає послідовність виконання і взаємозв'язку процесів, дій та задач протягом життєвого циклу інформаційної системи. На поточний момент найбільше поширення отримали наступні дві основні моделі ЖЦ: каскадна та спіральна. Основною характеристикою каскадної моделі є поділ всієї розробки на етапи, причому перехід від одного етапу до наступного відбувається тільки після того, як повністю закінчено роботу над поточним. Головним недоліком цього підходу є істотне запізнення з отриманням результатів.

Узгодження отриманих результатів з користувачами виконується тільки в точках закінчення кожного етапу робіт. Вимоги до ГІС є «замороженими» у вигляді технічного завдання на весь час її створення. Тому користувачі мають змогу внести свої зауваження тільки після того, як роботу над системою буде повністю закінчено. У випадку неточного викладення вимог або їх зміни протягом періоду створення ГІС, користувачі отримують систему, яка не відповідає їхнім потребам. Для подолання вказаних проблем було запропоновано спіральну модель ЖЦ. Основною характеристикою спіральної моделі є ітераційний перехід між етапами, на яких технічні рішення перевіряються шляхом створення прототипу. Кожен виток спіралі відповідає створенню фрагменту або варіанту інформаційної системи. На ньому уточнюються цілі і характеристики, визначається його якість і плануються роботи наступного витка. Таким чином поглиблюється і послідовно конкретизуються деталі проекту і, врешті-решт, вибирається обґрунтований варіант, який і доводиться до реалізації.

ГІС підтримки прийняття рішень у галузі екологічного управління є складними інформаційними системами, ЖЦ яких відповідає спіральній моделі. Ця модель робить наголос на початкових етапах ЖЦ: аналізу і проектування. Вони є найважливішими серед всіх етапів створення ГІС, істотно впливаючи на всі наступні. Головне завдання цих етапів – виділити задачі екологічного управління, які потребують інформаційного забезпечення, та, задокументувавши їх, зробити доступними для всіх учасників створення ГІС.

Проблеми, з якими зіштовхуються розробники (експерти-екологи та експерти-програмісти) взаємозалежні, і це є однією з додаткових причин складності створення ГІС:

- експерту-програмісту складно детально опрацювати потік специфічної екологічної інформації в необхідному обсязі для оцінки вимог до системи з погляду експерта - еколога;
- експерт-еколог, у свою чергу, не має достатніх знань щодо технологій опрацювання даних, щоб судити про те, що є здійсненим, а що – ні;
- експерт-програміст зіштовхується з надмірною кількістю докладних відомостей про предметну область і про нову систему;
- специфікація системи через обсяг і технічні терміни часто незрозуміла для експерта-еколога.

Під концептуальною моделлю, розуміють множину знань і уявлень про ПО, які зведено в єдину формалізовану систему. Властивості і взаємозв'язки елементів ПО, які виступають об'єктами екологічного управління відображаються семантично, утворюючи множину концептів (понять) та сукупності відношень, що визначаються на цій множині концептів. Концептуальна модель дозволяє оперувати також гіпотетичними поняттями, які потрібно деталізувати чи відкинути під час роботи над моделлю її уточнення та розвитку. Так, головним об'єктом екологічного управління в концептуальній інформаційній ПО «ВИКИДИ» є територія поширення забруднювальної речовини, джерело емісії та його власник.

Таке представлення дозволяє не тільки описати кількісні ресурсно-екологічні, економічні та соціально-демографічні дані, але і ввести до концептуальної якісну апріорну інформацію основану на знаннях фахівців, а також ту, що міститься в різноманітних науково-технічних джерелах та експертну інформацію, важливість якої зумовлена дефіцитом знань та кількісних даних про об'єкти екологічного управління. Побудова концептуальної моделі проблемного середовища екологічного управління передбачає розгляд двох сторін прояву цілісності природних систем як складних систем: внутрішньої та зовнішньої. Внутрішня – веде до членування системи на окремі компоненти (підсистеми), що виділяються природнім чином та утворюють закриті множини на кожному з розглянутих рівнів. Зовнішня, на противагу внутрішній, розглядає прояв цілісності не через поділ на компоненти, а шляхом сполучення об'єктів в класи. Розглянуті внутрішні та зовнішні сторони прояву цілісності природних систем реалізуються в процедурах відповідно системного та класифікаційного аналізу. При цьому системний аналіз, виступає як універсальний інструмент організації погано структурованих знань дозволяючи враховувати в моделі логічні відношення типу «ціле-частина», а засобами класифікаційного аналізу досліджуються родові відношення типу «рід-вид».

Як приклад можна розглянути регіональну інформаційно-аналітичну геоінформаційну систему попередження надзвичайних екологічних ситуацій техногенного походження – «екоГІС-КИЇВ». Ця система охоплює всі предметні області та напрямки екологічного управління та всі його рівні, від об'єктового до регіонального. Головне призначення системи –

забезпечення державного управління екобезпеки в м. Києві достовірною і повною інформацією щодо джерел та обсягів викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря. Інформаційні ресурси «екоГІС-КИЇВ» використовуються при формуванні регіональної міської та місцевих (районних) екологічних програм щодо оздоровлення повітряного басейну та соціально-економічного розвитку територій. Користувачами вихідних даних та їх аналітичної обробки є також органи санітарно-епідеміологічного нагляду, державні комунальні підприємства («Київзеленбуд», «Київспецтранс», «Плесо»), а також інші зацікавлені державні, наукові, комерційні, установи та організації міста. Передбачається доступ громадських організацій до даних, які знаходяться в системі, про стан навколишнього природного середовища м. Києва в межах їхньої компетенції (рис. 6.12).

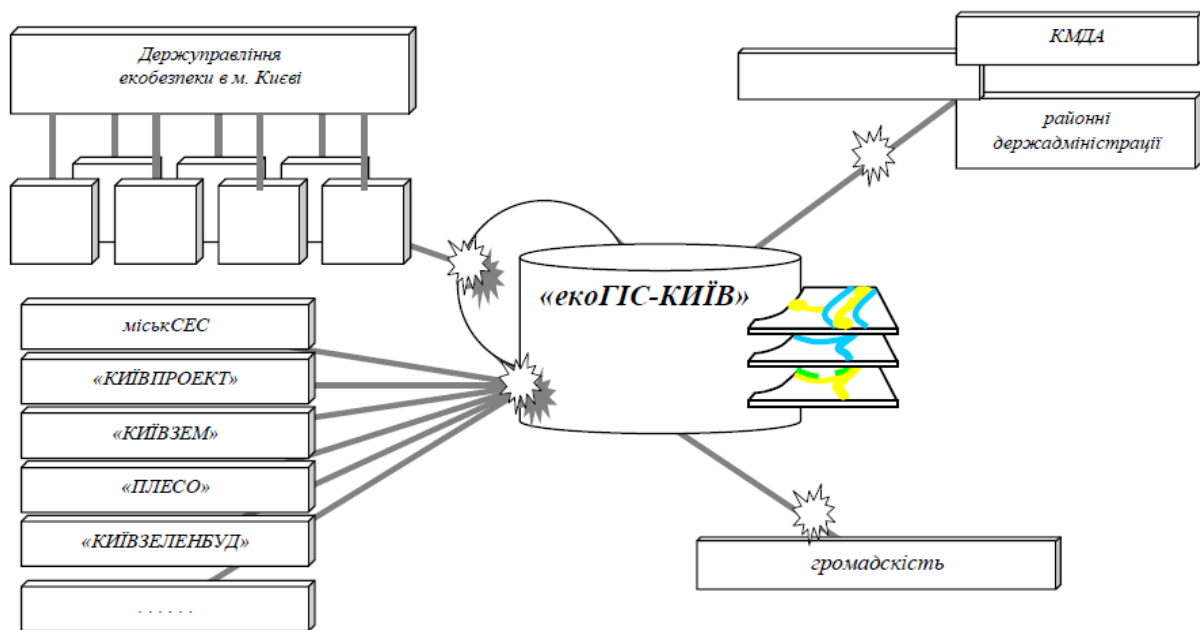


Рисунок 6.12 – Структура інформаційно-аналітичної системи «екоГІС-КИЇВ»

Технічними умовами передбачено, що система «екоГІС-КИЇВ» буде складатися з шести підсистем:

1. «ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ» – охоплює дані щодо екологічних зборів.
2. «АТМОСФЕРА» – охоплює дані щодо викидів забруднюючих речовин.
3. «ВОДНІ РЕСУРСИ» – дані щодо водокористування і скиду

забруднюючих речовин.

4. «ТВЕРДІ ВІДХОДИ» – дані щодо місць утворення, розміщення та видалення твердих побутових та промислових відходів.

5. «ОБ’ЄКТИ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ» – дані кадастр об’єктів природно-заповідного фонду та пам’яток природи.

6. «ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ» – дані спостережень за об’єктами навколишнього природного середовища.

Кожна із вказаних підсистем забезпечує відповідний профільний відділ Держуправління екобезпеки в м. Києві, відділи екологічної експертизи та екологічного моніторингу використовують дані перших п’яти підсистем «екоГІС-КИЇВ». На даний момент в інформаційно-аналітичній системі «екоГІС-КИЇВ» вже розроблено і експлуатуються перші три підсистеми:

«ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ», «АТМОСФЕРА», «ВОДНІ РЕСУРСИ». Розробляються – «ТВЕРДІ ВІДХОДИ» та «ОБ’ЄКТИ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ». Підсистема «ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ» знаходиться на стадії розробки технічних вимог. Підсистема «АТМОСФЕРА» інформаційно-аналітичної системи «екоГІС-КИЇВ» охоплює функціональні задачі предметної області екологічного управління «ВИКИДИ», описаних в першому розділі. Вона складається з двох основних блоків. Блок забезпечення управління викидами від стаціонарних джерел та блок забезпечення управління викидами від пересувних джерел викидів. Передбачається також, що структурні блоки цієї підсистеми будуть інтегровані з блоком моніторингу стану забруднення атмосферного повітря підсистеми «ЕКОЛОГІЧНИЙ МОНІТОРИНГ».

На даний момент до просторових баз даних уведено дані щодо розміщення на території міста більше ніж 700 промислових майданчиків. З них інформацією щодо розміщення джерел, складів та обсягів викидів охоплено приблизно 200, що в загальній сумі складає записів щодо більше ніж 5000 джерел та 16000 викидів відповідно.

Використовуючи моделі, які наведені в другому розділі, фахівцями еколого-медичного науково-виробничого підприємства Екомедсервіс було створено автоматизоване робоче місце (АРМ) – «AIR EMISSIONS ANALYST». До складу АРМу входять еколого-географічні бази даних, програмне забезпечення моделювання розсіювання забруднюючих

речовин, статистичного та просторового аналізу даних та відображення отриманих результатів. Його розроблено на основі стандартного комерційного ГІС- пакету компанії ESRI класу «desktop» – ARCVIEW GIS. АРМ має зручний інтуїтивно-зрозумілий інтерфейс кінцевого користувача для роботи на персональному комп'ютері з операційною системою WINDOWS.

Інформаційний ресурс АРМу складають:

1. Просторово-координовані дані базової цифрової топографічної моделі території м. Києва, яка відповідає топографічній карті масштабу 1:25000; окремі об'єкти базової моделі території такі, наприклад, як проммайданчики, внутрішньо квартална житлова та промислова забудова, об'єкти природно-заповідного фонду та пам'ятки природи та інш., уточнені по топопланам масштабу 1:10000, 1:2000, 1:500. Просторово-координовані дані ;

2. Семантичні дані, організовані у відповідні бази даних:

- «Метеорологічні характеристики».
- «Об'єкти техногенного екологічного ризику».
- «Параметри сегментів вулично-дорожньої мережі».
- «Характеристика пилогазоочисного обладнання».
- «Характеристика джерел утворення/виділення».
- «Характеристика забруднюючих речовин».
- «Параметри стаціонарних джерел викиду».
- «Обсяг та склад викиду забруднюючої речовини».

Модифікація інформації останніх двох баз даних виконується автоматично шляхом імпорту даних з комерційних продуктів та систем затверджених до використання Мінекобезпеки України. Крім вказаних до складу АРМу входять службові довідники (словники) даних:

- «Класифікатор адміністративно-територіального устрою».
- «Класифікатор видів економічної діяльності».
- «Класифікатор правових форм організації та підпорядкування».
- «Класифікатор системних помилок АРМу» та деякі інші.

3. Програмне забезпечення розрахунку концентрацій і моделювання розсіювання забруднюючих речовин в приземному шарі атмосферного повітря. Основу цього програмного забезпечення складає продукт «EOL 2000 Designer» компанії «СОФТ-ФОНД», розрахункові алгоритми якого реалізують «Методику розрахунку концентрацій в атмосферному повітрі

шкідливих речовин, що містяться у викидах підприємств ОНД-86».

Як відомо, найважливіше практичне значення в управлінні якістю атмосферного повітря на об'єктному рівні, зводиться до визначення обсягу емісії забруднюючих речовин, при якому припустимий небезпечний вплив на стан приземного шару зберігався б на рівні не більшому середньодобової гранично-допустимої концентрації для населених місць (ГДК<sub>с.д.</sub>) на відстані, яка не перевищує розмір певної санітарно-захисної зони (СЗЗ).

Для вирішення цього завдання протягом останніх років успішно застосовуються моделі розрахункового визначення рівня приземної концентрації забруднюючих речовин від стаціонарних промислових викидів, які загалом ґрунтуються на методиці «ОНД-86».

### **Контрольні питання**

1. Назвіть основні метрологічні засади організації спостережень за складовими біосфери.
2. Назвіть основні методи і технічні засоби вимірювання параметрів довкілля.
3. Назвіть основні методи оцінки і аналізу стану довкілля.
4. Охарактеризуйте методи аналізу закономірностей процесів та явищ, які змінюються у часі й у просторі. Наведіть приклади.
5. Охарактеризуйте методи та алгоритм прогнозування стану довкілля.
6. Чим відрізняються автоматична та автоматизована системи управління?
7. Які ви знаєте їх види автоматичних і автоматизованих систем контролю стану довкілля?
8. Дайте характеристику узагальненої автоматизованої АІС у рамках глобальної системи екологічного моніторингу: призначення, функції, структура, пости контролю, стан створення в Україні.
9. Охарактеризуйте АІС моніторингу довкілля та автоматичні пости контролю стану довкілля Держгідрометслужби України.
10. Охарактеризуйте єдину автоматизовану систему Держекоінспекції та підрозділів аналітичного контролю територіальних органів Мінприроди України.
11. Де можна отримати результати вимірювань стану забруднення

довкілля, розміри викидів, скидів і відходів, їх накопичення, оброблення та аналіз?

12. Охарактеризуйте автоматизовані інформаційні системи контролю радіаційної обстановки на АЕС України.



## **7 ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ**

Широке використання сучасних інформаційних технологій має вирішальне значення для розвитку економіки, ефективного управління та покращення стану довкілля і умов життєдіяльності людей. Для роботи з даними, які змінюються в просторі і часі, найбільше застосування набули геоінформаційні технології, дистанційне зондування Землі та деякі інші.

### **Основні функції та структура геоінформаційних систем**

Геоінформатика та геоінформаційні системи. Геоінформатика – це наука про інформаційні процеси, що визначають історію, будову і склад як Землі в цілому, так і її окремих оболонок, включаючи літосферу, гідросферу, атмосферу і біосферу.

Вперше термін «геоінформаційні системи» з'явився у другій половині ХХ століття як «географічні інформаційні системи».

З точки зору призначення географічна інформаційна система або геоінформаційна система (ГІС) – це інформаційна система, яка забезпечує збирання, збереження, обробку, доступ, відображення та поширення просторово-орієнтованих даних (просторових даних).

З точки зору програмно-інформаційної реалізації геоінформаційна система (ГІС) – це сукупність електронних карт з умовними позначеннями об'єктів на них, баз даних з інформацією про ці об'єкти та програмного забезпечення для зручної роботи з картами і базами як з єдиним цілим.

ГІС-технологія – це технологічна основа створення геоінформаційних систем, які дозволяють реалізувати функціональні можливості ГІС. Створення і розвиток засобів ГІС-технологій є одним із найважливіших напрямків застосування сучасних досягнень обчислювальної та космічної техніки в різних сферах життєдіяльності людини (господарстві, обороні, охороні довкілля, науці, управлінні тощо). У світі успішно експлуатуються сотні тисяч геоінформаційних систем.

Значна різноманітність прикладних застосувань геопросторової інформації, постійне вдосконалення технічних засобів, розвиток нових технологій, міжнародне співробітництво зі створення глобальних систем дослідження Землі – все це дає підстави стверджувати, що ГІС-технології в найближчий час будуть більш широко використовуватися в екологічній діяльності, зокрема, при організації та експлуатації систем моніторингу

навколишнього природного середовища.

Важливо, що в рамках ГІС досліджується не тільки географічна інформація, а й всі процеси та явища на земній поверхні, в економіці та у суспільстві (рис. 7.1).

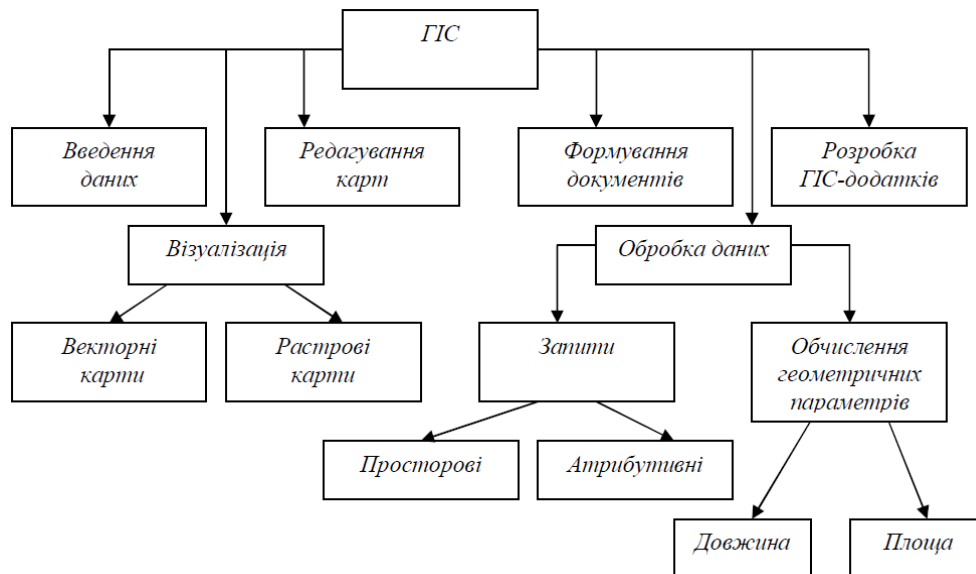


Рисунок 7.1 – Основні функції ГІС

До обов'язкових ознак ГІС відносять:

- просторову (координатну) прив'язку даних;
- відображення просторово-часових зв'язків об'єктів;
- наявність інформації у базах даних про об'єкти карт;
- можливість оперативного оновлення баз даних;
- створення нової інформації шляхом аналізу та синтезу наявних даних;
- забезпечення наукової підтримки прийняття управлінських рішень.

Основою структури ГІС є набір інформаційних шарів. Шар – це сукупність однотипних просторових об'єктів, що їх відносять до однієї теми чи класу об'єктів в межах певної території та позиціонуються у спільній для всіх шарів системі координат. При створенні ГІС велике значення надається вибору базових шарів, які в подальшому будуть використовуватися для суміщення та узгодження всіх даних.

Застосування ГІС-технологій на практиці зустрічається з цілим комплексом проблем.

**1. Вибір програмної оболонки ГІС (ГІС-пакета).** Стандартне

програмне забезпечення ГІС-пакета типу ArcGIS або MapInfo – це досить складний і дорогий продукт, а впевнене оволодіння ним вимагає від студентів досить високого рівня базових технологічних знань та навичок. Тому, для навчального процесу можна використовувати в'юери, наприклад, ArcExplorer фірми ESRI та MS Map з MS Office. Хоча, серед доступних за ціною, найбільш повнофункціональним з усіх відомих нам універсальних ГІС-пакетів є «КАРТА 2005» («Панорама 9»). Привабливим є те, що і ArcExplorer, і MS Map, і «КАРТА 2005» («Панорама 9») є офіційно безкоштовними програмними пакетами (ПП), що є ідеальним для використання у навчальних цілях.

**2. Методичне забезпечення навчального процесу.** Хоча є чимало літератури, яка стосується ГІС-тематики, більшість з цих джерел практично недоступна для широких студентських мас. Основним же джерелом більш-менш доступної інформації є Internet. Головною ж проблемою в оволодінні ГІС-технологією є недостатність електронних карт із відповідним атрибутивним наповненням, які розповсюджуються безкоштовно.

Новітня техніка дозволяє створювати такі нові напрямки в картографії, як цифрове картографування, формування картографічних банків даних про реальний світ тощо. Географічні інформаційні системи та банки картографічних даних і знань стали поштовхом для становлення геоінформаційного картографування.

Основні етапи розв'язання задач екологічного моніторингу з використанням ГІС.

1. Збирання вхідного матеріалу для розв'язання задачі.
2. Вибір чи створення геоінформаційної електронної карти (основи ГІС).

За відсутності готової ГІС, придатної для розв'язання поставленої задачі, потрібно знайти растрове зображення потрібної місцевості та провести його оцифрування і векторизацію. Для цього краще використовувати аерофотознімки високої роздільної здатності.

3. Наповнення електронної карти картографічною та атрибутивною інформацією – адміністративні одиниці (границі областей, районів, лісництв тощо), адреси підприємств та місця розташування інших джерел забруднення, видовий склад рослинного і тваринного світу, пункти спостережень стану довкілля та ін. Інформація заноситься в атрибути

об'єктів карти ГІС. У разі використання зовнішньої бази даних, наприклад електронної бази даних державної звітності 2-ТП «Водгосп» із даними про антропогенне водовикористання, створюється інформаційна єдність цієї бази даних з картою шляхом введення єдиного ключового поля, наприклад «ID». Тобто, в атрибут ID кожного умовного позначення скиду зворотних вод на карті вписується унікальний код ККККК підприємства, якому належить цей скид і інформація про яке є у базі даних під тим же кодом ККККК. У разі встановлення відповідності об'єктів карти рядкам інформації у таблицях бази даних ГІС-забезпечення дозволяє проводити просторовий ГІС-аналіз з урахуванням даних про об'єкти у базі даних.

4. ГІС-аналіз екологічної ситуації – розв'язання задач обробки та аналізу даних з використанням ГІС-забезпечення, часовий та просторовий аналізи, прогнозування розвитку цих процесів, наприклад, оцінювання якості поверхневих вод, можливого впливу джерел забруднень та екстремальних метеорологічних умов на забрудненість атмосферного повітря, аналіз доцільності розташування певних об'єктів, наприклад, дитячих дошкільних закладів, на відповідній території, сільськогосподарських угідь тощо.

5. Візуалізація вхідних даних та результатів розв'язання задачі – використання можливостей ГІС у візуалізації як вхідних даних, так і результатів досліджень: побудова тематичних карт та діаграм, побудова тривимірних статичних та рухомих зображень.

Алгоритм обробки екологічних даних для завантаження в ГІС наведений на рисунку 7.2.



Рисунок 7.2 – Алгоритм обробки екологічних даних для завантаження в ГІС

## *Функціональне призначення ГІС-технологій*

Географічні інформаційні системи – це сучасний інструмент для роботи з інформацією різного роду про просторово розподілені об'єкти в регіоні, державі, континенті чи на Земній кулі. ГІС-технології мають такі можливості:

- дозволяють будувати картографічні зображення просторово розподілених об'єктів із заданими типами зв'язків за інформацією, що характеризує еколого-економічні параметри цих об'єктів і накопичена в базах даних за допомогою тих чи інших методів моніторингу;

- забезпечують широкий спектр інструментів аналізу наявної екологічної інформації, дозволяють відкривати невідомі раніше зв'язки, закономірності, тенденції змін об'єктів і процесів, що досліджуються;

- забезпечують можливості динамічного аналізу і відображення даних, що дозволяють слідкувати за змінами у часі стану просторових об'єктів;

- дозволяють візуалізувати всі види географічної інформації, в тому числі отриманої за допомогою пристроїв дистанційного зондування;

- дозволяють суттєво розширювати свої функціональні можливості під потреби конкретного користувача, шляхом використання вбудованих середовищ програмування і підключення зовнішніх програмних модулів.

Всі сучасні ГІС-платформи вміщують вичерпний набір функцій запитів. Останні дозволяють формувати множину різних об'єктів, в тому числі і просторових, на базі заданих критеріїв, які, в свою чергу, також можуть формуватись в категоріях просторових відношень. Найпростіша форма просторових запитів полягає в отриманні характеристик об'єкта у разі вибору його курсором миші і навпаки, коли на карті відображаються об'єкти із заданими атрибутами, наприклад, назвою.

**Основні види даних.** Розглянемо основні інформаційні структури, які використовуються в ГІС. Це, в першу чергу, просторові дані, які забезпечують формування «цифрових» або «електронних» карт. Вони можуть бути подані в растровій або векторній формі. В основі обох лежать математичні моделі. Растрова або точкова форма задається масивом чисел, які описують параметри кожної точки. Векторний спосіб використовує математичну формулу, за якою кожного разу вираховують всі точки контуру по окремих вузлах. При цьому кожен такий векторний контур розглядається як незалежний об'єкт, який можна переміщати,

масштабувати і взагалі міняти до безкрайності. Векторна форма є економною з точки зору необхідних об'ємів пам'яті, оскільки зберігає не саме зображення, а деякі основні дані, за якими відповідна програма кожен раз його відновлює. Об'єкти векторної форми легко трансформуються, ними нескладно маніпулювати практично без впливу на якість зображення. Вони максимально використовують можливості роздільної здатності будь-яких пристроїв виведення інформації.

Недоліки векторної форми проявляються у тому, що не можна працювати із фотореалістичними зображеннями. Саме цих недоліків позбавлена растрова форма. В ній точкове зображення є не сукупністю окремих об'єктів, а мозаїкою із дрібних сегментів – пікселів, які характеризуються адресою в бітовій карті (таблиці, матриці) і характеристикою кольору, яка кодується цілим числом. Кожен піксель незалежний від інших. Растрова форма дозволяє передавати живописні ефекти: туман, димку, тінь від гір, добиватись тонких ефектів і нюансів кольору, створювати перспективну глибину і різкість, розмитість тощо.

Об'єм пам'яті, необхідної для зберігання зображення в растровій формі, залежить від його площі і роздільної здатності. Тому розміри файлів двох фотокартки одного розміру, на одній з яких зображений сніговий пейзаж, а на другій – липневий ліс – можуть бути однакові. Інший недолік растрової форми полягає в тому, що будь-які трансформації зображення проходять з помилками. Растрова форма краща для створення фотореалістичних зображень з тонкими переходами кольорів, а векторна – для відображення об'єктів з чіткими межами і ясними деталями.

З точки зору пошуку та аналізу просторових даних растрова форма використовується для відображення та аналізу неперервних величин (поля забруднення довкілля різними речовинами, цифрова матриця рельєфу тощо), а векторна форма – для дискретних, які складаються з окремих просторових об'єктів (пости моніторингу, річки, водойми, заповідники, місця викидів, скидів та розташування відходів підприємств тощо).

**Топографічна основа.** У вітчизняній літературі географічна інформація, яка включена до складу ГІС, умовно ділиться на два класи: базова і тематична. До базової належить та, яка, зазвичай, відображається на стандартних топографічних картах відповідного масштабу. Тому до базових, як правило, відносять такі теми (групи шарів):

- математичні елементи, включаючи ті з них, що їх відносять до

планової і висотної основи;

- рельєф суші;
- гідрографія і гідрографічні споруди;
- адміністративний устрій, населені пункти, окремі природні об'єкти;
- промислові, сільськогосподарські і соціально-культурні об'єкти;
- дорожня мережа і дорожні споруди;
- рослинність і ґрунти.

Разом ці теми задають метричну, або як її ще називають, топографічну основу будь-якої електронної карти. Кожна базова тема включає декілька класифікаційних категорій: сегмент; підсегмент; узагальнювальний об'єкт; елемент.

Категорії сегмент і підсегмент мають класифікаційний характер і не мають графічного аналога. За своїм семантичним змістом вони ідентичні відповідним категоріям з топографічного класифікатора. На відміну від останнього, в наведеному вище списку категорій включена додаткова – «узагальнювальний об'єкт». Деякі географічні об'єкти можуть існувати як єдине ціле, мати свою атрибутику і при цьому включають в себе багато більш дрібних об'єктів зі своїми наборами атрибутів. На електронній карті України масштабу 1:500 000, яка розроблена Міжвідомчим центром електронного картографування (м. Харків) і яка містить всі наведені вище базові шари, річка Дніпро представлена 42 різними площинними (водосховища, плеса, розширене основне русло) і лінійними об'єктами (русло рукава, протоки). Кожен з них має свою атрибутику – ширину, швидкість течії, назву тощо. Для підготовки відповідей користувачам електронної карти необхідно застосовувати індивідуальний код узагальнювального об'єкта.

Головною ж проблемою в оволодінні ГІС-технологією є мала кількість безкоштовних електронних карт із відповідним атрибутивним наповненням. Одним із найбільших джерел таких карт є Інтернет-каталог фірми «Дата+». Але найбільше поширення в даний час для навчальних та професійних цілей отримали карти Google Maps – комплекти супутникових і векторних карт з атрибутивним наповненням, рельєфом та інформаційними й фотовідеоматеріалами на всю планету та багато природних і техногенних об'єктів різними мовами (переважно – англійською). Можна просто вказати адресу будинку, і система одразу

покаже цей будинок на відповідній карті міста. Супутникові карти мінімальної роздільної здатності є на всю територію планети. Якщо ж хтось замовляє більш детальну карту, наприклад, на м. Київ чи територію якогось адміністративного району, тоді ця новіша карта через якийсь період (0,5 – 1 рік) стає доступна усім в Інтернеті. Тому на деяких містах на супутникових картах видно розмітку на дорогах, на інших, на яку ніхто ще не замовляв детальну зйомку, – якість набагато гірша.

Для більшості адміністративних областей України та басейнів великих і середніх річок України створено і впроваджено геоінформаційні системи моніторингу довкілля та підтримки прийняття рішень для екологічного управління і контролю та інтегрованого управління водними ресурсами, які містять відповідні шари та дані. Основним масштабом є 1:500 000 та 1:200 000. Для окремих регіонів ГІС моніторингу довкілля створені з використанням більш детальних масштабів: 1:100 000, 1:50 000, 1:10 000 та ін.

Більш детально веб-сайти, де можна переглянути або й переписати векторні та растрові карти ГІС, подані у підрозділі «Рекомендовані інформаційні Інтернет-ресурси».

## **Основи дистанційного зондування Землі**

Існуючі методи спостереження за елементами навколишнього середовища можна розбити на дві великі групи:

- контактні методи спостережень і вимірювань;
- дистанційні методи зондування Землі.

До **першої групи** відносять як безпосередні вимірювання, так і вимірювання параметрів стану навколишнього середовища на основі попереднього відбору проб.

До **другої групи** відносяться різні неконтактні методи вимірювань, в яких використовують прилади, просторово віддалені від об'єктів, що досліджуються. Як правило, прилади дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) ставлять на авіаційних чи космічних носіях, хоча можна використовувати й інші види носіїв. Наприклад, при дослідженні акваторій можливе застосування приладів дистанційного зондування, встановлених на плавучих засобах.

Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ46) – це одержання інформації про різні об'єкти, процеси і явища на поверхні Землі, в її надрах і



атмосфері шляхом реєстрації відбитого або власного електромагнітного випромінювання на відстані за допомогою технічних засобів, які встановлені на повітряних або космічних носіях.

Методи ДЗЗ з космосу мають такі переваги:

- високу оглядовість, можливість одержання одночасної інформації про великі території;
- можливість переходу від дискретних значень показників в окремих пунктах території до неперервного просторового розподілу показників;
- можливість одержання інформації у важкодоступних районах;
- високий ступінь генералізації інформації.

Потенційні переваги методів ДЗЗ найбільш відчутні у сфері глобального моніторингу, де оглядовість матеріалів і генералізація інформації відіграють істотну роль, а також у сфері національного моніторингу держав, що займають великі території. Однак і в сфері регіонального моніторингу, при вирішенні конкретних задач, методи ДЗЗ можуть успішно доповнювати контактні методи вимірювання, а в деяких випадках навіть перевершувати їх за інформативністю.

Відзначимо, що методи ДЗЗ із космосу не можуть повністю замінити традиційні контактні методи спостереження за навколишнім середовищем, а тільки ефективно доповнюють їх. Тому підсистему аерокосмічного моніторингу варто розглядати як відносно самостійний компонент загальної системи моніторингу навколишнього середовища. При розв'язанні більшості задач моніторингу навколишнього середовища найбільш ефективним є комплексне застосування методів ДЗЗ і контактних методів спостереження.

Позиціонування об'єктів довкілля за допомогою Системи Глобального Позиціонування (GPS – Global Positioning System) забезпечує можливість отримання точних координат 24 години на добу. Вона працює під управлінням Міністерства Оборони США і є всепогодною.

У Росії діє аналогічна система супутникової навігації ГЛОНАСС (Глобальна Навігаційна Супутникова Система), принцип роботи якої багато в чому подібний до GPS.

Важливу роль в сучасній системі моніторингу довкілля відіграють приймачі GPS. Саме вони, разом із застосуванням ГІС-технологій та методів ДЗЗ, вивели стан картографування об'єктів довкілля та явищ, які у

ньому відбуваються, на кардинально новий рівень.

Оскільки базовими масштабами електронних карт регіонального моніторингу є 1:100 000 та 1:200 000 з точністю, відповідно, 10 і 20 метрів, то точність координат, яку забезпечують, навіть найдешевші, пристрої GPS на рівні до 10 – 20 м, є дуже зручною, хоча сучасні GPS-пристрої забезпечують, як правило, вищу точність. Пристроями GPS обладнані, наприклад, усі обласні держуправління охорони навколишнього природного середовища Мінприроди. Приклади об'єктів GPS-обстеження в галузі державного довілля: місця розташування джерел забруднення та природокористування, місця розташування постів спостережень тощо.

Чинні в Україні інструкції Мінприроди, МНС та інших міністерств і відомств вимагають обов'язково супроводжувати усю звітну інформацію координатами, отриманими за допомогою приймачів GPS, зокрема для таких об'єктів:

- місця викидів, скидів та відходів джерел забруднення довкілля;
- місця розташування складів відходів різного типу;
- місця стихійних лих та техногенних аварій;
- інші об'єкти екологічного моніторингу.

Сучасні ГІС-пакети (ArcGIS, Mapinfo, Панорама та ін.) мають спеціальні програмні інструменти для автоматизованого нанесення об'єктів на карту заданим умовним позначенням за координатами, що надходять із приймачів GPS, які в свою чергу, мають можливість передавання координат у комп'ютер без дублювання їх вручну.

При використанні GPS-пристроїв слід пам'ятати, що вони, як правило, не забезпечують визначення координат всередині приміщення – їм заважає бетон, метал, навіть густі гілки дерев. Якщо супутники недоступні, GPS-пристрій показує координати місця, де він ті супутники востаннє ідентифікував. Якщо він новий і його щойно дістали з упаковки, він може показати координати місця, де його тестували. Це – одна з найпоширеніших помилок, через яку недосвідчені фахівці підприємств, які активують GPS-пристрій у себе в кабінеті, а не за межами приміщення, часто вказують координати своїх об'єктів десь у Бразилії, Індії, Південній Кореї, тобто – місць, де востаннє запускався та тестувався цей GPS-пристрій.

**Дистанційні методи зондування навколишнього середовища** побудовані на тому, що електромагнітне випромінювання під час

проходження через атмосферу зазнає поглинання та розсіювання. Крім того, теплове випромінювання і розсіювання з інших напрямків вносить свій вклад в випромінювання, що реєструється. Отже, вплив атмосфери на електромагнітне випромінювання, яке несе інформацію про об'єкт навколишнього середовища, має бути обмеженим.

Поширення  $\gamma$ -випромінювання. На інтенсивність  $\gamma$ -випромінювання, яке проходить через атмосферу на систему реєстрації, впливає вологість ґрунту. Збільшення вологості впливає на послаблення цього випромінювання.

Поширення випромінювання видимої та близької інфрачервоної області спектра. У видимому діапазоні основний вклад в ослаблення оптичного випромінювання вносять молекули і аерозолі атмосфери. Основними молекулами атмосфери, які здатні поглинати оптичне випромінювання, є водяна пара, двоокис вуглецю, озон, кисень, оксид вуглецю, метан і оксиди азоту. Особливо багатими на лінії поглинання є асиметричні молекули, такі як  $H_2O$ ,  $O_3$ . Молекули, лінійні за своєю структурою ( $CO_2$ ,  $N_2O$ ,  $NO$ ,  $CO$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ), мають меншу кількість ліній на спектральний інтервал, хоча спектри цих молекул можуть бути складними (наприклад, молекули метану). Слід зауважити, що поглинання відбувається за рахунок переходів між коливальними та оберतालними рівнями.

При відсутності опадів атмосфера містить дисперговані тверді та рідкі частинки (льоду, пилу, ароматичних та органічних речовин, біологічних матеріалів), що мають розміри від декількох молекул до 40 мкм. Такі колоїдні системи, в яких газ містить дисперговані частинки, називаються аерозолями. Під час взаємодії оптичного випромінювання із середовищем, внутрішня структура якого неоднорідна, має місце розсіювання випромінювання.

Характер розсіювання оптичного випромінювання залежить від співвідношення між розмірами частинок середовища, які розсіюють, та довжиною світлової хвилі  $\lambda$ . Звичайно, в атмосфері середньої прозорості розсіювання на аерозолях домінує, якщо довжина оптичного випромінювання перевищує 0,5 мкм.

Збирання, запис і аналіз інформації щодо об'єктів навколишнього середовища на відстані називається дистанційним зондуванням. Методи і техніка дистанційного зондування базуються на реєстрації поглинутої,

відбитої або випромінювальної енергії, яка надає специфічні характеристичні ознаки основним компонентам біосфери. Розглянемо основні типи систем дистанційного зондування.

Реєстрація  $\gamma$ -випромінювання. Метод базується на вимірюванні природного короткохвильового ( $\lambda < 2 \cdot 10^{-10}$  м)  $\gamma$ -випромінювання присутніх в земній корі або в сніжному покриві радіоактивних елементів – природних радіоізоотопів  $^{40}\text{K}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{208}\text{Tl}$ . В звичайному ґрунті 90%  $\gamma$ -випромінювання утворюється в 20-сантиметровому поверхневому шарі.

Фотографічні системи. В основі техніки повітряної фотографії лежить створення зображень земної поверхні з авіаносіїв та супутників на фотоплівці. Звичайно використовують чорно-білі панхроматичні, чорно-білі інфрачервоні, кольорові та кольорові інфрачервоні плівки. Фотографічні системи здатні створювати зображення об'єктів навколишнього середовища з високим рівнем розділення; застосування техніки багатоспектральної фотографії дає можливість отримати додаткову специфічну інформацію, на яку в меншій мірі впливають температура і вологість навколишнього середовища. Фотографічні системи, що встановлюються на літаках, спроможні забезпечити знімки з висоти близько 20 км; розміри площі, яка фотографується, можуть досягати 30×50 км.

Відеографічні системи. Застосування відеокамер дає можливість створювати та записувати зображення в видимій, близькій та середній інфрачервоній областях спектра. Перевагою відеосистем є невисока вартість, створення та накопичення послідовних зображень будь-якого процесу. До недоліків цієї техніки можна віднести невисоке просторове розділення.

Багатоспектральні сканери. Принцип дії цих систем полягає в реєстрації спектрального відбивання об'єктами навколишнього середовища на певних спектральних ділянках видимого та інфрачервоного спектру (0,3 – 4 мкм). Ці ділянки можуть бути або широкими (близько 0,2 мкм), або вузькими (менш ніж 0,01 мкм). Прилади багатоспектрального сканування, що встановлюються на супутниках, дозволяють отримати інформацію з роздільною здатністю близько 10 м, скануючи при цьому території розмірами 60 – 185 км. Перевагою багатоспектральних сканерів є здатність використовувати вузькі спектральні ділянки і отримувати інформацію в цифровій формі.

**Теплові сенсори.** Всі матеріали здатні висилати інфрачервоне випромінювання, яке обумовлено молекулярними коливаннями. Це теплове інфрачервоне випромінювання реєструється за допомогою техніки, схожої на багатоспектральне сканування, але в діапазоні 8 – 14 мкм. Характер зображення при цьому залежить від температури об'єкта та його випромінювальної здатності. Теплові сенсори, які встановлюються на авіаносіях, що зондують об'єкти на невеликих висотах, забезпечують високу роздільну здатність (близько метра); тоді як на супутниках теплові сенсори розділяють простори розмірами 700 – 900 м. Сучасні прилади теплового зондування спроможні реєструвати різницю температур близько 0,4 К. До недоліків слід віднести вплив метеорологічних умов на результати вимірювань; зондуванню ґрунту підлягає лише шар товщиною 2 – 4 см.

**Надвисокочастотні ( НВЧ )** локатори. Цей тип техніки дистанційного зондування передбачає використання електромагнітних хвиль в області від 0,1 см до 2 м (що відповідає частотам від 100 МГц до 50000 МГц). НВЧ локаторні системи можуть бути активними (коли об'єкт дослідження опромінюється з подальшою реєстрацією відбитого випромінювання) і пасивними (коли реєструється природне випромінювання об'єкту). Принцип дії дистанційного зондування земної поверхні за допомогою локаторів полягає в вимірюванні діелектричних властивостей цієї поверхні, які суттєво залежать від вмісту вологи і температури ґрунту, нерівності земної поверхні, рівня сніжного покриву, типу рослинних покривів і впливають на відбивальні і випромінювальні параметри, що вимірюються. НВЧ локація дає можливість визначати положення, рух та природу віддалених об'єктів. Серед основних типів локаторів, що застосовуються при дистанційному зондуванні, слід відмітити локатори зображення, вимірювачі розсіяного випромінювання, висотоміри, НВЧ радіометри. Завдяки високій проникності НВЧ випромінювання через хмари та листя локатори здатні створювати зображення земної поверхні в дрібних деталях. Об'єкти земної поверхні опромінюються локаторним імпульсами, які відбиваються, реєструються і перетворюються в зображення. Амплітуда відбитого імпульсу складним чином залежить від конкретного об'єкту спостереження. Альтернативним локатору зображення є локатор з синтетичною апертурою (ЛСА). Об'єкт появляється в системі реєстрації локатора лише протягом певного

проміжку часу, під час якого відбитий сигнал заноситься в пам'ять бортового комп'ютера. Всі записані сигнали дають можливість реконструювати повну картину всіх об'єктів, що опромінювалися локатором з достатньо вузькою апертурою (звідси термін «синтетична апертура»).

**Лазерні системи.** Дистанційне зондування на основі лазерів полягає в опромінюванні об'єктів навколишнього середовища та реєстрації відбитого від об'єкта або розсіяного від нього лазерного випромінювання. Прилад для дистанційного зондування компонентів біосфери називається ЛІДАРом (від англійської фрази Light Detection And Ranging). Наведемо основні типи лідарів.

*Лідар на основі реєстрації зворотного випромінювання.* Принцип дії лідера полягає в реєстрації відбитого від об'єкта лазерного випромінювання та визначенні концентрації атмосферних молекул або аерозолів.

*Лідар на основі реєстрації диференційного поглинання.* Метод базується на вимірі лідарного сигналу на двох довжинах хвиль, одна з яких поглинається в досліджуваному газі, а друга є опорною. В основу роботи диференційного лідара покладено принцип опромінювання об'єкта, що контролюється, світлом із різними довжинами хвиль. Випромінювання з однією ( $\lambda_0$ ) довжиною хвилі, яка співпадає з лінією поглинання об'єкта (газу чи забруднення) поглинається об'єктом, тоді як випромінювання з другою ( $\lambda_\omega$ ) довжиною хвилі, яка далека від лінії поглинання, набуває пружне розсіювання. Критерієм оцінки забруднення атмосфери є відношення сигналів, які реєструються на обох довжинах хвиль. Лідар такого типу отримав в англійській літературі назву DIAL ( Differential Absorption Lidar) або DAS (Differential Absorption And Scattering).

*Допплерівський лідар.* Суть ефекту Допплера полягає в тому, що при опромінюванні об'єкта, який рухається з швидкістю  $V$ , світлом певної довжини хвилі  $\lambda$  відбувається розсіювання світла, причому частота ( довжина хвилі ) розсіяного світла залежить від швидкості руху об'єкта. Допплерівський зсув  $\Delta f$  частоти світла залежить від кута розсіювання  $\theta$  світла об'єктом, швидкості руху  $V$  об'єкта та від кута  $\psi$  між напрямком швидкості і напрямком поширення світла.

*Лідар на основі реєстрації флуоресценції.* Багато компонентів атмосфери демонструють здатність флуоресцювати. Методи

флуоресцентного лазерного зондування дуже чутливі через малі тиски атмосфери, при яких відсутні зіткнення молекул, що гасять флуоресценцію.

Застосування дистанційного зондування. Реєстрація  $\gamma$ -випромінювання дає можливість за рахунок оцінки рівня його послаблення визначати вологість ґрунту, наявність або кількість снігу на поверхні (рис. 7.3). Недоліком методу є обмежене просторове розділення та можливість вимірювань лише на невеликих висотах польоту авіаносія.

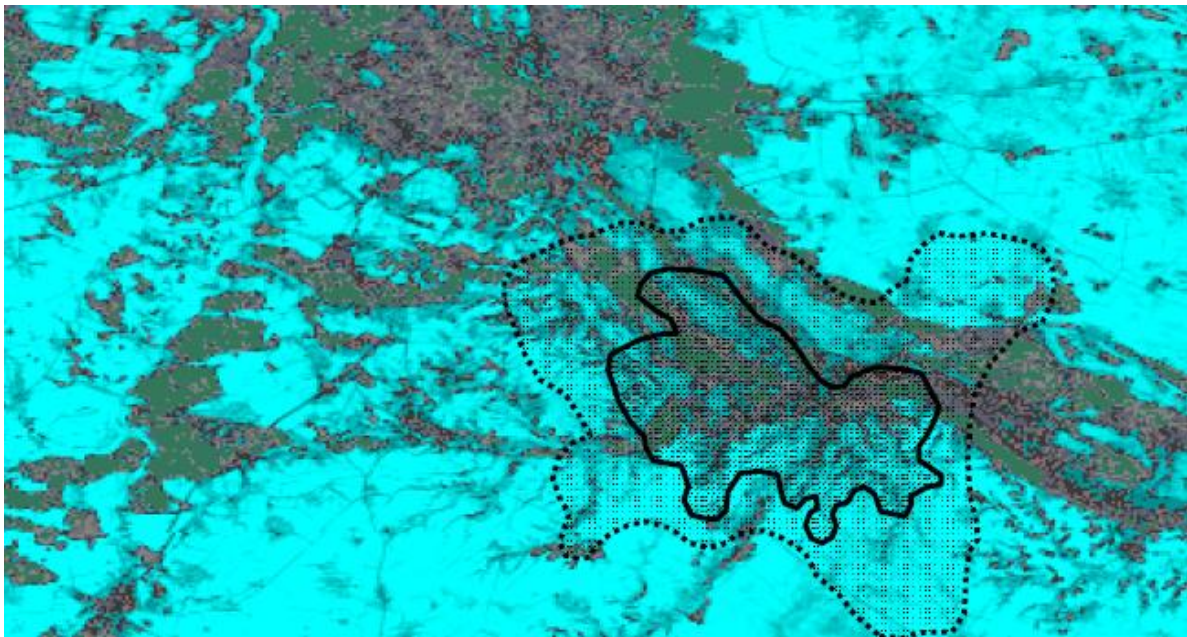


Рисунок 7.3 – Визначення ареалів помірного - - - (1) і сильного— (2) забруднення снігового покриву техногенним пилом з викидів Трипільської ТЕС за даними дистанційного зондування Землі

*Фотографічні та відеографічні системи* застосовуються для визначення типів та структури ґрунтів, аналізу стану рослинних покривів, спостереження за дренажними системами, оцінки характеру морських поверхонь. Завдяки використанню фотографічних систем можна отримати інформацію щодо просторового розподілу сегментів, характеру ерозійних процесів, викиду забруднень та стічних вод з труб.

*Багатоспектральні сканери* використовують для аналізу земної поверхні, рослинних покривів, картографії, визначення вологості ґрунту, оцінки рослинної біомаси, сніжних покривів, непрохідних просторів, кольору океану.

*Теплові сенсори* знаходять застосування при визначенні рівня

теплого забруднення водойм, оцінках розмірів, температури рослинних покривів та впливу на них зовнішніх факторів, вологості ґрунту, теплових аномалій, температури та стану поверхні водойм, морських течій, льодових та сніжних масивів, вулканічної активності, дренажних структур, термічних індустріальних викидів. Широкого застосування набула техніка дистанційного зондування теплого інфрачервоного випромінювання для аналізу ландшафтних екологічних процесів – вимірювання випаровування, вологості ґрунту, вивчення характеристик теплового балансу та теплових потоків, оцінки теплообміну між лісовими масивами.

*Лазерні системи* використовуються для дистанційного зондування атмосфери, зокрема визначення висоти хмар, дослідження структури і властивостей хмар, вимірювання параметрів вітру, вимірювання вологості і температури повітря, оцінки опадів. Лазерні системи, що встановлені на борту авіаносія чи супутника, спроможні проводити топографічні вимірювання на земній поверхні, оцінювати рослинні покриви, водяні потоки, ерозійні процеси.

Використання техніки реєстрації розсіювання оптичного випромінювання видимої області спектра лежить в основі аналізу молекул та аерозолів, присутніх в атмосфері. Лазерний диференційний лідар застосовується для дослідження розподілу забруднень над промисловими підприємствами, визначення озону. Допплерівський лідар використовують для вимірювання параметрів вітру та опадів.

З точки зору контролю навколишнього середовища перспективними можна вважати застосування флуоресцентної дистанційної спектроскопії для оцінки в атмосфері частинок попелу з підприємств, які використовують вугілля; сполук кальцію і ртуті з плавильних та металургійних заводів, флуоридів, які супроводжують виробництво алюмінію або фосфору; частинок сульфатів, хлоридів, ванадію, миш'яку, оксидів і сульфідів різноманітних елементів. Серед неорганічних та органічних сполук, які супроводжують діяльність хімічних та промислових підприємств і які демонструють флуоресценцію, варто відмітити такі:  $AlF_3$ ,  $Al_2(SO_4)_3$ ,  $CaF_2$ ,  $CaSO_4$ ,  $CuSO_4$ ,  $HgSO_4$ , криоліт, кам'яновугільний газ, фосфати.

Лідар на основі комбінаційного розсіювання може бути застосований для визначення наявності та кількісної оцінки атмосферних молекул, таких як  $H_2O$ ,  $SO_2$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $NO$ ,  $C_2H_4$  та інші. Слід також відзначити можливість



досліджень об'єктів, які знаходяться у рідкому стані або містять у собі воду; за допомогою методів спектроскопії комбінаційного розсіювання можливо вимірювання температури поверхні водойм.

В інфрачервоній області спектра домінує поглинання сонячного випромінювання різноманітними газами над розсіюванням. Так, аналіз поглинання в області 4,3 мкм (CO<sub>2</sub>), 4,5 мкм (N<sub>2</sub>O) та 13 – 15 мкм (CO<sub>2</sub>) використовують для вимірювання температурних профілів; в області 6 – 7 мкм – для оцінки водяної пари; за станом земної поверхні доцільно проводити спостереження в широкій області 8 – 12,5 мкм.

Сьогодні на орбіті знаходяться біля 50-ти КА ДЗЗ. Як показав аналіз зарубіжних матеріалів з дистанційного зондування Землі, важливою тенденцією сьогодення є міжнародна співпраця. Висока вартість ДЗЗ з космосу потребує тісного міжнародного співробітництва. Координація та оптимізація користі від використання ДЗЗ різними країнами, обмін досвідом, створення глобальних банків даних забезпечується Комітетом супутникового спостереження Землі (CEOS), який сьогодні є головним міжнародним центром узгодження програм ДЗЗ й взаємодії цих програм з користувачами дистанційних даних і всесвітніми інформаційними ресурсами.

### **Аналіз даних моніторингових досліджень**

Здійснення спостережень за станом довкілля не є самоціллю – важливо не стільки збирання інформації, скільки її обробка та використання для прийняття різного роду рішень, спрямованих на покращення стану довкілля або підтримку його на заданому рівні у відповідності з концепцією сталого розвитку. За таких умов значна роль відводиться різноманітному та всебічному аналізу і коректній обробці екологічної інформації. Для реалізації широкого кола методів математичної обробки даних існують спеціальні математичні пакети, у т. ч. безкоштовні: MS Excel, Matlab, Mathcad, Statistica, SPSS та інші.

Велике значення методи обробки даних на основі геоінформаційних технологій мають для обробки даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ).

Можна виділити такі методи та можливості обробки даних ДЗЗ:

– актуалізація наявних цифрових даних, наприклад, ідентифікація нових доріг, змін у гідрографічній мережі, виявлення засушливих

областей, вирубок лісу, надмірного збільшення золовідвалу, незаконного видобутку надр тощо;

- обробка даних дистанційної розвідки та зондування стану нафтових і газових родовищ, наприклад за допомогою програмного комплексу ArcGIS та Finder;

- інвентаризація природних ресурсів – на основі спектрального аналізу знімків можна виявляти та кількісно оцінювати запаси деревини, зони забруднення поверхневих вод, родовища підземних вод і корисних копалин та інше;

- автоматизоване формування цифрового рельєфу місцевості на основі суміщення зображення, отриманого з декількох зондувальних пристроїв;

- оцінювання фізико-хімічних показників якості довкілля (вміст O<sub>3</sub> чи CO, концентрація нафтопродуктів у воді тощо) на основі зйомки місцевості в багатоспектральному діапазоні та її комплексній обробці;

- оцінювання фізичних показників стану довкілля (температура води, прозорість повітря, вологість та розораність ґрунту, вмісту хлорофілу у рослинах тощо) на основі зондування в інфрачервоному спектрі або в багатоспектральному діапазоні;

- виявлення та оцінювання стану і динаміки зон стихійних лих, техногенних аварій та інших екологічних проблем (підтоплення територій, лісових пожеж, цунамі, ураганів, розливу нафти тощо).

Потужні можливості ГІС-аналізу проявляються і під час аналізу процесів та явищ, які змінюються в усіх трьох координатах, головним чином, під землею та у повітрі. Наприклад, залягання підземних вод або розподіл родовищ під землею. У цьому разі формуються карти зрізів по вертикалі, на основі яких можна прослідкувати ті чи інші процеси та їх наслідки.

Використання ГІС-технологій в задачах математичного моделювання та прогнозування здійснюється двома способами:

- використання стандартного інструментарію ГІС-пакетів для подання вхідних для моделювання даних, їх всебічної обробки та візуалізації результатів моделювання;

- використання так званих середовищ розробника та інструментарію ГІС-пакетів (ArcGIS Engine, ArcGIS Server, MapBasic, MapInfo MapXtreme Java, Panorama GIS WebServer, Panorama GISToolKit

тощо) для створення спеціалізованих пакетів програм, призначених для розв'язання окремих задач та проблем з використанням ГІС-технологій.

Перший метод є більш масовим, має широкі можливості і не вимагає спеціалізованих знань та навичок для створення нових об'єктно-орієнтованих пакетів програм. Недолік – обмеженість тими можливостями та функціями, які заклали для розв'язання задач розробники ГІС-пакетів.

Другий метод, навпаки, має практично необмежені можливості у розв'язанні задач. Крім того, спеціалізовані пакети програм не мають багатьох зайвих для розв'язання поставлених задач функцій, які часто ускладнюють та затримують їх розв'язання в універсальних ГІС-пакетах. Недолік – необхідні спеціальні знання та чималий досвід у написанні складних об'єктно-орієнтованих пакетів програм з використанням ГІС-інструментарію.

Методи моделювання і прогнозування широко застосовуються під час розв'язання різного роду оптимізаційних задач, наприклад:

- оптимізація моніторингової мережі;
- дослідження і прогнозування динаміки екологічних процесів та явищ;
- оптимізація районування та пунктів розташування транспортних засобів швидкого реагування, наприклад пожежної охорони, швидкої допомоги, сил охорони правопорядку, за критерієм мінімуму часу для досягнення будь-якого об'єкта чи будинку;
- вибір оптимальних місць розташування певних об'єктів за багатьма критеріями.

Наприклад, у Центрі інформаційних та комунікаційних технологій «Nuon» Нідерландів вибирається територія для встановлення повітряних електростанцій. При цьому, бажаним є прибережне мілководдя, де вітер більш стійкий, ніж на суші, мала щільність судноплавства, мала наближеність до шляхів міграції птахів, врахування обмежень з боку військових. Кожному з цих факторів присвоюється певна вага, далі для кожного будується відповідна тематична карта, а потім ці карти накладаються одна на одну і за певним алгоритмом визначаються території, де всі ці критерії задовольняються максимально для повітряних електростанцій.

Один із способів візуалізації карт в ГІС-пакетах, оснований на математичних розрахунках, моделюванні та прогнозуванні процесів в

об'єктах, полягає в автоматизованому генеруванні анімації (динамічної послідовності виведення об'єктів) та відеофрагментів:

- мультиплікація тематичних карт, побудованих за однакових умов, яка дозволяє візуально оцінити яким чином певне явище міняло границі та розташування, наприклад, відбувалось поширення урагану чи лісової пожежі,
- пересування грозового фронту, вирубка лісів, поширення ЗР, розширення границь міста тощо;
- за допомогою спеціальної програми, яка динамічно моделює та за допомогою засобів геоінформаційного інструментарію відповідно змінює відображення певних об'єктів відповідно до математичної моделі процесів у них, наприклад, поширення та зміна стану полів забруднювальних речовин у воді річок, водосховищ, морів та океанів; поширення нафтових плям у морях, океанах та на суші за різних умов тощо.

### **Регіональні системи моніторингу довкілля**

Регіональна система моніторингу довкілля (РСМД) є другим рівнем державної системи моніторингу довкілля, яка діє відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 391 від 30.03.1998 р. Метою створення таких систем на рівні окремих адміністративно-територіальних регіонів є збільшення ефективності виконання функцій органів державного управління і місцевого самоврядування та інформування громадськості за рахунок забезпечення доступу до оперативної й достовірної інформації про стан об'єктів довкілля та рівня антропогенного впливу.

До основних завдань РСМД відносять:

- організацію систематичних спостережень за станом компонентів довкілля, об'єктів та процесів антропогенного впливу;
- забезпечення функціональної інтеграції інформаційних потоків й інформаційної взаємодії між суб'єктами державної та регіональної системи моніторингу довкілля;
- створення та ведення інформаційних баз даних стану компонентів довкілля, об'єктів та процесів антропогенного впливу;
- застосування науково обґрунтованих оцінок та прогнозів з метою підтримки управлінських рішень щодо дотримання вимог екологічної безпеки, збереження природного середовища, санітарно-епідеміологічного благополуччя та здоров'я людей тощо.

## *Принципи функціонування РСМД*

Визначення суб'єктів РСМД, їх функцій і задач здійснюється шляхом розроблення та затвердження положень про регіональні системи моніторингу довкілля. Такі положення погоджуються з Мінприроди України, суб'єктами РСМД і затверджуються обласними радами народних депутатів.

Для виконання функцій збору, збереження, оброблення й аналізу даних суб'єктів моніторингу довкілля забезпечується функціонування центрів моніторингу як на регіональному, так і на державному рівні. Так, за останні роки створено 22 регіональні центри моніторингу довкілля, з них у п'яти областях створено автономні центри, а у 17-ти – функції регіональних центрів покладено на структурні підрозділи Державних управлінь. Для збереження та подальшої роботи з даними моніторингу в центрах РСМД формуються бази даних, з яких складається банк інформаційних ресурсів РСМД. Координацію діяльності суб'єктів РСМД здійснює регіональна Міжвідомча комісія з питань моніторингу довкілля.

З метою впровадження стратегії і плану дій з розвитку державної системи моніторингу довкілля на рівні регіонів Мінприроди вживає низку заходів, а саме:

– за ініціативою територіальних органів Мінприроди при відповідних Держадміністраціях у 21 області створені регіональні міжвідомчі комісії з питань моніторингу довкілля, які відповідають за координацію підготовки регіональних програм та систем моніторингу і налагодження інформаційної взаємодії суб'єктів державної системи моніторингу довкілля регіонального рівня під час виникнення надзвичайних ситуацій та при здійсненні режимних спостережень;

– розроблені та затверджені Положення про порядок інформаційної взаємодії суб'єктів державної системи моніторингу довкілля регіонального рівня.

Нормативно-правовою базою організації систематичних спостережень за станом компонентів довкілля, об'єктів та процесів антропогенного впливу РСМД є законодавчі акти у сфері природокористування та охорони довкілля, Закони України «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про відходи», «Про охорону земель», «Про рослинний світ», «Про екологічну мережу», «Про питну воду та питне водопостачання» та

ін., Земельний кодекс України, Водний кодекс України, Лісовий кодекс України та ін.

Створення і функціонування РСМД має ґрунтуватися на принципах:

- систематичності отримання інформації про стан компонентів природного середовища;
- об'єктивності первинних даних, аналітичної та прогнозної інформації;
- своєчасності та оперативності надходження інформації від підрозділів, що виконують спостереження, до користувачів інформації, які відповідають за прийняття управлінських рішень;
- комплексності використання екологічної інформації у просторі і часі;
- доступності екологічної інформації для населення України та світової спільноти.

Інформаційно-аналітичне забезпечення прийняття рішень на регіональному рівні полягає у підготовці проектів розпорядчих документів, інформаційно-аналітичних звітів та довідок, а також інформаційно-довідкових матеріалів, таких, наприклад, як карти, схеми, атласи, які повинні бути підготовлені відповідно до вимог законодавчо-нормативних актів та у відповідні терміни, відведені на виконання розпорядженнями, рішеннями, дорученнями, запитами. До механізмів, що можуть забезпечити вказані вимоги до інформаційно-аналітичного забезпечення прийняття рішень, належать такі: надходження та введення, збереження та накопичення, подання і відображення інформації.

Таким чином, концептуально, як інформаційна система РСМД складається з таких підсистем:

1. Підсистеми збирання та введення інформації.
2. Підсистеми збереження та накопичення інформації.
3. Підсистеми аналізу та подання інформації.
4. Підсистеми захисту інформації.

До складу вказаних підсистем в свою чергу входять програмно-технічні комплекси (ПТК) разом із апаратно-технічним, системно-програмним забезпеченням, каналами зв'язку.

До складу інформаційних ресурсів, які необхідні власне для забезпечення процесу підготовки управлінських рішень, входять дані, які характеризують:

– стан природних ресурсів – кліматичні та метеорологічні умови, склад води у водних об'єктах, зелених насаджень, ґрунту та ін.;

– використання природних ресурсів – номенклатура та обсяги викидів, обсяги водокористування та скидів забруднювальних речовин, утворення відходів домогосподарствами та суб'єктами підприємницької діяльності, використання земельних ресурсів, зелених насаджень, у т. ч. об'єктів природно-заповідного фонду та ін.;

– рівень впливу на навколишнє природне середовище – рівень впливу від об'єктів техногенного екологічного ризику, концентрації забруднювальних речовин в атмосферному повітрі, водних об'єктах, ґрунтах, промислових та побутових відходах (у т. ч. токсичних), біологічне забруднення, фізичні фактори (шум, іонізуюче та електромагнітне випромінювання та ін.) тощо.

Інформація про об'єкти та процеси екологічного управління включає кількісно-якісні, просторово-географічні та часові характеристики. Наприклад, для обґрунтування прийняття рішення у галузі охорони атмосферного повітря необхідно мати інформацію щодо кількісного значення концентрації певної забруднювальної речовини в приземному шарі атмосферного повітря на певній території міста протягом певного часу.

Для побудови інформаційної системи РСМД та обробки даних для забезпечення своєчасного прийняття обґрунтованих екологічних рішень найбільш інтеграційною інформаційною технологією вважається ГІС-технологія з використанням результатів обробки даних дистанційного зондування Землі аерокосмічними методами.

### ***Приклад розробки РСМД для міста Києва***

Призначення інформаційно-аналітичного центра (ІАЦ) РСМД полягає у інформаційно-аналітичному забезпеченні прийняття управлінських рішень у галузі екологічного управління м. Києва шляхом:

– уніфікації вхідних та вихідних документів (дозволи/ліміти на спеціальне використання природних ресурсів, паспорти місць видалення відходів, реєстрові картки об'єктів утворення відходів, висновки державної екологічної експертизи та ін.) з використанням як спеціально розроблених, так і загальнодержавних класифікаторів та довідників;

– створення та ведення банків даних проблемно-орієнтованих

комплексів контролю за якістю атмосферного повітря, водних ресурсів, ґрунтів, біоресурсів тощо;

- накопичення із забезпеченням цілісності, доступності та представлення результатів аналітичної обробки екологічної інформації в залежності від рівня та прав доступу (конфіденційності);

- моделювання та прогнозування параметрів окремих компонентів довкілля та їх стану в цілому по місту;

- організації та накопичення, збереження та передачі інформації органам влади (Київська міська рада, Київська міська державна адміністрація та ін.).

Необхідність створення ІАЦ РСМД визначається складністю підготовки управлінських рішень та значним обсягом інформаційно-аналітичних матеріалів, які необхідні для цього. До числа основних завдань, що вирішуються при підготовці управлінських рішень, відносяться:

- забезпечення реалізації екологічної політики та екологічних прав жителів м. Києва;

- врахування екологічних вимог проектів планування і забудови, генеральних планів та схем промислових вузлів;

- розміщення на території м. Києва підприємств, установ і організацій;

- погодження поточних та перспективних планів роботи підприємств, установ та організацій з питань охорони НПС і використання природних ресурсів;

- видача/скасування дозволів на відособлене спеціальне використання природних ресурсів місцевого значення;

- затвердження лімітів на використання природних ресурсів, ліміти скидів ЗР, та лімітів на утворення і розміщення відходів;

- проведення екологічної експертизи;

- забезпечення систематичного та оперативного інформування населення про стан НПС та про функціонування місцевих екологічних автоматизованих інформаційно-аналітичних систем;

- організація екологічної освіти та екологічного виховання громадян;

- ліквідація екологічних наслідків аварій;

- організація територій та об'єктів ПЗФ та інших територій, що



підлягають особливій охороні;

- здійснення контролю за дотриманням законодавства про охорону НПС;

- припинення господарської діяльності підприємств, установ та організацій, а також обмеження/зупинення (тимчасово) діяльності не підпорядкованих КМДА підприємств, установ та організацій в разі порушення ними законодавства про охорону НПС;

- координація діяльності відповідних спеціально уповноважених державних органів управління в галузі охорони НПС та використання природних ресурсів на території м. Києва.

Конкретизація вказаних завдань полягає у здійсненні функцій спостереження, дослідження, екологічної експертизи, контролю, прогнозування, програмування, інформування та іншої виконавчо-розпорядчої діяльності. Вказані напрямки діяльності, таким чином, є областями застосування ІАЦ СМДМ.

Архітектура ГІС технологій від ESRI. Набір технологічних рішень, що пропонує компанія ESRI, Inc. має загальну назву ArcGIS. До складу ArcGIS входять як серверно-орієнтовні (ArcSDE та ArcIMS), так і клієнт орієнтовні програмні продукти ArcDesktop (ArcInfo, ArcEditor, ArcView), до складу якого в свою чергу входять ArcMap, ArcCatalog, ArcToolBox (рис. 7.4).

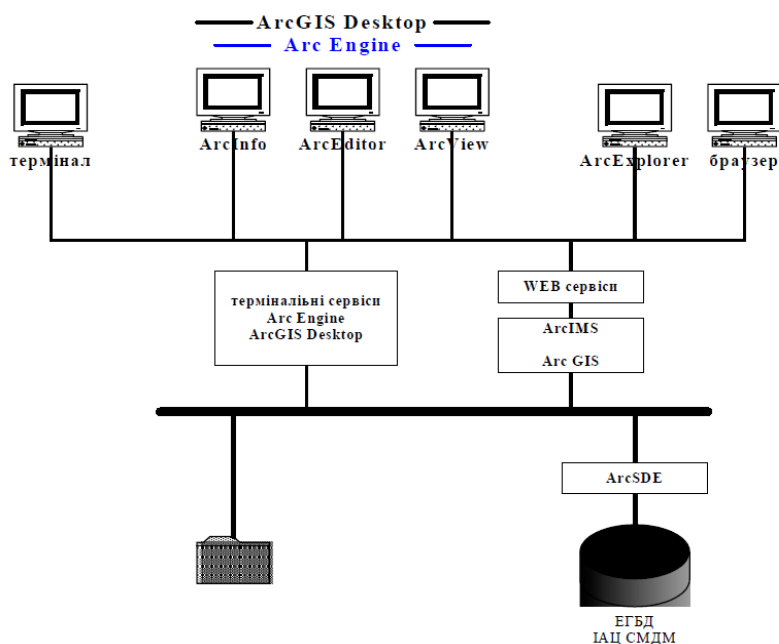


Рисунок 7.4 – Архітектура програмних продуктів від ESRI

Для забезпечення вирішення складних завдань просторового аналізу програмні продукти ArcDesktop можуть бути додатково доповнені модулями розширення (extension): Spatial Analyst – просторовий аналіз, Network Analyst – мережевий аналіз, Geostatistical Analyst – геостатистичний аналіз, 3D Analyst – аналіз тривимірних (об’ємних) зображень та ін.

## **Моніторинг біотичної компоненти екосистем методами геоінформатики (біотогеоінформатики)**

**Біотогеоінформатика** – це новий науковий напрямок, що використовує геоінформатику для біотичного моніторингу екосистем ландшафтного рівня.

Даний розділ націлений на те, щоб студенти та викладачі мали не тільки конспект з питань історії розвитку біотогеоінформатики в Україні, низку різноманітних прикладів та напрацювань, але й найновітніші приклади практичного використання біотично орієнтованих ГІС, в яких задіяні пакети даних ДЗЗ, та спеціальні програмно-аналітичні комплекси (ПАК), зокрема, для побудови не тільки тематичних карт очікуваного розповсюдження видів рослин і тварин, але й прогностичних сучасних моделей щодо біотичного різноманіття, про які іще мало знають в Україні. Тема розглядається з врахуванням напрацювань вітчизняних наукових та науково-технічних установ за останнє п’ятиріччя, та на ініціативи різних країн, у тому числі, щодо програми GLOBIO і її відбитку – EEBIO. Приклади підбирали таким чином, щоб їхня складність і детальність зростала: від простих, до таких, що пов’язані із складними ПАК і, нарешті, із моделюванням. Кожний із описів стосується або ключових екосистем та/чи фрагментів біомів, індикаторних видів тварин чи рослин.

### ***Розвиток біотогеоінформатики в Україні***

Початок розвитку цього напрямку в Україні припадає на кінець 90-х років минулого сторіччя, чому фактично сприяли такі організації, як Український центр менеджменту землі та ресурсів (Київ), Центр арокосмічних досліджень Землі (Київ), Таврійський національний університет ім. В. Вернадського (Сімферополь) та ін. Тоді використання ДЗЗ, ГІС і Інтернет стали частіше застосовувати в Україні для підтримки прийняття рішень, зокрема, для цілей заповідної справи, управління збереженням біорізноманіття, та при створенні концепції національної

еколого-культурної мережі. Правда, така зміна ситуації відбулась лише нещодавно, і на цьому шляху були не тільки перемоги, але й повчальні поразки, непорозуміння, перекручення. Все разом – корисний посібник для управлінців, науковців, аспірантів та студентів, аби вони могли не тільки активно переймати досвід, але й уникати повторювання вже здійснених ІТ-експериментів, уникати перехрещення у фінансуванні міжнародних проектів, зокрема, у питаннях придбання та/чи обробки космознімків, створенні класифікаторів та ГІС, баз і банків даних, тощо.

Екосистемні аспекти біотогеоінформатики щодо агросфери. Вивчення властивостей агросфери є надзвичайно важливим для України, де вона займає до 72 % поверхні суші. Дослідники звертають увагу на прояви кризових процесів у ній, інерційність і необхідність створення її надійної моделі для досягнення мети сталого (невиснажливого, збалансованого) розвитку. Як це не парадоксально звучить, але до 2005 р. у українських екологів не було навіть узагальнюючого цифрового зображення поверхні агросфери України, яке б дозволяло вимірювати, наприклад, потенційну частку середовищ існування червонокнижних видів в агроєкосистемах, або частку поверхонь під сільськогосподарським виробництвом в межах водно-болотяних угідь міжнародного значення і т.і. При цьому, класифікація форм земної поверхні 90-х років минулого сторіччя на основі космозйомки NOAA, не задовольняла таким потребам. Останнім часом подібні дані стали більш доступними, наприклад, в контексті дещо застарілих, але досяжних через Інтернет, даних DIVA-GIS, і початківці все звернули на них увагу. Сьогодні біотогеоінформатика допомагає вирішувати ці та інші науково-прикладні задачі значно краще.

Синтезоване зображення агросфери України та її просторовий аналіз. Вивчення розмірності, мозаїчності і мінливості агросфери, а також її середовищеутворюючих і еколого-соціальних властивостей, було і залишається справою дуже складною. Певний прорив намітився у 2003-2006 рр., коли на основі даних дистанційного зондування MODIS (2002), в УЦМЗР був розроблений підхід до вивчення розмірності, мозаїчності і мінливості всієї поверхні агросфери, побудована перша тематична карта її поверхні і отримано новітню карту різноманіття класів земної поверхні, або LCC, масштабу 1:200 000, та карта щільності класів земної поверхні, або LCCD. За результатами дослідження розрахунковий відсоток агросфери до всієї поверхні суші України тоді склав близько 64 %.

Оскільки поверхня агросфери України помітно переважає, то її виокремлення на цифровій карті є ключовим алгоритмом при укладанні інших карт, зокрема, це щодо екологічної цінності земель, і, відповідно, вірогідної щільності природного чи асоційованого агробіорізноманіття і, надалі, очікуваних елементів екомережі в агросфері. Зазначимо, що векторне зображення агросфери є доступним і включене в «ГІС-Агробіо».

На цій основі оцінено, зокрема, відсоток сумісних із агросферою так званих. точкових середовищ існування видів тварин і рослин із Червоної книги України – це до 35 % – 40 % від загального переліку. Нижче показано як саме можна використати це векторне зображення для оцінювання відсотка територій із сільськогосподарською діяльністю, що потрапляють, наприклад, у контури водно-болотних угідь міжнародного значення.

Такі дослідження мають й іншу перспективу, адже належний картографічно оформлений образ про те, як саме потенційна екомережа має перетинати поверхню агросфери у суспільства іще не склався.

Виокремлення вологих луків Полісся на цифровій тематичній карті. У міжнародній практиці виокремлення такого класу поверхні, як «вологі луки», має принципове значення у питаннях планування створення заповідних територій, у тому числі, міждержавного значення. У 2007 р. відповідні роботи виконувались в рамках проекту UNDP-GEF щодо збереження біорізноманіття на Поліссі. Потрібно визнати, що на космознімках надзвичайно складно шукати й виокремлювати «вологі луки». Їх рідко виділяють як окремий «тип земель» навіть на експлікаційних картах-схемах місцевого значення – це у протигагу «лукам», «територіям сільськогосподарського призначення» і «сінокосам», що пояснюється і трудомісткістю картування і строкатістю, мозаїчністю поверхні цього класу. В результаті, для цілей проекту UNDP-GEF на основі знімків Landsat 7 ETM+ (1988, 1999, 2001 та 2002) отримали відповідне зображення та знайшли 373447 поверхонь даного класу (рис. 7.5), і зробити іншим шляхом було просто неможливо.

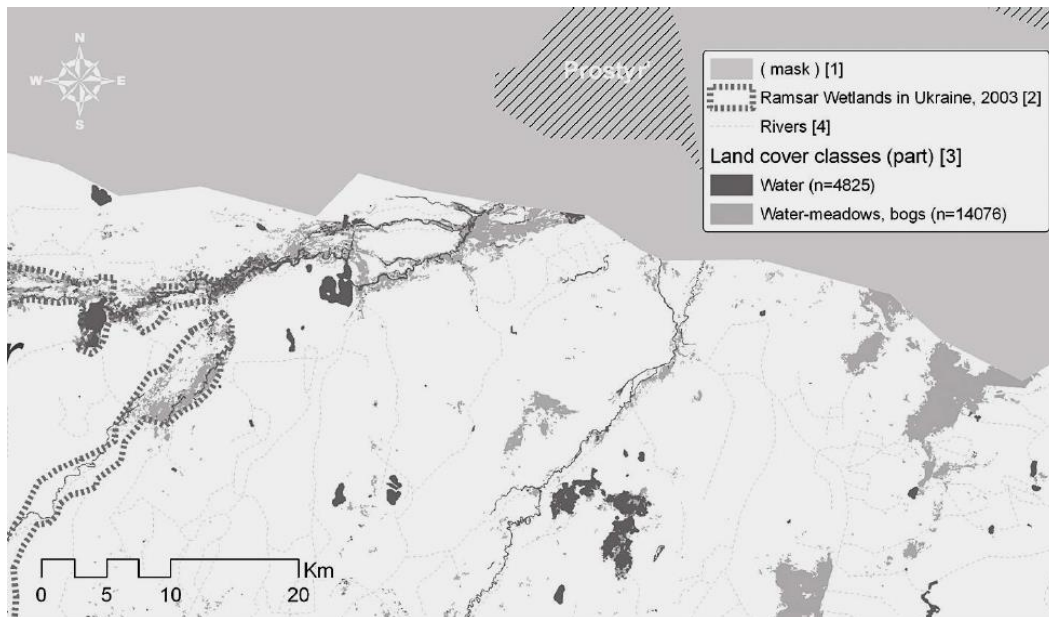


Рисунок 7.5 – Фрагмент тематичної карти вологих луків у Поліссі

### ***Моделювання (класифікація) форм земної поверхні, що оточує водно-болотяне угіддя міжнародного значення***

Уточнення площ водно-болотяних екосистем (угідь) міжнародного значення в Україні за допомогою засобів ДЗЗ. Зазначимо, що сьогодні вимірювання або уточнення площ складних поверхонь є для геоінформатики справою повсякденною. Для цілей фонового екологічного моніторингу, такі завдання почали виконуватись буквально в останні декілька років. Наприклад, при виконанні вже згаданого проекту UNDP-GEF з'ясовано, що навіть карти-схеми вкритих водою площ, які вільно надавав користувачам через Інтернет технічний підрозділ Рамсарського бюро, був дуже загальними. Таким чином, на різних рівнях управління іще користуються зображеннями і, певне, площами водно-болотяних угідь, які потребують постійного суттєвого уточнення. У зв'язку із цим нагадаємо, які із розробок були чи є доступними для досягнення даної мети, і у чому вони можуть бути корисними.

Класифікація форм земної поверхні є потужним інструментом біотогеоінформатиків, зокрема, при виявленні та картуванні джерел тиску, небажаного впливу на екосистеми, що підлягають особливій охороні – для цілей управління, покращання ситуації та оптимізації територіального планування. З методичної точки зору – це справжнє емпірико-статистичне моделювання з використанням розповсюдженої в міжнародній практиці

процедури LCC (land cover classification). У відношенні водно-болотних угідь, предметом уваги, щодо тисків на біорізноманіття, була й залишатиметься сільськогосподарська діяльність, адже часто вона є невід'ємною, законодавчо визначеною, функціональною складовою цих угідь, яка потребує постійної уваги й управління. Для здійснення належного планування й управління, необхідні тематичні карти, а також моделювання. Розглянемо на декількох відомих уже для України прикладах, які з ландшафтно-екологічних, біотогеоінформаційних напрацювань вже знайшли своїх користувачів, пройшли апробацію й використовуються на місцях.

Перше поновлення тематичних карт щодо морського узбережжя в районі Сивашу, на основі новітньої космозйомки, було виконано УЦМЗР у 2001 р. і першими користувачами інформації були, зокрема, департамент охорони, використання та відтворення природних ресурсів та український офіс програми Wetlands International. У 2002 році в УЦМЗР, було здійснено класифікацію форм земної поверхні для значної території Півдня України. Туди ж увійшла й територія, що планувалась під створення національного природного парку «Сиваський», багата на водно-болотні екосистеми. В Україні в складі користувачів цих перших оригінальних, або вже геокодованих зображень, на основі Landsat 7 ETM+ кінця 90-х, були Азово- Чорноморська орнітологічна станція (Мелітополь), Таврійський національний університет ім. В. І. Вернадського (Сімферополь), Інститут ботаніки НАН України ім. М. Г. Холодного (Київ). На запит Інституту екології (південна філія Національного екологічного центру України), УЦМЗР розробив тематичні карти щодо поверхні Регіонального ландшафтного парку «Кінбурнська коса», і тоді ж уперше було застосовано для моделювання поверхні зображення Terra ASTER, і по новому виділено основні рослинних угруповань прибережної смуги. Але, певне, найцікавіші із цієї низки підходів тих років щодо моделювання включають: а) відтворення в середовищі ArcView 3.1 контурів мережі морських заповідників України за 1927 рік, виконане УЦМЗР у співпраці із Чорноморським біосферним заповідником; б) візуалізація (в старовинному на сьогодні) середовищі ArcView 2 і його додатку MapRoom тих суттєвих змін, що відбулись в дельті Дніпра - на основі ледь не першої космозйомки CORONA (1967). Цей та інший досвід сприяв тому, що в 2002 – 2004 рр. у Києві відбулись перші тренінги з питань використання засобів ДЗЗ та ГІС

для заповідної справи.

Таким чином, починаючи принаймні з 2001 року в інституціях національного рівня створювався пакет прикладів, корисних для здійснення управління антропогенним впливом на водно-болотні угіддя міжнародного значення. Змінились уяви про дійсні контури й площу водно-болотних угідь. Це підштовхнуло різноманітні організації для активнішого використання даних ДЗЗ та ГІС для управління водно-болотними угіддями. Нижче для порівняння – деякі інші приклади використання даних ДЗЗ та ГІС для більш складного цифрового картографічного моделювання.

Моделювання в ГІС впливу антропогенної діяльності на водно-болотні екосистеми міжнародного значення (ВБУ МЗ) із використанням даних ДЗЗ. У 2006 р. УЦМЗР виконав тестове розпізнавання впливу антропогенної діяльності на екосистеми поблизу 16 ВБУ МЗ – таблиця 7.1.

Таблиця 7.1. Прояви антропогенної діяльності на водно-болотних угіддях міжнародного значення за результатами моделювання в ГІС

<b>ВБУ міжнародного значення</b>	<b>Площа ВБУ, га</b>	<b>Площа поверхонь класу «с.г.» у моделі, га</b>	<b>Кількість парцел поверхонь класу «с.г.» моделі</b>	<b>Середня площа парцели, га</b>	<b>Розрахункова частка поверхонь класу «с.г.» в межах ВБУ, %</b>
Долина річки Прип'ять	12000	7115	25	0,004	59
Долина річки Стохід	10000	5190	31	0,006	52
Озера Шагани-Алібей-Бурнас	19000	6242	4	0,001	33
Каркінітська та Джарилгацька затоки	87000	566	17	0,030	0,7

В результаті знайдено 178 полігональних об'єктів загальною площею до 35349 га, класифікованих як агроповерхні в межах ВБУ. На основі низки нових підходів встановлено, що орієнтовно 6,4 % зведеної поверхні тодішніх ВБУ МЗ знаходиться під впливом сільськогосподарської діяльності. Ознаки впливу антропогенної діяльності шукали дистанційно, із використанням синтезованого зображення мега-агроекосистеми України (див. вище). З'ясовано, що відсоток впливу антропогенної діяльності на

ВБУ МЗ зменшувався у такій послідовності: «Затока р. Прип'ять» (59 %), «Затока р. Стохід» (51%), «Озера Шагани-Алібей-Бурнас» (32 %) і т.д. Найменшим вплив був на угідді «Шацькі озера» (0,11 %). Особливості, інтенсивність та тривалість цього впливу не досліджувались.

Таким чином, зображення, що отримують із допомогою комплексу Terra MODIS, можуть допомогти в отриманні досить цікавих результатів. Такі космознімки ще довгий час будуть інформативними для моніторингових досліджень, незважаючи на появу зображень надвисокої роздільної здатності.

Лісові екосистеми. Лісові ландшафтні екосистеми досліджують в Україні досить інтенсивно, що пов'язано з давньою історією лісорозведення, традиційною увагою до цієї галузі. Вони є помітною поверхнею для апробації, зокрема, новітнього MSA- та CLUE-підходу – тут чи не найкраще можуть бути представлені дані державної статистичної звітності про стан лісів – у розрізі областей, районів, чи окремих лісництв, або навіть груп кварталів. У них же здійснюється постійне оцінювання складу деревинних порід, виконується облік мисливських тварин. Нагадаємо, що сторона грид-клітинки моделей CLUE чи MSA може сягати 1 км, а її площа 1 км<sup>2</sup>, або 100 га. Тобто, відповідне моделювання може підкріплюватись даними для перевірки, отриманими із інших джерел, додатково до бібліотеки даних MSA, які частково надходять дистанційно, за рахунок космічних зйомок.

Підвищену увагу, щодо лісів, які займають біля 16 % всієї площі країни, в останні роки привертала такі території, як Чорнобильська зона, гірські ліси в Закарпатті, Криму, ліси степової природної зони – це на Херсонщині; ліси поблизу великих міст. Серед напрямків досліджень переважали ті, що стосувались моніторингу (пожежі, вирубування, поновлення лісу, повені). Щодо біорізноманіття лісів, то частіше всього відповідні дослідження мали відношення до території заповідників; рідше – острівних лісових екосистем, лісосмуг, затоплених лісів. Зовсім нове питання для українських екологів – інвентаризація й вивчення біорізноманіття точкових об'єктів у лісах – окремих дерев, консорцій.

### ***Моделювання, пошук та фіксація історичних змін у гірських лісових та лісових екосистемах.***

У 2002 році в Україні, за фінансової підтримки АМР США, в



УЦМЗР, у співпраці із ТНУ, вперше виконано масштабне порівняння змін територій, укритих лісовою рослинністю в гірському Криму за десятиріччя. Ключове значення при моделюванні мало використання даних ДЗЗ 1988 і 1999 років, а саме: а) Landsat 4 TM (серпень 1988 р.), із архіву УЦМЗР; б) космознімка Landsat 7 ETM+ (серпень 1999 р.), придбаного додатково. Загальна розрахункова площа території, обраної для ГІС-аналізу охоплювала майже весь гірський Крим і склала близько 319 тис. га. Із них 24 тис. гектарів були закриті хмарами, тому дистанційні виміри тут не проводили. У результаті комп'ютерної обробки космознімків виявлено, що сумарна площа територій, де лісова рослинність відновилася, або стала більш зімкнутою, склала близько 0,4 % від площі дослідження, а там, де вона істотно зменшилась, або зовсім зникла, теж 0,4 %. Там, де істотно змінився її колір – 0,2 %. Таким чином, встановлено, що за десятиріччя процес відновлення й втрати лісовкритих площ виявився як би збалансованим за рахунок дії найрізноманітніших факторів. Матеріали та приклади цього цікавого дослідження і досі є доступними в Інтернет, зокрема, на веб-сторінці УЦМЗР, у публікаціях проекту UNEP-GEF BINU, матеріалах щорічних ялтинських конференцій користувачів програмного забезпечення ESRI.

Степові екосистеми. Площа умовно природних та напівприродних степових екосистем у регіоні GLOBIO-Ukraine помітно зменшується. (Починаючи з 2008 р. дослідження їх стану стало темою окремого міжнародного проекту рівня ЄС). Виявлення «островів» степів із допомогою даних ДЗЗ, у поєднанні з наземними обстеженнями, є надзвичайно важливим і актуальним завданням, адже іншого шляху для картування цих ландшафтних екосистем і, відповідно, планування їх збереження просто не існує.

### ***Моделювання поверхні степової ландшафтної екосистеми***

До одного з перших результатів дистанційного розпізнавання степових екосистем належить створення тематичної цифрової карти поверхні Півдня України (LCC) із роздільною здатністю до 30 м. В ній уперше було виділено 27 класів земної поверхні, серед яких виокремили й степи, а саме: «Степи (Steppe)», «Пісчані степи (Sand steppe)», «Кам'яністі степи» (Stone steppe), «Степи, з ознаками опустелювання й солонці (Desert steppe and salinas)».

Авторами використано чисельні публікації, архівні дані, а також матеріали, люб'язно надані адміністрацією біосферного заповідника «Асканія-Нова» – для порівняння й більш точної ідентифікації саме степів. Таким чином, уже наприкінці 90-х рр. методами ДЗЗ та ГІС-підходу було проілюстровано й доведено, що на Півдні України має місце надзвичайно висока островізація степових ландшафтних екосистем.

Пізніше ці ініціативи із моделювання, на прикладі Кримського півострова, продовжили у співпраці УЦМЗР та ГНУ (рис. 7.6).

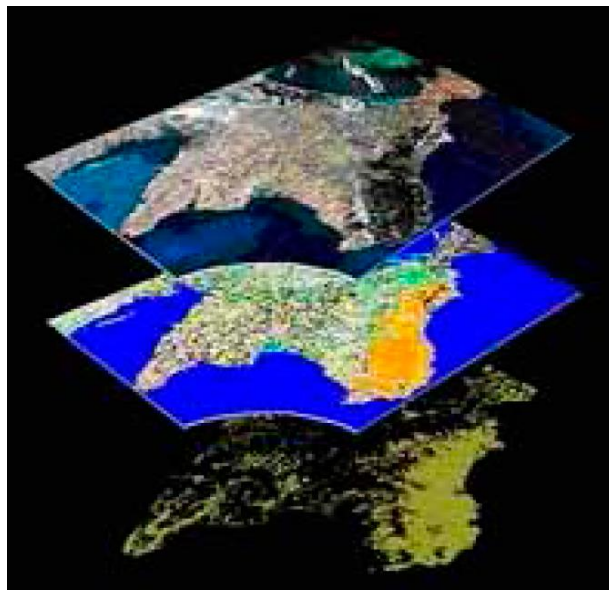


Рисунок 7.6 – Послідовність дій із створення карти островів природних територій у Криму на основі Landsat 7 ETM+

Спадкоємність проявилась в тому, що класи було об'єднано в 9 типів ландшафтів. Наведемо опис «центрально-степових ландшафтів на чорноземах і каштанових ґрунтах, зайнятих типчачково-ковилковими асоціаціями із фрагментами малопродуктивних земель, що використовують у сільськогосподарських цілях» На рисунку показано послідовність дій зі створення результуючої моделі. Усього на основній робочій поверхні було виділено 1314 полігональних структур, «островів», з яких найбільшими за площею та частотою потрапляння були пасовища. (Із гістограмою щодо результатів обліку в ГІС усіх полігональних структур у моделі, серед яких і степи. Таким чином, свого результату дослідники досягали крок за кроком - від отримання базового дистанційного зображення, на основі декількох космознімків Landsat, до класифікованої поверхні (LCC) і, нарешті, до поверхні з виділенням «островів» природних

територій, у тому числі, степів. Зрозуміло, що таке моделювання дає значні переваги при роботі з біорізноманіттям, адже кожний з елементів легенди карти – адреса, за якою можна знайти вид, або групу видів рослин чи тварин, отже, розрахувати очікуване видове різноманіття в степових екосистемах.

В числі іншого, щодо «островів», розроблено цікаві приклади, зокрема, щодо прибережних морських екосистем, екосистем міських агломерацій (урбоекосистем), а також щодо заповідних територій взагалі. Серед них – картування вертикально орієнтованих біотопів, наприклад, поселень морських птахів в Арктиці, середовищ існування індикаторних видів хребетних, судинних рослин. Окрім того, локальні цільові ГІС розроблено для таких заповідних територій, як БЗ «Карпатський», БЗ «Асканія Нова», РЛП «Калиновський», НПП «Нижньодністровський» та ін.

### **Контрольні питання**

1. Дайте визначення поняттям «геоінформатика», «ГІС-технологія».
2. Назвіть головні етапи розв'язання задач екологічного моніторингу з використанням ГІС.
3. Охарактеризуйте сучасні ГІС-пакети (оболонки, програми), які використовуються в галузі екологічного моніторингу в Україні.
4. Які Ви знаєте види електронних карт?
5. Яку інформацію розміщують в ГІС моніторингу довкілля?
6. Які є узагальнені групи шарів (теми карт)?
7. Охарактеризуйте дистанційні методи спостереження за елементами навколишнього середовища.
8. Що таке GPS і яку інформацію можна отримати за допомогою GPS?
9. Які Ви знаєте основні методи математичної обробки даних моніторингу?
10. Які Ви знаєте методи аналізу екологічної інформації з використанням ГІС/ДЗЗ-технологій? Наведіть приклади.
11. Які є види методів та можливостей дистанційного зондування Землі?
12. Що можна взнати про стан довкілля за допомогою ДЗЗ?
13. Які Ви знаєте підходи та методи прогнозування стану довкілля з використанням ГІС/ДЗЗ-технологій? Наведіть приклади.

14. На яких принципах ґрунтується створення і функціонування РСМД?

15. З яких підсистем та інформаційних ресурсів складається РСМД?

16. Яку інформацію може включати підсистема аналізу та подання інформації РСМД?

17. Назвіть найбільш відомі в Україні регіональні автоматизовані інформаційні системи моніторингу.

## **8 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ У СИСТЕМІ АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВИХ ЗМІН**

### **Роль і зміст інформаційного забезпечення екологічного моніторингу**

Система екологічного моніторингу – основний інструмент взаємодії суспільства та навколишнього природного середовища. Його нормативно–правовою основою є Закон України «Про охорону навколишньої природного середовища» (затверджено Постановою ВР №1268–Х11 від 26.06.91 р.); Положення про державну систему моніторингу навколишньої природного середовища (затверджено Постановою КМУ № 391 від 30.03.98 р.), а також Постанова КМУ № 1551 (від 17.11.2001 р. «Про організацію Міжвідомчої комісії з питань моніторингу навколишньої природного середовища»). Крім того, розробляються й інші нормативні документи, наприклад: Проект Концепції Державної програми моніторингу навколишньої природного середовища України, а також проект наказу Мінприроди «Про затвердження Типових правил проведення неперервного моніторингу викидів забруднюючих речовин в атмосферу на підприємствах».

Перед системами моніторингу, здійснюваного в країні, існують наступні задачі:

- оперативний контроль енергоекологічного, соціального та медико-біологічного стану довкілля;
- об'єктивна оцінка на базі проведеного контролю поточної картини стану НПС і здоров'я населення;
- виявлення факторів екологічного неблагополуччя регіону;
- підготовка інформації для прийняття управлінських рішень по екологічній обстановці;
- моделювання і прогнозування розвитку екологічної ситуації;
- аналіз ступеня ризику управлінських впливів.

Для вирішення таких задач використовується одержання інформації по узагальнюючим характеристикам навколишнього природного середовища, але навіть при мінімально-необхідному обсязі останніх загальний об'єм інформації залишається досить великим. Крім того, при

цьому інформація повинна раціонально зберігатися, оброблятися та представлятися. Тому центральною ланкою системи екологічного моніторингу є інформаційна система.

Як правило, **інформаційне забезпечення** системи комплексного (єдиного) екологічного моніторингу містить:

- упорядковану структуру інформаційних потоків (вхідних, внутрішніх, вихідних);
- інфраструктуру власне інформаційної бази даних;
- методики збору даних від стаціонарних і пересувних постів;
- методики передачі даних, отриманих від постів різного рівня;
- методики обробки даних і розрахунку інтегральних показників стану навколишнього середовища;
- методики визначення джерел викидів;
- структуру користувачьких організацій мережі й експлуатаційних служб.

### **Структура сучасної системи екологічного моніторингу**

Структура системи екологічного моніторингу включає чотири функціональних блока:

- інформаційно-вимірювальну підсистему на базі автоматизованих постів екологічного контролю;
- пересувні пости екологічного контролю (пересувні лабораторії на автомобілях і переносні індивідуальні прилади контролю);
- підсистему комунікацій між постами контролю;
- геоінформаційну систему, що включає в себе графічні і тематичні бази даних екологічної спрямованості, системи моделювання, відновлення і прогнозу полів екологічних і метеорологічних факторів й систему інформаційної підтримки прийняття рішень з управління.

Організаційно система складається з первинних постів екологічного контролю, розташованих у ряді об'єктів, і центрального поста системи, у функції якого входить одержання від первинних постів інформації, ведення баз даних, підтримка технічного та програмного забезпечення геоінформаційної системи.

**Пост екологічного контролю** містить у собі найбільш доступні датчики контролю навколишнього середовища: температури, вологості, напрямку вітру, швидкості вітру, забруднення середовища (тип ТО8812),

гамма-випромінювання (радіаційного), а також газоаналізатори CO та двооксиду азоту (стаціонарні та ті, що працюють в автоматичному режимі).

Основою автоматизованого посту екологічного моніторингу є контролер (мікропроцесорний блок), що реалізує наступні базові функції:

- опитування датчиків постів екологічного контролю з заданим тимчасовим інтервалом між моментами вимірів;
- занесення інформації з датчиків контролю у внутрішню пам'ять із прив'язкою моментів виміру до реального часу;
- збереження інформації при перебоях із живленням;
- видача інформації з каналу на IBM PC по запити;
- обмін інформацією по модемному зв'язку із зовнішніми користувачами.

Усі функції виконуються апаратним і програмним способами.

**Апаратна частина** становить собою контролер на базі мікропроцесора, телефонної пари проводів і перехідника для з'єднання з комп'ютером. Оптимальна частота фіксації даних – один раз у 10 – 15 хвилин.

**Вимірювальна система** дозволяє розробляти додаткові пристрої для комплектації постів різними датчиками та програми первинної обробки інформації.

Як підсистему комунікації використовують мережу Internet і модемний зв'язок. Крім того, можливий радіомодемний зв'язок. Протокол обміну-передачі даних постів автоматизованого контролю передбачає передачу даних усіх постів на центральний (головний) пост системи по встановленому (погодженому) графіку по каналах електронної пошти Internet.

Структура інформаційної підсистеми може бути реалізована, на базі програмних продуктів, наприклад ARC View фірми ESRI (США). Основою інформаційного забезпечення системи є дані про стан навколишнього середовища в районі (регіоні). Така інформація може надходити як зі стаціонарних автоматизованих постів безперервного екологічного контролю, так і з пересувних лабораторій. У зв'язку з цим, для її збереження розробляються бази даних різної структури. Як показує практика, одержувану інформацію доцільно зберігати в таблицях, що відповідають датам проведених досліджень і містять адреси точок

контролю, спектр і концентрації досліджуваних забруднювачів, метеорологічні умови при проведенні вимірів тощо. На основі таких таблиць потім у геоінформаційній системі створюються карти точок вимірів і відновлюються поля неперервного забруднення.

**Автоматизовані пости екологічного контролю** розташовуються на постійному місці. Тому вся картографічна інформація має ту саму основу. База даних, як правило, складається з двох взаємозалежних таблиць. Перша містить так звану постійну інформацію довідкового характеру: адреса; зведення організаційного характеру (відповідальні за функціонування первинного посту екологічного контролю) тощо. Друга таблиця містить щодня поповнювану інформацію, що включає власне дані спостережень. У неї вносяться дата вимірів і значення вимірюваних факторів у визначені моменти часу. У базі даних фіксуються значення вимірів, отримані у визначені години (наприклад, у 9<sup>00</sup>, 12<sup>00</sup>, 15<sup>00</sup> і 18<sup>00</sup> год.). На основі організованої у такий спосіб інформації будуються діаграми та графіки зміни метеорологічних факторів чи концентрацій забруднювачів. ПС також дозволяє робити статистичну обробку результатів вимірів за періоди часу, що цікавлять користувача.

Усі дані, які надходять з автоматизованих постів контролю, проходять попередню обробку, що включає в себе оцінку вірогідності вимірюваних параметрів з метою виявлення метрологічних погрешностей та несправностей («збоїв») вимірювального устаткування. Крім того, здійснюється і форматування даних для передачі їх у геоінформаційну систему та записи у відповідні бази даних. Для обробки даних використовується програмне забезпечення, що дозволяє візуалізувати дані вимірів у табличному чи графічному вигляді. Файли даних у вихідному виді зберігаються в архіві системи.

Багато систем моніторингу включають картографічні тематичні бази даних по промислових підприємствах регіону (міста), містять дані про структуру й обсяги забруднень, які надходять у навколишнє середовище. Така інформація використовується при виявленні можливих винуватців несприятливих екологічних ситуацій.

Спеціалізовані програми по виконанню прогностичних і ситуаційних розрахунків, що можуть входити в систему екомоніторингу («Призма», «Дзеркало», «Хмара» та ін.) дають можливість визначати поширення забруднюючих речовин від джерел надходження забруднень. Це дає



можливість комплексно аналізувати екологічну ситуацію, яка складається на розглянутій території.

Інформаційна підсистема дозволяє представляти дані як в електронному вигляді, так і у вигляді «твердих» копій (карти полів забруднень, таблиці результатів вимірів, різні графіки, діаграми).

### **ГІС єдиного екологічного моніторингу регіону**

Розглянемо принципи побудови ГІС екологічного моніторингу для регіону міського типу. У загальному випадку вона повинна містити наступні взаємозалежні структурні ланки:

- бази та банки даних екологічної, правової, медико-біологічної, санітарно-гігієнічної, техніко-економічної спрямованості;
- блок моделювання й оптимізації промислових об'єктів;
- блок відновлення за даними вимірів і прогнозу поширення полів екологічних і метеорологічних факторів.

Для адміністративних органів регіонального керування виділяється ряд функцій, по яких виникає необхідність інформаційної підтримки прийнятих рішень в області екологічної безпеки життєдіяльності населення, раціонального енергоспоживання та енергозбереження. До таких функцій належить:

- звітність про результати виконання робіт у рамках соціально-екологічного стану регіону і заходах для його поліпшення;
- контроль поточного стану навколишнього середовища, перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих й тому подібних речовин на підвідомчій території;
- планування (річне, квартальне) програм соціального розвитку, вивчення якості життя населення, підвищення екологічної безпеки життєдіяльності населення в регіоні;
- керування в повсякденній адміністративній діяльності (розгляд претензій, скарг, конфліктів з юридичними та фізичними особами).

Потоки блок прийняття рішень інформації для прийняття керуючих чи коригувальних рішень проходять різні стадії: одержання, обробка і відображення інформації, оцінка і прийняття рішень.

Комплексність екологічних проблем вимагає системного підходу до їх рішення, що виражається в конкретних діях спеціалістів кожної галузі. Структура інформаційного забезпечення системи екологічного

моніторингу відображає цю специфіку. По функціональному призначенню його доцільно розділити на проблемно-орієнтовані блоки (чи ГІС шари) інформації окремих регіональних служб, включаючи архітектурно-планувальні, комунальні, інженерного забезпечення й ін.

Інформаційне забезпечення системи повинне містити, наступні тематичні шари інформації (рис. 8.1):

- загальна екологічна характеристика (атмосферне повітря, водойми, фунт, санітарно-епідеміологічні умови тощо);
- джерела негативного впливу на навколишнє середовище (викиди і скиди, тверді відходи тощо);
- зонування територій (об'єкти виробничого призначення, селітебні території, адміністративні будинки тощо);
- система охоронних територій (пам'ятники історії й архітектури, водоохоронні зони тощо);
- інженерно-технічні і транспортні комунікації (магістралі наземного і підземного видів транспорту, теплотраси, лінії електропередачі тощо);
- охорона здоров'я і соціально-побутові умови;
- нормативні і правові документи;
- перспективи розвитку регіону.

Одним з найважливіших елементів системи є дані про об'єктивний стан навколишнього середовища. Для прикладу розглянемо структуру баз даних з показниками якості атмосферного повітря та водних об'єктів.

**База даних по повітрю.** Система збору даних по якості повітря буде одержувати інформацію про якісний та кількісний стан метеорологічних і фізичних величин, отриманих від автоматичних приладів для виміру викидів, автоматичних приладів для виміру фонових параметрів, метеорологічних автоматичних приладів, пересувних лабораторій і вивчення руху автотранспорту.

Інформація заноситься в пам'ять і обробляється для подальшого одержання параметрів, що будуть використовуватися при вирішенні екологічних проблем. База даних по повітрю містить у собі базу даних по викидах в атмосферу і базу даних по забрудненню атмосферного повітря. Обидві бази даних повинні відповідати наступним вимогам:

- мати в наявності максимум інформації, займаючи найменший обсяг пам'яті;

- забезпечувати, завдяки легкому доступу, швидку обробку інформації;
- володіти гнучкістю стосовно доступу, пошуку й обробки даних;
- містити всю необхідну статистичну інформацію.



Рисунок 8.1 – Тематична інформація в регіональній системі єдиного екологічного моніторингу

Банк даних по викидах в атмосферу, крім того, повинен містити зведення про промислові підприємства, включаючи призначення та географічні координати підприємства, установлені для цих підприємств гранично допустимі викиди, їхні фактичні значення і т.п. Зокрема, він може включати наступні елементи:

- **виробничі об’єкти:** ідентифікуються усі виробничі чи переробні

об'єкти, виділяються робочі цехи, використовувані чи вироблені речовини, викиди з труб;

– **цивільні об'єкти**: визначаються об'єкти та їхнє призначення, визначається їхня частка викиду в повітря;

– **дані, отримані з мережі контролю**: визначаються станції і прилади зйомки атмосферного забруднення.

База даних по забрудненню атмосферного повітря містить координати кожного стаціонарного поста чи місцезнаходження пересувної лабораторії з указівкою часу виміру та прив'язаного до нього значення кожного вимірюваного інгредієнта.

Способи доступу в базу даних повинні бути простими і «спрямовуватися» самою системою. Порядок доступу повинен залежати від організації бази даних.

Рівень доступу визначає точку входу в базу даних і область її виводу на екран: чим вище рівень доступу, тим більш обширно буде представлена інформація.

Приватна, з погляду споживачів, база даних створюється на трьох рівнях:

1. Рівень доступу в базу даних.
2. Рівень прикладних програм.
3. Рівень даних.

На рівні доступу в базу даних здійснюється керування авторизованим доступом і власне доступ у базу даних. Потім споживач входить у рівень прикладних програм, у якому він може виконати визначене число функцій у залежності від дозволеного рівня доступу. Виконавши функції, споживач попадає в рівень даних.

Способи взаємодії споживача з архівом, прикладними програмами і даними не повинні залежати від деталей побудови бази даних. Техніко-конструктивні аспекти повинні входити у виняткову компетенцію відповідального за цю роботу співробітника й операторів системи, а споживач повинний підключатися тільки до прикладних функцій системи.

База повинна мати захист від несанкціонованого доступу на будь-якому рівні.

**База даних по водних об'єктах.** По кожному річковому басейну наводяться дані про соціально-економічну структуру, гідрологічні та гідрогеологічні параметри, водозабезпеченість, дані по екстремальних

ситуаціях і характеристикам повеней, організації водозбірної території, дані по іригації і дренажу, дані по якості води і контролю її забруднення, гідротехнічним спорудам й електростанціям, земельним та рослинним ресурсам, тваринному світу, рекреаційному освоєнню території та її перспективах, а також законодавчих актах.

Структурно, інформаційно та програмно бази даних по водних чи інших об'єктах моніторингу проектуються аналогічно вище описаній базі даних по атмосферному повітрю.

У ГІС тематична інформація, що стосується розташування та конфігурації основних джерел забруднення, повинна бути представлена відповідними електронними картами. Бази даних, у яких міститься інформація про підприємства регіону, у сукупності з відповідними картами дозволяють одержувати відповіді на такі запити:

- що становить собою об'єкт, виділений на карті, та де він розташований;
- які об'єкти викидають визначені шкідливі речовини;
- які підприємства викидають дану шкідливу речовину в обсязі більше дозволеного;
- які речовини викидає дане підприємство й у якому обсязі;
- які підприємства перевищують установлені нормативи;
- у якого підприємства прострочена дія дозволу на викид і скид;
- у якого підприємства є заборгованість по виплатах зборів за забруднення навколишньої природного середовища.

Дані про інженерно-технічні та транспортні комунікації повинні зберігатися в ГІС єдиного екомоніторингу також і у виді відповідних карт і тематичних баз даних. При цьому інженерно-технічні комунікації в базах даних мають додаткову графічну інформацію у вигляді креслень і пояснювальних документів, необхідних для їхньої безпечної експлуатації. У базах даних по транспортних магістралях повинні міститися такі екологічні показники, як інтенсивність руху, спектр і обсяг шкідливих викидів на одиницю довжини, віброакустичні дані тощо. Перелічені показники змінюються на різних ділянках магістралі. Тому при картографуванні магістралі представляються у виді сукупності взаємозв'язаних дуг, кожній з яких у базі даних ставляться характеристики у її відповідність. У цілому ж графічні та тематичні бази даних по

транспортних магістралях повинні забезпечувати виконання запитів:

- яка кількість заданої шкідливої речовини викидається по всій довжині транспортної магістралі;
- на якій магістралі викидається максимальна кількість визначеної шкідливої речовини чи всіх речовин разом;
- яка загальна кількість транспортних одиниць, які їдуть по заданій магістралі або кількість транспортних одиниць заданого виду;
- яка магістраль (чи ділянка магістралі) є найбільш завантаженою в транспортному відношенні.

Зображення автомобільних магістралей на карті лініями різної ширини в залежності від інтенсивності руху транспорту по них чи обсягу викидів забруднюючих речовин автомобілями на різних ділянках магістралей спрощує аналіз транспортної ситуації, а одночасне використання бази даних дозволяє одержати будь-яку інформацію, яка цікавить користувача.

Операція накладення шарів інформації в ГІС (наприклад, полів концентрацій СО) дозволяє зробити висновок про джерело екологічної небезпеки та прийняти відповідні управлінські рішення.

Крім розповсюджених баз даних у системі інформаційного забезпечення моніторингу особливе значення має блок моделювання розподілу полів концентрацій забруднюючих речовин на основі загальних показників роботи промислових об'єктів або інших джерел забруднення та ступені їх впливу на навколишнє середовище. Такі розрахунки необхідні:

- при аналізі неблагополучної екологічної ситуації в регіоні та для виявлення її винуватців (разом з інформацією з даних вимірів концентрацій);
- при прогнозуванні екологічної обстановки при впровадженні в дію, реконструкції тих чи інших джерел антропогенного впливу на навколишнє середовище;
- при визначенні розміру витрат на зменшення кількості викидів у навколишнє середовище.

В даний час існує ряд методик і самостійних програмних засобів (які не входять до складу ГІС), що дозволяють визначати поля концентрацій забруднюючих речовин за результатами рішення рівнянь, що описують в тій чи іншій мірі наближення розсіювання домішок у атмосфері або водному середовищі.

Таким чином, ГІС вносить значний вклад у створення єдиного інформаційного простору для територіальних служб управління.

### **Контрольні питання**

1. Сформулюйте і конкретизуйте задачі екологічного моніторингу регіону, у якому ви проживаєте.
2. Дайте характеристику функціональних блоків системи комплексного екологічного моніторингу.
3. Приведіть загальну структуру апаратних засобів і програмних продуктів, які застосовуються на постах екологічного контролю.
4. У чому полягають принципи побудови ГІС екологічного моніторингу регіону міського типу?
5. Яка інформаційна підтримка здійснюється при прийнятті управлінських рішень по екологічній безпеці регіону?
6. Охарактеризуйте тематичні шари інформації, що використовується в системі єдиного екологічного моніторингу.
7. Охарактеризуйте бази даних по об'єктах біосфери в системі екологічного моніторингу.
8. Охарактеризуйте бази даних по інженерно-технічних і транспортних комунікаціях.

## СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНИХ ДЖЕРЕЛ

### Основні

1. Шипулін В. Д. Основи ГІС аналізу : навч. посіб. / В. Д. Шипулін; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва. ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ, 2014. – 330 с.
2. Іщук О. О. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС : навч. посіб. / О. О. Іщук, М. М. Коржнев, О. Е. Кошляков; за ред. акад. Д. М. Гродзинського. – Київ : Вид.-поліграф. центр «Київський університет», 2003. – 200 с.
3. Мітчелл Енді. Керівництво з ГІС аналізу : в 2 ч. / Енді Мітчелл. – Київ : ЗАО ЕСОММ Со. Стилос, 2000. – Частина 1. Просторові моделі та взаємозв'язки. – 198 с.

### Додаткові

4. Методичні рекомендації до проведення практичних занять та самостійної роботи з навчальної дисципліни «Геоінформаційний аналіз» (для студентів денної та заочної форм навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій) [Електрон. ресурс] / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. О. Є. Поморцева. – Електрон. текст. дані. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 61 с. – Режим доступу: <https://eprints.kname.edu.ua/52653/>, вільний (дата звернення 29.12.2022). – Назва з екрана.
5. Monitoring of the environmental condition of the solid waste landfill using GIS [Electronic resource] / O. Pomortseva, S. Kobzan, S. Nesterenko, S. Sorokin // IEEE 17th International Conference on Computer Science and Information Technologies (CSIT), 2022. – P. 292–296. – Electronic data. – Regime of access: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10000817>, free (application date: 14.12.2022). – Title from the screen.
6. Поморцева О.Є. Модель моніторингу зміни площ ландшафтів [Електрон. ресурс] / О. Є. Поморцева, В. А. Затхей // MODERN SCIENTIFIC TRENDS AND STANDARDS : зб. наук. праць з матер. II міжн. наук.-практ. конф., 16–18 лют. 2022, м. Санта-Роса, Аргентина). – Електрон. дані. – 2022. – С. 462–471. – Режим доступу: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/view/18521>, вільний (дата звернення: 14.12.2022). – Назва з екрана.
7. Use of geoinformation systems in environmental monitoring [Electronic resource] / O. Pomortseva, S. Kobzan, A. Yevdokimov, M. Kukhar



// The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters : E3S Web Conf. (ICSF 2020), (May 20–22, 2020, Kryvyi Rih, Ukraine). – Kryvyi Rih , 2020. – Volume 166. – Electronic data. – Regime of access: [https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/26/e3sconf\\_icsf2020\\_01002/e3sconf\\_icsf2020\\_01002.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2020/26/e3sconf_icsf2020_01002/e3sconf_icsf2020_01002.html).

8. Поморцева О.Є. Використання геоінформаційних систем при моделюванні розміщення АЗС / О. Є. Поморцева // Perspectives of science and education : матер. IV Міжн. наук.-практ. конф. – м. Карлові Вари, Чехія, 2018. – С. 1380–1387.

9. Поморцева О.Є. Моделювання розташування екологічно небезпечних об'єктів за допомогою геоінформаційних систем / О. Є. Поморцева // Вч. запис. Таврійського нац. ун-ту ім. В. І. Вернадського. – Київ, 2018. – Т. 29 (68). – № 6. – С. 222–227. – (Серія: Технічні науки).

10. ArcGis desktop documentation [Electronic resource] : website – Electronic data. – Regime of access: <https://desktop.arcgis.com/en/documentation/>, free (application date: 29.12.2022). – Title from the screen.

*Електронне навчальне видання*

**ПОМОРЦЕВА** Олена Євгенівна

## **ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В ЗАДАЧАХ МОНІТОРИНГУ**

### **КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ**

*(для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти  
всіх форм навчання спеціальності 193 – Геодезія та землеустрій)*

Відповідальний за випуск *О. Є. Поморцева*

*За авторською редакцією*

Комп'ютерне верстання *О. Є. Поморцева*

План 2022, поз. 225Л

---

Підп. до друку 29.12.2022. Формат 60 × 84/16.

Ум. друк. арк. 14,0

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса: office@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 5328 від 11.04.2017.