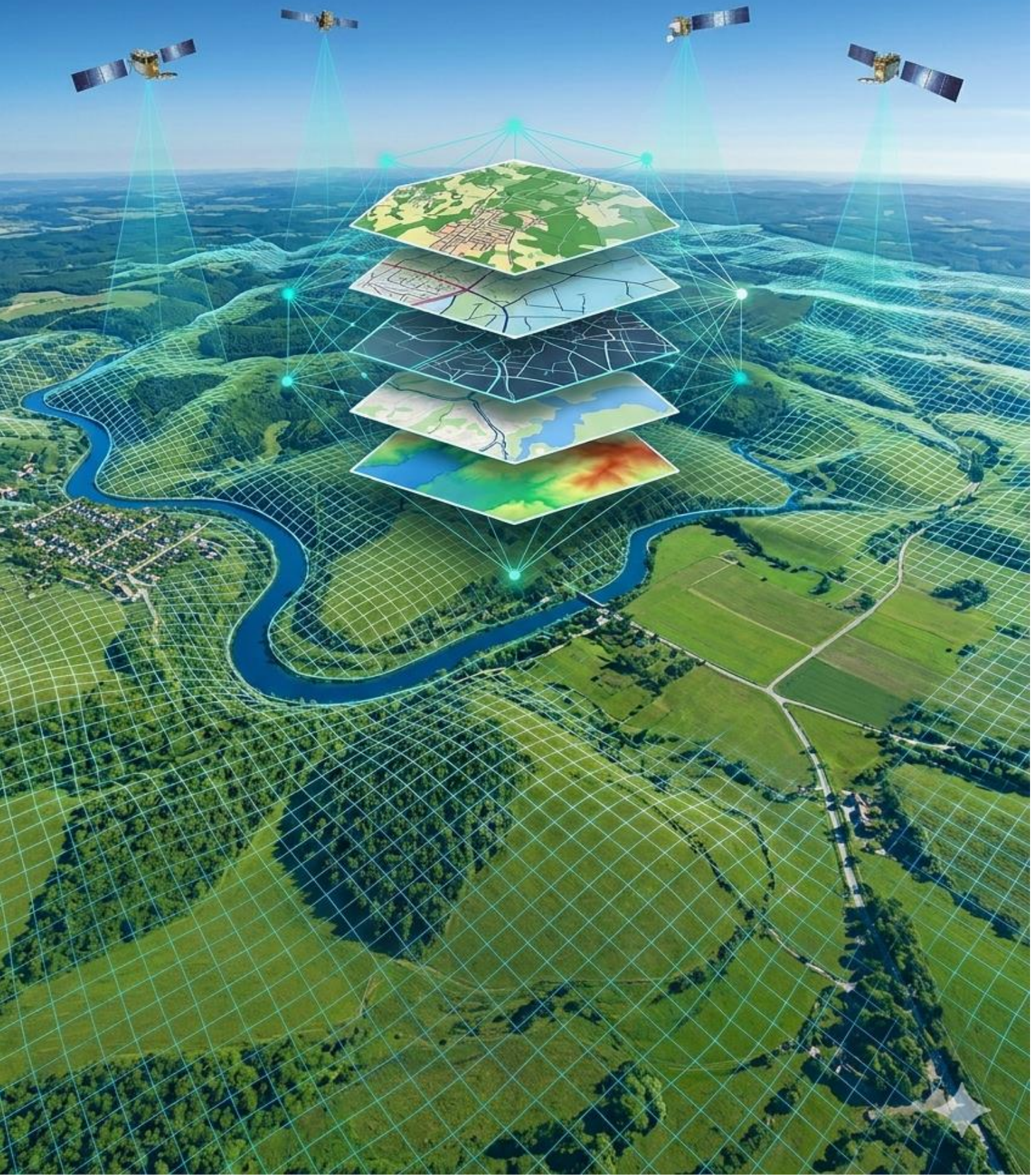
ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ



НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ «ІНСТИТУТ ГЕОЛОГІЇ»
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА

ЗАЦЕРКОВНИЙ В.І.
ЛЯШЕНКО Д.О.

ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ СИСТЕМИ В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ

Монографія

Київ - 2026

УДК 004.9:[353:911.3] (477)
ББК 26.17 + 65.04

Рекомендовано до друку Вченою радою
ННІ «Інститут геології»
Київського національного університету імені Тараса Шевченка
(протокол № 11 від 15.04.2026 р.)
Рецензенти:

Директор Інституту геодезії НУ Львівська політехніка д.т.н., професор **Савчин І.Р**.

Головний науковий співробітник відділу геоінформаційних технологій у дистанційному зондуванні Землі Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», д.т.н., професор **Станкевич С.А**.

Старший науковий співробітник відділу спеціальної металогенії Державної установи "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України" д.т.н., старший науковий співробітник **Дудар Т. В.**

Зацерковний В.І., Ляшенко Д.О.
З-38 Геоінформаційні системи в управлінні територіями: монографія. – 447 с.

У монографії викладено концептуальні та методологічні засади проектування і реалізації спеціалізованих підсистем геоінформаційних систем (ГІС) для потреб ефективного управління територіями. Обґрунтовано необхідність переходу від статичних баз даних до динамічних інструментів підтримки прийняття управлінських рішень.

Розкрито підходи до побудови архітектури підсистем ГІС, орієнтованих на регіональний рівень управління, та наведено прикладні моделі геопросторового аналізу об’єктів управління. Особливу увагу приділено методам інтеграції просторових даних, моделюванню сценаріїв розвитку територій та забезпеченню інформаційної взаємодії між різними рівнями муніципального та регіонального адміністрування.

Матеріали монографії мають теоретичне та прикладне значення, що робить їх корисними для науковців, аспірантів, фахівців у сфері геоматики, а також для державних службовців і управлінців, які формують стратегію розвитку громад. Використаний довідковий апарат дозволяє читачеві здійснити поглиблене вивчення представленої проблематики на прикладі кращих світових практик.

© Зацерковний В.І., Ляшенко Д.О., 2026
© ННІ «Інститут геології» КНУ імені Тараса Шевченка, 2026

ЗМІСТ

ЗМІСТ 4
СКОРОЧЕННЯ *9*
ПЕРЕДМОВА *10*
1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ 16
1.1. Необхідність формування концепції сталого соціально-економічного розвитку територій 16
1.2. Генезис концепції сталого розвитку 26
1.3 Визначення поняття сталого розвитку 29
1.4. Проблеми та можливості сталого розвитку в Україні 31
1.5. Аналіз підходів щодо реалізації концепції сталого розвитку в Україні 40
2. УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ ЯК ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС 43
2.1. Аналіз сучасного територіального устрою України 43
2.2. Загальні відомості про управління територіями 45
2.2.1. Загальні відомості про управлінську діяльність 45
2.2.2. Загальні відомості про управлінський процес 47
2.2.3. Аналіз сучасного стану управління територіями 50
2.3. Управління територіями, як інформаційний процес 57
2.3.1. Класифікація інформаційних систем 57
2.3.2. Класифікація задач, що розв’язуються інформаційними системами 60
2.3.3. Формування інформаційного механізму управління територіями 60
3. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ 63
3.1. Аналіз стану інформаційного забезпечення систем управління територіями 63
3.2. Обґрунтування необхідності застосування ГІС в управлінні територіями 69
3.3. Аналіз можливостей ГІС щодо розв’язку задач управління територіями 75
4. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ГІС 83

4.1. Загальні відомості про інтеграцію технологій ГІС, ДЗЗ і GPS 83
4.2. Моделі інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS 84
4.2.1 Лінійна модель інтеграції..... 87
4.2.2. Діалогова модель інтеграції..... 88
4.2.3. Ієрархічна модель інтеграції..... 89
4.2.4. Комплексна модель інтеграції..... 90
4.2.5. Інтеграція технологій ГІС з ”хмарним сервісом”..... 94
4.3. Аналіз розвитку ринку програмного забезпечення ГІС 95
4.4. Аналіз розвитку відкритих настільних ГІС 98
4.2.1. Історія розвитку відкритого програмного забезпечення ГІС..... 99
4.2.2. Розвиток відкритого програмного забезпечення ГІС на сучасному етапі 100
4.2.3. Аналіз програмного забезпечення відкритих ГІС..... 104
4.2.4. Оцінка переваг і недоліків ”відкритого” програмного забезпечення ГІС 108
4.2.5. Моделі проникнення на ринок відкритого ПЗ ГІС 114
5. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ 118
5.1. Задачі впровадження ГІС в Україні 118
5.2. Аналіз проблем впровадження ГІС у систему управління територіями 121
5.3. Технологічні проблеми впровадження ГІС у систему управління територіями..... 128
5.3.1. Проблема збереження просторових даних..... 128
5.3.2. Робота ГІС в мережі 131
5.3.3. Розподілені ГІС 136
5.3.4. Розширюваність ГІС..... 138
6. РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ГІС ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ..... 140
6.1. Мета створення ГІС для системи управління територіями..... 140
6.2. Принципи побудови ГІС в управлінні територіями..... 144
6.3. Загальний опис структури ГІС в управлінні територіями..... 146
6.3.1. Інформаційна структура ГІС в управлінні територіями..... 146

6.3.2. Тематичні шари ГІС в управлінні територіями 148
6.4. Функціональна структура ГІС в управлінні територіями 150
6.5. Базове програмне забезпечення 152
6.6. Програмно-технологічна структура і властивості ГІС в управлінні територіями..... 153
6.7. Основні вимоги до ГІС у системі управління територіями..... 156
6.8. Вимоги до проектування і впровадження ГІС у систему управління територіями..... 161
6.9. Організаційне забезпечення розробки і експлуатаціїГІС у систему управління територіями 168
7. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО РОЗРОБКИ СТРУКТУРИ ГІС У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ 171
7.1. Загальні відомості про розробку структури ГІС 171
7.2. Аналіз підходів щодо розробки функціональної структури ГІС..... 174
7.3. Побудова схеми узагальненої ГІС 183
8.1. Аналіз підходів до визначення кількості інформації..... 188
8.1.2. Оцінка кількості інформації за підходом К. Шеннона 191
8.1.3. Змістовна оцінка кількості інформації 193
8.2. Розроблення моделі оцінки приросту інформації, що одержується при впровадженні ГІС у систему управління територіями 196
8.3. Розроблення моделі оцінки приросту інформації, що одержується при впровадженні ГІС у систему управління територіями в канал зворотного зв’язку 202
9. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ ІСНУЮЧИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ГІС..... 206
9.1. Проблеми інтеграції даних для ГІС 207
9.2. Застосування теоретико-множинного апарата для побудови моделі інтеграції даних..... 209
10. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІМИ 215
10.1. Розробка моделі геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системі управління територіями 215
10.2. Розробка моделі управління розвитком територій за допомогою ГІС 220

10.3. Розробка моделі оцінки впливу людино-машинних похибок на процес управління територіями 227
11. РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ ТОЧНИМ І АКТУАЛЬНИМИ ДАНИМИ 240
11.1 Джерела даних для ГІС в управлінні територіями 240
11.2. Задачі управління територіями, що розв'язуютьсяза допомогою ДЗЗ 244
11.3. Розробка технологій ДЗЗ для підвищення розрізненності первинних даних 248
11.3.1. Розробка технології субпіксельного дешифрування цифрових зображень об'єктів за методом віртуальної фотоприймальної матриці 248
11.3.2 Розробка теоретичних основ побудови віртуальної фотоприймальної матриці 255
11.4. Розробка способу високоточної аерокосмічної зйомки лінійних об'єктів 258
11.5. Розробка конструктивних схем щодо підвищення точності прив'язки аерокосмічних знімків 264
12. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ 275
12.1. Загальні відомості про геоекологічне прогнозування 275
12.2. Розв'язок задач геоекологічного прогнозування за допомогою комбінаторного алгоритму 278
12.3. Розв'язок задач геоекологічного прогнозування за допомогою регуляризуючого функціоналу 289
13. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ 301
13.1. Розробка моделі оцінки якості функціонування комплексу ГІС і системи управління територіями 301
13.2. Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ за критерієм інформативності 314
13.3 Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ як складної системи 319
13.4 Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ за допомогою теорії статистичних рішень 323
13.5. Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ за вартісним критерієм 326

14. ГЕОПОРТАЛ, ЯК ЗАСІБ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ 330
14.1. Загальні відомості про геопортали 330
14.2. Еволюція програмного забезпечення для геопорталів 333
14.3. Функції геопорталів 335
14.4. Геопортал, як засіб інформування населення і бізнесу про реалізацію муніципальних і державних послуг та функцій 337
14.5. Інформаційний обмін між органами влади 338
14.6. Приклад побудови геопорталів у середовищі сервера додатків Oracle WebLogic 339
14.7. Геопортал ”ГІС-інвестор” як інструмент підтримки прийняття інвестиційного рішення 348
15. МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМ ГІСУ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ (НА ПРИКЛАДІ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ) 355
15.1. Загальна характеристика екологічного стану України 355
15.2. Головні екологічні проблеми України 358
15.3. Рівні постановки задач при створенні екологічних ГІС 363
15.4. ГІС природно-заповідного фонду Чернігівської області 367
15.5. ГІС моніторингу водних ресурсів та прогнозування підтоплень 373
15.6. ГІС моніторингу атмосферного повітря 382
15.7. ГІС моніторингу розміщення та утилізації відходів 390
15.8. Агроекологічна ГІС Чернігівської області 393
15.9. Соціально-екологічний веб-атлас Чернігівської області 414
15.10. ГІС екопатології 418
ПІСЛЯМОВА 423
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 427

СКОРОЧЕННЯ

ВР	водні ресурси
ГІС	геоінформаційна система
ГІТ	геоінформаційні технології
ДЗЗ	дистанційне зондування Землі
НПС	навколишнє природне середовище
ІЗ	інформаційне забезпечення
ІКТ	інформаційно-комунікаційні технології
ІР	інформаційний ресурс
ІС	інформаційна система
НІГД	національна інфраструктура геопросторових даних
ОПР	особа що приймає рішення
ПЗ	програмне забезпечення
ПЗФ	природно-заповідний фонд
СЕМ	соціально-економічний моніторинг
СЕС	соціально-економічна система
СУТ	система управління територіями
ТПВ	тверді побутові відходи
ЦММ	цифрова модель місцевості
ЦМР	цифрова модель рельєфу
API	Application Programming Interface - Інтерфейс прикладного програмування
GPS	(Global Positioning System) глобальна система позиціонування
GNSS	глобальні навігаційні супутникові системи (більш загальний термін для GPS, ГЛОНАСС, Galileo)
OGC	(Open Geospatial Consortium) Відкритий геопросторовий консорціум
REST	(Representational State Transfer) Передача репрезентативного стану
XSLT	(eXtensible Stylesheet Language Transformations) — мова розширених каскадних таблиць стилів для перетворень.

ПЕРЕДМОВА

..інформовані завжди будуть панувати над непоінформованими.
І народ, що припускає в своєму суспільстві наявність народовладдя,
повинен володіти силою, яку йому надає інформація"

четвертий президента США
Джеймс Медісон 4 серпня 1822 року.
(з напису на вході в бібліотеку Конгресу США)

Управління територіями розглядається фахівцями як системний, цілеспрямований вплив керуючої підсистеми (органів державної влади та місцевого самоврядування) на керовану підсистему (природне середовище, економічні суб'єкти, населення). Метою такого впливу є забезпечення адаптивної стійкості системи або її стратегічна трансформація відповідно до глобальних цілей сталого розвитку та національної безпеки. Концепція сталого розвитку, що орієнтована на підтримку рівноваги та збереження поточних ресурсів, дедалі частіше поступається місцем принципу антикрихкості Нассіма Талеба (Талеб, 2018). Якщо стійкість (robustness) дозволяє системі лише опиратися шокам, то антикрихкість (antifragility) передбачає здатність управлінських структур не просто виживати і захищати поточний стан а створювати гнучкі підходи до управління, що може забезпечити зміни.

Управління територіями всіх рівнів має бути спрямоване на формування оптимальних та безпечних умов життєдіяльності населення. У сучасну епоху динаміка ключових показників розвитку регіонів найбільш ефективно інтерпретуються через геопросторові дані. Їх наявність та інтеграція в управління є критичним фактором успішності прийняття рішень.

Сучасне управління територіями — це складна задача, що потребує безперервного моніторингу та інтелектуального аналізу великих масивів даних (Big Data). Параметрами аналізу є: динамічні характеристики навколишнього середовища; соціально-демографічні та містобудівні показники, просторово-часові кореляції суспільних процесів з урахуванням точної геопросторової локалізації об'єктів і суб'єктів управління.

Ефективність розв'язання цих задач безпосередньо залежить від використання національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД) та методів прикладної геоінформатики. Екстремальне зростання безпекових, економічних та екологічних викликів в Україні за останні десятиліття довело, що традиційні методи інформаційного забезпечення є вичерпаними (Громадське лобіювання..., 2007). Організаційна недосконалість класичних

систем управління територіями (СУТ) не дозволяє оперативно реагувати на кризи (Зацерковний та ін., 2010; Куйбіда та ін., 2009; Stimson et al., 2006; Карпенко, 2001).

Сьогодення вимагає переходу до проактивного управління, що базується на впровадженні геоінформаційних технологій: розробка ефективних рішень тепер неможлива без застосування цифрових двійників територій (Digital Twins), методів штучного інтелекту для аналізу просторових даних, прогнозування сценаріїв розвитку складних соціо-еколого-економічних систем.

Управлінське рішення – це консолідований масив інформації, спеціально зібраної, проаналізованої і опрацьованої суб'єктом управління (Зацерковний та ін., 2010).

Інформаційне рішення за своєю сутністю являє собою констатацію нинішнього стану системи, синтез інформації про сьогоднішній день з інформацією про майбутнє, яке виражене у меті, що поставлена перед системою. Тому розробка і впровадження ефективних інформаційних технологій (ІТ) для СУТ і прийняття ефективних управлінських рішень – нагальна потреба сьогодення (Зацерковний та ін., 2010).

Прийняття рішення є вольовим актом, що здійснюється особою, що приймає рішення (ОПР) за результатами обробки інформації.

Якість управлінських рішень, що приймаються ОПР, органами державної влади, найчастіше залежить від доступності, актуальності та коректності просторових даних, які слугують основою для аналізу ситуацій і прийняття рішень. Оскільки просторова інформація найчастіше є вирішальною для забезпечення соціально-економічного розвитку, планування і управління територіями, їх моніторингу, а геоінформаційні технології (ГІТ) забезпечують єдину просторову уніфікацію такої інформації та її спільне використання, сучасні геоінформаційні системи (ГІС) визнані у світі одним із універсальних інтегрованих інформаційно-технологічних засобів вирішення різноманітних регіональних проблем (Зацерковний та ін., 2013; DeMers, 1997; Longley et al., 2015).

ГІС надають можливість постійної актуалізації просторової і атрибутивної інформації, що надходить до органів управління або виробляється ними, поповнювати і фільтрувати її, виконувати просторовий аналіз, забезпечувати наочність та візуалізацію вихідної інформації у вигляді карт, графіків, факторних полів тощо. Крім того, ГІС надають користувачам:

– інформаційну підтримку (забезпечують необхідними даними);

– модельну підтримку (забезпечують аналітичними даними про зв'язки елементів моделі та власне моделі з оточенням);

– експертну підтримку (формують дані для дедуктивних висновків й експертного аналізу для вибору ефективних варіантів рішення).

ГІС дозволяють приймати оптимальні (ефективні) управлінські рішення та підвищити ефективність інтелектуальної праці керуючої ланки, оскільки

забезпечують цілеспрямований збір і швидкий аналіз величезних обсягів різноманітної інформації, практично не потребуючи збільшення коштів і кількості персоналу (Зацерковний та ін., 2010).

Геоінформаційна підтримка процесів управління територіальним (регіональним) розвитком призначена для інформаційно-аналітичної підтримки прийняття рішень на рівні районних і обласних органів державної влади, а також забезпечення загального доступу громадськості до інформації про поточні стани складових навколишнього природного середовища (водні екосистеми, атмосферне повітря, земельні та лісові ресурси тощо) і характеристики антропогенних чинників впливу на них.

ГІС дозволяють вести облік чисельності, структури і розподілу населення і одночасно використовувати цю інформацію для планування соціальної інфраструктури, транспортних мереж, оптимального розташування об'єктів охорони здоров'я, торгівельних закладів, протипожежних загонів і сил правопорядку.

У транспортній галузі ГІС вже довели свою ефективність завдяки можливості побудови оптимальних маршрутів, як для окремих перевезень, так і для цілісних транспортних систем у масштабах населеного пункту, району, регіону або навіть цілої країни. Можливість одержання актуальної інформації про стан дорожньої мережі і пропускну здатність дозволяє будувати дійсно оптимальні маршрути (Miller & Shaw, 2001; Pick, 2008; Патракеєв, 2009)

За допомогою ГІС можна і потрібно здійснювати моніторинг екологічного стану і раціональність використання природних ресурсів. ГІС спроможні не тільки надати інформацію щодо виникнення критичних ситуацій, але й завдячуючи можливостям моделювання прогнозувати можливість їх виникнення, давати відповідь куди саме спрямувати сили, засоби і кошти, щоб уникнути виникнення цих катаклізмів у майбутньому. За допомогою ГІС визначаються взаємозв'язки між різними параметрами, наприклад, ґрунтами, кліматом і врожайністю сільськогосподарських культур тощо.

Як свідчить світова практика, ГІС доцільно використовувати в управлінні і моніторингу територій, різноманітних кадастрах, соціально-економічних дослідженнях, аналізі і прогнозуванні тенденцій розвитку ринку товарів і послуг, оптимізації використання ресурсів регіонів, стохастичній теорії запасів, топології логістичних систем, виборі ефективних маршрутів перевезення вантажів та пасажирів, дослідженні соціально-екологічного, еколого-патологічного і демографічного стану територій тощо.

Застосування ГІТ дозволяє ефективно враховувати просторову залежність соціально-економічної інформації при управлінні виробництві і бізнесі, використання природних ресурсів, охорони навколишнього середовища та екологічної безпеки на різних управлінських рівнях.

ГІС дають можливість для перегляду як великих територій (панорама міста, адміністративного району, області), так і обмеженого простору, наприклад окремої ділянки.

За оцінками експертів, використання візуальної інформації при розв'язанні складних задач зменшує витрати на прийняття рішень у середньому в 4-8 разів порівняно з традиційними способами.

Широкому впровадженню ГІС у СУТ сприяє стрімкий розвиток наземної навігації, що ґрунтується на засобах супутникового позиціонування, (GPS, ГЛОНАСС, Галілео), телекомунікацій, дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), вебкартографування і картографічних сервісів в Internet, а також нагромадження великого об'єму просторових даних, розподілених по державних, галузевих, відомчих і комерційних базах даних (БД). Застосування ГІС для аналізу космічних і аерофотознімків дозволяє виявляти ділянки поверхні з заданими наборами властивостей, відбитих на знімках у різних ділянках спектру. Застосування технологій ГІС і ДЗЗ не обмежується науками про Землю, вони наприклад, можуть успішно використовуватись і в нетрадиційних сферах, – у реставраційній справі: знімки картин у різних ділянках спектру, у тому числі й невидимих для людського ока.

Розвитку і становленню ГІС суспільство завдячує плеяді видатних учених. Витоки геоінформаційного підходу закладені у фундаментальних працях «батька ГІС» Р. Томпліnсона (Roger Tomlinson), творця концепції картографічного моделювання Д. Томліна (Dana Tomlin) та засновника компанії ESRI Дж. Данджермонда (Jack Dangermond). Вагомий внесок у теоретичну базу просторового аналізу та обчислювальної геоінформатики внесли такі зарубіжні дослідники, як М. Гудчайлд (Michael Goodchild), П. Лонглі (Paul Longley), М. де Мерс (Michael DeMers), Х. Калкінз (Hugh Calkins) та М. Ворбойс (Michael Worboys).

На пострадянському та вітчизняному просторі розвиток цих ідей пов'язаний з іменами Берлянта О. М., Бугаєвського Л. М., Бусигіна Б. С., Бурачека В. Г., Бурштинської Х. В., Дорожинського О. Л., Капралова Є. Г., Карпінського Ю. О., Кошкарьова А. В., Лур´є І. К., Мельника О. В., Мокіна В. Б., Морозова В. В., Світличного О. О., Середиріна Є. С., Патракеєва І. М., Тікунова В. С., Хромченко А. І., Черваньова І. Г., Шипуліна В. Д., Цвєткова В. Я. та інших.

Теоретико-методичні основи застосування ГІС у галузі управління і моніторингу територіальними ресурсами в контексті сталого розвитку та системного моделювання просторових даних (Longley et al., 2015; Williamson et al., 2010) наведені у працях Готиняна В. С., Железняка М. І., Іщука О. О., Кохан С. С., Красовського Г. Я., Куссуль Н. М., Лялька В. І, Попова О. М., Прохорова О. П., Руденка Л.Г., Станкевича С. А., Трофимчука О. М., Шестопалова В. М., Якимчука М. А.

Розвитку математичних методів дослідження складних систем присвячені праці вчених Глушкова В. М., Згуровського М. З., Івахненка О. Г.

(Madala & Ivakhnenko, 1994), Самарського О. А. Системний підхід та теорія оптимального керування, що лежать в основі сучасного територіального менеджменту, базуються на принципах Л. Понтрягіна (Pontryagin et al., 1962), Дж. Кліра (George Klir) (Klir, 2001), Г. Саймона (Herbert Simon). Заслуговує на увагу колективна монографія що містить розробки в цьому напрямі досліджень (Bar-Yam, 2019).

Значний внесок у розвиток технологій імітаційного моделювання та системної динаміки, які нині використовуються в ГІС, внесли Дж. Форрестер (Jay Forrester), Дж. Стерман (John Sterman), Дж. Шеннон (Robert Shannon), а також вітчизняні та зарубіжні вчені: Бусленко Н. П., Зайцев В. Г., Кельтон В., Литвинов В. В., Лоу А., Прицкер А., Тимченко А. А., Томашевський В. М., Шрайбер Т. Дж. та ін.

Визнаючи наукову і практичну цінність розробок названих авторів, треба відзначити, що відсутність цілісної методології геоінформаційної підтримки прийняття рішень у СУТ не забезпечує ефективності прийняття рішень у процесі управління територіями, оскільки управління територіями сьогодні здійснюється головним чином на підставі суб'єктивних оцінок або з використанням моделей, які не відповідають сучасному рівню управління, що суттєво стримує автоматизацію розв'язку задач управління територіями та викликає об'єктивне протиріччя між високими вимогами до оперативності і ефективності прийняття рішень у процесі управління територіями та обмеженими можливостями науково-методичного апарату (моделей, методів, алгоритмів).

Це означає, що актуальною є науково-практична проблема підвищення ефективності управління територіями за рахунок впровадження ГІС у СУТ і наповнення ГІС актуальними і точними даними. Вимагається розробка методів, моделей та програмно-технічних засобів геоінформаційної підтримки прийняття рішень для СУТ. Вирішенню цієї науково-практичної проблеми, яка має важливе господарське значення, присвячені наукові дослідження у рамках пропонованої монографії.

Реалізація дослідження та підготовка матеріалів монографії здійснена авторським колективом, де кожен із співавторів забезпечив опрацювання специфічних аспектів муніципального управління та геоінформаційних технологій. Наукова праця є результатом комплексного дослідження, в якому поєднано методологічні засади геоінформатики, системного аналізу та територіального управління. Розподіл авторського внеску відображає міждисциплінарний характер роботи:

Зацерковний В.І. здійснив загальне наукове редагування монографії, сформулював концептуальні засади методології застосування ГІС у муніципальному секторі та визначив стратегічні напрями технологічного розвитку геоінформаційних систем. Його науковий внесок зосереджений на методологічному фундаменті книги та розробленню логіки побудови архітектури ГІС. Зацерковний В.І. підготував текст передмови та післямови,

де визначено науковий вектор роботи. У Розділі 7 автором побудовано узагальнену схему ГІС на основі системного аналізу, а в Розділі 4 розроблено технічні моделі інтеграції технологій (лінійна, ієрархічна, хмарна) та проведено глибокий аналіз ринку ПЗ. У Розділі 8 Зацерковним В.І. представлено математичне обґрунтування оцінки кількості інформації за К. Шенноном та моделювання каналів зворотного зв'язку. Розділ 9 присвячено застосуванню теоретико-множинного апарату для інтеграції різнорідних баз даних. У Розділі 11 викладено авторські розробки щодо субпіксельного дешифрування цифрових зображень за методом віртуальної фотоприймальної матриці. Розділ 12 містить розроблені автором комбінаторні алгоритми та методи розв'язання задач геоекологічного прогнозування із застосуванням регуляризуючого функціоналу.

У Розділі 13 сформовано комплексну систему критеріїв оцінки функціонування ГІС (за критеріями інформативності, вартості та теорії статистичних рішень). Розділ 14 розкриває еволюцію програмного забезпечення геопорталів та особливості їх побудови.

Ляшенко Д.О., в роботі акцентував увагу на засадах територіального управління. До його основного внеску належать наступні результати. концептуальний аналіз сталого розвитку та можливості реалізації концепції в Україні у Розділі 1. Виконано аналіз управління територіями як складного інформаційного процесу (розділ 2). У Розділі 3 обґрунтовано необхідність впровадження ГІС як інструменту розв'язання прикладних адміністративних задач. У Розділі 6 автором визначено принципи побудови тематичних шарів ГІС та сформульовано вимоги до впровадження систем у практику територіального менеджменту. У Розділі 10 розроблено моделі геоінформаційної підтримки прийняття рішень та проведено аналіз впливу людино-машинних похибок. Розділи 11 (пп. 11.1–11.2) та 12 (п. 12.1) містять напрацювання автора щодо класифікації джерел даних та теоретичних засад геоекологічного моніторингу.

Спільна розробка та практична апробація

Завершальний Розділ 15 монографії демонструє спільну роботу авторів над практичною реалізацією підсистем ГІС на прикладі Чернігівської області. В рамках цього розділу:

Ляшенком Д.О. проведено комплексну екологічну характеристику регіону, розроблено структуру ГІС природно-заповідного фонду, соціально-екологічний веб-атлас та моделі екопатології.

Зацерковним В.І. здійснено програмно-технологічне втілення підсистем моніторингу водних ресурсів, прогнозування підтоплень, контролю атмосферного повітря та утилізації відходів.

Зацерковний В.І. забезпечив високу технологічну валідність роботи. Ним сформульовано методологію ГІС у муніципальному секторі, що базується на теорії складних систем та інтелектуальному аналізі даних. Внесок автора дозволяє розглядати ГІС не лише як засіб візуалізації, а як складну

архітектурну платформу (геопортал), здатну до саморозширення та інтеграції з «хмарними сервісами».

Ляшенко Д.О. заклав фундамент територіального аналізу, розглядаючи управління як динамічний процес у контексті екологічної безпеки та сталого розвитку. Доведено, що ефективне управління територією можливе лише за умови перетворення просторових даних у стратегічну інформацію, яка враховує специфіку регіонального розвитку України.

Синтез цих підходів дозволив авторам створити цілісну концепцію геоінформаційного забезпечення, яка поєднує математичну точність прогнозів із практичними потребами сучасного територіального управління.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІЙ

1.1. Необхідність формування концепції сталого соціально-економічного розвитку територій

За останні десятиліття антропогенна діяльність людської цивілізації спричинила безпрецедентний тиск на природу, що призвело до глибокої деградації та виснаження ресурсного потенціалу світової біосфери. Високі темпи технологічної та економічної експансії, що базувалися на інтенсивному споживанні невідновлюваних енергетичних ресурсів, спричинили багатократне збільшення промислового виробництва та глобальне забруднення навколишнього природного середовища (НПС).

Нині ми спостерігаємо перехід від локальних екологічних проблем до глобальної кризи, де зміна клімату, втрата біорізноманіття та дефіцит питної води створюють прямі загрози міжнародній стабільності. Особливістю поточного десятиліття є усвідомлення того, що традиційні моделі економічного зростання вичерпали екологічний ліміт планети.

У цьому контексті виникає гостра потреба у цифровій трансформації екологічного управління. Використання геоінформаційних систем (ГІС) та інтелектуального моніторингу стає не просто технічним доповненням, а життєво необхідним механізмом для контролю антропогенного навантаження, прогнозування екологічних ризиків та переходу до моделі циркулярної економіки, здатної функціонувати в межах планетарних меж.

Безпрецедентними темпами спалюється органічне паливо, накопичене прадавніми біосферами протягом тривалої геологічної історії. Наприклад, якщо в кам'яному віці витрати енергії на одну особу становили близько 4 тис.

ккал/добу, в період землеробських технологій – 12 тис. ккал/добу, то зараз – 230-250 тис. ккал/добу (Forrester, 1969; Malecki, 1997).

Техногенні втручання в НПС стали порівняними з багатьма природними процесами. Різко зріс видобуток твердих корисних копалин і, отже масований вплив на літосферу. Наприкінці XX ст. при видобутку корисних копалин переміщувалося близько 100 млрд. т породи на рік, тобто по 17 т на мешканця планети. За останні 100 років індустріального розвитку концентрація CO_2 в атмосфері збільшилася на 13–16%, запиленість атмосфери зросла на 10–20%, освітленість Землі знизилася на 7–10%.

Близько 800 млн. людей у світі (14%) щодня голодують (Forrester, 1969; Malecki, 1997). Наслідком бідності і невлаштованості людей стала зростаюча міграція. Фахівці ведуть мову про потоки "екологічних біженців" – людей, що залишили місця проживання з екологічних причин. У 1998 р. їх кількість вперше перевищило число осіб, що мігрують з інших причин.

Удосконалення агротехніки і широке застосування добрив дозволили у XX ст. збільшити врожайність полів у 4 рази, а загальний збір врожаю – в 6 разів. Зростання обсягів виробництва продуктів харчування і успіхи медичної галузі сприяли швидкому зростанню чисельності населення. Це пов'язано з тим, що полювання і збирання можуть забезпечити існування 1-2 людини на квадратний кілометр, сільське господарство – 40, а сучасне промислове суспільство – 400 (Опанасюк & Доброжан, 2016). За останні два століття населення зросло з 1 до 6 млрд. осіб. Як приклад, на рис. 1.1 подана динаміка зростання чисельності населення, на рис. 1.2 – темпи зростання чисельності населення світу, на рис. 1.3 – щорічний приріст населення світу. При цьому в останні роки населення щорічно збільшується на 77 млн. чоловік. Згідно з прогнозами ООН, глобальна чисельність населення планети до 2050 р. може скласти 11 млрд. чоловік.

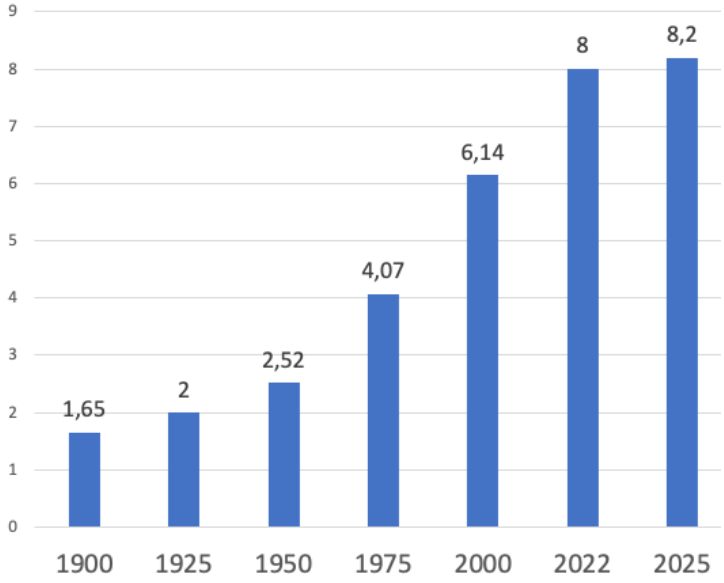


Рис . 1.1. *Динаміка зростання чисельності населення Землі (дані UN Population Division (Відділ народонаселення ООН)*

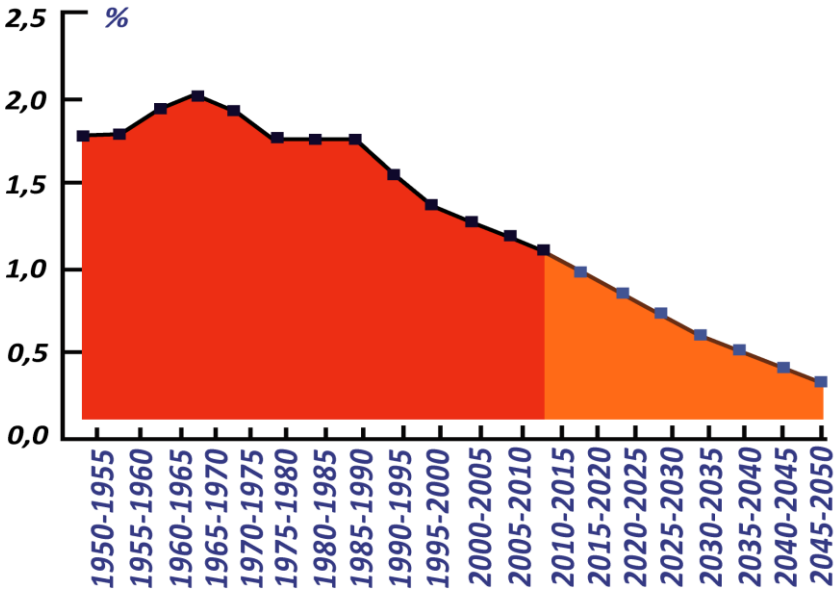


Рис . 1.2. *Темпи зростання чисельності населення світу, % (дані UN Population Division (Відділ народонаселення ООН)*

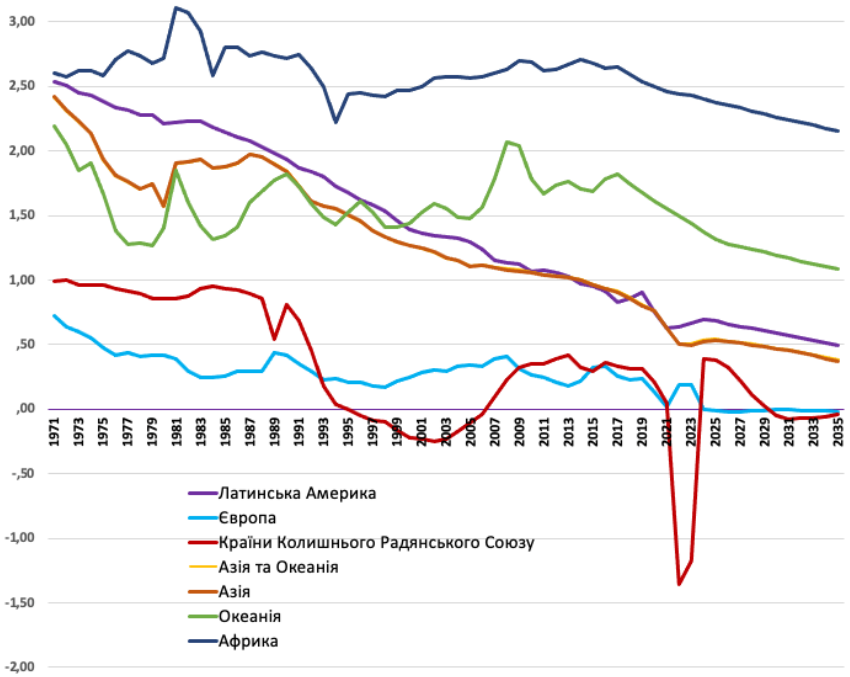


Рис . 1.3. *Щорічний приріст населення світу (дані (https://www.ers.usda.gov/data-products/international-macroeconomic-data-set)*

Якщо до 70-х рр. XX ст. чисельність населення світу зростала за гіперболічним законом, то в даний час спостерігається прогресуюче уповільнення темпів зростання населення Землі. Згідно з демографічними дослідженнями, чисельність населення продовжує швидко збільшуватися, хоча приріст скоротився.

Таким чином відбувся демографічний перехід. Населення Землі стрімко старіє. За даними ООН, в 1994-2014 рр. кількість людей старше 60 років подвоїлася, і зараз (2026 р.) літніх людей у світі більше, ніж дітей у віці до п'яти років.

У 2009 р., вперше за всю історію людства, чисельність міського населення зрівнялася з чисельністю сільського, склавши 3,4 млрд осіб. І далі очікується, що все більша частина світового населення буде представлена городянами (тобто міське населення продовжить зростати швидше, ніж населення світу в цілому), що підтверджується і останніми даними. У 2050 р., за середнім варіантом прогнозу ООН, понад половину населення світу проживатиме в Азії, чверть – в Африці, 8,2% – в Латинській Америці, 7,4% у Європі, 4,7% у Північній Америці. На 1 вересня 2016 р., чисельність населення Землі складало близько 7,46 мільярда чоловік. Вчені з ООН і Вашингтонського університету стверджують, що населення Землі до 2100 року складе 11 млрд. чоловік (Countrymeters, 2026).

Нестача харчування та забруднення НПС викликає катастрофічно швидке скорочення біорізноманіття на Землі. Нині під загрозою зникнення знаходяться 24% (1130 видів) ссавців і 12% (1183 виду) птахів (World Commission, 1987). Сучасна популяція людей поглинає близько 40% глобального енергетичного потенціалу у вигляді чистої біологічної продукції. Тим самим людина позбавляє їжі величезну кількість живих організмів і змушує їх вимирати.

Хижацьким чином продовжується знищення лісів. За останні 20 років втрата лісових масивів у світі склала 94 млн. га (приблизно 2,4% загальної площі) (UNEP, 2002).

Критерієм, що характеризує споживання людством ресурсів Землі є *екологічний слід* (e.c. Ecological Footprint) – показник, який виражається в гектарах біологічно продуктивної поверхні Землі, необхідної для відтворення ресурсів, що спожиті, та переробки відходів (рис. 1.4) (UNEP, 2002).

Екологічний слід – міра потреб людини у екосистемах планети. Це стандартизований показник, що відображає попит людської популяції на природній капітал, який може навіть перевищувати екологічну спроможністю планети до регенерації цього капіталу. Цей показник розраховується як для окремої людини так і для групи людей і подається площею біологічно продуктивної поверхні суходолу та води, необхідної як для постачання природних ресурсів, що споживаються людиною чи групою людей, так і для поглинання відходів, пов’язаних з цим споживанням.

Екологічний слід США або ОАЕ становить відповідно 4,1 і 5.4 ”планет”.

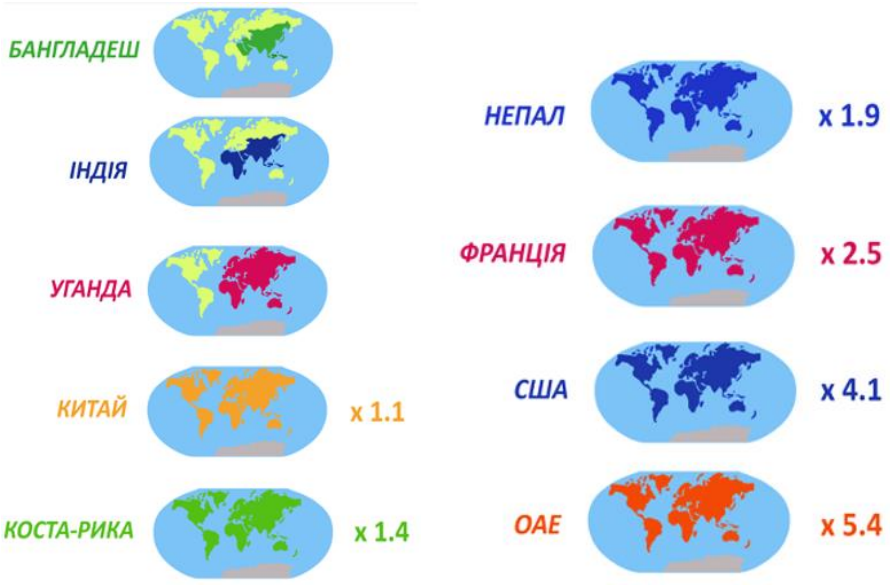


Рис. 1.4. *Екологічний слід людства якщо воно буде жити, як в тій чи іншій країні світу (дані UN Population Division (Відділ народонаселення ООН)*

Так, якщо кожен житель Землі буде жити на ”широку ногу”, як середньостатистичний американець, то нам буде потрібно більше 4-ох планет, таких як Земля. Якщо ж у кожного жителя планети будуть запити, як у середньостатистичного китайця, то однієї планети нам повинно вистачити.

Лідерами по використанням ресурсів Землі є Катар (1-е місце), Кувейт (2), Об'єднані Арабські Емірати (3) і Данія (4) США (5). Місця з 6-го по 10-е займають Бельгія, Австралія, Канада, Нідерланди та Ірландія.

За допомогою обрахунку е.с. вплив життєдіяльності людини на оточуюче середовище подається в глобальних гектарах суходолу та водної поверхні, що концептуально значно простіше для сприйняття. Дане поняття дозволяє порівняти потреби окремої людини, сім'ї, громади, нації та цивілізації в цілому в природньому капіталі з обсягами екологічних ресурсів, що є у розпорядженні, а також, з можливостями для їх відновлення.

Термін ”екологічний слід” був введений в обіг у 1992 р. канадським професором Вільямом Різом. Хоча термін цей вже добре відомий і набув широкого вжитку, проте методи підрахунку продуктивної поверхні суходолу і води відрізнялися у різних авторів. У 2006 р. з’явився перший погоджений стандарт обрахунку, який зробив результати більш порівнюваними та послідовними. Другий стандарт методології було схвалено у 2009 р. Завдяки цим методологіям стало можливим оцінити площі планетарних екосистем, які слід мобілізувати для того, щоб підтримати життєдіяльність людства в рамках існуючого способу життя та господарювання.

Розрахунки е.с. людства у 2007 р. засвідчили що цивілізації потрібно у 1,5 рази більше площі у вигляді різнорідних екосистем планети ніж на той час було в наявності на Землі. Це означає, що людство використовує екологічні ресурси планети у 1,5 рази швидше, аніж планета встигає відновити їх.

Населення переважної більшості розвинутих держав використовує більше природного капіталу, ніж генерується на їх власній території. Таким чином, навантаження на навколишнє середовище в розвинутих країнах, більше, ніж в інших. Було вирахувано так звані екологічні межі, які дозволяли природі підтримувати людську діяльність в рамках існуючого способу життя. Вони становили 2,2 га на одного мешканця планети. ООН вираховує екологічний слід людства щорічно.

Екологічний слід в Україні, становить 3,19 га на особу. З них – 1,14 га орних земель, 0,03 га пасовищ, 0,17 лісів, 0,11 місць для риболовлі, 0,07 га землі для будинку. Таким чином, Україна опинилась на 51-му місці серед 149 країн за площею, яку використовує для споживання ресурсів одна людина.

Деградація навколишнього природного середовища безпосередньо активізує небезпечні природні процеси з тяжкими екологічними наслідками. У 1988 році в Науковому центрі з епідеміології катастроф (CRED) при Католицькому університеті Лувена (Брюссель) було започатковано створення міжнародної бази даних катастроф EM-DAT. До цього банку даних включаються події, що відповідають критеріям масовості: загибель щонайменше 10 осіб, ураження понад 100 осіб, оголошення національного надзвичайного стану або звернення за міжнародною допомогою. Агрегована інформація EM-DAT стала стандартом для статистичного аналізу природних катастроф (Guha-Sapir et al., 2016)., дозволяючи відстежувати динаміку вразливості територій до стихійних лих у всьому світі (рис. 1.5).

Природні катастрофи є джерелом глибочезних соціальних потрясінь, спричиняючи масові страждання і загибель людей, приносячи величезні матеріальні втрати. Сумарна величина економічних втрат тільки за останнє десятиліття XX ст. склала 676 млрд дол. США (McGuire et al., 2002).

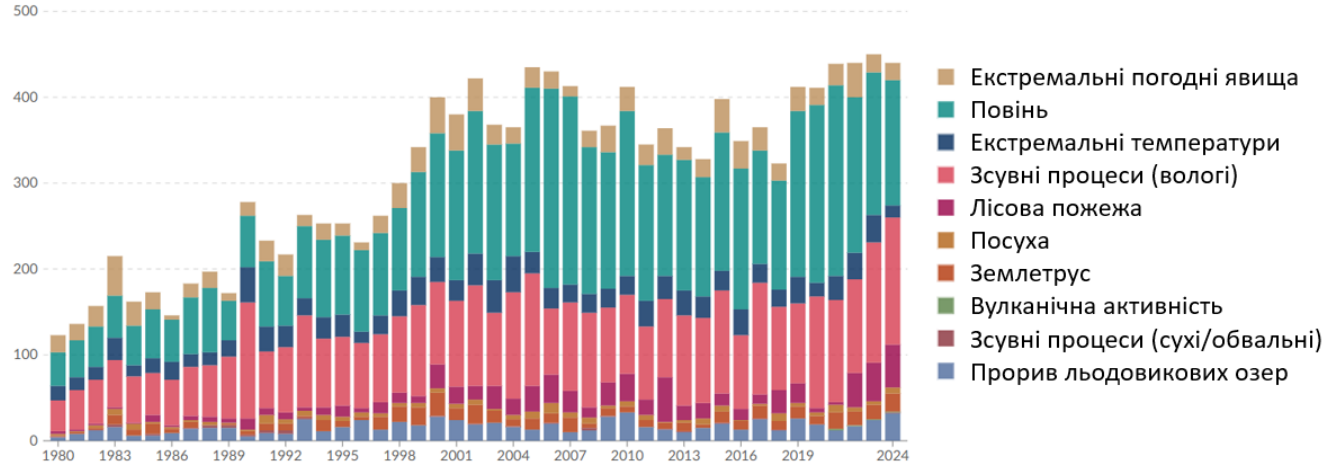


Рис. 1.5. *Динаміка природних катастроф у світі в 1980-2024 рр. за даними https://ourworldindata.org/grapher/natural-disasters-by-type?time=1980..2024*

Економічне зростання сучасної цивілізації нерозривно пов'язане з прогресуючим виробництвом відходів, що призводить до критичного

виключення ресурсів із природних циклів. Станом на 2026 рік майже 99% промислової сировини трансформується у відходи, що займають величезні площі та спричиняють деградацію біосфери. Ситуація ускладнюється безпрецедентною хімізацією, адже за роки промислового розвитку в базу CAS Registry було внесено понад 200 мільйонів речовин, більшість з яких є чужорідними для довкілля ксенобіотиками, що накопичуються в екосистемах у вигляді стійких органічних забруднювачів.

Масове забруднення навколишнього середовища радикально загострило дефіцит питної води, внаслідок чого вже понад 40% населення світу проживає в умовах гострої нестачі прісних ресурсів. Антропогенний тиск призводить до того, що незадовільний екологічний стан стає причиною кожної четвертої смерті у світі. За даними ВООЗ та ЮНЕП, забруднення атмосферного повітря щороку спричиняє близько 7 мільйонів передчасних смертей, що становить понад 12% від загальної смертності, тоді як низька якість води та відсутність належної санітарії залишаються провідними факторами поширення важких інфекційних та неінфекційних захворювань.

Така масштабна екологічна дестабілізація вимагає негайного впровадження інтелектуальних систем моніторингу на основі ГІС для аналізу просторового розподілу ризиків. Використання сучасних аналітичних моделей дозволяє пов'язувати концентрації токсичних речовин із показниками громадського здоров'я, що є фундаментальним для розробки стратегій сталого розвитку та мінімізації негативних наслідків для майбутніх поколінь (Bar-Yam, 2019; World Health Organization, 2024; Зацерковний, 2011b; Грановська, 2007).

Швидкими темпами розвивається урбанізація. На території міст відбувається територіально-зосереджений вплив на НПС. Акселераційне і безконтрольне зростання міст веде до неприпустимого забруднення води, ґрунтів і повітря, тому їх жителі мешкають у менш сприятливому екологічному та соціальному середовищі. Крім того, урбанізація супроводжується різким зниженням ресурсу стійкості міських територій до впливу техногенних і техноприродних катастроф. Це підвищує ступінь небезпеки проживання людей в містах і вимагає від влади величезних зусиль для підтримки життєзабезпечувальних функцій міської інфраструктури.

Загальні глобальні внутрішні і зовнішні загрози Землі і людству представлені на рис. 1.6.

Рис. 1.6. *Глобальні внутрішні і зовнішні загрози Землі і людству*

Ризики сталому розвитку планетарного масштабу представлені на рис. 1.7. У зв'язку з цим світове співтовариство усвідомлює необхідність переходу на принципи сталого розвитку на планетарному, національному та регіональному рівнях як найактуальнішу задачу сьогодення. Таким комплексним рішенням світовою спільнотою визнана *концепція сталого соціально-економічного розвитку*, яка передбачає вирішення цих глобальних проблем і забезпечення майбутніх поколінь ресурсами, необхідними для задоволення його потреб.

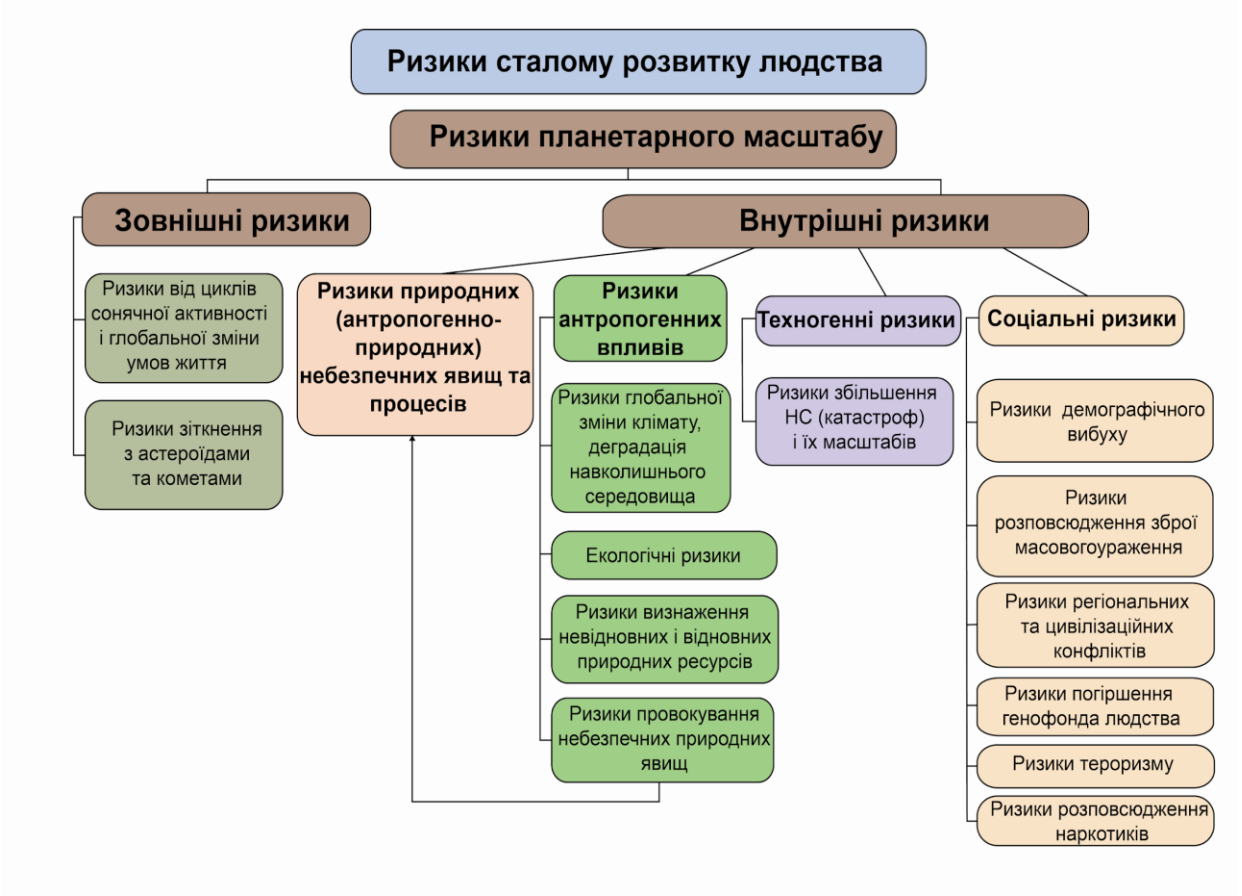


Рис. 1.7. *Ризики сталому розвитку людства планетарного масштабу*

Термін ”*сталий розвиток*” є офіційним українським перекладом англомовного сполучення ”*sustainable development*” і містить такі семантичні тлумачення, як ”життєздатний”, ”всебічно збалансований”, ”достатній”.

Сталий розвиток (sustainable development) розглядається як парадигма функціонування суспільства, за якої задоволення потреб нинішніх поколінь здійснюється без шкоди для спроможності майбутніх поколінь задовольняти їхні власні потреби. В основі цієї концепції лежить принцип збалансованого поєднання трьох ключових складників: економічного зростання, соціальної інклюзивності та екологічної цілісності.

Різним аспектам сталого розвитку присвячено чимало фундаментальних праць. Політичні та міжнародні виміри проблеми досліджували Д. Медоуз (D. Meadows), Л. Браун (L. Brown), Г. Гарднер (G. Gardner), Н. Картер (N. Carter) та Ш. Ліле (S. Lile). Питання впливу глобалізації на сталість перебувають у центрі уваги Д. Кортена (D. Korten), К. Флавіна (C. Flavin) та Г. Френч (H. French), а також таких дослідників як А. Урсул, С. Глазачов та І. Потравний.

В Україні формування теоретичного підґрунтя концепції розпочалося у 1992 році та відображено у працях Б. Буркинського, В. Кухаря, О. Осауленка та В. Шевчука. Особливу роль у розробці еколого-географічних та просторових засад відіграли Л. Руденко, С. Лісовський та Є. Маруняк, чиї

доробки дозволили адаптувати глобальні екологічні пріоритети до національних реалій державотворення.

Сучасний етап досліджень станом на 2026 рік характеризується переходом до цифрового моделювання сталого розвитку, що висвітлено у працях таких авторів як М. Боренштейн (M. Borenstein) та С. Себа (S. Seba), а також у розробках щодо інтелектуального аналізу геоданих Д. Лянг (D. Liang) та С. Ванг (X. Wang). Основні етапи концепції представлені на рис. 1.8.

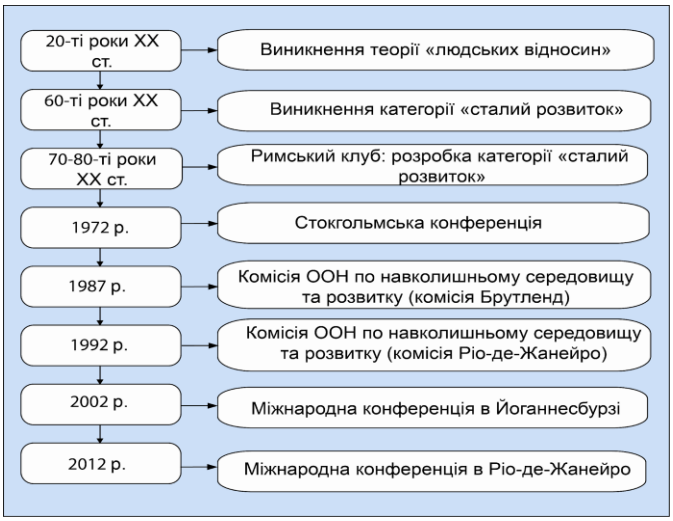


Рис. 1.8. *Етапи становлення теорії сталого розвитку людства*

Незважаючи на серйозні теоретичні розробки, перехід до принципів сталого розвитку в Україні, на жаль, поки що відбувається тільки декларативно.

Головні компоненти концепції сталого розвитку суспільства представлені на рис. 1.9.

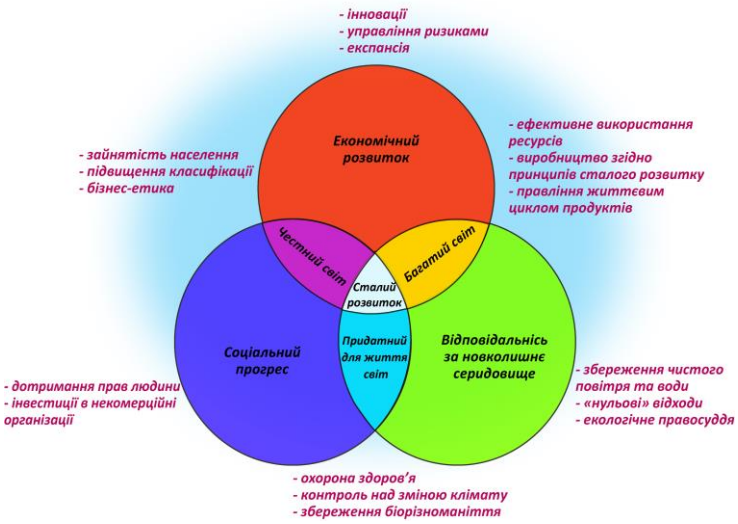


Рис. 1.9. *Головні компоненти концепції сталого розвитку суспільства* (Білявський та ін., 2005)

1.2. Генезис[1] концепції сталого розвитку

Результати діяльності людства у XX ст. – надзвичайно сильне забруднення всіх геосфер (зокрема, через військові конфлікти), величезна і незворотна деформація природних властивостей НПС, глобальна екологічна криза на планеті, що руйнує систему життєзабезпечення населення.

Вплив людини поширився на близький космос, а обсяги діяльності в межах земної кори досягають геологічних масштабів. Антропогенне навантаження на НПС збільшилося в сотні тисяч разів, результатом, чого стали неконтрольований розвиток у багатьох регіонах планети і незворотні процеси деградації екосистем, поява небезпечних кризових екологічних ситуацій, загроза існування самої цивілізації.

Дедалі більша кількість людей і держав відчуває гострий дефіцит не тільки в якісних харчових продуктах, а й в якісній воді, в чистому повітрі, в енергетичних, земельних, біологічних та інших ресурсах. Відомо, що традиційне землеробство може прогодувати лише 3 млрд. чоловік. Кожні ж 10 днів народжується на планеті майже 4 млн. чоловік. Якщо такі темпи зростання населення залишаться, то, за даними світових експертів, працівникам сільського господарства треба тільки найближчі 50 років XXI ст. виробити стільки продуктів харчування, скільки їх було вироблено за останні 10 тисяч років історії цивілізації.

Людство вийшло з-під контролю біосфери, створивши нову систему – *ноосферу*, що регулюється законами людського розуму, а не біології. Воно розірвало всі контрольні механізми біосфери. Зростання чисельності населення понад межі природних коливань – це вже пусковий механізм епідемії.

У 1968 р. за ініціативою А Печчеї (рис. 1.10) був заснований Римський клуб, де зароджується ідея про межі і граничність зростання і розвитку цивілізації.

Римський клуб – міжнародна неурядова організація, що об'єднує в своїх рядах вчених, громадських діячів і ділових людей більш, ніж з 30 країн світу, стурбованих перспективами розвитку людства. Зусилля членів Римського клубу спрямовані на вирішення актуальних проблем сучасності шляхом розробки нового напрямку в їх вивченні, що отримав назву *глобальне моделювання*. Так виникла нова наука глобалістика, що вивчає проблеми всього людства за допомогою комп’ютерного моделювання, без поділу на Захід і Схід, Північ і Південь. Римський клуб в даний час складається з приблизно 100 окремих членів; понад 30 національних та регіональних асоціацій; Міжнародного центру у Вінтертурі, Європейського центру

[1] **Генезис**, також **генéза** (грец. *γένεσις* від грец. *Γέννόω* – породжую, створюю, лат. *genesis*) – походження, виникнення; процес утворення. В науці це опис походження, виникнення, становлення, розвиток, метаморфоза або (необов'язково) загибель об'єктів.

підтримки у Відні та фонду Римського клубу, який забезпечує можливість для великих індивідуальних донорів взяти участь у розробці та поширенні проектів Клубу.

Розробка концепції сталого розвитку почалася восени 1983 р., коли згідно з резолюцією 38/361 Генеральної Асамблеї ООН було створено Міжнародну Комісію у справах навколишнього середовища та розвитку. Очолила її на той час прем'єр-міністр Норвегії Гру Харлем Брундтлан (рис. 1.11).

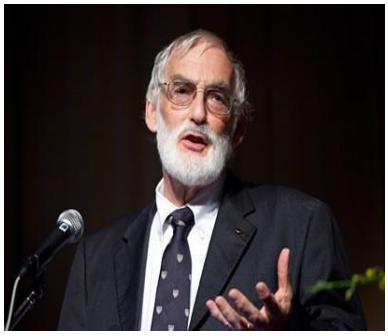


Рис. 1.10. *Ауреліо Печчеї (Aurelio Peccei; 4.07.1908, Турин – 14.03.1984, Рим – італійський вчений, засновник Римського клубу*

Рис. 1.11. *Гру Харлем Брунтлан*

Перед Комісією були поставлені завдання:

– запропонувати нові довгострокові стратегії в галузі сталого НПС, які б дозволили забезпечити сталий розвиток у довгостроковому періоді;

– рекомендувати шляхи співпраці розвинутих країн та країн, що розвиваються, в галузі охорони НПС;

– розглянути засоби, за допомогою яких світове співтовариство змогло б ефективно розв'язувати проблеми НПС;

– допомогти виявити спільні підходи до розуміння проблем НПС та того, що необхідно зробити для успішного вирішення проблем захисту та підвищення якості стану НПС, сформулювати довгострокову програму дій для наступних десятиліть та цілі, які повинно поставити перед собою світове співтовариство.

У 1987 р. Комісія завершила свою роботу. Її доповідь була розглянута на 42 сесії Генеральної Асамблеї ООН восени 1987 р. (World Commission, 1987). Подальшого розвитку ідеї доповіді Комісії набули в рішеннях Конференції ООН з навколишнього середовища і розвитку, що була проведена в Ріо-де-Жанейро у червні 1992 р. На цьому форумі планетарного масштабу представниками 179 країн було прийнято низку важливих документів, зокрема, – Програму дій "*Порядок денний на 21 століття*" – основоположний документ у галузі переходу до сталого розвитку країн світу, де були розглянуті нагальні проблеми сучасності в галузі довкілля та розвитку і була поставлена мета підготувати світ до завдань наступного століття з досягнення довгострокових цілей сталого розвитку.

Підсумки виконання дій, рекомендованих Конференцією, були підведені в червні 1997 р. у Нью-Йорку на черговій сесії Генеральної Асамблеї ООН. Результати роботи сесії були викладені у Програмі дій з подальшого впровадження “Порядку денного на 21 століття”, більш відомий під назвою “Rio+5”. У цьому документі були розглянуті позитивні та негативні моменти п’ятирічного періоду переходу людства до сталого розвитку. Було зроблено висновки, виходячи з досвіду, набутого країнами світу за 5 років, зроблено відповідні рекомендації урядам країн.

У 2002 р. на Саміті Землі (Earth Summit) на вищому рівні був узгоджений план подальших дій по сталому розвитку “Rio+10”, який підтвердив прихильність ООН повного здійснення “Порядку денного на 21 століття”, поряд з досягненням ”Цілей розвитку тисячоліття” й інших міжнародних угод.

У червні 2012 р., через 20 років після конференції з навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро, знову пройшла зустріч країн на саміті “Ріо +20”, де було обговорено проблеми “земної” економіки, сталого розвитку та викорінення бідності. Представниками різних країн знову була підтверджена прихильність ”Порядку денного на 21 століття”, проте були переглянуті деякі питання. В результаті цієї зустрічі було прийнято новий документ під назвою ”Майбутнє, яке ми хочемо”.

Узагальнюючи світовий досвід, можна виділити чотири фундаментальні критерії сталого розвитку на довгострокову перспективу, що ґрунтуються на класифікації природних ресурсів та динаміці їхнього відтворення:

Забезпечення простого відтворення відновлюваних природних ресурсів (земельні, водні, лісові ресурси тощо). Їхня сукупна кількість та якісні характеристики мають принаймні не погіршуватися протягом часу.

Мінімізація темпів вичерпання невідновлюваних ресурсів (паливно-енергетичні та мінерально-сировинні копалини). Стратегічною метою є їхня поступова заміна в майбутньому на альтернативні та нелімітовані види ресурсів (наприклад, перехід від викопного палива до сонячної, вітрової та інших видів відновлюваної енергетики).

Технологічна трансформація виробництва на основі впровадження ресурсозберігаючих, маловідходних та замкнених циклів (циркулярна економіка), що дозволяє максимізувати корисний ефект з одиниці використаного ресурсу.

Нормування антропогенного навантаження на довкілля. Сумарний обсяг забруднення не має перевищувати асиміляційний потенціал природних систем. Хоча досягнення абсолютно «нульового» рівня викидів є технологічно неможливим, критерієм виступає мінімізація забруднення до соціально та економічно прийнятного рівня (екологічно безпечного стану)».

1.3 Визначення поняття сталого розвитку

Нині існує велика кількість визначень сталого розвитку. Найбільш популярні представлені в табл. 1.4, 1.5.

Проголошення сталого розвитку загальносвітовою стратегією поставило задачу створення національних стратегій. Концепція сталого розвитку визнає, що не споживання ресурсів і економічне зростання, а рівень забруднення навколишнього середовища, статистика, яка виявляє якість життя є основними показниками економічного розвитку.

Таблиця 1.4.

"Сталий розвиток": зарубіжна наукова думка

Автор	Визначення
Роби Г.Е. (Daly 1990)	Розвиток, при якому зростання не перевищує несучої здатності (carrying capacity) НПС можна вважати соціально стійким
Інститут світових ресурсів (1996)	Розвиток, при якому природні ресурси, людство і фінанси управляються і використовуються таким чином, щоби збільшити багатство і благоустрій людей без погіршення умов їх життєдіяльності у майбутньому
Комісія Брундтланд (Акимова, 1998)	Така модель соціально-економічного розвитку, при якій досягається задоволення життєвих потреб нинішнього покоління людей без того, щоб майбутні покоління булі позбавлені такої можливості через вичерпання природних ресурсів деградацію НПС
Газізулін М.Ф. (1992)	Еколого-економічна рівновага в суспільстві
Гузєв М.М. (1997)	Форма соціально-економічного розвитку суспільства на базі постіндустріальної моделі господарювання і вільної творчої праці з урахуванням інтересів сучасного і майбутніх поколінь та спрямування на досягнення високого рівня якості природного середовища життєдіяльності людини
Возняк В. (1993)	Необхідність цілеспрямованих антропогенних змін природного середовища і соціального стану, які повинні допомогти суспільству подолати обмеженість біосферних умів його існування
Розенберг Г. Гелашвілі Д., Краснощоков Г. (1996)	Допустимий розвиток, або розвиток, що не виснажує наявні ресурси або розвиток, який зберігає цілісність

Замятіна М. Ф. (1998)	Сукупність соціальних і структурних економічних перетворень, що оптимізують економічні та соціальні блага, які знаходяться в розпорядженні суспільства без загрози потенційним чи аналогічним благам у майбутньому

Еволюція системи управління регіонами України демонструє підвищення значущості територіального чинника, активізацію процесів регіоналізації, які забезпечують територіям відносну економічну самостійність в прийнятті управлінських рішень.

Таблиця 1.5

"Сталий розвиток": вітчизняна наукова думка

Автор	Визначення
Концепція сталого розвитку України (1997)	Це процес гармонізації продуктивних сил, забезпечення задоволення необхідних потреб усіх членів суспільства за умови збереження й поетапного відтворення цілісності природного середовища, створення можливостей для рівноваги між його потенціалом і вимогами людей усіх поколінь
Данилишин Б.М. Шостак Л.Б. (1999)	Це така система відносин суспільного виробництва, при якій досягається оптимальне співвідношення між економічним ростом, нормалізацією якісного стану природного середовища, ростом матеріальних і духовних потреб населення
Шевчук В.Я. (2001)	Процес гармонізації продуктивних сил, задоволення необхідних потреб усіх членів суспільства за умови збереження і поетапного відтворення цілісності НПС, забезпечення рівноваги між потенціалом природи та вимогами людей усіх поколінь
Герасимчук З.В. (2002)	Процес забезпечення функціонування територіальної системи із заданими параметрами в певних умовах, протягом необхідного проміжку години, що веде до гармонізації факторів виробництва та підвищення якості життя сучасних і наступних поколінь за умови збереження і поетапного відтворення цілісності навколишнього середовища
Прадун В.П. (2005)	Збалансований розвиток, тобто такий, що має збалансовану динамічну рівновагу між компонентами інтегрованої екосистеми

Апріорі процес прийняття управлінських рішень повинен відбуватися з урахуванням особливостей окремих територій (суб'єктів держави). Так,

управління сталим розвитком території, передбачає якісну і точно визначено оцінку соціально-економічного потенціалу регіону, з позиції прийняття управлінських рішень, де необхідно враховувати динамічність і часовий характер розвитку соціально-економічної системи регіону. В зв'язку з цим, з метою підвищення ефективності управління сталим розвитком території, підвищується значущість розробки теоретичних, методологічних, практичних положень і рекомендацій із забезпечення достовірною інформацією про потенційні можливості соціально-економічної системи досліджуваної території.

1.4. Проблеми та можливості сталого розвитку в Україні

Україна має потужну мінерально-сировинну базу (МСБ) і відноситься до найбільших мінерально-ресурсних держав світу. На її території виявлено понад 20 тисяч родовищ і рудопроявів, що представлені 97 видами корисних копалин, розвідано біля 8000 родовищ, половина з яких розробляється. Найбільше значення мають залізні, марганцеві, уранові руди, вугілля, газ, нафта і конденсат, титан, циркон, благородні і рідкісні метали, рідкісноземельні елементи, каолін, графіт, нерудна сировина для металургії, декоративний камінь, мінеральні води. З мінеральними ресурсами і продуктами їх переробки ще до недавно було пов'язано 42 % ВВП і 60 % валютних надходжень від експорту. Займаючи площу в 603,7 км^2 (0,4 % світової суші) Україна спроможна забезпечити 5 % світової потреби в мінеральній сировині (рис. 1.12).

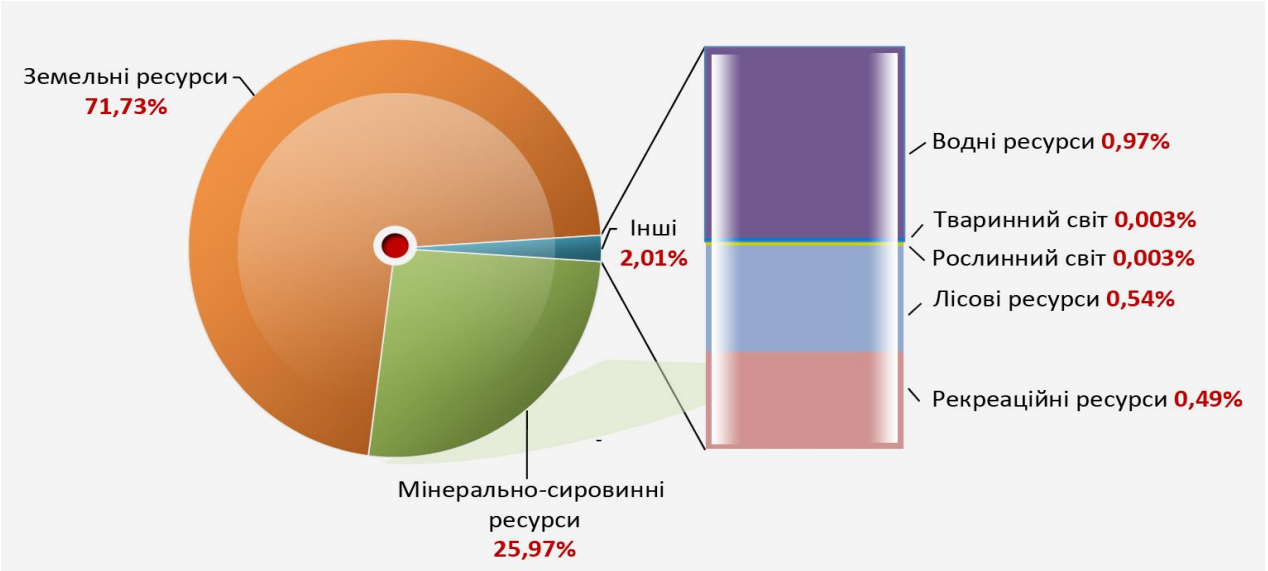


Рис. 1.12. *Основні складові природно-ресурсного потенціалу України (дані Держстат України)*

За науковим потенціалом Україна посідала, за класифікацією ЮНЕСКО, сьоме місце в світі. На середину 1990-х рр. науковий комплекс держави включав понад 1300 одиниць. У ньому працювало 1,5 тис. академіків і членів-кореспондентів НАН України, понад 9 тис. докторів наук і понад 78 тис. кандидатів наук 50% наукового потенціалу України було зосереджено у вищих навчальних закладах.

Науково-технічний потенціал – сукупність наявних ресурсів якими володіє країна і які можуть слугувати базою для наукових відкриттів, винаходів і технічних нововведень, а також для вирішення національних і міжнародних проблем, що ставляться перед сучасною наукою.

До основних елементів наукового потенціалу відносять:

– людські ресурси країни, які працюють в науці і техніці;

– фінансові ресурси, які виділяє країна на наукові дослідження;

– засоби наукового виробництва;

– центри і служби наукової інформації;

– поточні і перспективні програми наукових досліджень;

– центри з керівництва науково-технічною діяльністю країни.

Однак глибока економічна криза, яка охопила все народне господарство упродовж 1990-х років, вкрай негативно позначилася на розвитку науки і техніки. Скорочення виробництва валової і товарної продукції, валового внутрішнього продукту і національного доходу створили несприятливі умови і для розвитку науки й техніки. Науково-технічний потенціал України через глибоку економічну кризу почав зазнавати кризи: вдвічі скоротилася кількість проектних і дослідницьких організацій, майже на 50% зменшилася чисельність наукових працівників (рис. 1.13).

Відбувалося це значною мірою за рахунок провідних учених і здібної молоді. Якщо у сфері науки та наукового обслуговування в 1991 р. було зайнято 450 тис. осіб, то вже в 1997 – 233 тис., а питома вага асигнувань на розвиток НДДКР з 3% ”досягла” катастрофічної, з погляду інтенсивного відтворення суспільного продукту, величини 0,3 % ВВП країни (і це при тому, що фінансування науки на рівні, нижчому 1%, повністю позбавляє її можливості розвиватися) (Боднар, 2011).

У той час як науково-технічна сфера, що в розвинутих ринкових країнах є однією з найбільш пріоритетних сфер державної фінансової підтримки, з бюджету України фінансується за залишковим принципом. В Україні витрати на науку з кожним роком скорочується, і далі зростає відставання від розвинених країн Європи (рис. 1.14).

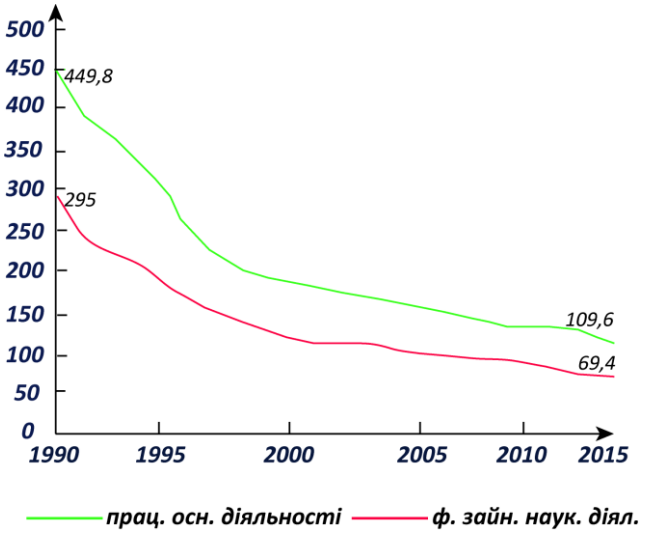


Рис. 1.12. *Динаміка зміни кількості наукових працівників в Україні (дані Держстат України)*

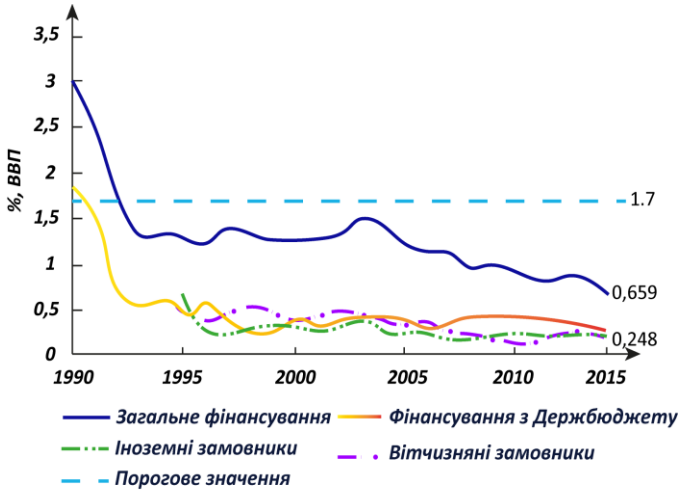


Рис. 1.13. *Динаміка витрат на науку в Україні (дані Держстат України)*

Такий рівень фінансування розвитку науки неспроможний забезпечити не лише здійснення нормального науково-дослідного процесу, але навіть зберегти накопичений країною науково-технічний потенціал (Куйбіда та ін., 2009).

Водночас, незважаючи на значні втрати, Україні все таки вдалося зберегти ядро вітчизняного науково-технічного потенціалу, яке здатне зберегти надати імпульс відбудови та відновлння навіть у ситуації крайньої розрухи (OpenGeo, 2026), технологічно відродити країну та створити передумови її інноваційного прориву.

Україна, як одна з найбільших країн Європи за територією, володіє великим виробничим потенціалом. Загальна частка промисловості у структурі виробничих відносин складає понад 50%, 23 % – це сільське господарство, (Сільське господарство..., 2010), 16% – транспорт і зв'язок, 3% – будівництво, решта 8 % – інші галузі.

На жаль, сьогодні Україна недостатньо використовує свої виробничі фонди. Українські заводи є надто енергоємними, а значить собівартість виробництва продукції є вищою ніж в інших країнах, а це призводить до того, що українські товари є неконкурентоспроможними на світовому ринку.

Як приклад, на рис. 1.15 показане місце різних країн у світі за створеним ВВП у вигляді фігур, розмір яких залежить від частки ВВП країни в світовому ВВП.

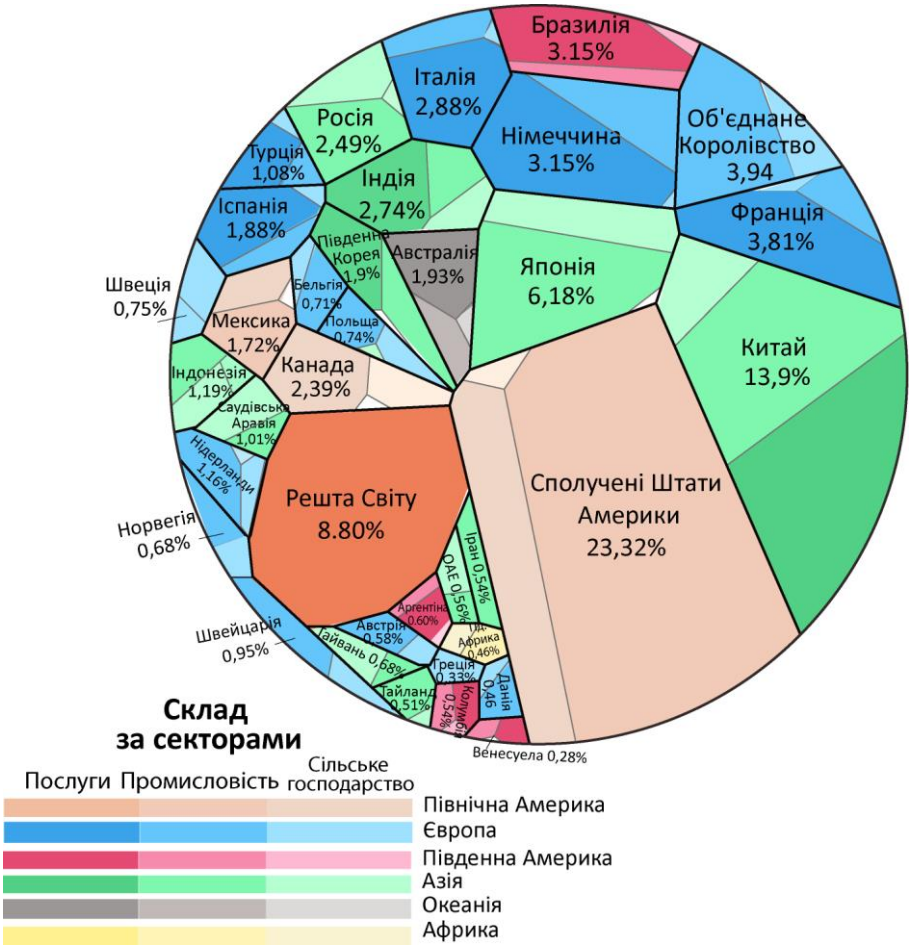


Рис. 1.15. *Внесок країн світу в світову економіку* (дані Світовий банк (The World Bank, 2013)

Кожна фігура розділена на 3 частини – насиченим кольором виділена сфера послуг, більш бляклим – промисловість, а зовсім непомітним – сільське господарство. Найпотужнішою країною світу є США, її ВВП становить чверть від світового. Америка орієнтується на надання послуг, промисловий та сільськогосподарський сектори в Штатах досить малі (але все одно займають друге і третє місце в світі відповідно завдяки величезному ВВП). Китай – на другому місці. Сфера послуг і промисловість в Піднебесній майже рівні, але останніми роками темпи приросту сфери послуг зростають. Частка Росії в світовому ВВП – лише 2,49%. Частка нашої сусідки Польщі у світовій економіці – 0,74%. Її номінальний ВВП у 2014 р. – $547 млрд. Українська економіка настільки мала, що на графіку її навіть не зобразили. ВВП України – $91 млрд ($183 в 2013 р.). Виходить, що частка України в світовому ВВП – 0,17%. Промисловість дає нам лише 29% ВВП (Мінфін, 2026).

Якщо порівняти Україну за рівнем забезпечення вказаними ресурсами з такими країнами, як, зокрема, США, Японія, Німеччина, Франція, Велика Британія, Канада то виявиться, що наша держава має досить високий рейтинг: за рівнем володіння сільськогосподарськими угіддями вона посідає 3 місце, трудовими ресурсами – 4, науковим потенціалом – 3. Що ж стосується

ефективності використання зазначених чинників виробництва, то Україна значно поступається розвиненим країнам світу. Наприклад, відставання від Франції становить: за рівнем використання сільгоспугідь – 10–12 разів, трудових ресурсів – 7–15 разів, основного капіталу – 2–3 рази, наукового потенціалу – більш ніж у 20 разів. Незважаючи на певні умовності таких порівнянь, відмінності все ж таки настільки разючі, що їх не можна не брати до уваги, визначаючи сучасну стратегію промислового розвитку.

Тому в умовах ринкових відносин ***основною задачею управління територіями є досягнення конкурентних переваг у глобалізованому світі за рахунок ефективного управління ресурсним потенціалом території (регіону)***.

В суспільному і економічному житті країн світу регіональна політика перетворилася на один із найважливіших чинників економічного і соціального розвитку. Соціально-економічний розвиток, використання природних ресурсів й охорона навколишнього середовища у всіх випадках співвідносяться з певним регіоном. Тому, як свідчить досвід високорозвинених в економічному плані країн, для додання економіці динамічності, центр ваги управління необхідно перенести у регіони.

Процес використання природно-ресурсного потенціалу носить виражений регіональний характер: ресурси і екосистеми кожного регіону відносно відділені в просторово-часовому відношенні один від одного; ефект і збиток, викликані господарською діяльністю, проявляються перед усім на конкретній території; кількісна і якісна характеристики сільськогосподарського і промислового виробництва та використання природних ресурсів, територіальне виділення виробничих зон, рівно як і демографічні процеси, багато в чому обумовлені специфікою регіону.

В зв'язку з цим формування механізму екологічно сталого розвитку передбачає його регіоналізацію, що означає перехід до такої моделі, яка враховує економічну і природну специфіку регіону й забезпечує рівновагу між економікою і екологією.

Стратегія регіонального розвитку полягає в максимальному використанні сприятливого і мінімізації негативного впливу територіальних чинників, в першу чергу ресурсних і екологічних, а також урахуванні впливу природно-географічних і соціально-історичних умов розвитку регіонів на розвиток країни. Розробка й реалізація стратегії залежно від глибини дослідження проблем сталого розвитку може бути здійснена на різних рівнях. На загальнодержавному рівні необхідно забезпечувати оптимальну спеціалізацію регіонів в інтересах загальнонаціонального розвитку, розв'язувати протиріччя між центром і регіонами і між групами регіонів. На міжрегіональному – на перший план виходить задача колективного розв'язку проблем, пов'язаних з одержанням додаткового ефекту в економічному і соціальному розвитку, вирішенні загальних екологічних проблем. На регіональному – комплексний розвиток господарської і соціально-культурної сфери на основі раціонального

і ефективного використання наявних ресурсів і передумов, створення полюсів зростання і формування власної дієздатної бази розвитку. На внутрішньо-регіональному – забезпечення фінансово-економічної бази населених пунктів і муніципальних утворень, достатньої для підтримки і розвитку муніципального господарства, соціальної і екологічної інфраструктури.

Україна, розбудовуючи власну незалежну державу, поряд із здійсненням політики виходу з кризового стану, визначає нову науково-обґрунтовану регіональну структурну політику. Законодавчою базою реалізації державної регіональної політики щодо зменшення диспропорцій у соціально-економічній сфері на регіональному рівні є Закон України "Про стимулювання розвитку регіонів" (Закон № 2850-IV, 2005) та прийнята відповідно до ст. 3 цього Закону Постанова КМУ "Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 р." (Александров та ін., 2010; Закон № 2850-IV, 2005; Димченко та ін., 2008; Дорогунцов та ін., 2005; Постанова № 385, 2014).

Кожний регіон самостійно будує стратегію соціально-економічного розвитку і територіальної організації. При цьому у сучасних умовах зросли вимоги до швидкості і точності прийняття стратегічно важливих рішень в галузі життєдіяльності території на всіх її адміністративних рівнях.

Метою регіонального управління є підвищення якості життя населення і забезпечення відтворення природних систем на базі ефективного комплексного економічного і соціального розвитку регіону, що досягається шляхом раціональної організації територіального господарства.

Сучасний територіальний простір України є доволі розмаїтим. Різні території України мають свої особливості й відмінності як щодо економічного розвитку, так і в соціальному, історичному, мовному та ментальному аспектах (рис. 1.16 – 1.21) (Коротич, 2009).

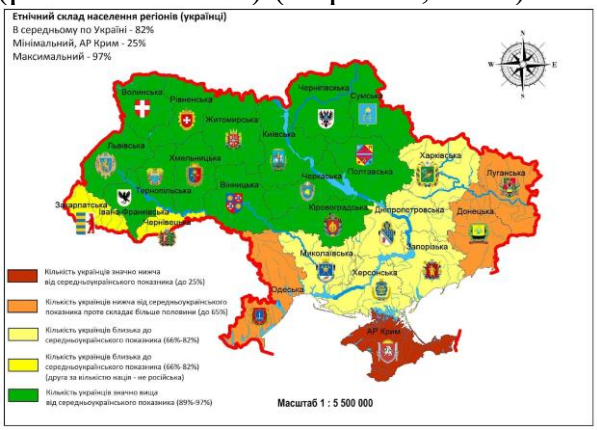


Рис. 1.16. *Відмінності регіонів України за етнічним складом населення*

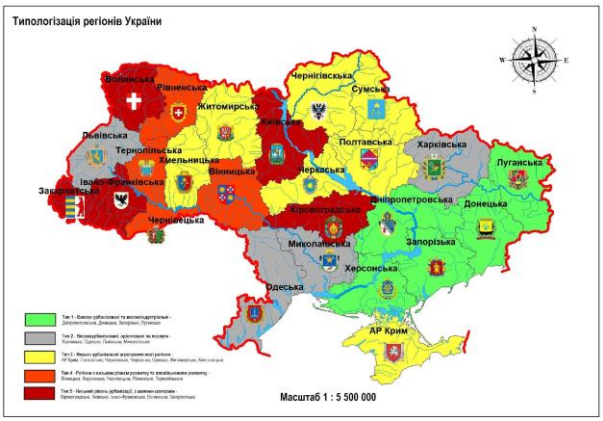


Рис. 1.17. *Відмінності регіонів України за типологією регіонів*

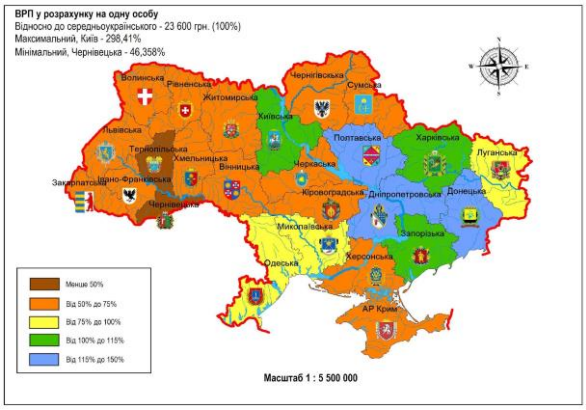


***Рис. 1.18**. Відмінності регіонів України за ВРП у розрахунку на одну особу*

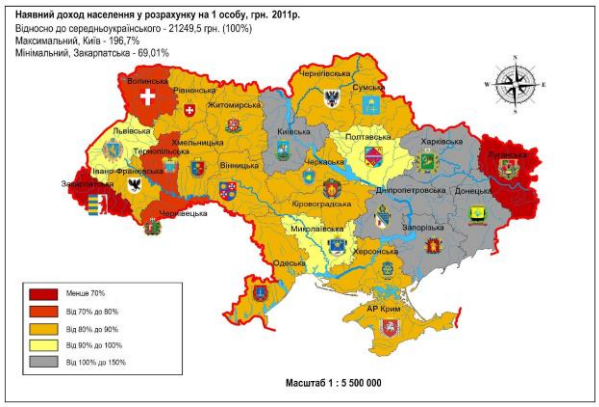


***Рис. 1.19.** Відмінності регіонів України за наявним доходом населення у розрахунку на одну особу*

***Рис. 1.20**. Відмінності регіонів України за ВДВ на одного зайнятого*

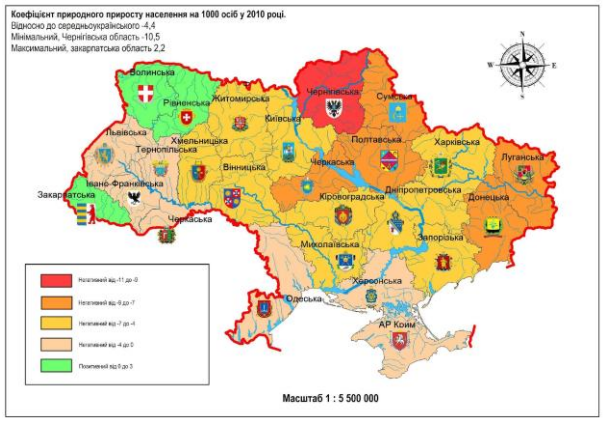


***Рис. 1.21.** Відмінності регіонів України за коефіцієнтом приросту населення на 1000 осіб*

Саме брак власної регіональної політики в недалекому минулому призвів до значних диспропорцій у регіональній структурі економіки держави, нагромадження економічних і соціальних проблем.

З таких проблем треба передусім назвати недосконаліть галузевої структури більшості регіональних господарських комплексів, їх низьку економічну ефективність; значні відмінності між регіонами в рівнях соціально-економічного розвитку й істотне відставання деяких регіонів від чинних нормативів розвитку соціальної та виробничої інфраструктури (особливо це стосується сільської місцевості); нераціональне використання місцевих природних і трудових ресурсів; надмірне забруднення довкілля у багатьох містах і районах; відставання в комплексному розвитку міст і сіл; незадовільну реалізацію можливостей регіонів щодо міжнародної інтеграції України, спільного підприємництва в галузі туризму й рекреації, залучення до країни іноземних інвестицій тощо (Димченко та ін., 2008).

У 1990 р. Верховна Рада проголосила України зоною екологічного лиха. Через 14 років, у 2004 р. уряд в Стратегії економічного та соціального розвитку

України (2004 – 2015 рр.) охарактеризував екологічну ситуацію на території України як кризову.

Оскільки національна екологічна політика була і залишається неефективною і не забезпечує охорони НПС від забруднення, збереження необхідної площі територій в природному стані та раціонального використання природних ресурсів, то сучасний стан НПС та пов'язаного з цим чинника здоров'я населення вже становить загрозу національній безпеці України (Громадська оцінка..., 2003; Громадське лобіювання..., 2007; Доповідь про стан..., 2016; Зацерковний та ін., 2010; Національна доповідь..., 2014).

Нині в Україні надмірно забруднені площі складають понад 61 тис. км^2, дуже забруднені – майже 116 тис. км^2, забруднені – 121 тис. км^2 (рис. 1.22).

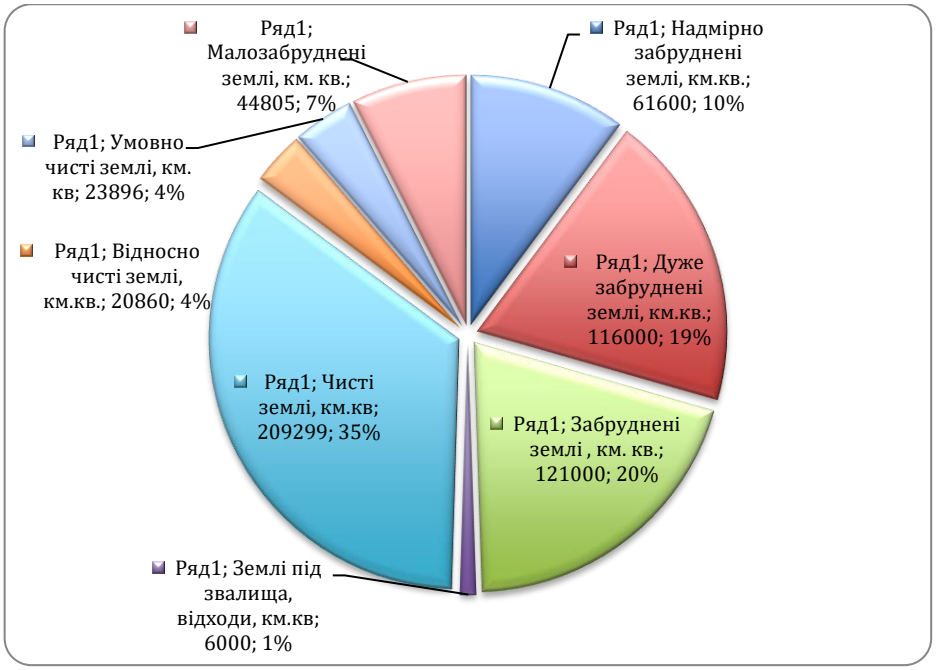


Рис. 1.22. *Забрудненість земель України (дані Держстат України)*

Крім того, під звалища відходів вилучено з господарського обігу понад 6 тис. км^2 земельних ресурсів (з урахуванням Зони відчуження ЧАЕС), що становить 1% території України (Зацерковний та ін., 2010). Постійне зростання обсягу відходів в Україні свідчить про нераціональне використання сировинних ресурсів. Головними причинами забруднення довкілля слід вважати ресурсо- та енергоємне, морально і фізично застаріле технологічне і природоохоронне обладнання, а в окремих випадках – відсутність очисних споруд та ефективного контролю за діяльністю екологонебезпечних підприємств, низьку технологічну дисципліну, гострий дефіцит коштів для забезпечення нормальної експлуатації очисного устаткування і споруд.

Мапа екологічних негараздів представлена на рис. 1.23.

;

Рис. 1.23. *Мапа екологічних негараздів України* (Завгородня, 2026)

Вкрай негативно позначається на реалізації природоохоронних заходів в Україні й те, що досі належним чином не діють економічні інструменти та важелі, покликані спонукати підприємства, об'єднання й фірми до впровадження екологобезпечних, ресурсо- та енергозберігаючих технологій, очисного обладнання нових поколінь, налагодження нормального функціонування очисних споруд тощо.

Перед українським суспільством стоїть надзвичайно актуальна задача організації використання природних ресурсів таким чином, щоб припинити їх деградацію і спромогтися суттєвого покращення екологічного стану.

Це можливе лише за рахунок реалізації концепції сталого розвитку територій.

1.5. Аналіз підходів щодо реалізації концепції сталого розвитку в Україні

Для успішної реалізації концепції сталого розвитку в Україні необхідне:

– *інформування всіх верств населення про проблеми сталого розвитку*. Незважаючи на те, що ця концепція в даний момент знаходиться у центрі уваги світової спільноти, в Україні багато про неї або не знають, або не звертають на неї належної уваги;

– *зміна пріоритетів при розробці економічної, промислової, енергетичної, сільськогосподарської політики*.

– *реформування податкової системи*, зокрема перейти на рентну систему оподаткування, підтримувати розвиток малого бізнесу, залучати внутрішні та зовнішні інвестиції;

– *формування ефективної зовнішньої політики (особливо щодо імпорту/ експорту)*. Сьогодні український ринок заповнили імпортовані товари, хоча багато з них можуть бути замінені товарами набагато кращої якості українського виробника;

– *удосконалення нормативної бази*. Необхідно створити відповідні нормативно-правові умови для сталого розвитку– *використання нових інформаційних технологій* для обміну інформацією з питань сталого розвитку, для створення баз даних і моделювання локальних соціально-економічних та екологічних систем;

– *розвиток місцевого самоврядування*.

Сталий розвиток передбачає тісну взаємодію всіх секторів суспільного життя, що є скрутним при централізованому, галузевому управлінні.

Тому необхідно передати частину повноважень місцевій владі в рамках розвитку системи місцевого самоврядування.

У Хартії сталого розвитку європейських міст (Александров та ін., 2010) це відображено в принципі *субсидіарності*, який передбачає наявність у

органів місцевого самоврядування стількох повноважень скільки можливо, а у центральних – скільки необхідно, тобто повноваження на розв'язок відповідної проблеми повинні надаватися владним структурам на якомога нижчому рівні, який здатний вирішити цю проблему. Оптимально таким рівнем є місцеві органи самоврядування, оскільки в силу своїх повноважень у сфері планування, інвестицій, регулювання, контролю та виконання рішень, вони є найближчими до громадян органами, тобто органами, які можуть безпосередньо реагувати на побажання та устремління своїх виборців. Процес сталого розвитку територій дозволить забезпечити міській владі зворотний зв'язок, показуючи, які види діяльності ведуть до збалансованості міського розвитку, а які, навпаки, перешкоджають цьому.

Сталий розвиток територій ґрунтується на таких базових принципах:

– територіальні утворення являють собою, з одного боку, найбільшу територіальну одиницю, населення якої безпосередньо відчуває на собі порушення соціальної, архітектурної, економічної, ресурсної та екологічної рівноваги. З іншого боку, територіальне утворення – це той найменший масштаб, на якому ці проблеми можуть знайти конструктивне цілісне рішення у реалізованих стратегіях розвитку;

– визнається важливість раціонального використання території та формування ефективної політики просторового планування, що включає стратегічну екологічну оцінку всіх планів. Перевага віддається створенню багатофункціональних зон, які поєднують житло, місця роботи і надання послуг, щоб скоротити потребу в переїздах і, відповідно, знизити рівні забруднення;

– визнається важливість партнерства всіх секторів суспільства (влада, бізнес, громадськість), забезпечується доступ усіх громадян і зацікавлених груп до необхідної інформації та участь кожного громадянина в розробці локальних стратегій розвитку, здійснюються програми навчання і підготовки з питань сталого розвитку як для широкої громадськості, так і для працівників органів місцевого самоврядування.

Таким чином, оптимальним рівнем реалізації ідей сталого розвитку є муніципальний рівень, і саме на цьому рівні в Україні намітилися позитивні зрушення. Ряд міст підписали Ольборгську Хартію (Александров та ін., 2010). Зрушився з мертвої точки процес взаємодії громадськості з владою і бізнесом.

Для реалізації стратегічних планів суспільства щодо інтеграції України у європейське співтовариство має відбутися значне підвищення життєвого рівня населення, створення ринкових умов для існування та сталого розвитку територій і підприємств усіх форм власності. Сучасний стан економіки України обумовлює необхідність суттєвих змін процесів управління на всіх рівнях – від виробничо-економічного до субрегіонального, регіонального та загальнодержавного.

У сучасних умовах великого значення набуває застосування системного підходу до управління, який дає змогу кожній ланці використати свій

потенціал, стати запорукою позитивних суспільних змін; сприймати нестабільність як джерело творчості; узгоджувати локальні цілі з загальносистемними. Збалансований соціально-економічний розвиток регіонів сприяє забезпеченню економічної незалежності країни та підвищенню її конкурентоспроможності серед інших країн (Porter, 1990, 1998; Smith, 1998). Вирішення проблеми підвищення ефективності регіонального розвитку вимагає трансформації функцій та методів державного управління, оптимальне поєднання самоорганізації і самоврядування з цілеспрямованою реалізацією державної регіональної політики, створення дієвих елементів системи інформаційно-аналітичної підтримки.

Сучасний стан економіки України обумовлює необхідність суттєвих змін процесів управління на всіх рівнях – від виробничо-економічного до субрегіонального, регіонального та загальнодержавного.

Реалії підвищення конкурентоспроможності економіки країни вимагають переходу до максимального використання сприятливого і мінімізації негативного впливу територіальних чинників, у першу чергу ресурсних та екологічних і їх спрямування на пріоритетні напрями виробництва, урахування впливу природно-географічних і соціально-історичних умов розвитку регіонів на розвиток країни. Тому, як свідчить досвід високорозвинених в економічному плані країн, для додання економіці динамічності, центр ваги управління необхідно перенести саме у регіони (Александров та ін., 2010).

Законодавчою базою реалізації державної політики щодо зменшення диспропорцій у соціально-економічній сфері територіального розвитку є Закон України ”Про стимулювання розвитку регіонів” (Закон № 1562-VI, 2009) та прийнята відповідно до ст. 3 цього Закону Постанова КМУ ”Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 р.” (Постанова № 385, 2014).

2. УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ ЯК ІНФОРМАЦІЙНИЙ ПРОЦЕС

Будь-яке територіальне утворення (територія), – це комплексна багатофункціональна система, яку можна охарактеризувати набором чиселенних керуючих, випадкових впливів і зворотних зв'язків. Це й спричинює те, що дослідження, присвячені проблемам ефективного управління територіями, доволі строкаті і різноманітні через складності і багатогранності самого об'єкта дослідження. Найчастіше всього подібні роботи виконуються на стику різних наук.

2.1. Аналіз сучасного територіального устрою України

Поняття *території* виступає є однією з центральних категорій в політико-правовій та державно-управлінській науці. З цією категорією синергетично пов'язані практично всі фундаментальні явища політико-правового та державно-управлінського життя сучасного суспільства і держави.

Розглядаючи територію як одну з основних ознак будь-якої держави, необхідно мати на увазі, що територія є також життєвим простором людей. Тому для кожної держави питання територіального устрою мають важливе, найчастіше стратегічне значення.

Держава поділяється на адміністративно-територіальні одиниці, в яких утворюються та функціонують органи публічної влади, налагоджується управління цими територіями. З огляду на це життєвий простір країни впорядковується у державний, геополітичний, господарсько-економічний, соціально-культурний, правовий, інформаційний та інші простори.

Саме тому територія держави завжди була і залишається одним із ключових ресурсів її розвитку, а територіальний потенціал – одним з основних показників для оцінки сучасних держав, раціональне використання якого є важливим чинником ефективного та безпечного розвитку будь-якої країни. Такого роду раціоналізації сприяє вироблення цілісної, об'єктивної, що відповідає сучасним потребам політико-правового та державно-управлінського розвитку, наукової концепції територіального устрою сучасної держави, заснованої на пріоритеті розвитку й охорони державної території на благо та в інтересах суспільства.

Територія – одна з основних ознак держави, що визначає простір, на який поширюється суверенітет держави і межі державної влади.

Територія (лат. *territorium* – область, територія; від *terra* – земля) **– *частина земної поверхні, що обмежена природними, державними, адміністративними або умовними межами і яка визначається протяжністю, площею, географічним розташуванням, природними умовами, господарським освоєнням.***

Згідно з нормами міжнародного та національного права, під державною **територією** розуміється не лише сухопутна частина (середня площа суші), а й суверенний водний простір (внутрішні води та територіальне море), надра, що знаходяться під ними, а також повітряний стовп над суходолом і водами у межах державного кордону.

Адміністративно-територіальний устрій держави закріплений конституційно. Відповідно до ***ст. 133 Конституції України***, систему адміністративно-територіального устрою складають: Автономна Республіка Крим, 24 області (Вінницька, Волинська, Дніпропетровська, Донецька, Житомирська, Закарпатська, Запорізька, Івано-Франківська, Київська, Кіровоградська, Луганська, Львівська, Миколаївська, Одеська, Полтавська, Рівненська, Сумська, Тернопільська, Харківська, Херсонська, Хмельницька, Черкаська, Чернівецька, Чернігівська), а також міста Київ та Севастополь, що мають спеціальний статус (рис. 2.1).

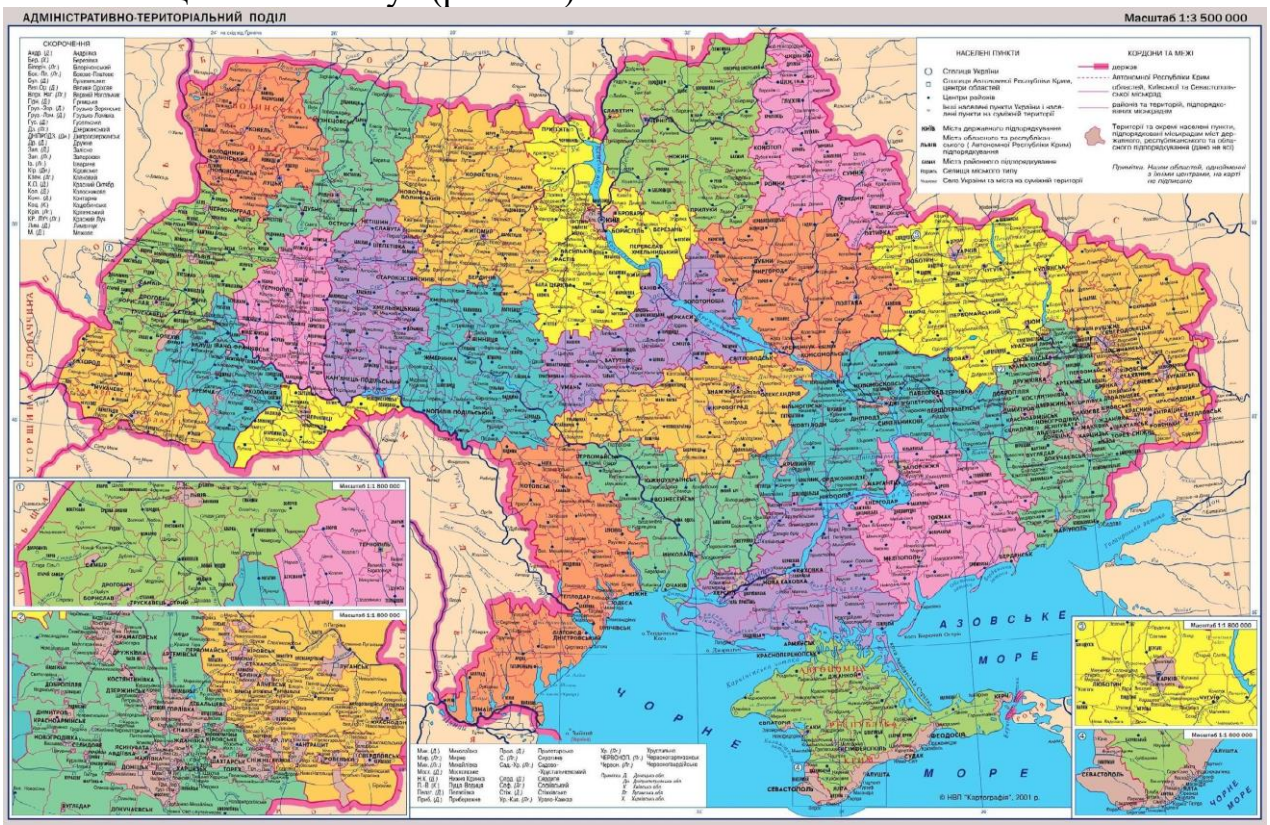


Рис. 2. 1. *Адміністративно-територіальний поділ України* (Бурчак & Усенко, 2023)

17 липня 2020 року Верховна Рада України прийняла постанову про скорочення кількості районів в Україні. Замість 490 районів було створено 136. У середньому у складі кожної області стало по 4-5 районів. Постанова набрала чинності 19 липня 2020 року. Території районів складаються з сільських, селищних та міських територіальних громад. Київ та Севастополь, а також більшість обласних центрів та деякі великі міста також поділяються на райони у містах. У складі територіальних громад можуть утворюватися старостинські округи, які об'єднують один або декілька населених пунктів (здебільшого сіл або селищ), які не є адміністративними центрами громад.

Виділення адміністративно-територіальних утворень у складі державного устрою пов’язано з тим, що управління всіма сферами суспільного життя з єдиного центру неефективне, оскільки при цьому втрачається оперативність управління, нераціонально формується інформаційне забезпечення: з одного боку, інформація про певну територію може бути перенасиченою, включати дані, що не мають істотного значення, а з другого – неповною, що не містить особливих, специфічних характеристик.

Суб'єкти складу України різняться величиною території, чисельністю й густотою проживання. Так, якщо Чернівецька область займає територію у 8,1 тис. км^2, на якій за станом на початок 2019 р. проживало 904,4 тис. осіб, то в Одеській області з її територією у 33,3 тис. км^2 мешкало 2391,0 тис. осіб, в Дніпропетровській та Чернігівській областях, які мають площу по 31,9 тис. км^2, проживають відповідно 3355,5 тис. та 1109,7 тис. осіб.

Конституція проголошує рівноправність суб'єктів як між собою, так і у відносинах із центральною владою.

Адміністративно-територіальний поділ – це одна із форм економічного районування, яка дає змогу центру і суб’єктам субнаціонального рівня здійснювати цілеспрямоване управління розвитком своєї території, справляти постійний вплив на економічні та соціальні процеси з урахуванням специфіки різних районів своєї території.

2.2. Загальні відомості про управління територіями

2.2.1. Загальні відомості про управлінську діяльність

Управлінська діяльність передбачає виконання певних функцій. Кожна функція спрямована на вирішення специфічних і складних проблем, які постають перед організацією у її діяльності. На сьогодні в теорії управління наявні досить великі розбіжності у визначенні функцій, їх диференціації та

класифікації. Найчастіше в основу класифікації кладеться ступінь прояву тієї чи іншої функції в управлінській діяльності. За цією ознакою вирізняють загальні й часткові (окремі) функції. До загальних належать функції прогнозування, планування, організації, мотивації, контролю і координування (регулювання). Загальні функції визначають тільки вид управлінської діяльності незалежно від місця його виникнення. Вони властиві управлінню будь-якою організацією і будь-яким процесом в організації й у своїй сукупності складають управлінський цикл:

– прийняття управлінського рішення;

– реалізація прийнятого рішення;

– контроль за реалізацією рішення.

Взаємозв'язок загальних функцій управління та їхня взаємодія в процесі здійснення управлінського циклу може бути зображена у вигляді функціональної схеми (рис. 2.2).

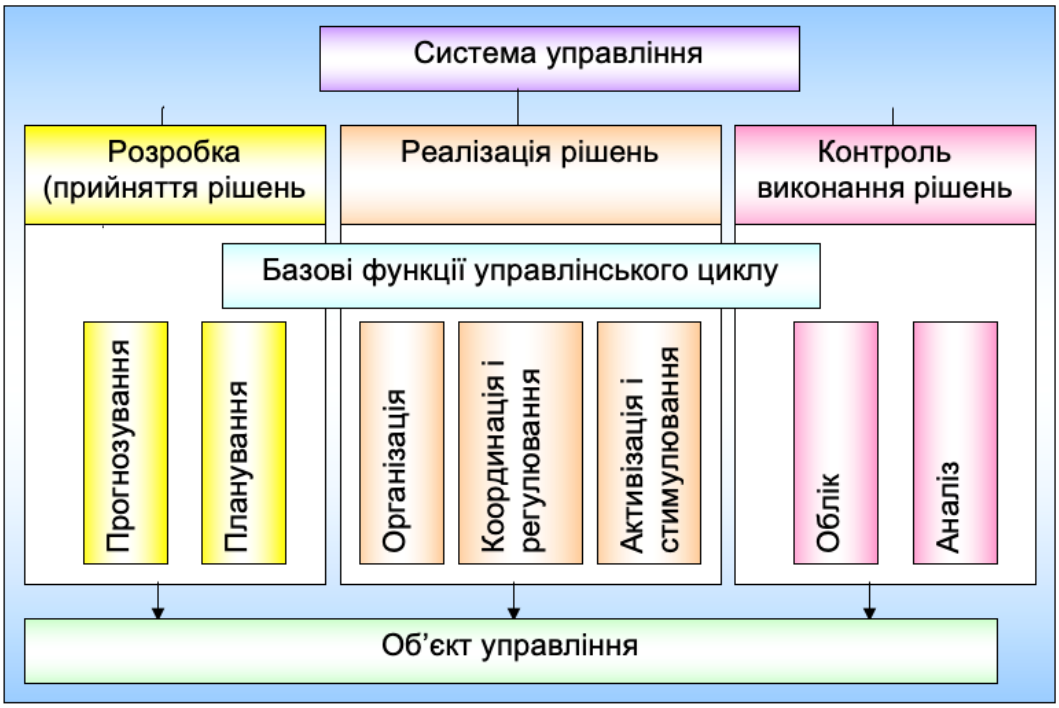


Рис. 2.2. *Складові управлінського циклу (за Denhardt et al., 2018)*

Окремими функціями визначаються види діяльності, що зумовлені горизонтальним розподілом управлінської праці в організаціях і установах, які відображають їхні специфічні особливості. До таких функцій належать управління інноваціями, виробництвом, фінансами, маркетинговою діяльністю, персоналом тощо.

Поділ функцій на загальні і конкретні є умовним, оскільки в дійсності вони не відокремлені, а тісно переплітаються, взаємно проникаючи й доповнюючи одна одну. При цьому загальні функції наявні в кожній конкретній функції.

Управлінський процес – це комплекс взаємопов'язаних операцій, що виконуються в певній послідовності і спрямовані на розв'язання конкретних проблем та досягнення поставлених цілей.

Процеси управління завжди пов’язані з опрацюванням (переробкою) інформації.

Комплексне використання технічних засобів одержання, передачі, обробки й аналізу просторової інформації про об’єкти управління в автоматизованих системах управління територіями, важливою складовою яких є ГІС, сприяє розвитку і широкому застосуванню інформатики, кібернетики, системотехніки, математичних методів для вирішення теоретичних і прикладних проблем управління. Важливою перевагою таких систем є можливість моделювання процесів управління, що дозволяє поглибити аналіз досліджуваних процесів на певних територіях (об’єктах управління) і вибрати найкращий сценарій розвитку об’єктів управління.

Будь-яка інформаційна система (ІС) створюється перед усім для більш ефективного управління певним об'єктом.

Система – комплекс взаємопов’язаних елементів разом із відношеннями (зв’язками) між цими елементами та між їхніми атрибутами, які спільно реалізують певні цілі.

2.2.2. Загальні відомості про управлінський процес

У відповідності із загальною теорією управління, процес управління визначається як взаємодія *об'єкта управління* і *системи управління* (рис. 2.3), як комплекс адміністративно-господарських заходів і управлінських заходів, спрямованих на досягнення цілей, що стоять перед суб’єктом управління.

Зворотний зв’язок – вплив результату функціонування будь-якої системи на характер її подальшого функціонування. За характером впливу розрізняють *позитивний* та *негативний*, жорсткий та гнучкий (elastic feedback), загальний та місцевий зворотні зв'язки. **Позитивний зворотний зв'язок** впливає на систему таким чином, що збільшує вихідний результат її функціонування. В теорії автоматичного управління позитивний зворотний зв'язок реалізується шляхом передачі на вхід системи частини вихідного сигналу таким чином, що сигнал зворотного зв'язку збігається у фазі з вхідним сигналом, що є еквівалентним збільшенню вхідного сигналу. В окремих випадках позитивний зв'язок може призводити до генерації в системі – коли будь-яка флуктуація в системі передається на її вхід і підсилюється, завдяки чому в системі виникають незатухаючі коливання

Рис. 2.3. *Функціональна схема системи управління*

Негативний зворотний зв'язок впливає на систему таким чином, що зменшує вихідний результат її функціонування. В теорії автоматичного управління негативний зворотний зв'язок реалізується шляхом передачі на вхід системи частини вихідного сигналу таким чином, що сигнал зворотного зв'язку знаходиться у протифазі з вхідним сигналом, що є еквівалентним зменшенню вхідного сигналу, що призводить до зниження коефіцієнта підсилення системи, але при цьому також підвищується стійкість системи та зменшується похибка та інерційність системи.

Жорсткий зворотний зв'язок діє в усталеному і перехідному режимах роботи системи.

Гнучкий зворотний зв'язок діє тільки у перехідному режимі роботи системи, несе інформацію про швидкість змін в системі. В теорії автоматичного управління реалізується додаванням в контур зворотного зв'язку диференціюючих елементів.

Загальний зворотний зв'язок формується за рахунок передачі результату функціонування всієї системи на її вхід.

Місцевий зворотний зв'язок формується за рахунок передачі результату функціонування окремої ланки системи на вхід цієї ланки.

Крім того, в системах автоматичного управління (регулювання) розрізняють зовнішній зворотний зв'язок, який з'єднує вихід усієї системи з її входом, та внутрішній (місцевий), що з'єднує вихід окремого елемента або групи послідовно з'єднаних елементів з їх входом. Управління полягає у виявленні розбіжності бажаних характеристик функціонування об'єкта від реальних показників і через органи управління формування такого впливу на об'єкт, який цю розбіжність зведе до мінімуму. Складові процесу управління представлені на рис. 2.4.

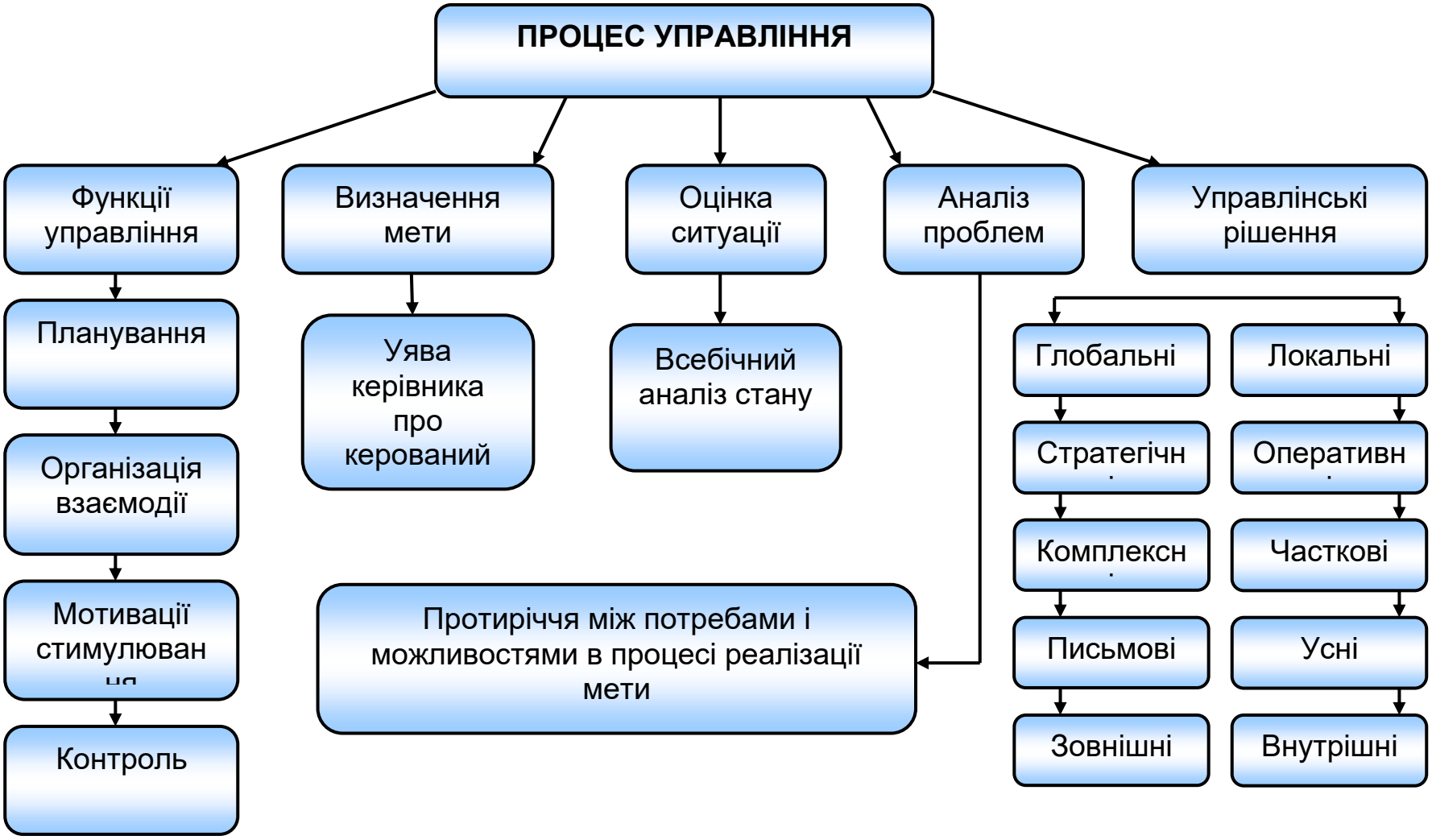


Рис. 2.4. *Складові процесу управління*

Керуючий вплив здійснюється з урахуванням зворотного зв’язку, тобто поточної інформації про об'єкт і характеристик зовнішнього середовища (ринку, навколишнього середовища, політичної ситуації тощо). Впровадження ІС проводиться з метою підвищення ефективності діяльності об'єкта за рахунок принципово нових методів управління.

ІС являє собою комунікаційну систему зі збору, передачі, переробці інформації про об’єкт управління, яка забезпечує осіб, що приймають рішення необхідними знаннями для реалізації функцій управління об'єктом.

Усі методи, техніка, прийоми, засоби, системи, теорії, напрямки тощо, які націлені на збір, переробку і використання інформації, називаються *інформаційними технологіями (ІТ)*.

2.2.3. Аналіз сучасного стану управління територіями

Нині використовується ціла низка різноманітних трактувань сутності поняття “*управління територіями*”.

Одні науковці розкривають управління територіями через діяльність регіональних органів влади, інші пов’язують або з управлінням умовами життя населення регіону або з інтеграцією всіх видів управління в регіоні або з управлінням чи сукупністю принципів, функцій, методів, інструментів впливу на соціально-економічні процеси в регіоні, або з управлінням різними сферами господарства регіону, або з управлінням територією (чи регіональним простором).

Останній підхід, на думку авторів, є більш раціональним.

Управління територією – циклічно повторювані процеси впливу органів управління на населення, яке проживає на певній території, державні, муніципальні, громадські та приватні організації з різною формою власності, розташовані на території, в інтересах досягнення цілей, визначених у Конституції України в умовах можливостей і обмежень, визначених законодавством України і суб'єктів країни, Указів Президента, постановами Уряду і суб'єктів України, контролю виконання та коригування керуючих впливів.

Управління територією не є тривіальною задачею, оскільки об'єкт управління – територіальне утворення (”*регіон*”) є складною соціально-економічною системою (СЕС).

Соціально-економічна система – складна ймовірнісна динамічна система, що охоплює процеси виробництва, обміну, розподілу й споживання матеріальних та інших благ.

СЕС притаманні такі особливості:

– масовий характер соціальних і економічних явищ і процесів, що вимагають постійного моніторингу;

– динамічність соціальних і економічних процесів, що проявляються у зміні кількісного і якісного складу системи і характеристик її елементів (господарюючих суб'єктів) під впливом середовища;

– випадковість і невизначеність розвитку соціальних і економічних явищ, які переважно носять імовірнісний характер, що вимагає застосування для їх дослідження методів теорії ймовірності і математичної статистики;

– неможливість ізолювання процесів, що відбуваються в системі від навколишнього середовища, щоб спостерігати і досліджувати їх у ”чистому” вигляді, тобто одночасно зі спостереженням за системою ”економіка регіону” необхідно відслідковувати соціально-економічні процеси у взаємодіючих і вищих системах;

– активна реакція елементів на виникаючі нові фактори, здатність системи до активних дій, які не завжди відповідають задуму управління (непередбачувані дії, що залежать від сприйняття людьми даних факторів), способам і методам проведення реформ, вимагають особливої організації соціально-економічного моніторингу (СЕМ), який би дозволяв виявляти зазначені відхилення.

Управління територіями – складна управлінська задача, що вимагає постійного моніторингу і аналізу даних про стан і розвиток об’єкта управління. Значною мірою розв’язок цієї задачі пов'язаний з:

• аналізом взаємодії в складній системі ”суспільство-природне середовище”, яка передбачає виявлення джерел і причин негативних наслідків антропогенних впливів, визначення якісних і кількісних оцінок взаємодії, підготовку рекомендацій з усунення економіко-екологічних конфліктів, а також рекомендацій за пріоритетними напрями соціально-економічного розвитку територій;

• комплексним плануванням розвитком територій (поточним, перспективним і довгостроковим):

• формуванням концепції сталого розвитку природокористування і продуктивних сил,

• узгодженим розвитком екологічної і економічної підсистем відповідно до поставлених цілей;

• регулюванням розвитку: розробкою і застосуванням нормативно-правової і економіко-екологічної бази регулювання, включаючи законодавство, системою правил, інструкцій, екологічного і економічного нормування в області забруднення, вилучення або використовування природних ресурсів;

• регламентацією господарської діяльності: видачею державними органами влади і управління дозволів на експлуатацію і реконструкцію діючих, проектування і введення нових суб'єктів господарської діяльності, на використовування або вилучення ресурсів відповідно до комплексного плану розвитку певної території;

• стимулюванням природокористувачів: розробкою і застосуванням податкової системи, ринкових стимулів, економічних важелів спонукального характеру (субсидії, кредити, інвестиції, податкові пільги, система екологічного страхування тощо) для забезпечення зацікавленості природокористувачів і місцевих органів управління у підвищенні ефективності їх дій;

• координацією науково-дослідних робіт і проектних розробок в сфері освоєння, використовування і охорони природного середовища (координація і підготовка узгоджених рішень і матеріалів з економічних, соціальних, соціально-економічних і екологічних досліджень, програмних і проектних розробок, що відносяться територій і прилеглих ареалів);

• моніторингом якості навколишнього середовища і планами розвитку територій: збір і обробка відповідної інформації про зміни, що відбуваються у навколишньому середовищі.

Будь-який рівень територіального управління характеризується виконанням певного об'єму конкретних видів управлінських робіт, тобто можна вести мову про належність до кожного рівня структури певної низки конкретних функцій. Сукупність конкретних функцій територіального управління є основною характеристикою рівня управління. Першоосновою для їх виділення є цілі й завдання кожного конкретного рівня територіального управління. Кожен рівень формує свій вектор цілей, узгоджується з векторами вищих рівнів. Серед основних завдань можна виділити:

– створення і підтримка умов відтворення робочої сили (соціальна інфраструктура, житлове та комунальне господарство);

– створення і підтримку сприятливих умов для нормального господарювання на території (виробнича, транспортна інфраструктури, зв'язок);

– контроль за використанням природних ресурсів і станом навколишнього середовища.

Крім того, всі рівні управління повинні:

• надавати населенню соціальні гарантії і забезпечувати основні конституційні права;

• регулювати використання різних механізмів господарювання;

• виступати як органи громадського, публічного підприємництва, які здійснюють функції з організації та підтримання безприбуткових або малорентабельних, але необхідних для населення підприємств (наприклад, комунальне господарство);

• органи управління проводять політику розвитку відсталих районів території (будівництво промислових підприємств, створення нових робочих місць тощо);

• організацію посередницьких, інформаційних, впроваджувальних та інших послуг різним споживачам (підприємствам підприємцям тощо);

• проведення природоохоронних заходів.

У сучасній теорії управління та економічній практиці поряд з терміном “територіальне управління” широко застосовують і поняття “регіональне управління”. Слід зазначити, що ці поняття є синонімами, а відмінність полягає лише у визначенні самого терміну регіону.

Коло розв’язуваних складних задач, що стоять перед системою управління (рис. 2.5) досить широке і складне, тому повинно базуватись на системних принципах та здійснюватися за допомогою механізму прямого й зворотного зв’язку між підсистемами управління та функціонального призначення територій. У зв’язку з цим, завдання підвищення ефективності управління соціально-економічними процесами, що відбуваються на певних територіях і розробки механізмів забезпечення її високого рівня в майбутньому набувають особливої актуальності.

По-перше, це зумовлене підвищенням ролі регіонів у розвитку національної економіки, перенесенням центру ваги у вирішення найважливіших проблем політичного й економічного реформування на рівень суб'єктів держави і місцевого самоврядування.

По-друге, з загостренням протиріч між інформаційними потребами органів управління територіальними утвореннями і можливостями існуючих систем з їх інформаційної підтримки.

Таке становище ініціює проведення робіт зі створення в регіонах автоматизованих комплексів інформаційно-аналітичної підтримки управлінських рішень, базисним блоком яких перед усім виступають системи соціально-економічного і екологічного моніторингу.

Теоретико-методологічною базою дослідження системи державного управління територіями і механізмів його здійснення є праці В. Г. Бодрова, В. І. Борденюка, В. Є. Воротіна, В. М. Князєва, О. Ю. Лебединської, В. І. Лугового, Н. Р. Нижник та ін. Світовий контекст системного управління складними об'єктами розкрито у фундаментальних працях Е. Сейджа (Andrew Sage) та В. Роуза (William Rouse) щодо системної інженерії менеджменту, а також у класичних теоріях раціонального управління Г. Саймона (Herbert Simon) та Дж. Кліра (George Klir).

Серед публікацій з проблематики вдосконалення системи управління територіальним розвитком відрізняються ґрунтовністю праці вітчизняних дослідників, зокрема О. М. Алимова, О. І. Амоші, Б. М. Данилишина, М. І. Долішнього, В. А. Поповкіна, С. А. Романюка, В. К. Симоненка, Д. М. Стеченка, М. Г. Чумаченка.

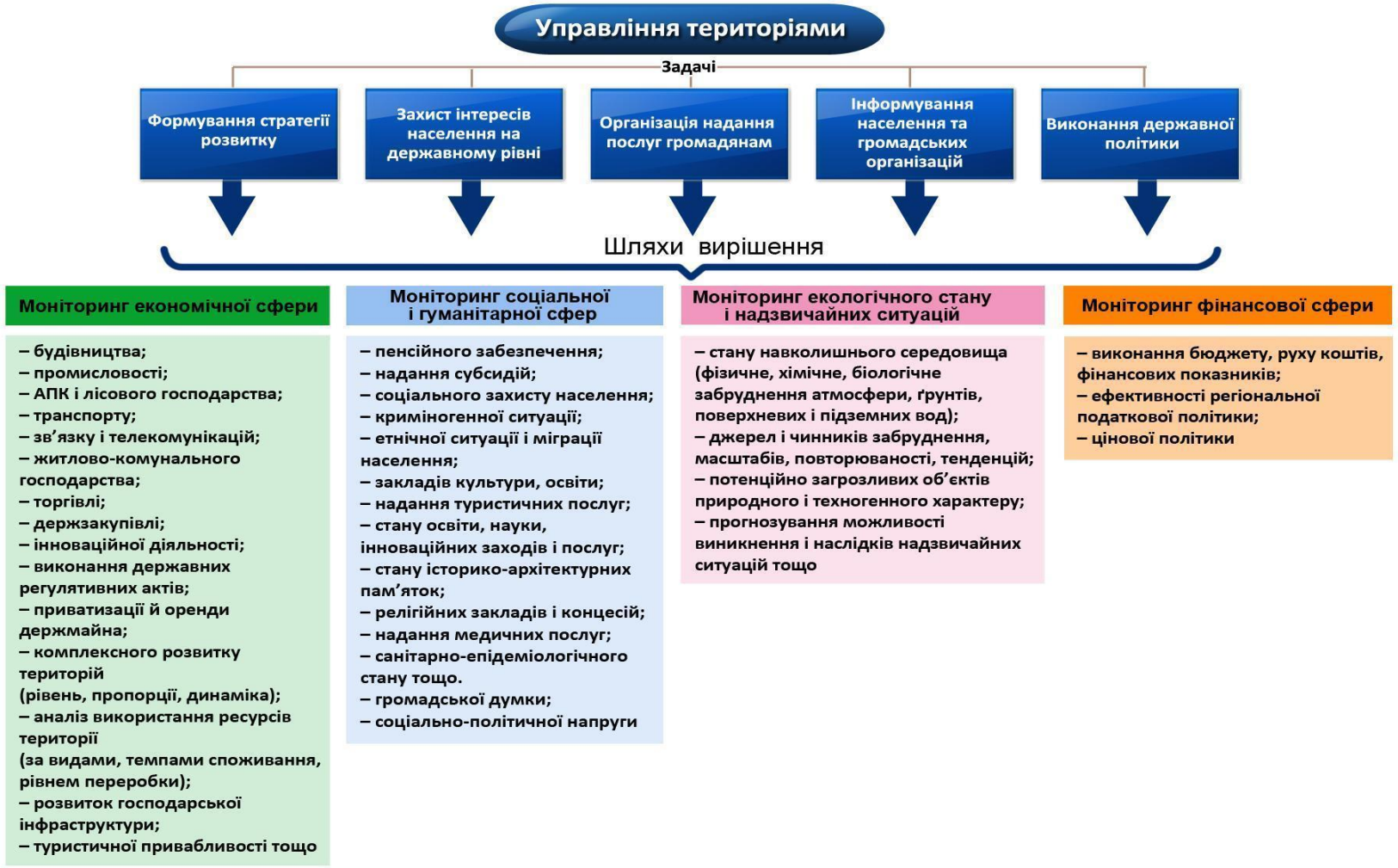


Рис. 2.5. *Задачі управління територіями*

Водночас сучасні парадигми просторової організації та управління територіями як складними адаптивними системами представлені у роботах М. Батті (Michael Batty) щодо міської складності, І. Прангішвілі (Iveri Prangishvili) стосовно системних закономірностей управління, а також у концепціях сталого територіального менеджменту І. Вільямсона (Ian Williamson) та Е. Остром (Elinor Ostrom) (Williamson et al., 2010), чиї дослідження механізмів управління спільними ресурсами (Common-pool resources) є критично важливими для реалізації стратегій розвитку територій України.

Нормативно-правове підґрунтя реалізації державної політики, спрямованої на нівелювання соціально-економічних диспропорцій територіального розвитку, становить Закон України «Про стимулювання розвитку регіонів» (Закон № 2850-IV, 2005). Ключовим інструментом виконання положень цього Закону (відповідно до ст. 3) є Державна стратегія регіонального розвитку, яка визначає пріоритети та стратегічні цілі держави на середньострокову перспективу (Закон № 2850-IV, 2005).

Структура сучасного управління територіальним розвитком України представлена на рис. 2.6.

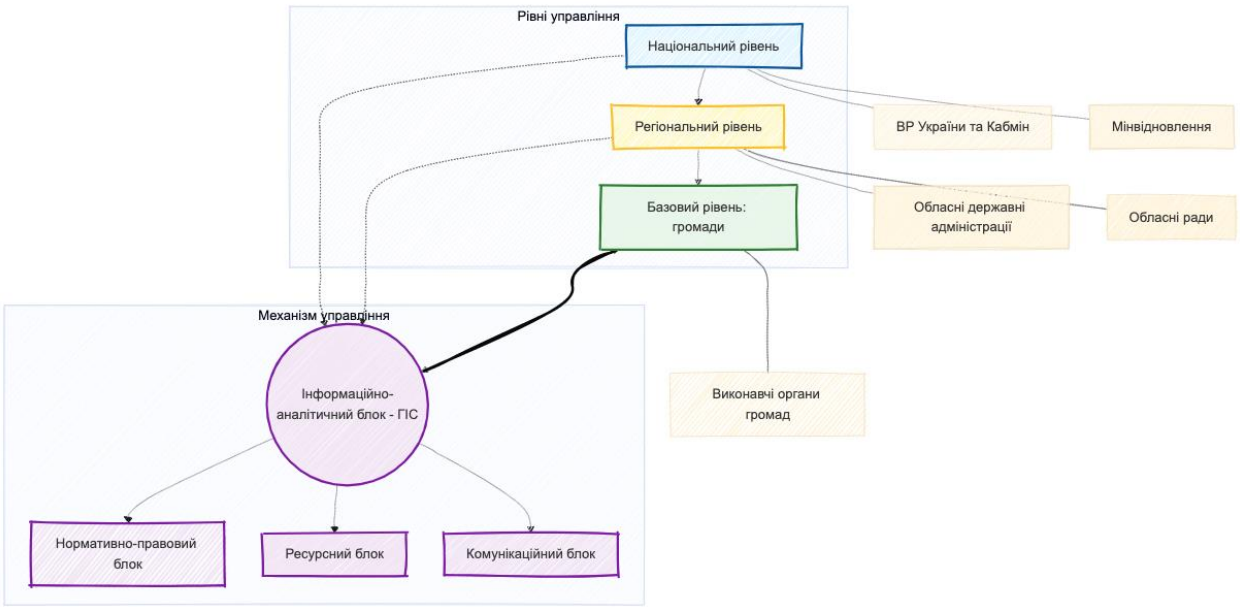


Рис. 2.6. *Структура сучасного управління територіальним розвитком України*

В умовах поглиблення децентралізації державного управління, формування нової моделі влади висока ефективність функціонування регіональної ланки управління стає головною передумовою прискорення трансформаційних перетворень у країні та зростання рівня життя населення.

Таким чином, необхідність забезпечення сталого та динамічного розвитку територіальних утворень викликає потребу удосконалення механізмів управління ними, передусім за рахунок інформаційного забезпечення.

Вирішення проблем соціально-економічного розвитку територій можливе за умов підвищення ефективності управління загалом, визначення чинників, що зумовлюють та визначають масштаби і тенденції їх розвитку.

Впровадження нових і ефективних способів управління територіями дозволяє не тільки в значному ступені підвищити соціально-економічний рівень певного регіону, але й створити передумови для сталого розвитку, як певних галузей, так и регіону в цілому. Сучасний стан управління територіями на різних рівнях управлінської ієрархії України характеризується зовсім не позитивними відгуками абсолютної більшості громадян України.

Засоби масової інформації постійно розкривають причини цих почуттів, відбиваючи негативні, а часом трагічні результати функціонування органів місцевого самоврядування, державної влади. Та й статистичні дані про стан і розвиток усіх важливих сфер у багатьох випадках достатньо точно підтверджують, що керованість багатьох процесів і явищ в цих сферах катастрофічно знижується**.**

Це особливо помітно на прикладах управління захистом від небезпечних геологічних та кліматичних явищ і процесів, безпеки на дорогах, громадської безпеки тощо.

Все це дозволяє зробити висновок про те, що склад, структура і логіка функціонування діючої СУТ не дозволяє підвищити, як якість життя населення, так і захистити ці території і населення, що проживає на них, від усіляких загроз, не забезпечує досягнення поставлених цілей і характеризується недостатньою обґрунтованістю і (або) несвоєчасністю формування і прийняття рішень, доведення їх до виконавців, низькою виконавчою дисципліною внаслідок відсутності постійного і повного контролю виконання прийнятих рішень і відданих розпоряджень.

Підвищення ефективності СУТ може бути досягнуто за рахунок впровадження ефективних засобів моніторингу, спроможних забезпечити миттєве реагування на зміну ситуації, які будуть не тільки попереджати про можливі наслідки, а й давати рекомендації з подолання кризових явищ і нормалізації ситуації.

Сучасна українська управлінська практика щодо політики сталого розвитку регіону має використовувати такі дієві інструменти і важелі територіального управління, як стратегічне планування, програмування, моделювання, прогнозування розвитку. Необхідно застосовувати новий підхід, який базується на глибоких наукових дослідженнях, широкому використанні математичних моделей і методів, багатоваріантному аналізі сценаріїв розвитку, на статистичній базі та новітніх інформаційних техніці і технологіях.

2.3. Управління територіями, як інформаційний процес

Для ефективного управління територіальним утворенням необхідно володіти достовірною і комплексною інформацією про його економічний стан і потенціал, у тому числі про наявність і розміщення корисних копалин, лісові, водні і земельні ресурси (Zevenbergen et al., 2007), економічний розвиток територій, розташування підприємств промисловості і сільського господарства (с/г), соціальної сфери, розселення населення, розвиток дорожньої мережі, засобів зв'язку та інших компонентів інфраструктури, екологічний стан територій та іншою просторовою і атрибутивною інформацією, необхідною для ефективного і обґрунтованого прийняття рішень (Александров та ін., 2010; Коротич, 2009; Malecki, 1997; Forrester, 1969).

Інформаційна система управління територіями – це сукупність інформації, економіко-математичних методів і моделей, технічних, програмних, інших технологічних засобів і фахівців, яка призначена для обробки інформації і прийняття управлінських рішень (Зацерковний, 2013).

2.3.1. Класифікація інформаційних систем

Класифікація інформаційних систем управління залежить від видів процесів управління, рівня управління, сфери функціонування СЕС і її організації, ступеня автоматизації управління.

Основними класифікаційними ознаками автоматизованих інформаційних систему управління територіями є такі:

− рівень у системі державного управління;
− сфера функціонування;
− види процесів управління;
− ступінь автоматизації інформаційних процесів;
− рівень структурованості розв’язуваних задач;
− характер використання інформації.

За рівнем управління ІС управління поділяються на державні, регіональні і муніципальні інформаційні системи.

ІС державного рівня розв’язують задачі інформаційного обслуговування апарата адміністративного управління і функціонують у всіх регіонах країни.

ІС регіонального рівня призначені для розв’язку інформаційних задач управління адміністративно-територіальними об’єктами, розташованими на конкретній території.

ІС муніципального рівня призначені для розв’язку інформаційних задач в органах місцевого самоврядування для інформаційного обслуговування фахівців і забезпечення обробки економічних, соціальних і господарських

прогнозів, місцевих бюджетів, контролю і регулюванню діяльності всіх ланцюгів соціально-економічних сфер міста, адміністративного району тощо.

За сферою функціонування ІС управління поділяються на виробничо-господарські і системи різного роду організацій і установ. До них відносяться автоматизовані інформаційні системи промисловості і сільського господарства, транспорту, зв'язку, банківські ІС тощо.

За видами процесів управління ІС поділяються на:

– *ІС управління технологічними процесами*, що призначені для автоматизації різних технологічних процесів (гнучкі технологічні процеси, енергетика тощо);

– *ІС управління організаційно-технологічними процесами* представляють собою багаторівневі ієрархічні системи, які поєднують в собі ІС управління технологічними процесами і ІС управління підприємствами.

Найбільше поширення одержали ІС організаційного управління, які призначені для автоматизації функцій управлінського персоналу. Враховуючи широке застосування і розмаїття систем цього класу, саме у цьому сенсі й розуміють різні ІС. До цього класу відносяться ІС управління як промисловими так і непромисловими підприємствами. Основними функціями таких систем є оперативний контроль і регулювання, оперативний облік і аналіз, перспективне і оперативне планування, бухгалтерський облік, управління збутом і постачанням, розв'язок інших економічних і організаційних задач;

– *інтеграційні ІС* призначені для автоматизації всіх функцій управління підприємством та установою й охоплюють увесь цикл функціонування економічного об'єкта: починаючи від науково-дослідницьких робіт, проектування, виготовлення, випуску і збуту продукції до аналізу експлуатації виробу.

– *ІС автоматизованого проектування* (САПР) призначені для автоматизації функцій інженерів-проектувальників, конструкторів, архітекторів, дизайнерів при створенні нової техніки або технології. Основними функціями подібних систем є: інженерні розрахунки, створення графічної документації (креслень, схем, планів), створення проектної документації, моделювання запроектованих об'єктів;

– *корпоративні ІС* використовуються для автоматизації всіх функцій управління підприємством або установою (корпорацією), що має територіальну розгалуженість між підрозділами, філіалами, відділеннями, офісами тощо;

– ІС наукових досліджень забезпечують розв'язання науково-дослідницьких задач на базі економіко-математичних методів і моделей;

– навчальні ІС використовуються для підготовки фахівців у системі освіти, при перепідготовці і підвищенні кваліфікації працівників різних галузей економіки і управління.

За ступенем автоматизації інформаційних процесів ІС поділяються на:

– *ручні ІС*, які характеризуються відсутністю сучасних технічних засобів обробки інформації і виконанням всіх операцій людиною по заздалегідь розробленими методиками;

– *автоматизовані ІС* – людино-машинні системи, що забезпечують автоматизований збір, обробку і передачу інформації, необхідної для прийняття управлінських рішень;

– *автоматичні ІС,* які характеризуються виконанням всіх операцій з обробки інформації автоматично, без участі людини, але залишають за людиною контрольні функції.

Класична класифікація інформаційних систем (ІС) за ступенем автоматизації (ручні, автоматизовані, автоматичні) залишається методологічним базисом для оцінки участі людини в управлінських процесах. Проте, розвиток технологій Data Science та AI вимагає розширення цієї ієрархії:

– *інтелектуальні ІС:* забезпечують підтримку прийняття рішень через когнітивний аналіз даних та прогнозування, використовуючи методи машинного навчання;

– *автономні системи:* здатні до адаптивної поведінки та самокорекції у динамічному середовищі при мінімальному втручанні людини.

За характером використання інформації розрізняють: інформаційно-пошукові і інформаційно-обчислювальні системи.

– *інформаційно-пошукові системи* здійснюють введення, систематизацію, збереження, видачу інформації за запитом користувача без складних перетворень даних. Наприклад, інформаційно-пошукова система в бібліотеці, в залізничних і авіа касах продажу білетів.

– *інформаційно-обчислювальні системи* здійснюють всі операції обробки інформації за певним алгоритмом. Їх можна класифікувати за ступенем впливу виробленої результатної інформації на процес прийняття рішень і виділити два класи: керуючі і експертні:

• керуючі ІС виробляють інформацію, на підставі якої особа, що приймає рішення приймає це рішення. Для цих систем характерним є розрахунковий характер задач і обробка великих об’ємів даних. Прикладом можуть слугувати система оперативного планування випуску продукції, система бухгалтерського обліку тощо;

• експертні ІС виробляють інформацію, яка приймається особою, що приймає рішення до уваги але не перетворюється відразу в серію конкретних дій. Ці системи володіють більш високим рівнем інтелекту, оскільки для них характерна обробка знань, а не даних.

2.3.2. Класифікація задач, що розв'язуються інформаційними системами

Чим точнішою буде описана управлінська задача за допомогою математики, тим краще і швидше можна її розв'язати за допомогою комп'ютера і тим меншою буде участь людини в процесі її розв'язку. Саме це й визначає рівень автоматизації задачі.

Розрізняють три типи задач, для яких створюються ІС: структуровані, неструктуровані і частково структуровані.

Структурована задача – задача, яку можна формалізувати, тобто задача в якій відомі всі її елементи і взаємозв'язки між ними.

Неструктурована задача – задача, яку неможливо формалізувати (неможливо виділити елементи і встановити між ними зв'язки).

Частково структуровані задачі – це симбіоз вище перерахованих задач.

У структурованої задачі вдається виразити її зміст у формі математичної моделі, яка передбачає точний алгоритм розв'язку. Подібні задачі зазвичай доводиться розв'язувати багаторазово, і вони, як правило, носять рутинний характер. Метою використання ІС для розв'язку структурованих задач є повна автоматизація їх розв'язання, тобто зведення участі людини до нуля. Прикладом структурованої задачі є, наприклад, розрахунок зарплати.

Розв'язок неструктурованих задач через неможливість створення математичного опису і розробки алгоритму пов'язаний з великими труднаціями, а отже можливості використання для цього випадку інформаційної системи є незначними. Рішення в таких випадках приймається людиною виходячи з евристичних міркувань на основі свого досвіду і, можливо, непрямої інформації з різних джерел.

При обробці інформації в СУТ виконуються такі дії:

– збір і акумулювання в базах даних інформації з усіх можливих джерел суб'єкта управління;

– технологічна і аналітична обробка інформації в системах управління;

– подання інформації на різних рівнях управління в різних формах;

– підготовка і подання (візуалізація) узагальненої і детальної інформації для осіб, що приймають рішення з управління;

– контроль над ходом виконання рішень.

2.3.3. Формування інформаційного механізму управління територіями

У той же час, система управління не обмежується тільки накопиченням і поданням інформації. Для прогнозування і обробки статистичних даних у СУТ використовуються спеціальні математичні і евристичні методи.

Управління територіями – це інформаційний процес, який полягає у переробці потоку вхідної інформації про стан об'єкта управління і НПС у вихідний потік інформації про керуючі впливи. Без інформації управління неможливе. Тому найважливішою задачею управління територіями є організація інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління.

Інформаційна система управління територіями – сукупність адміністративних, економічних, математичних, соціологічних, статистичних, біхевіористичних[2] й інших методів, програмних і апаратних (технічних) засобів, що використовуються для збору, обробки й видачі інформації з метою прийняття управлінських рішень в процесі управління територіями.

Головним завданням сучасних ІТ у СУТ є своєчасне надання актуальної, точної, достовірної, різномасштабної інформації фахівцям і керівникам, вироблення оптимальних і просторових рішень для забезпечення процесів вироблення оптимальних рішень.

Узагальнена мета створення інформаційної системи управління територіями полягає в формуванні механізму інформаційного забезпечення систем життєзабезпечення і соціально-економічного розвитку певної території. В часовому аспекті вона поділяється на три основні цілі:

1. Короткострокова мета – інтеграція і комплексне подання різнорідної за тематичною спрямованістю інформації в єдиний інформаційний простір;

2. Середньострокова мета – забезпечення основних груп споживачів актуальною, достовірною і комплексною інформацією для оцінки стану території і прийняття ефективних управлінських рішень;

3. Довгострокова мета – впровадження методів моделювання, аналізу і прогнозування безпосередньо в процеси вироблення просторових рішень з метою їх оптимізації, підвищення оперативності і обґрунтованості, раціонального використання наявних ресурсів.

Інформаційний зміст системи диктується необхідністю інформаційного подання території з позицій потреб її розвитку, функціонування економіки, життєзабезпечення населення.

Роль інформаційного механізму в забезпеченні соціально-економічного розвитку регіону полягає у формуванні та застосуванні спеціалізованих комп’ютерних програм для ефективного внутрішнього управління регіоном, у подальшому розвитку ІТ і систем для надання інформації щодо багатоваріантних аспектів функціонування економіки регіону, у всебічній інформатизації населення, в автоматизації систем господарського управління, глобалізації комп’ютерних мереж через інтернет та використанні міжнародного досвіду інформаційного регулювання регіональних систем.

---

[2] (від англ. behaviour — поведінка) у контексті економіки, управління чи геоінформатики стосується використання психологічних закономірностей поведінки людей для прийняття рішень.

Управління – це інформаційно-аналітична задача і від уміння її розв'язку (від вміння організації роботи з інформацією) залежить якість управління територією. Сьогодні для забезпечення розв'язку цієї задачі широко використовують різні інформаційні системи, проте їх наявність, не є гарантією забезпечення ефективного результату.

Розглядаючи процеси управління територіями, варто відзначити, що найчастіше вони відбуваються на фоні прискорення і зростання частоти зовнішніх змін, зменшення періоду планування.

Дія інформвційного механізму управління територіями полягає у формуванні та застосуванні спеціалізованого ПЗ для ефективного внутрішнього управління регіоном, у подальшому розвитку інформаційних технологій і систем для надання інформації щодо багатоваріантних аспектів функціонування економіки регіону, у всебічній інформатизації населення, в автоматизації систем господарського управління, глобалізації комп'ютерних мереж через Інтернет та використанні досвіду інформаційного регулювання регіональних систем (рис. 2.6).

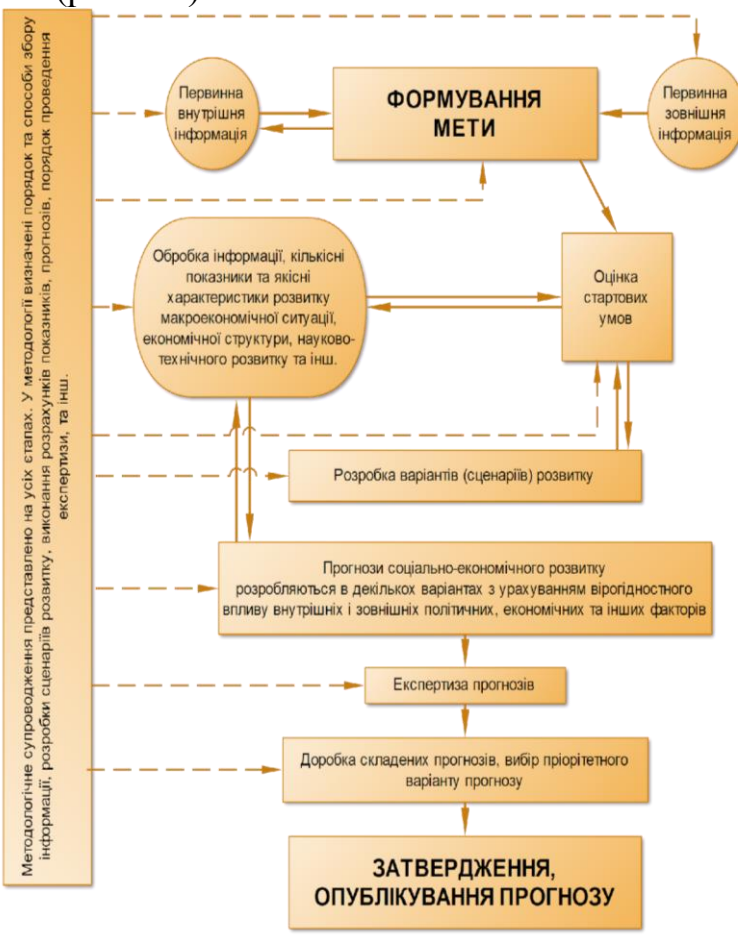


Рис. 2.6. *Схема інформаційного механізму управління територіями*

3. ОБГРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

Робота з ГІС – це задоволення, оскільки вона є інтеграцією різних дисциплін – геометрії і математики, фізики і дистанційного зондування, інформаційного моделювання і просторових баз даних.

Скот Морехаус – директор з розробки програмного забезпечення ESRI

3.1. Аналіз стану інформаційного забезпечення систем управління територіями

Незважаючи на те, що організація управління територіальним утворенням (регіоном) здійснюється зазвичай в умовах невизначеності і є складною справою, наявність якісної і своєчасної інформації про стан об’єктів і явищ певної території, організація підтримки прийняття рішень, як свідчить досвід розвинених країн, дозволяє організувати збалансований соціально-економічний розвиток територій, підвищити рівень життя населення, інвестиційну привабливість територій, забезпечити зростання соціально-економічних показників, зменшити антропогенне навантаження тощо.

Для підвищення якості управління територіями з точки зору інформаційно-аналітичного підходу необхідно:

– забезпечити керівників усіх рівнів валідною (достовірною) інформацією для прийняття рішень;

– підвищити швидкість підготовки документів для прийняття рішень;

– оптимізувати функції роботи з інформацією.

Саме тому сучасний етап розвитку світової спільноти характеризується зростаючою роллю інформаційної сфери в системі територіального управління, яка є сукупністю інформації, інформаційної інфраструктури, інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) суб'єктів, що здійснюють збір, формування, поширення і використання інформації, а також системи регулювання суспільних відносин, що виникають при цьому.

Сучасні ІТ дають змогу впливати на територіальний розвиток шляхом створення інформаційних ресурсів (ІР) для множини географічно розподілених суб’єктів, що співпрацюють на основі ”горизонтальних” комунікацій, у тому числі й на основі інтернету.

Із започаткування процесів інформатизації Україна завжди була серед перших на теренах колишнього Радянського Союзу. Достатньо згадати ”ОГАС”[3] В.М. Глушкова з ідеями переходу від територіального управління до галузевого (Глушков, 1975) і бажанням моделювати управлінські рішення та їх наслідки в комп'ютерах, а не на живих людях (Глушков, 1974). Варто згадати й ідеї безпаперової інформатики (Глушков, 1982).

Між ”ЗДАС” і сьогоденням було безліч програм інформатизації України та в Україні, які ґрунтуються на ”Національній програмі інформатизації” (Попова, 2011). Але якщо до середини 90-х рр. XX ст. питання інформатизації були в центрі суспільних дискусій, то сьогодні ці дискусії більше нагадують ”плач Ярославни” (Грицяк & Литвинова, 2015).

До здобуття незалежності Україна мала потужний потенціал для системного впровадження ІКТ: потужна наукова база, виробнича база, обчислювальні підрозділи на підприємствах України.

Сьогодні в Україні також здійснюються цілеспрямовані заходи щодо розбудови інформаційного суспільства. Виділяються чималі кошти на інформатизацію, але витрачаються вони неефективно.

Реальний стан інформатизації і розвиток ІКТ в Україні можна простежити за даними Всесвітнього економічного форуму, який відбувся в Давосі, Швейцарія (табл. 3.1) (ЕДК, 2026).

Таблиця 3.1

Рейтинг України за індексами, що стосуються розвитку ІКТ у 2026 р.

Індекс	Україна (оцінка порівняно із сукупною кількістю країн)
Індекс мережевої готовності (WEF Networked Readiness Index)	42 (139)
Глобальний індекс конкурентоспроможності (WEF Global Competitiveness Index)	70 (139)
Індекс технологічної готовності (WEF Technological Readiness Index)	35 (139)

[3] Загальнодержавна автоматизована система збору та обробки інформації (ЗДАС, рос. *Общегосударственная Автоматизированная Система, ОГАС*) – проект системи автоматизованого управління економікою СРСР, що передбачав створення ряду обчислювальних центрів по всьому СРСР та поєднання їх в одну мережу. Ініціатором та розробником проекту був Віктор Глушков, який одночасно і займався просуванням даного проекту, переконуючи радянську владу в його доцільності. Однак ні до кінця життя Глушкова, ні до кінця СРСР, проект так і не був здійснений через відмову керівництва СРСР профінансувати його в повній мірі, хоча все ж ряд обчислювальних центрів було побудовано в рамках автоматизації тодішніх об'єктів економіки (установ, заводів тощо). В.М. Глушков розрахував, що використання ЗДАС протягом 15 років коштуватиме близько 20 млрд. карбованців. Але за ці ж роки ЗДАС приніс би країні більше, ніж 100 млрд. карбованців прибутку.

Загальний рівень впровадження ІТ оцінюється у витратах на ІТ на душу населення за рік. Так, за даними прогнозів Gartner (Global IT Spending Forecast) та аналітиці ринків Europe IT Observatory (Gartner, 2025; EITO, 2025), у США цей показник становить 2 800 – 3 200 євро, у країнах Західної Європи – 1 600 – 2 000, у провідних країнах Східної Європи (Чехія, Угорщина, Словенія, Естонія) – близько 500. В Україні цей показник ще менший 120-180 євро. Загальний рівень інформатизації українського суспільства порівняно з розвиненими країнами не перевищував 2–2,5% (Грицяк & Литвинова, 2015).

Наведене свідчить, що ступінь розбудови інформаційного суспільства в Україні порівняно із світовими тенденціями є недостатнім і не відповідає потенціалу та можливостям України, оскільки (Коротич, 2009):

– відсутня координація зусиль державного і приватного секторів економіки з метою ефективного використання наявних ресурсів;

– ефективність використання фінансових, матеріальних, кадрових ресурсів, спрямованих на інформатизацію, впровадження ІКТ у соціально-економічну сферу, зокрема, в с/г, є низькою;

– наявне відставання у впровадженні технологій електронного бізнесу, електронних бірж та аукціонів, електронних депозитаріїв, використанні безготівкових розрахунків за товари і послуги тощо;

– рівень інформатизації окремих галузей економіки, деяких регіонів держави є низьким;

– розвиток нормативно-правової бази інформаційної сфери недостатній;

– створення інфраструктури для надання органами державної влади та органами місцевого самоврядування юридичним і фізичним особам інформаційних послуг з використанням мережі Інтернет відбувається повільно;

– рівень комп'ютерної та інформаційної грамотності населення є недостатнім, впровадження нових методів навчання із застосуванням сучасних ІКТ – повільним;

– рівень інформаційного представництва України в інтернет-просторі є низьким, а присутність україномовних ІР – недостатньою;

– рівень державної підтримки виробництва засобів інформатизації, програмних засобів та впровадження ІКТ є недостатнім, що не забезпечує всіх потреб економіки і суспільного життя;

– спостерігаються нерівномірність забезпечення можливості доступу населення до комп'ютерних і телекомунікаційних засобів, поглиблення "інформаційної нерівності" між окремими регіонами, галузями економіки та різними верствами населення;

– не вирішуються у повному обсязі питання захисту авторських прав на комп'ютерні програми, відсутні системні державні рішення, спрямовані на створення національних інноваційних структур (центрів, технополісів і технопарків) з розробки конкурентоспроможного програмного забезпечення (ПЗ).

Отже, маючи значний науковий потенціал та солідний науковий доробок у галузі (ІТ), Україна недостатньо використовує ці переваги і можливості для ефективного управління й оновлення своєї економіки взагалі, а територіальних утворень зокрема (ACC, 2011).

Аналіз існуючих СУТ, свідчить, що вони мають певні недоліки, які негативно впливають на збалансований соціально-економічний розвиток територій (Зацерковний, 2012; Зацерковний, 2011):

– система внутрішньовідомчих нормативів дозволяє кожному міністерству створювати повнопрофільне та відособлене від інших інформаційне середовище, що призводить до територіального різнобою і структурної роздробленості ІР. Існуючі відомчі і галузеві системи збору й аналізу даних за окремими видами об'єктів організаційно і методично розрізнені і не дозволяють ефективно взаємодіяти при прийнятті і обґрунтуванні конкретних управлінських рішень з питань розвитку територій;

– низький рівень автоматизації збору, обробки і передачі інформації, наявність відомчих бар'єрів вкрай ускладнює своєчасне отримання інформації в обсягах, необхідних для органів державної влади;

– цілі управління слабо пов'язані з регламентом збору інформації про об'єкти управління. Як наслідок, – недостатня ефективність моніторингу. Складається суперечлива ситуація: при явній перевантаженості органів управління інформацією рішення часто приймаються в умовах невизначеності, що значно знижує їхню якість;

– слабке використання сучасних інформаційних управлінських технологій не дозволяє впровадити у практичну діяльність органів влади математичні моделі, оптимізаційні задачі тощо;

– в управлінні територіями переважають адміністративні й практично не використовуються економічні та еколого-економічні методи, що не дозволяє здійснювати ефективне або раціональне господарювання, прийняття рішень відбувається в умовах невизначеності з опорою тільки на суб'єктивну думку, сформовану при відсутності повних і достовірних знань про території;

– нормативно-правова база, що регламентує відносини суб'єктів управління (у тому числі і інформаційну взаємодію), на даний час достатньо суперечлива. Це призводить до порушення принципу узгодження інтересів і збільшення ролі суб'єктивних чинників у питаннях міжвідомчого обміну інформацією про стан об'єктів і територій, що підлягають управлінню;

– відсутність єдиної системи обліку територіальних ресурсів (земля, нерухомість, інженерні мережі тощо) призводить до фрагментарності інформації, зниження податкових надходжень, орендних платежів, затягуванню термінів основних технологічних процесів оперативного управління територіальним утворенням тощо;

– неефективний моніторинг за територіальними процесами (будівництво об'єктів, проведення заходів з благоустрою, забруднення НПС тощо);

– недостатня відкритість органів влади, неефективний зворотний зв'язок з населенням і бізнесом, що призводить до різкого неприйняття тих або інших управлінських заходів;

– недостатньо чіткий розподіл управлінських функцій між центром і регіоном, регіоном і органами місцевого самоврядування, наявність власних інтересів у кожного учасника процесу;

– інформація, якою користуються регіональні органи влади і місцевого самоврядування не має систематичного і системного характеру, не дає всебічного уявлення про реальний стан ситуації в регіоні;

– у регіоні відсутня комплексна інформація про бізнес-проекти підприємств, інформація про економічну ситуацію (попит на продукцію виробничо-економічного призначення, споруджувані або законсервовані будівництва промислових та соціальних об'єктів, вироблювану продукцію промислового і с/г призначення, обсяги її реалізації у регіоні і за його межами, оптові й роздрібні ціни на цю продукцію, дані про оцінку промислової і комерційної нерухомості, зайнятість населення тощо).

Особливістю роботи з подібною інформацією є те, що вона достатньо велика за об'ємом, має просторову прив’язку, а частина її через певний час втрачає свою актуальність. Нестача актуальної інформації призводить до того, що суб'єкти інвестування вкрай невдало обирають партнерів, більшість підприємств недовикористовують переваги ринкової економіки. Як наслідок, великі фінансові втрати підприємств, особливо с/г, ускладнена реалізація спільних бізнес-проектів і проектів, що фінансуються виключно закордонними інвесторами тощо.

Через низку недоліків існуючої регіональної системи управління трансформаційного та посттрансформаційного періоду практично жодної з цілей регіональних економічних реформ (і в першу чергу – реструктуризації економіки регіонів, її базових галузей) досягнуто не було. Як результат, більшість регіонів сьогодні характеризується низьким рівнем розвитку, застарілою структурою економіки, розбалансованістю виробничого комплексу, технологічною відсталістю системоформуючих виробництв і загалом низькою ефективністю використання потенціалу територій. Крім того, кризові явища 2008–2017 рр. ще більше закріпили ринкову відсталість регіональних економічних комплексів та їх хронічну структурну деформованість.

Інформаційна система управління територіями покликана усунути ці проблеми, сприяти об'єктивному відображенню стану і тенденцій розвитку територій, адекватно оцінювати якість життя, виявляти проблемні зони, допомагати оперативно корегувати управлінську політику, як на рівні центральних, так і на рівні регіональних органів управління територіями, відстежувати результативність процесів децентралізації.

Зазначені обставини необхідно враховувати як при розробці підходів до удосконалення механізмів управління територіями, так і при розробці його інформаційного забезпечення (ІЗ).

Крім прямої задачі отримання інтегрованих актуальних і точних даних, існує і зворотна задача: є вхідний керуючий документ, що визначає необхідність зміни певної інформації у різних системах. Проблема полягає у забезпеченні цілісності всієї сукупності даних.

При існуючих формах державного і регіонального управління територіями процес прийняття рішень затягнутий у часі, природним чином віддзеркалюючи певні недоліки, що пов'язані з великою кількістю проміжних, з великою часткою рутинних, головним чином, ручних операцій. У кращому випадку використовується інструментарій ІТ для часткової автоматизації окремих процесів (Malecki, 1997).

Існуюча система інформаційного забезпечення (ІЗ)[4] надає можливість аналізу проблем розвитку держави у цілому, але на рівні окремого територіального утворення (регіону, міста, району) інформація зазвичай не є репрезентативною. Оцінити соціально-економічну структуру регіону, міста, району або їх інвестиційну привабливість сьогодні досить проблематично. Слабке регіональне ІЗ веде до недоопрацьованості багатьох рішень управління розвитком регіону і інвесторами.

Дієвість регіональної політики, що здійснюється в Україні зі збільшення дохідної частини бюджетів усіх рівнів за рахунок підвищення ефективності використання географічних, кліматологічних і природо-сировинних ресурсів, землі і об'єктів нерухомості напряму залежить від повного і достовірного їх обліку і раціонального використання.

Проблеми розвитку й управління територіями ставлять на порядок денний необхідність отримання керівниками різних рівнів точної та своєчасної територіально-локалізованої інформації про достовірний облік землі і пов'язану з нею нерухомість, стан суб’єктів господарської діяльності, об’єктів соціально-економічної інфраструктури, стан екології, природних і техногенних ресурсів, автошляхів, реєстрації прав власників тощо для забезпечення підтримки прийняття ефективних управлінських рішень, забезпечення сприятливого інвестиційного клімату розвитку територіальної економіки, інформаційно-аналітичної підтримки суб’єктів ринку та населення, забезпечення їхніх гарантій тощо. Тобто, регіональний менеджмент повинен ґрунтуватися на використанні потенціалу геоінформаційних технологій, які можна розглядати як інструмент підтримки прийняття рішень при плануванні, проектуванні і управлінні соціо-економіко-екологічною системою територіального утворення.

[4] це сукупність реалізованих рішень щодо обсягу, розміщення та форм побудови інформації, яка циркулює в системі управління

Можливість аналізувати географічне (просторове) розташування величезної кількості об’єктів нерухомого майна, їх кількісних і якісних характеристик на основі картографічного матеріалу дозволяє керуючим структурам приймати обґрунтовані рішення по управлінню територією. Картографічних даних також потребують фахівці, що оцінюють і прогнозують стан певний стан певної галузі, наприклад ринків збуту продукції, забруднень території тощо, оскільки актуальні картографічні матеріали дозволяють визначити критичні ділянки і сприяють швидкому прийняттю рішень з ліквідації передумов розвитку негативних процесів.

На підставі викладеного можна зробити висновок про актуальність створення ефективної ІС управління територіями, яка б інтегрувала базові відомості про стан території регіону і надавала б керівникам (ОПР) і громадянам актуальну і точну інформацію про ситуацію в регіоні та прогнозувала її в короткочасному і довготривалому періоді.

3.2. Обґрунтування необхідності застосування ГІС в управлінні територіями

Оскільки практично вся інформація про ресурси певного регіону має на 80–85% просторову прив'язку (DeMers, 1997; Kraak & Ormeling, 2020; Huxhold, 1991) то цілком очевидно, що базовою ІТ повинна виступити геоінформаційна, яка поєднує традиційні операції при роботі з базами даних (запит і статистичний аналіз), з перевагами повноцінної візуалізації та графічного (просторового) аналізу, що надає цифрова карта (Зацерковний, 2013).

Географічний (просторовий) чинник завжди був одним з домінуючих в управлінні територіями. Незалежно від рівня управління, стилю керівництва і завдань будь то стратегічне планування або розв’язок актуальних господарських завдань, просторова локалізація додає знання, де знаходиться об'єкт (явище) або відбувається процес, і, в більшості випадків, чому він там знаходиться або відбувається. Питання раціонального розселення, ефективного розміщення виробництва, оптимального використання ресурсів і охорони навколишнього середовища взагалі неможливо вирішити без просторових характеристик об’єктів (процесів, явищ).

Зростання обсягів накопиченої і доступної інформації призвело до необхідності аналізу великої кількості чинників, що впливають на об’єкти дослідження, а також виявляти нові, на перший погляд неочевидні. При постійно зростаючих вимогах до оперативності і точності прийняття управлінських рішень стало практично неможливим розв’язок таких масштабних задач ”вручну”. В цій ситуації необхідний новий якісно новий підхід, який би дозволяв використовувати у повсякденній управлінській діяльності підтримку прийняття управлінських рішень на основі просторової

інформації, автоматизувати процеси, пов’язані з просторовим аналізом, оскільки без урахування характеристик, що визначаються місцем розташування об’єкта, неможливо системно оцінити проблему і ефективно її вирішити.

Застосовування цифрової топографічної основи території дозволить перейти на якісно новий рівень розв'язку задач із життєзабезпечення і розвитку територіального утворення і земельно-майнового комплексу. Управління територіальними ресурсами і земельно-майновим комплексом вимагає використання достовірних і актуальних планів, схем і карт території регіону, а також однозначної (унікальної) ідентифікації об'єктів при розв'язку задач життєзабезпечення і розвитку територіальних утворень.

Розв’язок проблеми підвищення якості життя населення, комфортності проживання на території можна тільки за допомогою системи збалансованих показників, аналізувати які доцільно після візуалізації на цифровій карті.

Ці можливості відрізняють ГІС від інших ІС і забезпечують унікальні можливості для їх застосування в широкому спектрі задач, пов’язаних з аналізом і прогнозом явищ і подій, виділення головних факторів і причин, а також їх можливих наслідків з плануванням стратегічних рішень тощо.

До цього часу в державі геомоделювання на регіональному рівні не використовувалось. Усі попередні спроби застосування ГІС або стосувались невеликих територій, або мали галузевий характер, а це викликало дублювання інформації і її неминучої суперечливості. Дослідження регіону в цьому випадку відбувається без урахування взаємозв’язку всіх його підсистем, що врешті-решт перешкоджає сталому регіональному розвитку.

ГІС (рис. 3.1) спроможні інтегрувати і якісно опрацювати усю наявну різнорідну просторову і семантичну інформації, підвищити ефективність процедур прийняття рішень, забезпечити відповіді на запити і функції аналізу просторових даних, забезпечити подання результатів аналізу в наочному і зручному для сприйняття вигляді (Ищук и др., 2010; Іщук та ін., 2003; Зацерковний, 2013).

Принципи прийняття рішень у ГІС засновані на багатомірному аналізі інформації, інтеграції евристичних, аналітичних і візуальних методів.

Оскільки ГІТ відносяться до технологій, за допомогою яких вирішується забезпечення сталого розвитку територій, їх соціальної, економічної, екологічної і військової безпеки, підтримка прийняття ефективних управлінських рішень в сучасному світі з усіма його чисельними і різноманітними проблемами то стає зрозумілим чому вони активно використовуються в усьому світі.

Враховуючи факт, що будь-яка інформація, в залежності від того, як вона сприйнята, породжує відповідну дію, можна стверджувати, що від того, яка вихідна інформація буде у керівника, як вона ним буде сприйнята, таким буде й прийняте ним рішення, такою буде, в результаті, й життя території, якої стосується це рішення.

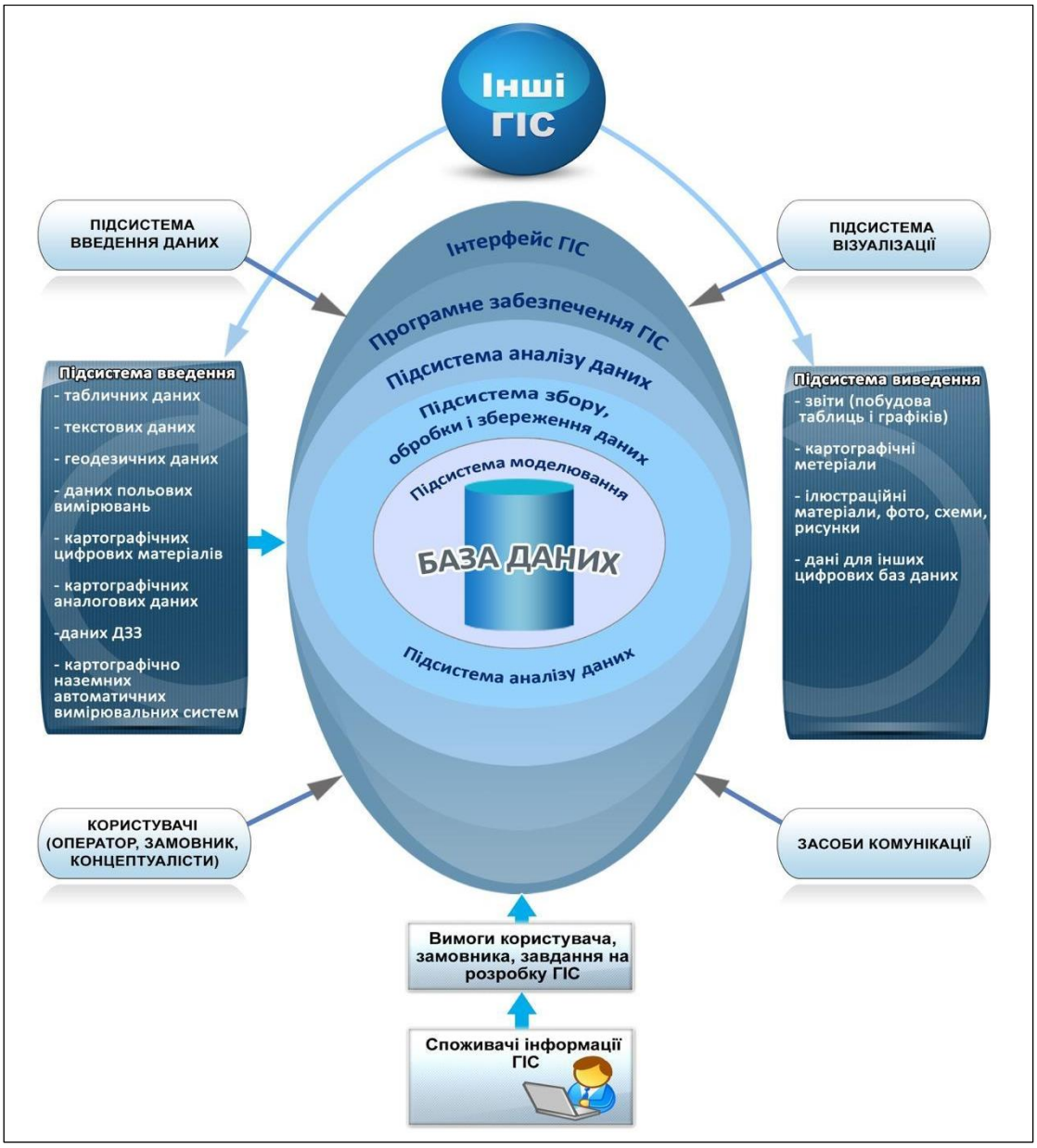


Рис. 3.1. *Функціональна схема ГІС (авторська розробка)*

Впровадження ГІС в управління територіями дозволяє підвищити якість, достовірність й оперативність видачі довідкових, оцінних і прогнозних матеріалів про стан територій і природно-технічні системи, необхідні для прийняття обґрунтованих керуючих рішень.

На сучасному етапі складність завдань управління територіями безперервно (і притому дуже швидко) зростає. Зрозуміло, одержання точної оцінки – справа дуже копітка і трудомістка. Задача може бути значно спрощена, якщо провести якісну оцінку.

Для цього вибираємо порівняно невелику кількість найбільш характерних ланок управління (підприємств різних профілів, будівництв,

сільськогосподарських підприємств, магазинів, підприємств побутового обслуговування тощо).

Для кожного з них фіксується певна кількість найбільш трудомістких об'єктивно необхідних завдань управління. Під об'єктивно необхідними будемо розуміти такі завдання, які не залежать від існуючої організаційної структури.

Оцінивши обсяг завдань управління з вибраних об'єктів територіального управління, множать отримані оцінки на загальну кількість подібних об'єктів, а результати підсумовують.

Академіком В.М. Глушковим показано, що складність R об'єктивно необхідних задач управління зростає швидше, ніж $n2$ людей, зайнятих управлінською діяльністю:

$$R > b\, n_{\text{і}},$$

де $b = const$; $n_{\text{і}}$ – кількість людей зайнятих в управлінні.

Відомо, що для успішного управління державою, регіоном, галуззю, де зайнято n людей і є m об'єктів управління (моніторингу), сумарна складність завдань управління визначається співвідношенням:

$$R = c(n+m)^2 \text{ } \textit{(зазвичай, } c = 1\textit{)}.$$

Об'єктивна тенденція зростання складності управління, що відбувається в сучасному світі, має місце і в Україні. Це призводить до зростання необхідних витрат живої праці, тобто ресурсів R на управління, а можливості людського мозку із запам'ятовування і переробки інформації обмежені. Приймемо n=200000 (хоча загальна кількість працівників управлінської ланки в Україні перевищує 300000), приймемо m=4000000 хоча реальна кількість об’єктів є набагато більшою.

У середньому обсяг пам'яті людини становить S=1016 біт, а середня продуктивність обчислень $V = 1/3$ 106 опер/с. Щоб уявити ці цифри більш наочно, зауважимо, що людина, яка працює на персональному комп’ютері, може виконати близько 125000 операцій на день, 500 тисяч арифметичних операцій на рік. Для більш точних обчислень, завищимо цю цифру в два рази, довівши до 1 мільйона, тобто, 106 операцій на рік.

Отже, при розв’язку складних інформаційних завдань управління територіями тільки адміністративними органами державного, регіонального і муніципального рівнів необхідно виконати R=1(200000+4000000) 2=42000002=17,64 1012 опер./рік, а для задовільного управління країною при існуючій технології потрібно, щонайменше, $N = R/V$ =317,64 1012=52920000 чол., тобто майже 53 мільйони осіб.

Це більше ніж у 1,2 рази перевищує чисельність населення країни. Для ліквідації дефіциту живої праці в управлінні країною необхідно суттєво підвищити ефективність роботи кожного співробітника апарату управління.

Цього можна досягти, як свідчить досвід передових країн Європи, завдяки застосуванню ГІС в управлінні територіями, які відкривають перед економікою регіонів колосальні можливості.

Неможливо не тільки системно оцінити проблему, що виникла перед особою, що приймає рішення, а й коректно її вирішити без урахування характеристик, які свідчать про місцезнаходження об'єкта.

Оптимізація – мета, яка традиційно стоїть перед управлінцями. Завдання раціонального розміщення виробництва, раціонального розселення, раціонального використання ресурсів та охорони навколишнього середовища давно вже вважаються одними з першорядних напрямків, що розглядаються і успішно розв'язуваних методами ГІС. Саме з використанням просторових характеристик об'єктів вирішуються оптимізаційні задачі, наприклад, де створити полігон для звалища твердих побутових відходів, щоб мінімізувати економічні витрати, оптимізувати вивезення, і при цьому зменшити можливі незручності для населення тощо.

ГІС дозволяють по-новому, більш глибоко глянути на проблему, комплексно підійти до її розв'язку, надаючи при цьому необхідний інструментарій.

Слід зазначити, що за останні п'ятнадцять років ГІС зазнали великих змін, як концептуальних, так і функціональних. Це вже не ті ”скромні” програми, за допомогою яких можна було на основі наявних даних створювати карти. Сьогодні ГІС – інтеграційне середовище, яке дозволяє об'єднувати і систематизувати різноманітну інформацію, її потоки, що надходять з багатьох відділів та служб. Все частіше і частіше ГІС ставлять на вершину інформаційної структури відомств і підприємств, хоча, на інших стадіях робочого процесу їх використовують і для професійного аналізу даних, і для ”чорнової” роботи – введення і підготовки даних.

В ”інтеграційному” аспекті ГІС використовують для розв’язку задач на найвищому рівні територіального управління. Наприклад, організація Об'єднаних Націй використовує ГІС для роботи з актуальною інформацією. Де б не проводились операції ООН, в рамках операції збирається необхідна інформація. Вона подається в вигляді тематичних атласів, доступ до яких відкритий для всіх зацікавлених осіб. Обов'язково готується картографічна основа. Можливість одержувати таку інформацію, можливість моделювання ситуацій роблять ГІС дієвими інструментами для планування гуманітарних операцій, запобігання й владнання регіональних конфліктів.

При управлінні територіями, ГІС використовується не тільки на державному і регіональному рівнях для розв'язку великих аналітичних і прогнозних задач. Також ефективним є комплексний просторовий аналіз і при

розв'язку конкретних повсякденних задач управління на муніципальному рівні.

Впровадження ГІС у СУТ дозволяє системно підійти до розв'язку будь-якої задачі, наприклад для цілей інформаційної підтримки управлінських рішень і аналізу територій з метою обліку і збору плати за землю. Крім вирішення своїх прямих аналітичних задач, вона дозволяє уникнути багатьох проблем. Наприклад, уникнути ”клаптевої” автоматизації, яка тягне за собою повторне введення даних, похибки при введенні і складне адміністрування системи.

Найважливіший етап у розвитку територій – територіальне планування – вже на будь-якій стадії не обходиться без ГІС, які привносять можливість постійної актуалізації потрібної документації, наукову обґрунтованість пропозицій, заснованих на накопичених і наочно представлених даних, можливість моделювання різних сценаріїв, використання створених в ГІС матеріалів для містобудівного і екологічного моніторингу.

Потреба більш ефективно розв'язувати питання управління, планування, інвентаризації і експлуатації інженерних комунікацій, зокрема тривимірних, вимагає впровадження ГІС не тільки в муніципальних підрозділах, а й на великих підприємствах.

Оскільки фінансові та матеріальні ресурси, що є в розпорядженні органів управління, далеко не безмежні, то досягнення високої ефективності їх використання за допомогою сучасних ГІТ є критично важливим моментом. Для ефективного управління територіями, необхідно вміти перерозподіляти ресурси (природно-сировинні, фінансові, матеріальні, трудові тощо), а головне, вміти прогнозувати результати цього перерозподілу. Більшість планів, рішень і повсякденних дій органів управління територіями залежить від точної, прив'язаною до місцевості інформації, то та технологія, яка дозволяє збирати та відображати всю необхідну інформацію в наочному і зручному вигляді і буде визначальною. А це безумовна є ГІС, які надають потужні інструменти управління інформацією, дозволяючи об'єднати дані всіх підрозділів і комунальних служб в єдине середовище спільного користування для раціонального планування та прийняття обґрунтованих рішень.

Управління територіями справа надзвичайно складна. Керувати можна по різному: інтуїтивно, виходячи з особистих прерогатив і цілей, вибираючи пріоритети, ґрунтуючись на думку колег, партнерів, інших фахівців, або керуючись установками ”зверху ”. Управління може бути стратегічним (на перспективу) і повсякденним. Проте в будь-якому випадку необхідно, знати, чим або ким керуєш, які основні об'єкти управління. Оскільки території (регіони) це в чистому вигляді географія, то рішення з оптимального управління ними потрібно шукати на підставі географічного (просторового) підходу виходячи не тільки з сухих цифр, а й на підставі живої і наочної мови цифрових карт, що надаються ГІС засобами картування і моделювання, в тому числі тривимірного, реального світу, аналізу сценаріїв і прогнозування

можливих побічних ефектів. Тобто, в процесі управління територіями ОПР має справу з великими системами, що володіють безліччю зворотних зв'язків.

Якщо Україна має намір інтегруватися до європейського співтовариства, забезпечити суспільний добробут європейського рівня, то запровадження ГІС у СУТ виглядає безальтернативним.

3.3. Аналіз можливостей ГІС щодо розв’язку задач управління територіями

Зростаючі вимоги до ефективності управління інфраструктурою територій передбачають безперервне удосконалювання систем ІЗ. Для ефективного управління територіями необхідно володіти актуальною, точною, достовірною, агрегованою і структурованою інформацією про їх економічний стан і потенціал, у тому числі про наявність і розміщення корисних копалин, лісні, водні і земельні ресурси, економічний розвиток територій, розташування підприємств промисловості і сільського господарства (с/г), соціальної сфери, розселення населення, розвиток дорожньої мережі, засобів зв'язку та інших компонентів інфраструктури, екологічний стан територій та володіти іншою просторовою і атрибутивною інформацією, необхідною для ефективного й обґрунтованого прийняття рішень (Карпенко, 2001; Zeiler, 2010).

Як свідчить практика, тільки ІС інтегровані з ГІС, спроможні ефективно впоратися з поставленою задачею і забезпечити органи територіального управління засобами для відображення і розуміння того, що знаходиться в одному конкретному або багатьох місцях розташування, надати інструменти моделювання ресурсів, виявлення взаємозв'язків, процесів, залежностей, прикладів, загроз і ризиків. Саме тому ГІС повинні стати ядром автоматизованої СУТ.

Сучасний рівень технології роботи з геоданими: одноразове введення, надійне збереження, ефективне опрацювання, наочне подання дозволяє мати більш достовірну, актуальну та повну інформацію про території та інженерну інфраструктуру. Це в свою чергу, забезпечує керівництво територіальними утвореннями і підприємств даними для більш ефективних стратегічних та оперативних управлінських рішень, що стосуються розвитку територій, ремонту, реконструкції, будівництва нових об'єктів, інженерної інфраструктури.

Наявність достовірної інформації про територіальні об’єкти, інженерну інфраструктуру, плани їх розвитку, підвищують інвестиційну привабливість територій, збільшують надходження до бюджету за використання землі та інженерної інфраструктури. Скорочуються терміни, підвищується якість підготовки містобудівної документації. Підвищуються податкові

надходження від більш ефективного ведення бізнесу на більш якісно структурованій та інформаційно-забезпеченій території.

Ефективність застосування ГІС незаперечна для управління територіями, їх освоєння і збереження з урахуванням природних особливостей і мінімізації збитку НПС, прийняття оперативних заходів у надзвичайних ситуаціях, а також моніторингу наслідків господарської діяльності людини і моделюванні розвитку економічної, соціально-екологічної і екопатологічної ситуації в регіоні (Bolstad, 2019; De Lange, 2023; Green, 2011).

Проте треба відзначити, переваги впровадження геоінформаційних технологій відчуваються не відразу. Це приблизно як зміна мастила в двигуні автомобіля: можна тривалий час не міняти, але з часом почнеться все більш сильний знос деталей, і вартість ремонту чи заміни двигуна виявиться набагато вище вартості мастила. Геоінформаційні технології є своєрідною змазкою в управлінні територіями. Підвищення конкурентоспроможності територій, ефективне використання природно-ресурсного потенціалу, посилення екологічних вимог і безліч інших факторів приводять до того, що геінформаційні ресурси стають життєво необхідним інгредієнтом управлінського процесу.

Напрями використання ГІС у СУТ (Зацерковний, 2013) представлені на рис. 3.2.

Рис. 3.2. *Напрями використання ГІС у системі управління територіями*

Застосування ГІС у СУТ забезпечить:

– підвищення ефективності управління територіями на різних рівнях за рахунок широкого використання ІР просторових даних при прийнятті управлінських рішень і контролі їх виконання;

– сприянню економічному розвитку певної території через підвищення можливостей ІЗ інвестиційної діяльності за рахунок надання більш повної, актуальної і достовірної інформації про потенційні об'єкти інвестицій;

– підвищення якості просторових даних, зниження бюджетних витрат на створення просторових даних за рахунок виключення дублювання робіт з їх створення;

– надання просторових даних і метаданих споживачам за єдиними правилами.

Здатність ГІС інтегрувати просторові і непросторові дані, разом з функціями аналізу і моделювання процесів, дозволяє використовувати цю технологію як загальну платформу для інтеграції соціально-економічних, екологічних та бізнес-процесів у масштабах усього регіону або певного територіального утворення (Rigaux et al., 2002; Шипулін, 2010).

Розуміння ролі геоінформаційної підтримки прийняття рішень у процесі в системах управління територіями привело до того, що ГІС де-факто стали потужним загальноприйнятим інструментом в галузі державного, регіонального і муніципального управління у багатьох країнах світу. Тільки в Європі понад 100000 муніципалітетів використовують ГІС для управління територіями і міського управління (Huxhold, 1991).

Просторову й атрибутивну інформацію ГІС, необхідну для управління певною територією, містять різнотипні, не пов’язані між собою джерела: бази геоданих, окремі геоінформаційні проекти, дані ДЗЗ і польових геодезичних вишукувань, матеріали різноманітних кадастрів, результати моніторингів, бібліотеки, електронні архіви документів тощо, які знаходяться у різних організаціях (відомствах, установах), функціонують у різних програмних середовищах, ведуться за різними регламентами.

ГІС, виходячи з комплексного географічного опису території, виступають, певним надбудовним елементом відносно систем інформаційно-просторового моделювання та їх логічного розвитку. За допомогою ГІС може бути організований ефективний доступ до великих об'ємів інформації про об'єкти, що мають просторову прив'язку. У зв’язку з цим їх структура та інші характерні особливості багато в чому визначаються сформованою системою організаційно-просторової інформації на певній території стосовно вирішення того чи іншого типу задач. Тому в процесі створення ГІС першорядне значення набуває розробка географічних (тематичних) основ інформаційної побудови складних просторово-часових об'єктів, призначених для реалізації цілей системи управління. Однак ГІС, це не інструмент для видачі рішень, а засіб, що допомагає прискорити і підвищити ефективність прийняття рішень. ГІС здатні дати відповіді на запити і функції аналізу просторових даних, наприклад, у вирішенні таких задач, як подання різноманітної інформації за запитами органів планування, вирішенні земельних конфліктів, виборі оптимальних за певними критеріями місць розташування об’єктів тощо.

Просторово-часовий аналіз дозволяє виявити територіальний розподіл об'єктів географічного простору, їх сталі комбінації, районувати, будувати і прогнозувати оптимальну модель територіальної організації регіону (Бурачек та ін., 2011b). Система методів просторово-часового аналізу забезпечує комплексну оцінку статики, динаміки і прогнозу розвитку регіону у вигляді його просторово-часових моделей, що відображуються на картах.

Карти створюють просторовий образ регіону, моделюють територіальну диференціацію природної і соціально-економічної компонент, особливості взаємодії природи і суспільства.

Інтеграція ІС управління територіями з ГІТ, експертними системами, використання сучасних прикладних методів геопросторового аналізу дозволяють створити нові підходи в управлінні територіями, забезпечуючи прийняття оптимальних рішень. За допомогою ГІС можна створювати бази даних (БД), що поєднують у собі графічне та атрибутивне подання різнорідної інформації і забезпечують можливість просторового аналізу даних і подання його результатів у найбільш прийнятній для користувачів у лаконічній формі (у вигляді графіків, діаграм, таблиць, карт та їх симбіозі тощо). Наявність доступної для сприйняття і узагальнення інформації дозволяє ОПР зосередити свої зусилля на пошуку і обмірковуванні доступних різнорідних даних, розгляді альтернативних варіантів розв’язку проблеми і обрати найбільш ефективний і економічно доцільний.

Застосування ГІТ при прийнятті управлінських рішень, залежно від застосування, за оцінками фахівців дозволяє заощадити від 1 до 10% бюджетних коштів (Зацерковний, 2013; Shekhar et al., 2017). ГІС в управлінні територіями, до складу якої входять територіальні інформаційно-довідкові системи, аналітичні ІС, експертні системи і системи прогнозування розвитку території, дозволяє здійснювати ефективний моніторинг соціально-економічних процесів у регіоні і забезпечувати швидку адаптацію регіону до умов ринку, що швидко змінюються.

Схема застосування ГІС в управлінні територіями подана на рис. 3.3.

ГІТ передбачає візуалізацію даних на електронних картах з проведенням ефективного просторового аналізу для більш якісної оцінки ситуації.

Завдяки інтеграції ГІС в управління територіями, працівники органів державної влади (ОДВ) і органів самоврядування отримують можливість:

– підвищити якість стратегічних планів розвитку, що задовольняють сучасні суспільні потреби і відповідають міжнародним стандартам;

– підвищити якість моніторингу процесів управління комунальною і державною власністю за усіма аспектами стану і розвитку територій;– виявити резервні території під розміщення об'єктів містобудівної діяльності, розміщення нових підприємств та ІЗ інвестиційних проектів; – оптимізувати процеси надання базових соціальних благ населенню регіону, у тому числі транспортну та комунікативну складову цих процесів;

– підвищити якість і терміни підготовки й аргументації рішень для оперативного управління комунальним і державним майновим і ресурсним комплексом і ефективного прийняття управлінських рішень у кризових ситуаціях;

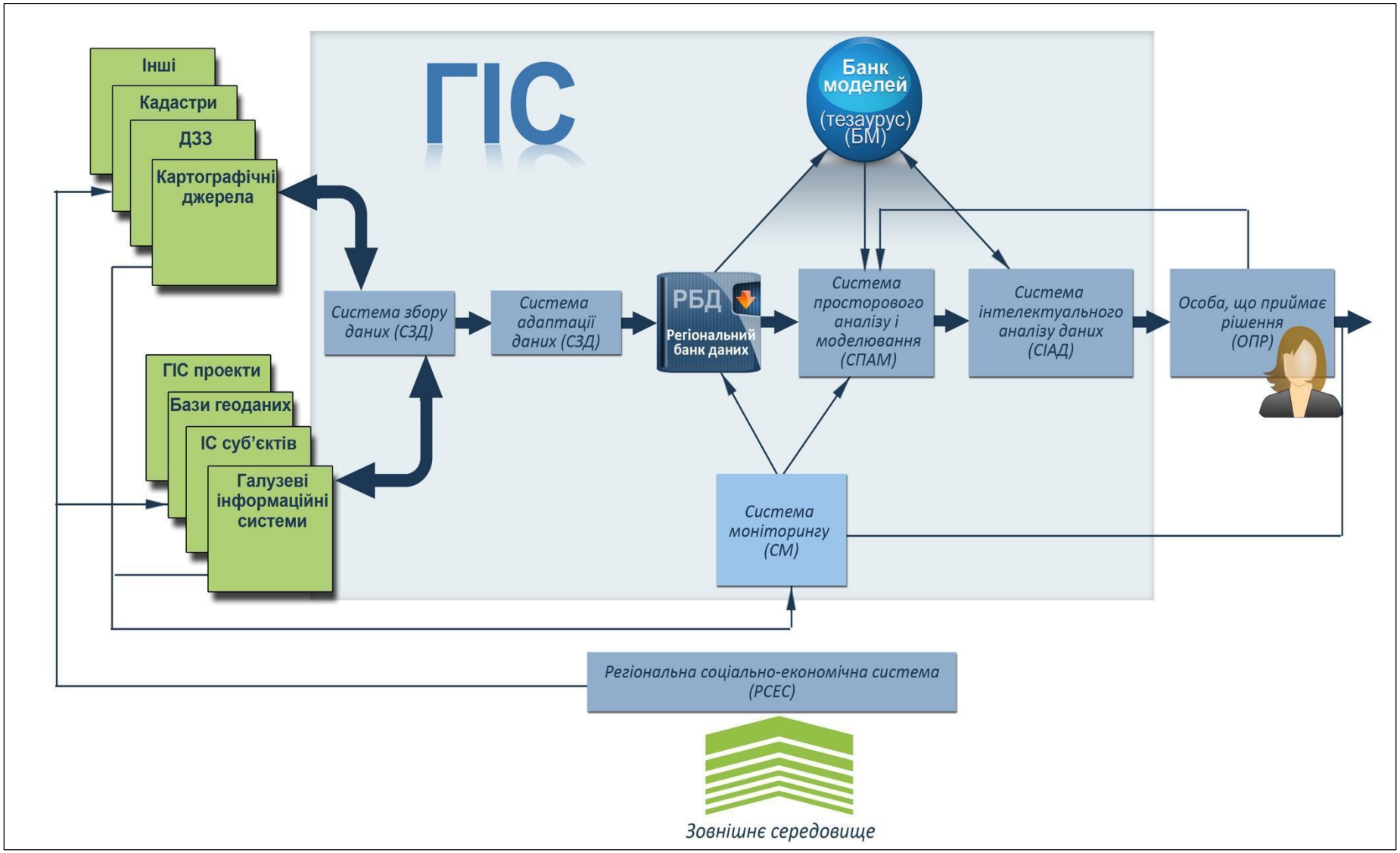


Рис. 3.3. *Функціональна схема ГІС в управлінні територіями*

– здійснювати екологічний та санітарно-гігієнічний моніторинг, оцінку і прогнозування стану навколишнього середовища, спрямувати кожне прийняте рішення на підвищення екологічної безпеки за обраними параметрами;

– суттєво підвищити якість і швидкість розробки декількох проектних варіантів розвитку інфраструктури і оптимізації комунікацій, що значно знижує негативну складову впливу „людського фактору" на процес прийняття рішення;

– істотно поліпшити кадастрове картографування земель та об'єктів власності, роботу з розробки регламентів використання територій і визначення оціночної вартості земельних ділянок;

– сприяти залученню інвестицій під важливі для регіону проекти завдяки високій інформативності презентаційних матеріалів – головної принади ГІС, якими можуть користуватися адміністративні працівники будь-якого рівня управління, якщо у регіоні запроваджено єдину ГІС в управління територіями;

– здійснювати паспортизацію і управління природними і техногенними ресурсами, оптимально планувати землекористування, виконувати аналіз придатності земель, проводити районування і комплексну оцінку територій;

– раціонально керувати інфраструктурою (енергомережі, газо- і нафтопроводи, дорожнє господарство);

– здійснювати аналіз та прогнозування різноманітних процесів на основі наявних даних;

– забезпечувати оперативною інформацією органи цивільної оборони і надзвичайних ситуацій (Зацерковний та ін., 2010).

Функції геоінформаційної підтримки прийняття рішень у СУТ представлені на рис. 3.4.

Метою розробки геоінформаційної підтримки СУТ є одержання певного набору рішень на основі аналізу і моделювання.

Базові групи операцій аналізу і моделювання позначилися в результаті багаточисельних реалізацій конкретних ГІС, тобто обґрунтовані практикою. Це перед усім операції з пошуку об'єктів, робота з системою координат, оверлейні операції, буферизація, візуалізація, графоаналітичні операції.

Оскільки ГІТ дають можливість інтегрувати за географічною (просторовою) ознакою різнорідну інформацію і бази даних, спільного опрацювання і аналізу цієї різнорідної інформації, багаторазово збільшуючи її корисність (принцип синергетики), то ГІС розглядаються з різних позицій (Зацерковний та ін., 2016):

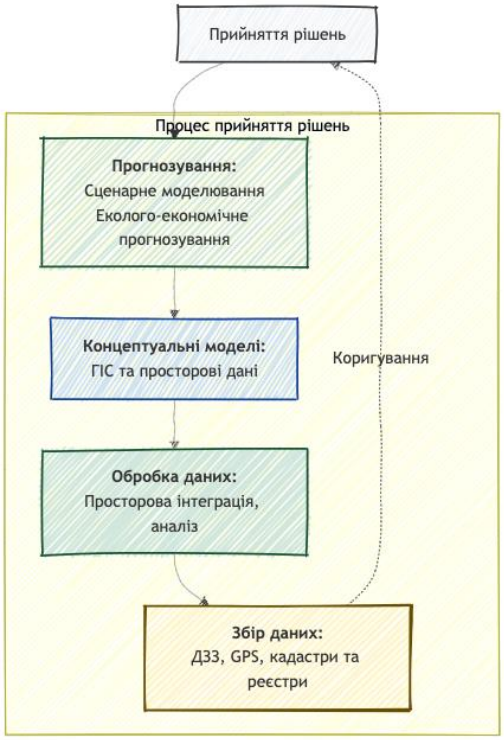


Рис. 3.4. *Функції геоінформаційної підтримки прийняття рішень СУТ*

− як системи підтримки прийняття управлінських рішень ГІС призначені для забезпечення прийняття рішень з оптимального управління просторовими об'єктами. Оскільки ГІС використовують нові технології просторового аналізу даних, то можна стверджувати, що ГІС є потужним засобом перетворення і синтезу даних в задачах управління територіями;

− як автоматизовані інформаційні системи ГІС об'єднують технології відомих інформаційних систем: автоматизованих систем наукових досліджень (АСНД), систем автоматизованого проектування (САПР), автоматизованих довідково-інформаційних систем (АДІС) тощо;

− як геосистеми ГІС включають технології географічних інформаційних систем (ГІС), систем картографічної інформації (СКІ), автоматизованих фотограмметричних систем (АФС), автоматизованих кадастрових систем (АСК) тощо;

− як системи, що використовують бази даних, ГІС використовують широкий набір даних, поєднуючи в собі бази даних цифрової інформації і графічні бази даних;

− як системи моделювання ГІС використовують максимальну кількість методів і процесів моделювання;

− як системи одержання проектних рішень ГІС застосовують методи автоматизованого проектування і вирішують низку спеціальних проектних задач;

− як системи подання інформації ГІС виступають подальшим розвитком автоматизованих систем документаційного забезпечення (АСДЗ).

ГІС – ефективний інструмент сучасного управління територіями, що представляє собою новій рівень і спосіб інтеграції і структурування інформації.

При зіставленні визначення, класифікації і функцій СППР і ГІС стає зрозуміло, що ГІС можна розглядати як клас СППР при управлінні просторовою інформацією (Зацерковний та ін., 2016). Геоінформаційні СППР не підмінюють ”класичні” СППР, а розв'язують своє коло задач, утворюючи СППР на основі просторових даних. ГІС – це засіб, який дозволяє прискорити і підвищити ефективність процедури прийняття рішень, який забезпечує реалізацію запитів і функцій аналізу просторових даних, подання результатів аналізу в наочному і зручному для сприйняття вигляді.

Більшість вище перерахованих задач можуть розв’язуватись (і розвязувалися раніше) і без використання ГІТ. Однак ГІТ дозволяють з більшою ефективністю і зручністю для користувача організувати в єдиний комплекс операції введення і актуалізації вихідної інформації, її опрацювання і відображення результатів, розв'язувати задачі просторового аналізу.

ГІС все тісніше взаємодіють з іншими інформаційними технологіями, такими як реляційні СКБД і сховища даних, збір і обробка даних дистанційного зондування (аеро-і космічних знімків), архівація і зберігання растрових зображень (прикладом може служити технологія MrSID компанії Lizardtech), системи управління матеріальними і фінансовими ресурсами підприємства (типу SAP R/3), Інтернет, системи підготовки звітів (типу Seagate Crystal Reports) тощо. Причому ця інтеграція відбувається як на рівні створення прозорих інтерфейсів, так і в результаті вбудовування відповідних інструментальних засобів у конкретні геоінформаційні продукти.

Деякі з ініціатив у сфері ГІС успішно розвиваються і реалізуються у вигляді виробничих систем, інтегрованих у бізнес процес, створюються спеціальні групи з їх впровадження, постійно зростає кількість кінцевих користувачів, що відкривають нові шляхи і можливості отримання доходів від застосування цієї технології.

Підсумовуючи наведене, треба відзначити, що в тих країнах, які вступили в період становлення інформаційного суспільства, ГІС набули статус серйозного стратегічного резерву в економіці, оскільки, як свідчить практика, що чим більше ”вимірів” в управлінській моделі, тим більш керованою стає ця модель, тим більш складні рішення можна приймати на її основі (Huxhold, 1991), а комплексне впровадження геоінформаційної підтримки прийняття рішень у СУТ дозволяє суттєво підвищити ефективність управління.

4. АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ГІС

ГІС і ГІТ мають стійку тенденцію до розширення сфери розв'язку важливих для людства задач і сьогодні посідають значне місце у життєдіяльності людини. Це пов'язано перед усім з бажанням людини знати положення всього на планеті, зростанням частки функцій автоматизованого та автоматичного аналізу інформації в процесі управління територіями, інтелектуалізацією аналітичних функцій, що суттєво підвищують ефективність управлінської роботи.

Виділяють три головні напрямки розвитку ГІС:

– впровадження в середовище ГІС матеріалів дистанційного зондування Землі та їх подальша обробка й аналіз інструментарієм ГІС, а також розпізнавання образів, використання матеріалів радіолокаційних та інших видів геозображень;

– широке використання даних високоточного глобального позиціонування GPS – в роботі ГІС;

– широке застосування в практиці створення і використання геоінформаційних додатків інтернет-технологій.

4.1. Загальні відомості про інтеграцію технологій ГІС, ДЗЗ і GPS

У розвитку наукових і технічних дисциплін можна спостерігати дві тенденції: спеціалізацію і інтеграцію. Відкриття нових принципів, винахід нових технологій часто спричиняють відділення нових, вузько спеціалізованих дисциплін. Проте, як тільки ці дисципліни досягають певного розвитку, їх досягнення виявляються затребуваними в інших галузях, настає етап інтеграції (Бурачек & Зацерковний, 2009). Не є виключенням у цьому процесі і науки про Землю – геоінформаційні системи (ГІС), дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) та система глобального позиціонування (англ. Global Positioning System – GPS).

Однією з актуальних задач при моделюванні в ГІС є оцінка можливості інтеграції даних GPS, ДЗЗ і ГІС при проведенні моніторингу стану навколишнього середовища.Технології ГІС з початку свого виникнення мали інтеграційний аспект, оскільки інтегрували просторову і описову (атрибутивну) інформацію і дозволяли отримувати важливу вихідну основу – інтегровану модель території – яка є передумовою прийняття обґрунтованих управлінських рішень. Сучасна індустрія ГІС активно залучає нові віяння,

змінюється, еволюціонує і розвивається, що є індикатором того, що галузь має величезний потенціал. Є всі підстави вважати, що і в подальшому ГІС будуть продовжувати свій динамічний розвиток, забезпечуючи своїх користувачів усе новими і новими можливостями.

Розвиток ГІС засвідчив, що вищенаведене – не єдиний їх інтегруючий аспект. У результаті розвитку технологій баз даних виявилося можливим використовувати стандартні системи керування базами даних (СКБД) як сховища просторової і атрибутивної інформації. Сучасні СКБД можуть зберігати і мультимедійні дані, а ГІС – їх використовувати.

Треба відзначити, що ГІС не тільки виявилися якісним ”інтегратором”, але й самі стали об'єктом інтеграції.

Розвиток технології визначення координат за допомогою супутників (GPS) і масове розповсюдження приймачів GPS призвели до інтеграції GPS і мобільних ГІС. Приклад тому – геоінформаційний додаток ArcPad розробки ESRI для долонних комп'ютерів (PDA). А дані GPS тепер все частіше використовуються як джерело координато ув’язаної інформації для ГІС.

Важко не помітити і прогрес в інтеграції традиційних ГІС і технологій ДЗЗ. ГІС використовуються для планування і організації аерознімань, для ведення каталогів аерокосмічних знімків. Одночасно системи обробки ДДЗ є важливим постачальником даних для ГІС. Наприклад, система ERDAS IMAGINE вже давно не просто обробляє зображення, але й здатна інтегрувати з ними дані векторних ГІС.

4.2. Моделі інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS

Інтеграція ДЗЗ і ГІС відбувається за трьома основними напрямами:

– ДДЗ як джерело актуальних і точних даних для ГІС;

– ГІС як джерело допоміжних даних для ДЗЗ;

– спільне використання даних ДЗЗ і ГІС для моделювання й аналізу.

Одна із основних тенденцій у розвитку ДЗЗ – поява нового покоління оптико-електронних космічних апаратів (КА) надвисокого розрізнення. Їх відмітними особливостями є безпрецедентна продуктивність, а також можливість одержання даних з просторовим розрізненням не гірше 31 см.

У останні роки чітко позначилися основні тенденції в розвитку технологій ДЗЗ: збільшення просторового розрізнення і продуктивності космічних апаратів, створення супутників або угруповань, що спеціалізуються на розв'язку певних задач (картографічних, моніторингових тощо), більш активне використання радарних знімань. Все це безпосередньо позначається на структурі і об'ємі ринку даних ДЗЗ: підвищується якість продукції, що надається споживачам, і одночасно, за рахунок збільшення на орбіті кількості

супутників і конкуренції, значно знижується вартість даних, постійно зростають архіви знімків, зокрема, території України.

Подальший прогрес у галузі ДЗЗ зумовлений розвитком технологій обробки і доведення до споживача у потрібному йому вигляді усе зростаючих об'ємів даних, а також з побудовою комплексних систем оперативного моніторингу.

Особливе значення зі зростанням активного використання космічних знімків набувають задачі обробки й аналізу даних ДЗЗ, автоматизації процесу підготовки картографічних матеріалів тощо. За останні декілька років можливості програмних продуктів для розв'язку цих задач істотно покращилися. На ринку пропонуються високотехнологічні рішення як з обробки й аналізу даних ДЗЗ, так і з інтеграції отриманої інформації в ГІС. Для цих цілей використовується різне програмне забезпечення – INPHO (повнофункціональна фотограмметрична система), ENVI (програмний комплекс для обробки даних ДЗЗ і їх інтеграції з даними ГІС); MicroStation (професійна CAD-система з повнофункціональними геоінформаційними можливостями від компанії Bentley Systems) тощо. Треба також відзначити, що зростаючий об'єм даних ДЗЗ з супутників і збільшення кількості користувачів зумовили розробку принципово нових видів надання просторової інформації споживачам – нових сервісів, що забезпечують мультикористувацький доступ до даних. Це, наприклад, сервіс від компанії DigitalGlobe Image-Connect, який є унікальним розширенням до програмного забезпечення ГІС і який дозволяє завантажити космічні зображення з супутників Quick-Bird і WorldView-1 у програмне середовище користувача безпосередньо з архіву компанії DigitalGlobe. При цьому відбувається миттєве відображення супутникових даних у програмному забезпеченні замовника з автоматичним перетворенням у потрібну проекцію (встановлену у програмі на момент відбору даних). Сьогодні сервіс Image-Connect є доступним для користувачів ESRI (ArcGIS 10 x), MapInfo Professional, Autodesk (Map 3D, Land Desktop, Raster Design, Civil 3D, і AutoCAD).

Отже, одночасно спостерігаються дві тенденції: інтеграція технологій GPS та ДЗЗ у ГІС і інтеграція технологій ГІС в GPS та ДЗЗ (Ehlers et al., 1989).

Питання інтеграції ДЗЗ і ГІС знайшли відображення в літературі (Ehlers et al., 1991) де була розглянута необхідність інтеграції технологій ДЗЗ і ГІС на прикладі раціонального управління ресурсами територій. Через два роки у праці (Lunetta et al., 1991) була висунута ідея про необхідність застосування даних ДЗЗ користувачами ГІС. У праці (Runyon et al., 1994) було розглянуте питання про виникнення похибок при передачі даних, їх аналізі і перетворенні та візуальному поданні.

Геоінформаційна система (ГІС) – це система апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, створена для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико–картографічного моделювання й образного відображення географічно

координованих даних. Однак ці функції не можуть бути реалізовані в повному обсязі, якщо база даних ГІС є неповною, неточною або неактуальною.

У базі даних ГІС зберігаються як просторові дані (адміністративні кордони, межі землеволодінь, координати висот тощо), так і атрибутивні (типи земель, рослинності, покриття доріг, показники якості води тощо). Традиційно, просторові і тематичні дані пов'язуються таким чином, щоб забезпечувати топографічне або тематичне картографування. Однак ці карти є вторинними за походженням, тому містять певні похибки. По-друге, вони не спроможні надати всі характеристики, потрібні користувачу, через узагальнення картографічного зображення. По-третє, топографічні або тематичні карти швидко застарівають (стають неактуальними) через певні зміни на території. Ці обмеження ГІС можуть бути подолані за рахунок використання даних ДЗЗ і GPS.

Аерокосмічні знімки є первинними даними і здатні надати більш точні й актуальні дані, ніж ті, що отримані за допомогою топографічних і тематичних карт, а GPS є ефективним сучасним способом одержання координат просторових об'єктів.

Цифрові дані закодовані у вигляді пікселів-комірок (двовимірна матриця), що відповідають величині сили відбитого електромагнітного випромінювання. Зображення повинні бути розташовані певним чином відносно геодезичної сітки, інакше дані, які вони містять, не можуть бути віднесені до визначеного місця. Виникла потреба у тісному поєднанні дистанційного зондування з картографією земної поверхні та тематичною картографією. Це стало можливим завдяки здатності ГІС до введення, аналізу просторової інформації та її відображення.

ДЗЗ надає актуальні і точні просторові і тематичні дані для функціонування ГІС. Аерокосмічний знімок, цифровий або аналоговий містить дані у своїй власній системі координат. Ці координати повинні бути переведені в загальну референцну систему координат або в універсальну систему, якщо об'єкт або явище досліджуються за великою кількістю зображень, або якщо ці дані повинні просторово перекриватись даними з інших джерел.

Позиціонування вимагає певного геометричного контролю на землі. Традиційно, геометрична прив'язка знімків ДЗЗ здійснюється за топографічними картами, оскільки вони є найбільш доступними і просторово коректними. Однак топографічні карти виявляються безплідними в областях де не представлені вузлові поворотні пункти або картографічне зображення піддалося корінним змінам з моменту публікації карти. Для цього випадку можуть бути використані технології GPS як ефективна альтернатива для одержання просторових даних в універсальній системі координат. Точкові, лінійні або полігональні дані можуть отримуватись у реальному часі або наближеному до нього. Дані опорних точок в обраних поворотних пунктах можуть бути використані для прив'язки аерокосмічних зображень на поверхні

досліджуваної території. Проте дані GPS, навіть отримані на площині, не спроможні жодним чином замінити аерокосмічний знімок полігональних даних у 2D форматі.

Наведене свідчить, що технології ДЗЗ, ГІС, GPS внутрішньо доповнюють одна одну за своїми первинними функціями. Кожна з наведених технологій має свої обмеження. Проте при їх інтеграції відбувається синергетичний ефект, який дозволяє розширити галузі їх застосування. Наприклад, інтеграція GPS, ДЗЗ і ГІС у сполученні з наземними системами моніторингу виявилась надзвичайно ефективним засобом управлінського аналізу й одержання просторових даних для регіонального управління водними ресурсами (Monday et al., 1994). Така інтеграція необхідна для ефективних методів вибіркового застосування пестицидів і добрив, підвищення ефективності землеробства і зменшення впливу на навколишнє середовище (Ackermann & Schade, 1993; Biggs et al., 1989).

Результати інтеграції перед усім необхідні для управління ресурсами і моніторингу навколишнього середовища, прийняття рішень при виникненні надзвичайних ситуацій і оперативного картографування.

Інтеграція даних ДЗЗ, GPS і ГІС в загальному випадку може відбуватись за чотирма моделями: лінійною, діалоговою, ієрархічною і комплексною. Лінійна інтеграція є найбільш загальним випадком. Ієрархічна інтеграція найбільш доцільна при застосуванні у прецизійному землеробстві і моделюванні навколишнього середовища. Комплексна інтеграція найбільш доцільна в умовах невизначеності, надзвичайних ситуаціях і оперативному картографуванні (Зацерковний, 2014).

4.2.1 Лінійна модель інтеграції

У цій моделі потік даних від GPS лінійно надходить до ДЗЗ і потім до ГІС (рис.4.1).

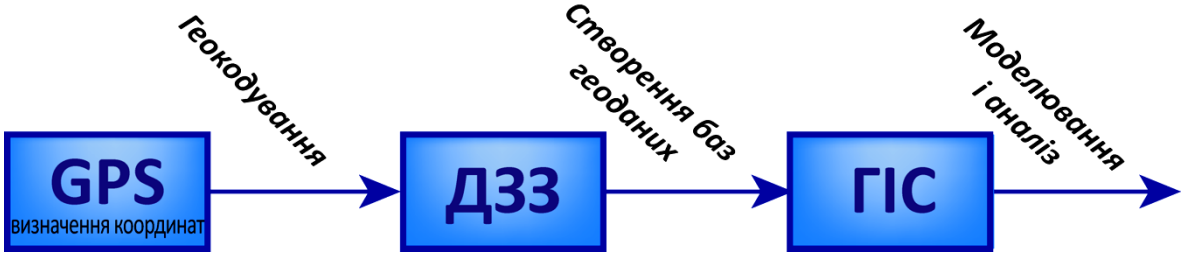


Рис. 4.1. *Лінійна модель інтеграції*

У цьому випадку унікальні можливості кожної системи використовуються максимально. Технології GPS використовуються для одержання геометричної прив'язки для аерокосмічного зображення. Після

первинної обробки та інтерпретації виправлені дані ДЗЗ інтегруються у базі даних ГІС.

Лінійна структура моделі передбачає, що три компоненти цієї моделі мають різні пріоритети. ГІС у цій моделі відіграє домінуючу роль, оскільки саме тут виконується весь просторовий аналіз. Відповідно, система GPS є підпорядкованою і її роль полягає у наданні позиційних даних. У базі ГІС дані, що надійшли від GPS, є непомітними через відсутність прямого зв'язку між GPS і ГІС. У цій моделі технології GPS є обслуговуючими, з'єднувальною перемичкою між ДЗЗ та іншими даними в базі даних ГІС.

У цій моделі інтеграція даних GPS з ДЗЗ відбувається у трьох часових режимах: синхронному, незалежному і режимі пост-обробки, який відбувається до інтеграції з ГІС.

Синхронна інтеграція зазвичай реалізується при використанні ДДЗ одночасного запису від системи GPS, що встановлюється на носієві апаратури ДЗЗ, для одержання позиційних параметрів і параметрів орієнтації сенсора (Haack et al., 1998). Наприклад, система GPS здатна спрямувати дослідження вздовж рядків, спрямувати знімальну апаратуру у фіксованому інтервалі відстаней і записувати координати кожної фотографії (Tkeitz et al., 1992). Ці параметри використовуються для виправлення даних ДЗЗ або для тріангуляції аерознімка.

Використання GPS дозволяє уникнути дорогих операцій для здійснення аеротріангуляції (Welch et al., 1995). Інтеграція даних GPS і ДЗЗ дозволяє одержувати більше інформації, з меншим часом і зусиллями, досягаючи таким чином високої продуктивності.

Геоприв'язка відбувається за рахунок використання координат GPS, що реєструються незалежно від запису даних ДЗЗ.

Інтеграція даних ДЗЗ і GPS у режимі пост-обробки відбувається після того, як ДДЗ будуть проаналізовані. Інтеграція ДДЗ відбувається з даними GPS. Оцінка точності картографічних зображень земної поверхні вимагає перевірки координат просторових об'єктів наземними засобами (Usery et al., 1995).

4.2.2. Діалогова модель інтеграції

Діалогова модель дуже схожа на лінійну модель (рис. 4.2).

У цьому випадку потік даних циркулює між GPS і ДЗЗ і між ДЗЗ і ГІС в обох напрямках і передбачає, що остаточна задача інтеграції може бути виконана або в ГІС, або в ДЗЗ (в системі аналізу цифрового зображення, наприклад, ERDAS Imagine@.) У цьому випадку ДЗЗ вже не сприймається простим каналом передачі даних до ГІС.

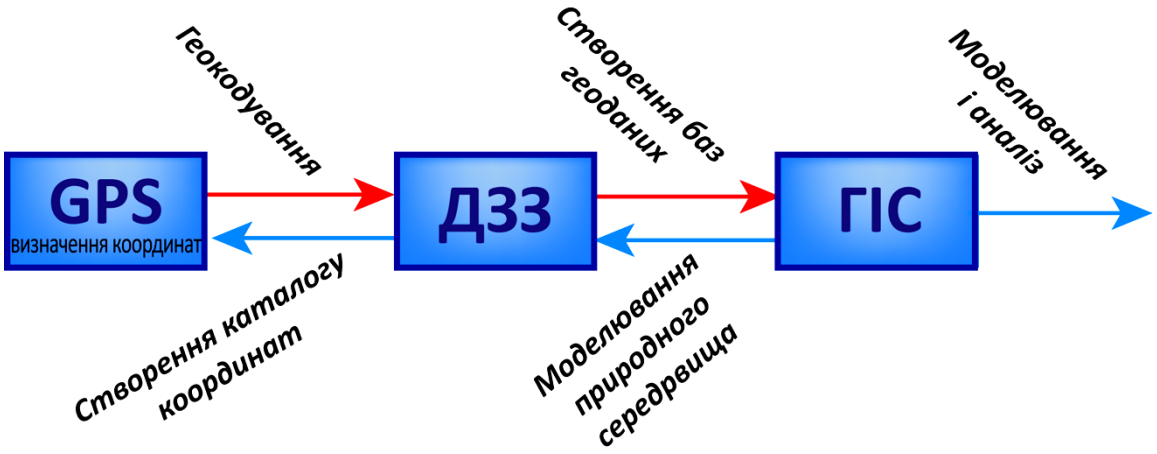


Рис. 4.2. *Інтерактивна (діалогова) модель інтеграції*

Хоча є можливість отримання даних ДЗЗ з ГІС, більш загальним випадком є отримання даних ГІС з ДЗЗ. Діалоговий режим інтеграції в загальному випадку не дозволяє кількісно оцінювати відносну значимість даних ДЗЗ і ГІС, навіть у випадку, коли GPS як метод одержання даних вважається неістотним. На відміну від лінійної моделі, дані GPS можуть бути компенсовані у процесі попередньої і тематичної обробки в ДДЗ, наприклад, дороги, що не розрізнялись на супутникових зображеннях через недостатню їх розрізненість (Gao, 2001). У цьому випадку дані GPS проявляються в базі даних ГІС після інтеграції.

Інтеграція ДЗЗ з ГІС ґрунтується на виявленні змін земної поверхні за допомогою оверлейного аналізу за певний період. Інтеграція ГІС з ДЗЗ забезпечує спрощення сегментації об'єкта дослідження і її наступної класифікації для завантаження в базу даних ГІС. Впровадження додаткових даних, отриманих у процесі класифікації в ДЗЗ, дозволяє подолати традиційні обмеження, притаманні звичайній класифікації в ГІС, пов'язані з неоднорідністю зображення сцени і компенсуються топографічним ефектом. У будь-якому випадку отримується більш висока точність. Як наслідок, продукт, опрацьований в ДЗЗ, може бути інтегрований в ГІС для інших додатків, наприклад, оцінки відсотка непроникних і проникних поверхонь за допомогою оверлейного аналізу (Haack et al., 1998).

4.2.3. Ієрархічна модель інтеграції

Ієрархічна модель інтеграції передбачає два рівня інтеграції (рис. 4.3). Перший рівень інтеграції (оверлей) відбувається між даними GPS і ДЗЗ. Додатково до вищенаведеного виправлення похибок ДЗЗ, за допомогою похідних координат GPS, скориговані дані ДЗЗ прив'язуються за даними GPS.

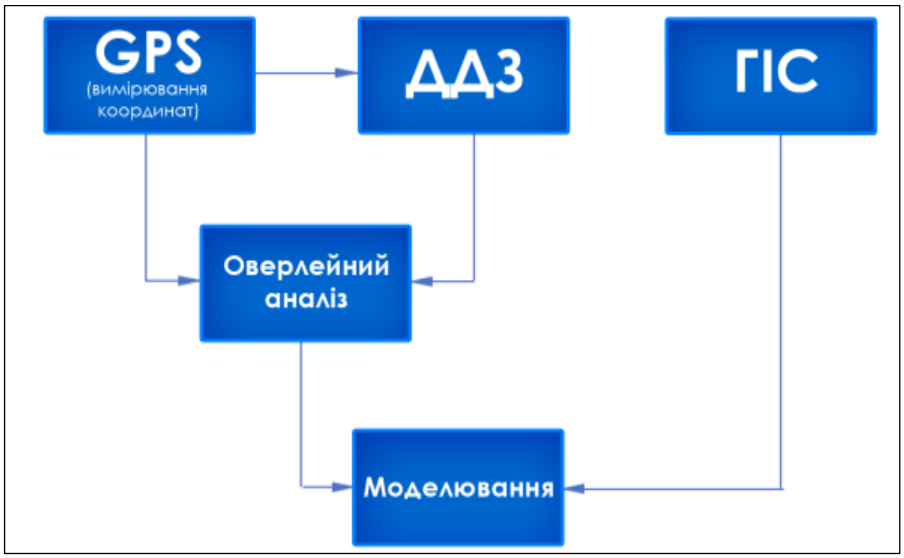


Рис. 4.3. *Ієрархічна модель інтеграції*

Оверлей дозволяє встановити зв'язок між просторовими і атрибутивними характеристиками зображення (Swindell, 1995; Lachapelle et al., 1996).

Статистичні відношення між змінними можуть бути встановлені, наприклад, за допомогою пакета прикладних програм для просторового аналізу S-Plus.

Другий рівень інтеграції (моделювання) передбачає використання даних ДЗЗ, ГІС у математичних моделях з результатами першого рівня інтеграції.

Задача просторового моделювання може бути здійснена на основі ДДЗ або ГІС, в залежності від формату даних. Обробка аерокосмічних зображень припускає моделювання в растровому форматі аналогічно моделюванню в ГІС.

Ця модель інтеграції не передбачає прямого зв'язку між ГІС і ДЗЗ. При цьому ДЗЗ домінує над ГІС, що ґрунтується на растрових додатках. ДДЗ надає первинні дані, необхідні для моніторингу, в той час, як ГІС забезпечує середовище моделювання.

Технології GPS відіграють допоміжну роль, оскільки на другому рівні інтеграції безпосередньо не використовуються.

4.2.4. Комплексна модель інтеграції

Комплексна модель інтеграції містить будь-які можливі зв'язки між будь-якими двома компонентами інтеграції і являє собою остаточний або загальний вид інтеграції між GPS, ДЗЗ і GIS (рис. 4.4).

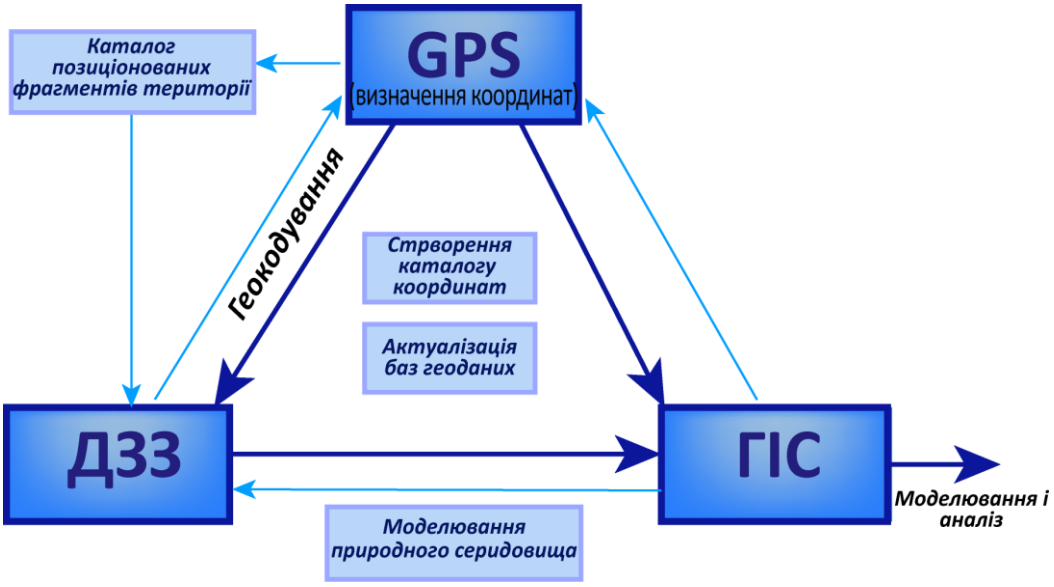


Рис. 4.4. *Комплексна модель інтеграції*

Додатково до зв'язків, між компонентами трьох вищенаведених моделей інтеграції, ця модель передбачає взаємодію між GPS і ГІС. За цією моделлю дані GPS можуть бути безпосередньо експортовані до бази даних ГІС для наступного коригування або створення нової бази даних (McCormick, 1999). Цими даними можуть бути точкові, лінійні або полігональні об'єкти. Їх просторові (геометричні) характеристики повинні бути трансформовані до формату даних ГІС перед інтеграцією. Подібна інтеграція необхідна в прецензійному землеробстві, де дані GPS-вимірювань використовуються для отримання координат, пов'язаних з прецензійним землеробством, а ГІС використовуються для інтеграції даних, їх збереження й аналізу (Зацерковний, 2014).

Інтеграція ГІС з GPS аналогічна інтеграції між ДЗЗ і GPS і запроваджується, коли результати моделювання ГІС стосуються земельних ділянок або коли формується великий обсяг просторової земельно-кадастрової інформації за результатами моделювання земельних ділянок.

Циклічна природа інтеграції за цією моделлю не дозволяє оцінити внесок кожного компонента. Кожна з компонент (GPS, ДЗЗ, GIS), що бере участь в інтеграції, може бути домінуючою, залежно від специфіки додатку, для якого вона використовується.

Ступінь інтеграції ГІС, GPS і ДЗЗ залежить від практичного застосування геопросторової інформації, рівня її повноти, точності і потрібного інтервалу часу на її формування (рис. 4.5).

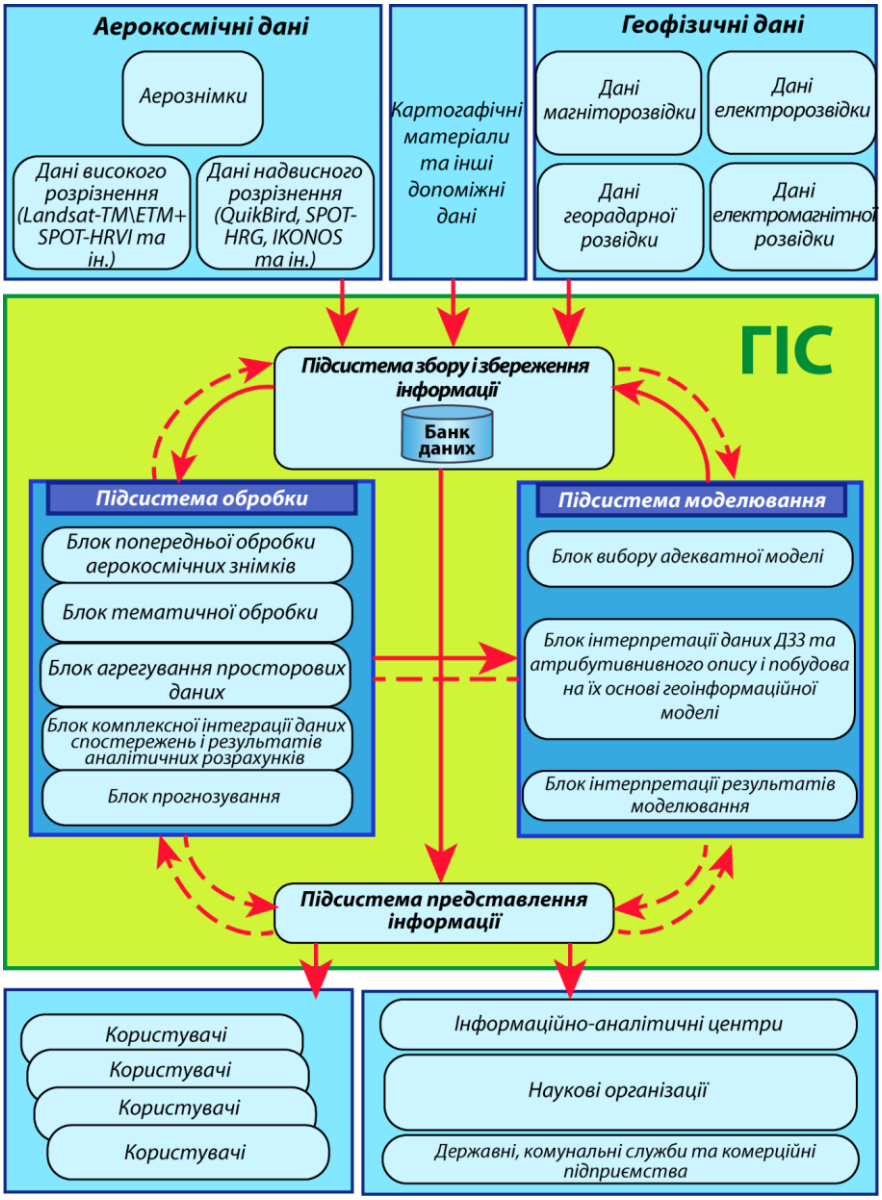
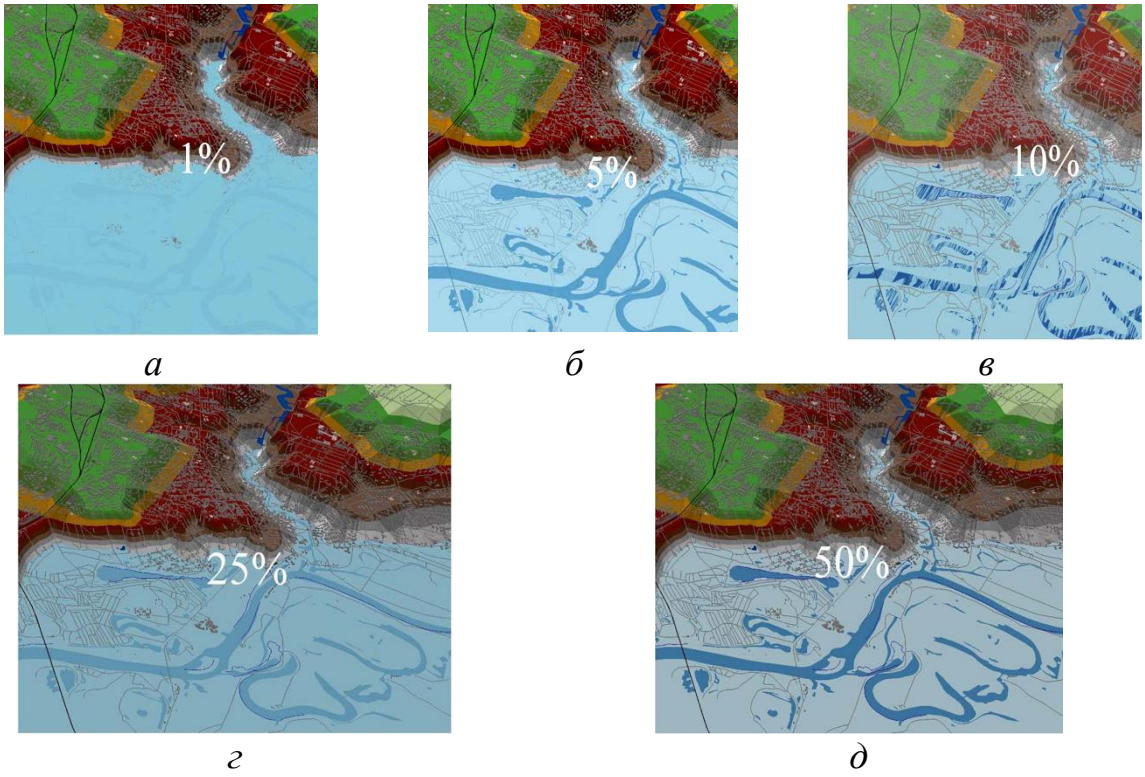


Рис. 4.5. *Функціональна схема інтеграції технологій ГІС, GPS і ДЗЗ у системі моніторингу*

Для демонстрації можливостей даних ДЗЗ та ГІС при моніторингу змін довкілля на рис. 4.6 представлено моделювання підтоплень територій весняною повінню при 1, 5, 10, 25, 50% забезпеченості р. Десна в межах м. Чернігова.



а *б* *в*

г *д*

Рис. 4.6. *Моделювання підтоплення територій р. Десна в адміністративних межах м. Чернігова весняною повінню: а) рівень підтоплень 1 раз на 100 років; б) рівень підтоплень 1 раз на 20 років; в) рівень підтоплень 1 раз на 10 років; г) рівень підтоплень 1 раз на 4 роки; д) рівень підтоплень 1 раз на рік*

Рельєф земної поверхні в цифровій моделі відображений у вигляді тривимірних даних як сукупності висотних позначок і записів горизонталей Цифрова модель у сукупності з даними ДЗЗ використовується для отримання ряду похідних морфометричних або інших даних, включаючи обчислення кутів нахилу і експозиції схилів, профілів поперечного перетину, генерацію ліній водорозділів тощо.

Проведений аналіз свідчить, що використання технологій ДЗЗ та ГІС дозволяє оперативно та порівняно не дорого оцінити як сучасний стан територій, так і зміни, що мали місце за певний період.

Інтеграція технологій ДЗЗ з векторними тематичними шарами ГІС дозволяє проводити швидку ідентифікацію об'єктів на знімку, здійснювати пошукові запити, проводити різні види геоінформаційного аналізу, забезпечувати актуалізацію картографічних матеріалів у найкоротші терміни.

Дані ДЗЗ диференційовано коригуються і геокодуються за допомогою GPS і інтегруються в ГІС за визначеними біофізичними характеристиками в місцях дослідних ділянок.

Отже, інтеграція технологій ГІС GPS, ДЗЗ і систем телекомунікації (Інтернету та інших глобальних інформаційних ресурсів) уже сьогодні стало потужним засобом геопросторового аналізу та позиціонування об’єктів.

4.2.5. Інтеграція технологій ГІС з ”хмарним сервісом”

Концептуально ГІС йде по шляху розвитку від технології роботи з базами даних та обміну інформацією в напрямку, основою якого є накопичення та отримання знання. Важливим завданням для ГІС є інтеграція величезної кількості різнорідної (текстової, візуальної, числової) інформації в єдину систему, яка забезпечує різнобічне дослідження планети Земля.

Актуальним напрямком розвитку ГІТ є використання можливостей ”мейн-фреймових” технологій, які здатні залучати окремі ”хмаринки” інформаційних джерел до ”головного потоку” та їх змістовно узагальнювати. Використання ”хмаринок” або ”хмарного” сервісу передбачає, що користувачу необов’язково мати велику програмну чи апаратну підтримку на комп’ютері, а достатньо лише наявність комп’ютера з виходом до мережі інтернет. Таким чином, велика кількість даних та сам програмний продукт можуть зберігатися на віддаленому сервері, а користувач працюватиме в браузері. Головні перевага цієї технології:

– користувач використовує лише ті інструменти і ту інформацію, яка потрібна саме йому;

– установа платить кошти лише за ті компоненти програми, якими користується;

– легкий доступ до інформації з будь-якого комп’ютера чи мобільного пристрою за наявності браузера;

– останні зміни внесені до геоінформаційного проекту одразу публікуються і усі користувачі знають про них і можуть ними користуватися;

– немає необхідності встановлювати геоінформаційний пакет на комп’ютер.

”Хмарний” сервіс піднімає ГІС і ГІТ на новий щабель розвитку, забезпечує кращий потік та обмін інформацією.

Усе це спричиняє інтенсивний розвиток сервісів, що базуються на локації (location-based services). Попит на геоінформаційні і геопросторові продукти стимулює потребу в просторовій інформації. З появою численних географічних сайтів, таких як Google Earth і навігаційних систем, підприємства і користувачі зрозуміли, яку користь приносять територіальні дані, і додатки з підтримкою технологій ГІС одержали широке поширення.

Платформою для таких сервісів виступають ГІС. Тому є всі підстави стверджувати, що значення та роль ГІС у житті людини буде і далі постійно зростати.

4.3. Аналіз розвитку ринку програмного забезпечення ГІС

Нині в світі розроблені і використовується понад 600 різноманітних геоінформаційних програмних продуктів в управлінських структурах, сільському господарстві, державних і комерційних підприємствах, силових структурах, кадастрах, наукових та освітніх установах тощо, які володіють різними функціональними можливостями.

За даними Infiniti Research, середньорічні темпи зростання світового ринку ГІС у державному секторі за період з 2012 по 2016 рр. склали 11,36%. Зростання багато в чому обумовлено появою програмного забезпечення для роботи з тривимірними геопросторовими даними. Таке програмне забезпечення надає можливість більш наочно відображувати інформацію, на відміну від двовимірного, тому багато державних установ включаючи військові відомства, почали впроваджувати ГІС на основі технологій тривимірної візуалізації.

Крім того, Infiniti Research відзначає, що **одним із основних чинників зростання світового ринку ГІС в державному секторі є необхідність укріплення національної безпеки.** ГІТ дозволяють урядам більш ефективно аналізувати розвідувальні дані і оперативно приймати рішення. Одночасно зростають і вимоги щодо забезпечення безпеки даних у ГІС.

За оцінками світовий ринок ГІТ за останні роки щорічно зростає у середньому на 10 – 15% (рис. 4.7).

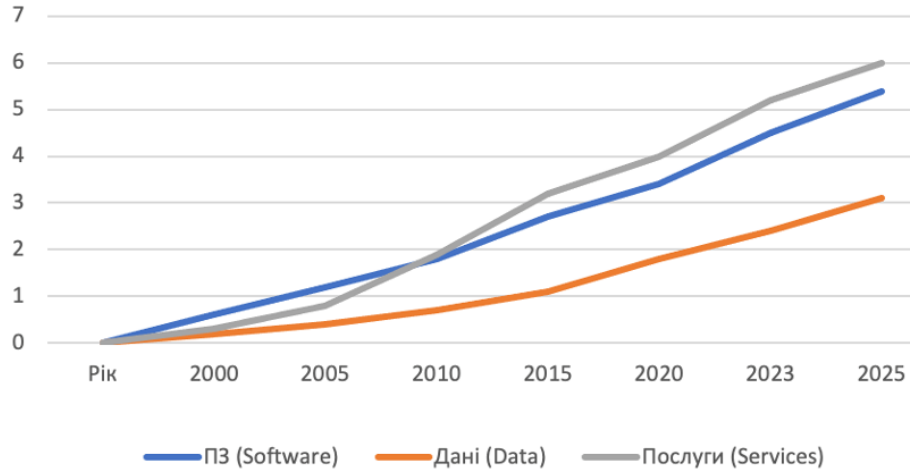


Рис. 4.7. *Динаміка зростання ринку геоінформаційних продуктів у світі, млрд дол США (Geographic Information System (GIS) Market - Size, Share, & Industry Analysis. mordorintelligence.com)*

При цьому, найбільш активно розвивається сегменти даних і послуг. Пояснюється це тим, що без просторових даних геоінформаційні додатки не

мають сенсу. Тому обсяг доступних просторових даних збільшується і одночасно розширюються можливості геоінформаційного аналізу і послуг.

Ще одним швидкозростаючим сегментом використання ГІС стала галузь телекомунікацій. Аналітики Infiniti Research стверджують, що середньорічні темпи зростання в цьому сегменті складають щонайменше 9,9%. Використання ГІС дозволяє розробляти структуру телекомуникаційних мереж, які максимально відповідають попиту та розробляти геоінформаційні додатки, спрямовані на розв'язок конкретних задач.

Одним з ключових факторів, що сприяють поширенню ГІС і ГІТ, є все більше використання ГІС для управління територіями і планування управлінської діяльності.

Що стосується територіального розподілу ринку ГІС, то найбільшим сегментом є Північна Америка – майже половина обсягу продажів. За даними аналітичних компаній, таких як компанія Daratech (м. Кембридж, штат Массачусетс), на долю регіональних і місцевих урядів доводиться близько двох третин загальних продажів геоінформаційних продуктів, а третина припадає на державні (федеральні) структури.

У цьому сегменті темп щорічного зростання за останні 10 років склав 11%, в Європі – 7,9%, а в Азіатсько-тихоокеанському регіоні – 8,7%. Найшвидше попит зростає в Китаї, Індії й інших країнах, що розвиваються, що підстьобує підйом ринку ГІС. Ще приклад, якщо в США в 1992 р. працювало тільки 47% регіональних адміністрацій, що використовували ГІС, то вже в 1996 р. – 87%, а нині всі регіональні адміністрації використовують ГІС.

Основною причиною зацікавленості до ГІС фахівці вважають зміни, що відбулись на ринку геоінформаційних продуктів. З одного боку, геоінформаційні продукти стали більш прозорими для користувачів, тобто стало зрозуміло, навіщо вони потрібні, як їх впроваджувати і як застосовувати. З іншого боку, завдяки реалізації масштабних державних проектів з'явилося більше доступних просторових даних, які можна використовувати в інших додатках.

Нині на ринку геоінформаційних продуктів за останні 30 років розроблено великий вибір програмного забезпечення ГІС, наприклад ArcView Dialog Designer, TNTLite, ІСТГН, AGENT, ArcCAD, ArcGIS, ArcGIS ArcEditor, ArcGIS ArcInfo, ArcGIS ArcView, ArcGIS Server, ArcView GIS, ATLAS 2000 GEOCODER, Atlas GIS, Autodesk Map 3D, Autodesk Map Series, Autodesk World, Delta, Digitals, ERDAS IMAGINE, FRAMME, GeoBuilder, GeoLink ГІС, GeoMedia, GIS Office, GK, GK32, GSRMS, Idrisi32, IMAGINE Virtual GIS, Leica Virtual Explorer, Manifold System Professional, MapInfo Professional, MapInfo Professional SQL, MGE, MicroStation & PlantSpace & InRoads, Microstation Geografics, MS Office, OAZIS, ObjectLand, PC ARC/INFO, PolyGIS, Pythagoras, RADAR Mapping Suite, ScanEx IMAGE Processor, ScanEx-NeRIS, ScanMagic, SMART, Spotlight Pro, Spotlight, Stereo Analyst, Tele Atlas Multinet, TNTmips, TRANSFORM, Universal GIS, VESTRA GeoMedia, WinGIS, WinPlan, Zulu 5.2,

ZuluArcHydro, ZuluThermo, ZuluXTools, ВИЗИКОМ-КИЕВ, Гран-ГІС, ТрансГІС тощо.

Активність такої великої кількості розробників програмного геоінформаційного забезпечення пояснюються перед усім переходом провідних країн (США, Канада, Велика Британія) на початку 90-х рр. XX ст. до так званого ”користувацького” (після ”піонерного”, ”державного” і ”комерційного”) етапу розвитку ГІТ (Huxhold, 1991). Спеціалізовані геоінформаційні фірми сьогодні переважно орієнтуються на місцеві і регіональні органи, зайняті галузевим або територіальним адмініструванням. Саме вони створюють масову картину освоєння і використання ГІТ і цифрових геоданих.

Проектуючи і створюючи для них ГІС різного призначення, допомагаючи у їх супроводі, фірми звільняють подібні органи територіального управління від необхідності утримувати штат фахівців, необхідних для виконання подібної роботи (програмістів, фахівців, менеджерів), що дозволяє органам територіального управління накопичувати інтелектуальний потенціал переважно в галузі використання ГІС (аналітики, географи, картографи).

Серед цього розмаїття програмного забезпечення безсумнівними лідерами є продукти компаній ESRI, Bentley, Intergraph, Tomptom, Precisely MapInfo Pro, і Autodesk (рис. 4.8).

Рис. 4.8. *Щорічний дохід компаній ГІС (Forbes. (2024). Esri Company Profile. Forbes. https://www.forbes.com/companies/esri/, Statista. (2024). Revenue of selected geospatial companies worldwide in 2023. https://www.statista.com/)*

Геоінформаційні додатки стали у світі інтегральним ресурсом для виконання різних функцій урядів і органів влади, в тому числі в сфері суспільних робіт (комунально-експлуатаційні служби, фінанси, забезпечення громадської безпеки, економічного розвитку тощо). Так, наприклад:

– 77% респондентів використовують цю технологію для прив'язки і перегляду даних аерофотознімання;

– 70% використовують її для підтримки управління даними про нерухому власність і в оподатковуванні;

– 57% використовують засоби ГІС для забезпечення публічного доступу до інформації;

– 41% використовують ГІС при розподілі капіталовкладень, інвестицій, для розвитку інфраструктури муніципалітетів і планування територій тощо;

– 38% для підтримки процедури видачі дозволів, при розробці і реалізації заходів по реагуванню на надзвичайні ситуації;

– 33% для спільного використання з САПР;

– 28% при підтримці діяльності правоохоронних органів.

4.4. Аналіз розвитку відкритих настільних ГІС

Незважаючи на велике розмаїття програмного забезпечення (ПЗ), що пропонується ринком геопродуктів, по-перше, на сьогодні не існує стандартизованої ГІС, яка б враховувала всі потреби користувача, а по-друге, висока вартість ліцензованого програмного забезпечення сьогодні є ”непід’ємною” для більшості українських користувачів.

Інформація, що накопичена в державних і комерційних установах, найчастіше є різнорідною та розмежованою, зібрана за допомогою несертифікованих програмних засобів. Багато інформації дублюється.

Вартість програмного геоінформаційного забезпечення з ліцензією на одного користувача сягає декількох тисяч доларів США. Так, наприклад, славнозвісна ArcGIS залежно від рівня комплектації коштуватиме від 4 000 до 20 000 доларів США. Зрозуміло, що такі суми не викликають оптимізму у пересічних користувачів і керівників установ і вимагають пошуку альтернативних варіантів.

Перспективним у цьому напрямку бачиться впровадження відкритих настільних ГІС – Open Source Initiative (OSI). Основними особливостями відкритого програмного забезпечення (ПЗ) згідно з визначенням організації Open Source Initiative, є вільне поширення, доступний вихідний код, дозвіл на модифікацію цього вихідного коду (Free Software Foundation, 2026).

Ключову роль в розвитку відкритого ПЗ зазвичай відіграють співтовариства розробників, що формуються навколо окремих програмних продуктів.

Сьогодні, вільне ПЗ стало символом інновацій і прогресу. Вільне використання, зміна і розповсюдження ПЗ і його вихідних кодів гарантоване підтримкою вільного обміну ідеями між користувачами і розробниками. Для ПЗ ГІС це означає послідовний міжнародний розвиток з орієнтуванням на відповіді запитам користувачів в короткий час.

4.2.1. Історія розвитку відкритого програмного забезпечення ГІС

Історія розвитку відкритого ПЗ ГІС починається з кінця 70-х, початку 80-х рр. XX ст., і пов'язана зі створенням у 1978 р. за ініціативою Служби охорони рибних ресурсів і диких тварин США відкритої векторної ГІС MOSS (Map Overlay and Statistical System), поява якої є однією з ключових подій, що визначила подальший напрямок розвитку ГІС (MapServer, 2026).

MOSS стала першою інтерактивною ГІС для роботи на міні-комп'ютерах і яка поєднувала можливість роботи як з растровими, так і з векторними даними. MOSS використовувалася для розв'язку різних задач, як на рівні міністерств США, так і в багатьох урядах штатів і місцевих органів влади (GIS-Lab, 2026).

Незважаючи на те, що MOSS з'явилася першою, популярність одержала інша ГІС – GRASS (Geographic Resources Analysis Support System), що виникла як альтернатива комерційному продукту ARC/INFO компанії ESRI.

Розробка GRASS почалася в 1982 р. військовими США (U.S. Army Corps of Engineers' Construction Engineering Research Laboratory, CERL) як закритий проект. На початковому етапі свого розвитку GRASS була достатньо популярна, однак внаслідок активних дій ESRI ця популярність почала поступово знижуватися. Незабаром виявилося, що навіть маючи в своєму розпорядженні команду професійних розробників, чисельні підрозділи армії США виявилися неготовими витрачати сили на роботу в GRASS, віддаючи перевагу продуктам від ESRI, як більш простим у використанні. Військові США поступово відмовилися від подальшої підтримки GRASS, команда розробників була розформована і більше ніколи не збиралася разом. Офіційно статус відкритої ГІС GRASS одержала через 17 років у 1999 р. Сьогодні GRASS має велику кількість користувачів і незалежних розробників і часто зустрічається в академічному середовищі (GIS-Lab, 2026).

У кінці XX ст. виникли відкриті інструменти ГІС. У 1983 р. з'явилася бібліотека PROJ4 для маніпуляцій з картографічними проекціями, і набір інструментів для роботи з різними форматами GDAL/OGR (1998), що відіграють ключову роль в сучасних відкритих ГІС (Steiniger & Hunter, 2013).

1995 р. вважається датою народження широко відомого картографічного вебсервера UMN MapServer. Розробка, що почалась як проект американського аспіранта Стіва Лайма згодом був підтриманий NASA (MapServer PSC, 2026). Можливість роботи UMN MapServer практично на будь-яких платформах, величезні функціональні можливості, легкість інтеграції з різними СКБД і відкритість кодів сприяла зростанню популярності програми.

Справжній бум розвитку відкритих ГІС і поява пов'язаних з ним нових користувацьких систем припадає на початок XXI ст. У цей період почалася розробка таких користувацьких ГІС, як SAGA GIS (2001) у Німеччині, gvSIG

(2003) в Іспанії, міжнародний проект Quantum GIS (2002). У 2007 р. пропрієтарний[5] раніше пакет, призначений для геоінформаційного аналізу і задач дистанційного зондування ILWIS (Integrated Land and Water Information System) офіційно став доступний під ліцензією GNU GPL, тим самим перейшовши в ряди відкритого програмного забезпечення (Free Software Foundation, 2026).

GPL надає одержувачам комп'ютерних програм такі права:

– свободу запуску програми з будь-якою метою;

– свободу вивчення того, як програма працює, і її модифікації (попередньою умовою цього є гарантований доступ до початкового коду);

– свободу розповсюдження копій;

– свободу поліпшення програми й випуску поліпшень у публічний доступ (попередньою умовою цього є гарантований доступ до початкового коду).

У 2006 р. з метою підтримки і сприянню розробці проектів відкритих ГІС і баз даних з'явилася некомерційна організація Open Source Geospatial Foundation (OSGeo, www.osgeo.org). Крім підтримки відкритих проектів, під егідою OSGeo випускається журнал, ведеться розробка й розповсюдження навчальних матеріалів, проводяться конференції (FOSS4G), присвячені відкритому ПЗ ГІС. Премія імені Сола Каца вручається учаснику співтовариства, що вніс найбільший вклад у розвиток ПЗ ГІС.

Ще однією організацією, яка відіграє важливу роль в розвитку відкритих ГІС є Open Geospatial Consortium (OGC, www.opengeospatial.org). Вона відповідає за розробку стандартів взаємодії і обміну даними між різними геоінформаційними платформами. Крім університетів і адміністративних органів, членами OGC є в тому числі і розробники комерційних геоінформаційних платформ і баз даних. Наприклад стандарт, який описує інтерфейс доступу до географічних даних що зберігаються в БД був реалізований як у відкритих базах даних (наприклад, PostgreSQL+PostGIS), так і в комерційних, таких як Oracle. Хронологія створення відкритого ПЗ ГІС представлена на рис. 4.9.

4.2.2. Розвиток відкритого програмного забезпечення ГІС на сучасному етапі

Відкрите ПЗ ГІС на сучасному етапі інтенсивно розвивається, особливо в останні 10 років (рис. 4.10) (OGC, 2026).

---

[5] **Пропрієтарне програмне забезпечення**, (*від лат. proprius — «власний», «особливий» або «свій»*) – це програмне забезпечення, на яке зберігаються як немайнові, так і майнові авторські права. Отримавши або придбавши його, користувач отримує обмежені права користування ним: може бути заборонено або закрито доступ до коду (вивчення), внесення змін, тиражування, розповсюдження та перепродаж. Програмне забезпечення вважається *власницьким*, якщо наявне хоча б одне з перелічених обмежень.

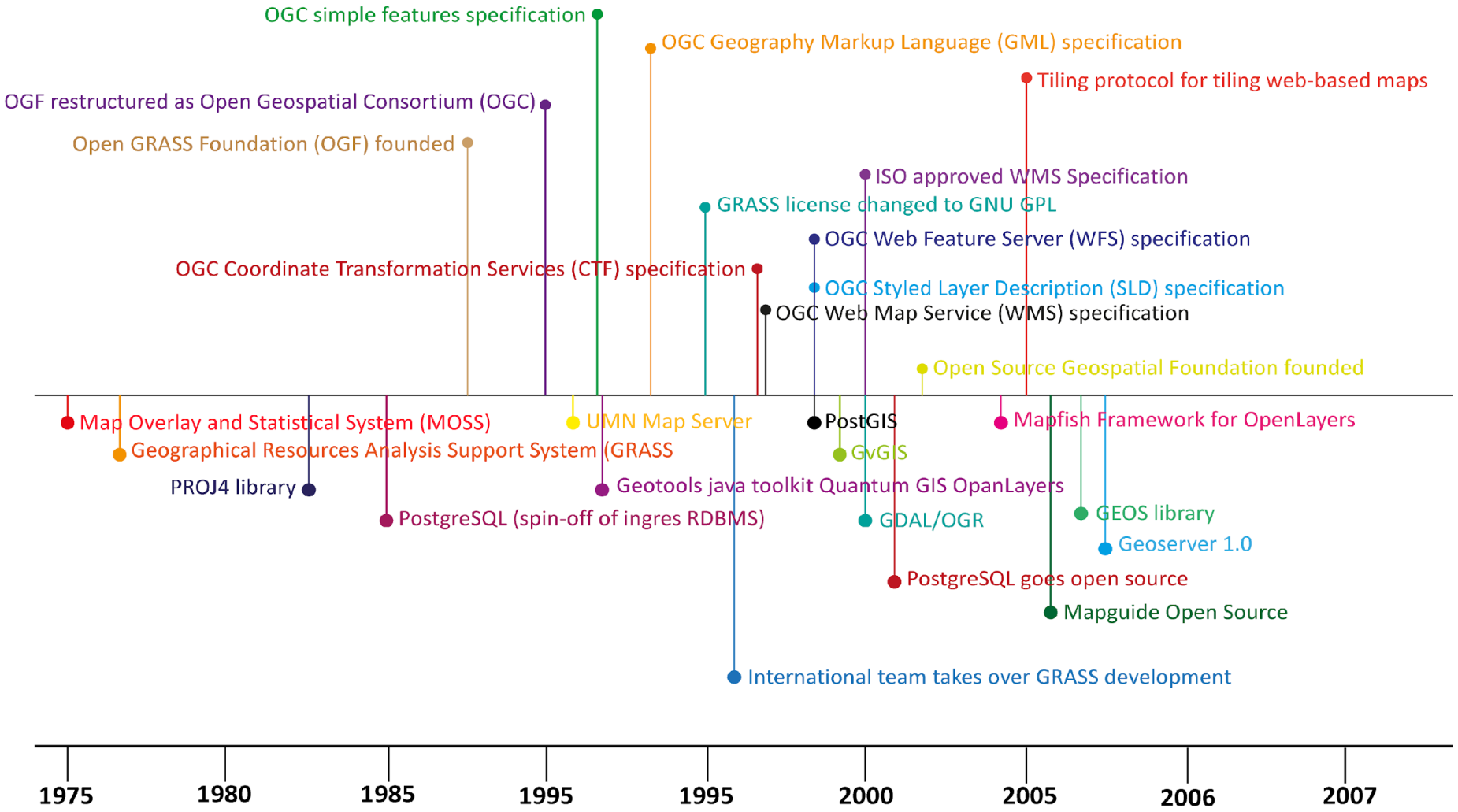


Рис. 4.9. *Хронологія розвитку відкритого ПЗ ГІС*

Open Source Geospatial Foundation. (2024). OSGeo history: The first decade and beyond. https://www.osgeo.org/about

Рис. 4.10. *Зростання уваги до QGIS за даними (Rosas-Chavoya et al., 2022).*

Перелік FreeGIS.org на сьогодні нараховує 350 відкритих програмних пакетів ГІС різного типу, з них 56 оновлювалися за останні декілька років. Згідно дослідження Камара (INPE, Бразилія, (Зацерковний, 2012) з опитаних ним 70 проектів, пов'язаних з відкритими ГІС, співвідношення керованих окремими людьми, організаціями і групами було відповідно 37, 29 і 4.

З 29 організацій 17 були приватними компаніями, 8 державними організаціями і тільки 4 – університетами. Найбільш великі проекти приваблюють достатньо велику кількість розробників і інвестиції в розробку є доволі серйозними (табл. 4.1).

Таблиця 4.1.

Характеристики програмної бази і витрат відкритих ГІС (GIS-Lab, 2026)

Проект	**Рядків коду, тис. (приріст)**	**Розробників, осіб**	**Витрати, люд./год**	**Оцінка витрат, тис. дол. США**
GRASS GIS	737 (42%)	62	200	11000
gvSIG	2162 (20%)	62	609	33495
Quantum GIS	440 (227%)	40	114	6270
GDAL	1035 (67%)	29	337	18535

Архітектура відкритого ПЗ в цілому і ПЗ ГІС зокрема, являє собою багаторівневу структуру і формує програмний стек – набір взаємозалежних компонент, що подають різні рівні.

Рівні в стеку представлені різними, потенційно взаємозамінними продуктами.

Для ПЗ ГІС в якості базового (операційного) шару можуть виступати як відкриті (наприклад, ОС Linux), так і пропрієтарні операційні системи, такі як Microsoft Windows і Mac OS та відповідні бібліотеки часу виконання.

Поділ відкритого ПЗ ГІС на множину рівнів характерний для відкритих систем й пояснюється моделлю розробки, що інтенсивно використовує інші готові, найчастіше усього також відкриті компоненти. Реалізація багатьох рівнів в одному комбінованому продукті більш характерна для пропрієтарних рішень, що не мають можливості запозичення чужого коду.

Існуюче ПЗ ГІС можна умовно поділити на 3 класи: це веб-ГІС, настільні ГІС і просторові бази даних. У табл. 4.2 і 4.3 представлені типові стеки відкритого ПЗ для веб і настільних ГІС.

Таблиця 4.2.

Інструментальні шари відкритих настільних платформ (Duckham, 2013)

Тип ПЗ	**Представники**	**Група**
Додатки	QGIS, GRASS, OSSIM, uDig, MapWindow GIS	Користувацький інтерфейс
Середовище розробки	Eclipse, QT, OpenGL, SharpDevelop	
Високорівневі утиліти	GeoTools, PostGIS, MapWindow GIS ActiveX	Зберігання даних
Високорівневі скриптові мови програмування	Python, Perl, R	Обробка даних
Низькорівневі утиліти	Shapelib, JTS/GEOS, GDAL/OGR, GMT	
Низькорівневі мови програмування	C, C++, Java, Fortran, C#, VB.NET	Системне ПЗ
Операційна система	Linux, Microsoft Windows	

Таблиця 4.3.

Інструментальні шари відкритих веб платформ (Duckham, 2013)

Тип ПЗ	**Представники**	**Група**
Браузер	Firefox, Safari	Користувацький інтерфейс
Клієнтський скриптінг	JavaScript, Java, Perl, Python	
Серверний скриптінг	PHP, Perl, Python	Зберігання даних Обробка даних
Високорівневі утиліти	UMN MapServer, GeoServer	
Високорівневі скриптові мови програмування	PHP, Perl, Python	Системне ПЗ
Низькорівневі утиліти	Shapelib, JTS/GEOS, GDAL/OGR, GMT, PostGIS	

Низькорівневі мови програмування	C, C++, Java, Fortran	
Операційна система	Linux, Microsoft Windows	

Рівні системного ПЗ в обох випадках містять багато спільних інструментів. Таке тісне переплетення в перспективі дає можливість реалізації різних геоінформаційних функцій як для веб, так і для настільних платформ.

Можна припустити, що майбутні настільні додатки будуть використовувати веб-сервіси, які, в свою чергу, будуть включати в себе функції, які традиційно реалізують в настільних ГІС (наприклад функції аналізу).

У той час як бази даних і картографічні веб-сервера зайняли в виробництві достатньо сталу нішу, настільні ГІС перебувають на стадії активного пошуку своєї ніші.

Настільна (користувацька) ГІС – це картографічне ПЗ, що встановлюється і запускається на персональному комп'ютері і яке дозволяє користувачам відображувати, обирати, оновляти і аналізувати дані про географічні об'єкти і пов'язану з ними атрибутивну інформацію (Duckham, 2013).

4.2.3. Аналіз програмного забезпечення відкритих ГІС

Geographic Resources Analysis Support System (GRASS). Остання версія GRASS 6.4 є модульною системою, що надає доступ до більш чим 300 модулів для роботи з двомірними і тривимірними растровими і векторними даними і за функціональними можливостями порівнянна з продуктом ESRI ArcGIS рівня ArcInfo.

За причиною відсутності зручного користувацького графічного інтерфейсу (рис. 4.11) поширеність GRASS обмежена і використовується головним чином переважно дослідницькими інститутами і університетами.

До недавнього часу другою причиною, що стримувала збільшення кількості користувачів, була неможливість запуску GRASS на платформах MS-Windows без використання емуляторів Linux або Unix платформ (наприклад, Cygwin). Однак, з виходом версії 6.3.0 ця проблема була вирішена.

Quantum GIS (QGIS). Розробка QGIS почалася в 2002 р. групою ентузіастів. Метою розробки було створення простого в використанні і швидкого переглядача (вьювера) географічних даних для операційних систем сімейства Linux. Однак, зі зростанням проекту повстала ідея використовувати QGIS в якості простого графічного інтерфейсу для GRASS, одержуючи таким чином у своє розпорядження його аналітичні й інші функції. На сьогодні група розробників QGIS розв'язала первісні задачі і працює над розширенням функціональних можливостей, які давно вийшли за рамки простого переглядача.

За рахунок використання крос-платформного тулкіта QT, QGIS доступна для більшості сучасних платформ (Windows, Mac OS X, Linux) і поєднує в собі підтримку векторних і растрових даних, а також здатна працювати з даними, що надаються різними картографічними веб-серверами і багатьма поширеними просторовими базами даних. Інтерфейс користувача Quantum GIS представлений на рис. 4.12.

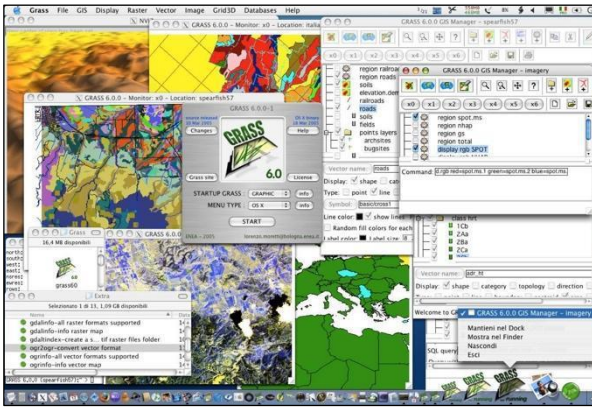


Рис. 4.11. *Інтерфейс Geographic Resources Analysis Support System (GRASS)*

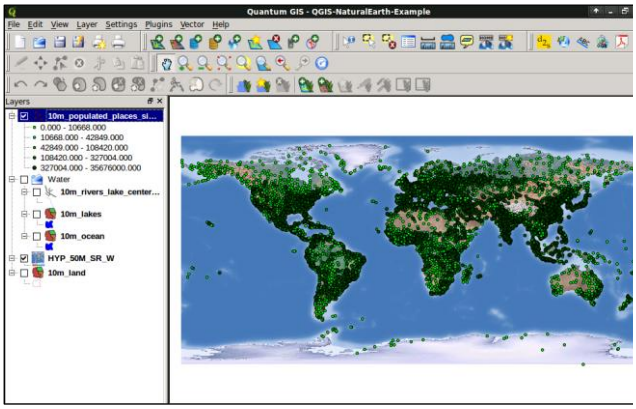


Рис. 4.12. *Інтерфейс Quantum GIS*

Функціональність QGIS може бути розвинена за допомогою створення модулів розширення на C++, або Python. QGIS має одне з найрозвинутих співтовариств у середовищі відкритих ГІС, при цьому кількість розробників постійно зростає, чому сприяє наявність пристойної документації з процесу розробки і зручна архітектура.

User-friendly Desktop Internet GIS (uDig). Головною метою створення uDig була розробка ПЗ, яке дозволяє переглядати і редагувати дані, що зберігаються в БД напряму або через веб. Розробка uDig почалася між 2004 і 2005 рр. за ініціативою канадської компанії Refractions Research Inc.

uDig написана на Java (з використанням платформи Eclipse) і первісно була сфокусована на роботі з векторними даними. Однак, у 2007 р. команда розробників uDig приєдналася до команди розробників Jgrass, яка займалась роботою по реалізації в uDig можливості роботи з растровими даними.

Інтерфейс користувача uDig представлений на рис. 4.13.

Найчастіше uDig використовується як інтерфейс доступу до бази даних PostGIS. Існує 2 основних недоліки, пов'язаних з використанням Eclipse. Перший – це розмір додатка і другий – це те, що графічний інтерфейс дуже схожий із середовищем розробки для програмування, тому може бути дуже складним для кінцевих користувачів.

Generalitat Valenciana, Sistema d'Informació Geogràfica (gvSIG). Імовірне, найбільший проект, якщо вимірювати розмірами фінансових інвестицій. Мета розробки – створення системи, здатної замінити ESRI ArcView GIS 3.x в органах муніципальної влади. Ініціатор створення –

міністерство транспорту Валенсії (Іспанія), яке почало розробку в зв'язку з прийняттям рішення про переведення усіх органів регіональної влади на комп'ютери під управлінням ОС Linux.

Розробка gvSIG розпочалася наприкінці 2003 р., основний розробник – компанія IVERA S.A. (Іспанія). В роботу над проектом також підключились декілька університетів та інших компаній.

ПЗ gvSIG підтримує роботу з растровими і векторними даними, а також здатне працювати з різними БД. Функції по роботі з растровими даними побудовані на основі алгоритмів проекту SAGA. Мова програмування – Java. Мета створення ПЗ з функціональними можливостями, порівнянними з ESRI ArcView (3.X), була повністю виконана, причому місцями gvSIG перевершила ArcView. Інтерфейс користувача gvSIG представлений на рис. 4.14.

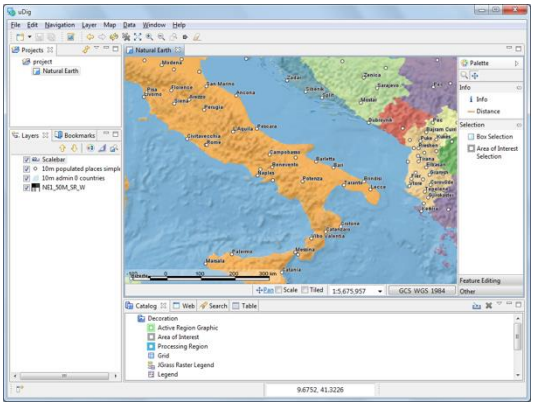


Рис. 4.13. *Інтерфейс User-friendly Desktop Internet GIS (uDig)*

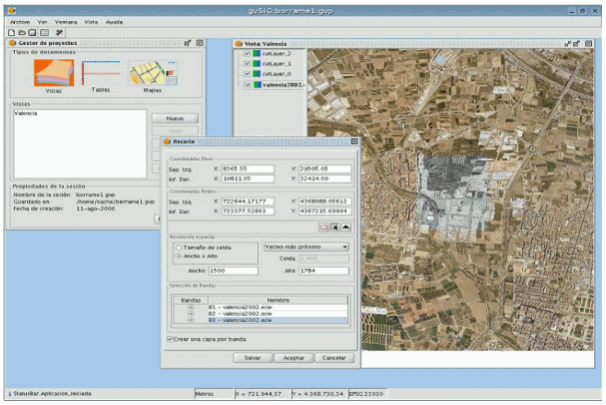


Рис. 4.14. *Інтерфейс Generalitat Valenciana, Sistema d'Informació Geogràfica (gvSIG)*

Відзначимо, що для даної ГІС існує російськомовна користувацька документація. Однак, існує ряд недоліків: відсутня документація для розробників і істотна залежність від більше чим 100 C++ і Java бібліотек.

System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). Як випливає з назви, дана ГІС має наукові корені. Перший модуль для SAGA був розроблений в 2001 р. в Департаменті географії Геттінгемського університету (Німеччина) і був призначений для роботи з растровими даними.

Основним призначенням SAGA є аналіз рельєфу, ґрунтове картування і розв'язок задач з візуалізації даних. SAGA написана на C++ і надає стороннім розробникам зручний API[6]. Основний розробник, а згодом і сам проект перемістився до Гамбургського університету. Користувацька документація доволі ґрунтовна, що сприяє постійному збільшенню міжнародного

[6] Application Programming Interface - Інтерфейс прикладного програмування - набір визначених правил, протоколів та інструментів, за допомогою яких одна програмна система "спілкується" з іншою.

користувацького співтовариства. Так, кількість скачувань посібника користувача за період 2005-2008 рр. зросло з 700 до 1300 в місяць.

Інтерфейс користувача System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) представлений на рис. 4.15.

Integrated Land and Water Information System (ILWIS). Розробка ILWIS розпочалася в компанії ITC, м. Енсхеде (Голландія) в 80-х рр. XX ст. Поєднує в собі функціональність векторної і растрової ГІС призначеної для розв'язку широкого кола задач, від аналізу зображень до моделювання ерозійних процесів. Версія 3.0 продукту дуже добре документована (реліз 2001 р.). Інтерфейс користувача Integrated Land and Water Information System (ILWIS) представлений на рис. 4.16.

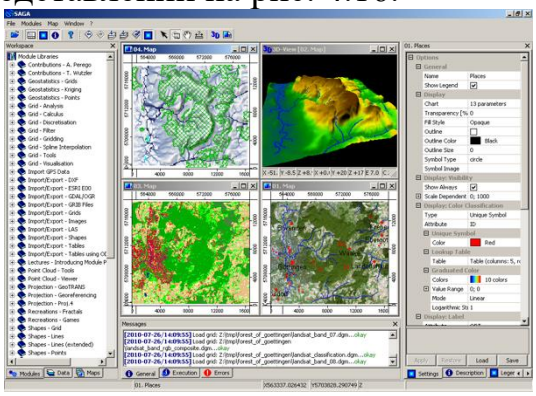


Рис. 4.15. *Інтерфейс System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA)*

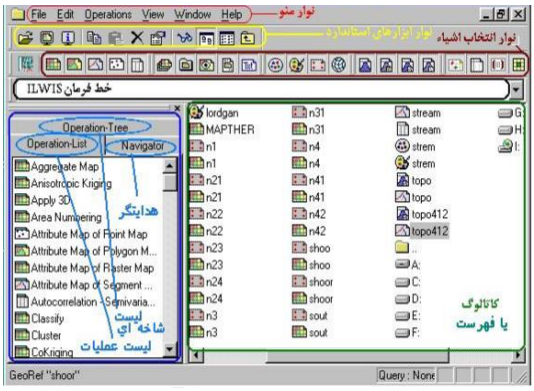


Рис. 4.16. *Інтерфейс Integrated Land and Water Information System (ILWIS)*

У 2007 р. вихідний код, написаний на мові MS Visual C був випущений під відкриту ліцензію GPL. Сьогодні основним координатором проекту є німецька компанія 52 North GmbH і в протилежність gvSIG – репозиторій[7] з вихідними кодами, що вільно доступні. ILWIS працює тільки в ОС сімейства MS-Windows.

MapWindow GIS. Дана ГІС була створена в 1998 р. членами Водної дослідницької лабораторії в університеті штату Юта (США). Головною метою була розробка ”ядра ГИС”, яке б надавало необхідну функціональність розробникам ГІС. MapWindow GIS ActiveX control написана на MS Visual C і реалізовує функції відображення, пошуку і керування просторовими даними. Згодом був розроблений графічний інтерфейс, названий MapWindow GIS Desktop і реалізована можливість розширення функціональності шляхом використання системи розширень. Проект очолює команда розробників університету штату Айдахо. З недавнього часу розробка ґрунтується на основі

[7] Репозиторій – спеціальний сервер, з якого можна завантажити програмне забезпечення. На сервері зберігається архів програмних продуктів, які доступні для завантаження. Це місце, де зберігаються і підтримуються які-небудь дані. Найчастіше дані в репозиторії зберігаються у вигляді файлів, доступних для подальшого розповсюдження по мережі.

Microsoft. Net Framework, у зв'язку з чим MapWindow доступна тільки для ОС сімейства MS-Windows.Інтерфейс користувача MapWindow GIS представлений на рис. 4.17.

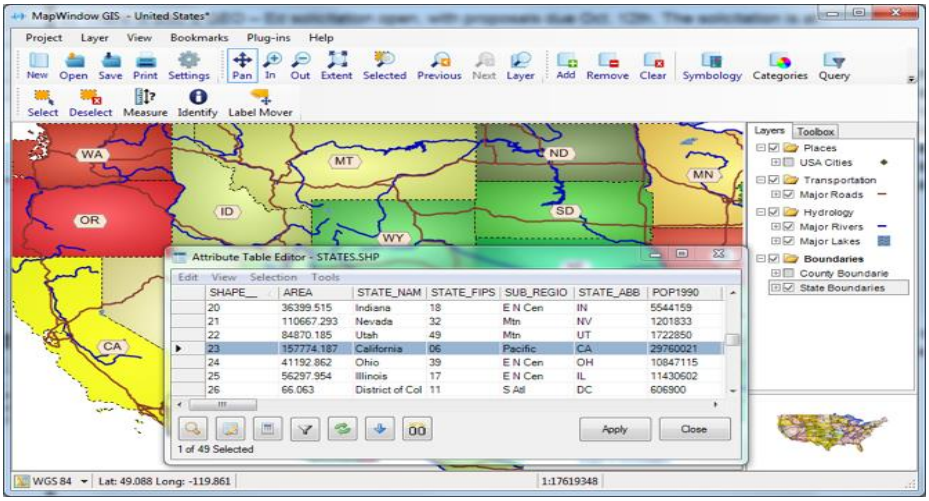


Рис. 4.17. *Інтерфейс MapWindow GIS*

4.2.4. Оцінка переваг і недоліків ”відкритого” програмного забезпечення ГІС

Безкоштовність ліцензії – найбільш привабливий параметр відкритого ПЗ ГІС. Проте, відкритість не обов'язково є синонімом безкоштовності. Перший пункт визначення відкритого ПЗ стверджує, що спосіб розповсюдження ПЗ: платний або безплатний – вибір його авторів (http://www.opensource.org/docs/osd). Незважаючи на це, сьогодні майже все відкрите ПЗ ГІС поширюється повністю безкоштовно. Винятковим прикладом виключення є наприклад розширення ZigGIS, яке дозволяє працювати з базами даних PostGIS в ArcGIS Desktop. Вихідний код цього ПЗ поширюється вільно для персонального використання і навчання, ПЗ готове до використання і комерційного використання вимагає купівлі ліцензії.

Незважаючи на значні розбіжності між ціною на ліцензії на комерційне і відкрите ПЗ необхідно враховувати, що загальна ціна виробництва і володіння відкритим ПЗ тем не менш не є нульовою. Безвідносно типу ПЗ, в ціну необхідно включать витрати на встановлення, технічну підтримку, навчання й інші пов'язані витрати. Перевага відкритого ПЗ полягає в відсутності різниці між ціною виробництва і ціною використання. (рис. 4.18).

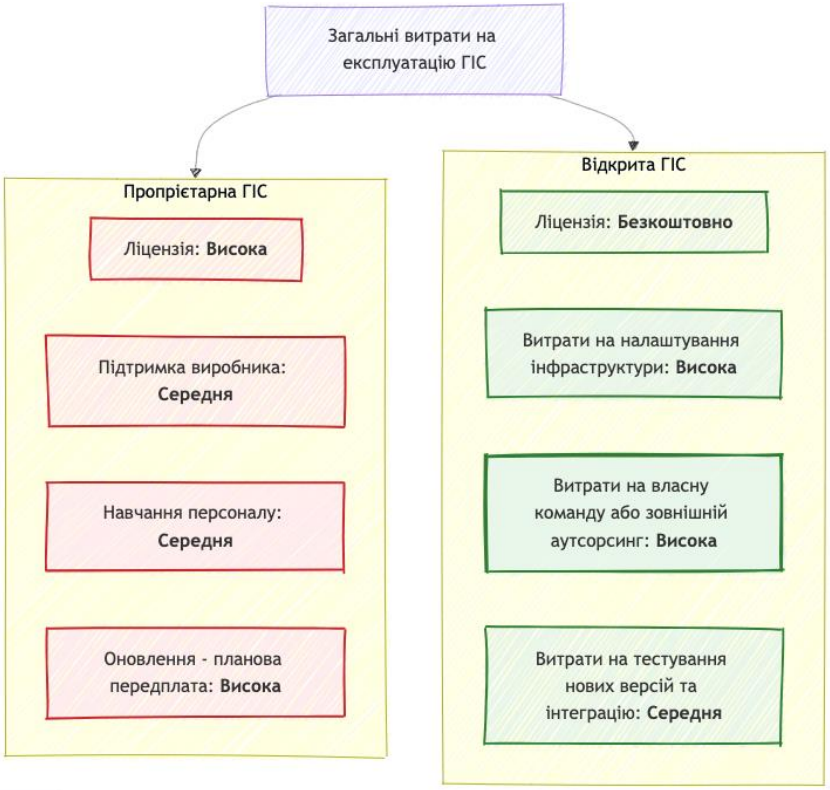


Рис. 4.18. *Концептуальне порівняння процесу формування ціни продукту для користувача*

Прикладом цінової розбіжності є проект впровадження відкритої ГІС QGIS в уряді Солотурна (Швейцарія). За розрахунками, економія тільки на ліцензіях склала 150-200 тис. дол. США. Однак, реалізаторам проекту довелося витратити досить значні кошти (30 тис. дол. США) на доробку програмного продукту.

Відкриті ГІС, як і відкрите ПЗ відображають сучасну тенденцію зменшення залежності користувача програмного забезпечення від розробника (так званий vendor lock-in). Ця проблема відносна, оскільки тривалий досвід використання ПЗ, відкритого або закритого приводить до вибудовування навколо нього технологічної лінійки, ціна переходу з якої може виявитися більшою, ніж освоєння нового ПЗ. Однак, в умовах відкритості, користувачу відкритого ПЗ ГІС гарантована можливість внесення необхідних змін самостійно.

Минулі і сучасні відмови ESRI від підтримки певних мов програмування (VBA, VB6 для ArcGIS 9.4) і програмних пакетів цілком (Arcview GIS 3.x) раціональні з точки зору виробника, це дозволяє сконцентрувати зусилля на більш перспективних напрямках розвитку. Однак, це викликає невдоволення користувачів, які на момент припинення їх використання встигли тісно інтегрувати їх в свої технологічні лінійки. Найчастіше користувачі бувають зацікавлені не стільки в новому ПЗ, а в продовженні підтримки старого. Відкритість ПЗ ГІС в даному випадку дає солідні гарантії продовження підтримки програмного продукту, в тому числі самим користувачем.

Відкритість робить розробку ГІС більш ефективною, головним чином за рахунок високої модульності. Розробка також сильно полегшується за рахунок використання готових програмних компонент, які активно використовуються в розробці відкритих ГІС. Для інтерфейсу часто використовується QT[8], можливість роботи з численними векторними і растровими форматами – GDAL/OGR, геометричні операції, зазвичай, реалізовані на базі бібліотеки GEOS/GeoTools, останній час виділяються в окремі проекти інші, менш комплексні компоненти, необхідні в ГІС, такі як, наприклад, розстановка підписів (PAL), проекційні перетворення (Proj.4), високоякісний рендерінг (AGG) тощо.

Подібна модульність дозволяє сфокусуватися на більш ефективній реалізації певної підмножини функціональності і уникнути неминучого в випадку закритої моделі розробки дублювання зусиль. Завдяки тому, що розробка ведеться ”на виду”, проектів що дубіють один одного практично не виникає. Класичним доказом ефективності такого підходу є бібліотека абстракції GDAL/OGR, що використовується для роботи з більше чим 100 растровими і 30 векторними форматами, не тільки практично у всіх відкритих ГІС, а також у пропрієтарних рішеннях, таких як, наприклад, ArcGIS (модуль Interoperability) і Google Earth. Однак, складність ліцензійної ситуації, коли різні компоненти використовують різні, часто конфліктуючі між собою ліцензії, може ускладнити розвиток й розповсюдження програмного продукту.

Одним з позитивних ефектів використання тулкітів QT і Java є в цілому краща кросс-платформеність відкритих ГІС, здатних, на відміну від багатьох пропрієтарних рішень працювати під Windows, Mac OS, Linux. Проте, це є не обов'язково вірним для окремих представників відкритих ГІС.

Інновації. Швидкий темп розробки, залучення розробників з усього світу і висока модульність стимулюють інноваційний характер відкритого ПЗ. Тут, впровадження нових, часто ще не повністю відпрацьованих технологій, не зустрічає протидії, а скоріше вітається. Так, наприклад, підтримка досить поширених відкритих баз просторових даних PostGIS з'явилася в комерційному ПЗ ГІС Mapinfo і ArcGIS порівняно недавно. Відкриті ж ГІС з цими базами даних працюють щонайменше на 3-4 роки раніше. Швидке зростання функціональності може впливати на надійність і зручність користування додатком, але це може бути скомпенсоване додатковим тестуванням широкою співдружністю користувачів.

Довгостроковий контроль ситуації. Більшість з вище перерахованих переваг відкритого ПЗ ГІС можуть бути віднесені і до пропрієтарних продуктів в умовах досконалого вибору. Однак, якщо користувач на ринку надовго, повний контроль над продуктом у довгостроковій перспективі може надати тільки відкрите ПЗ. Питання, чи потрібен користувачу цей контроль, користувач повинен вирішити самостійно.

[8] **Qt** – засіб для створення графічного користувацького інтерфейсу (GUI).

Функціональність і продуктивність. Недостатня функціональність – ключова проблема відкритих ГІС, що заважає їх масовому впровадженню і обумовлена їх порівняльною молодістю і нестачею розробників. Прикладами недоліків функціональності є відсутність на сьогодні відкритої реалізації сховища растрових даних (розробка ведеться для PostGIS – WKTRaster), екзотичність форматів (ГІС GRASS найбільш ефективно працює із своїм растровим і векторним форматом даних), недостатньо налагоджена підтримка ОС Windows і ГІС GRASS.

Відкриті ГІС зазнають певні складності в роботі з великими наборами даних, розширеною символікою і часто обмежені в функціональності щодо виробництва високоякісних картографічних творів. Хоча деякими відкритими ГІС робляться спроби копіювати успішний користувацький інтерфейс (наприклад gvSIG і Arcview GIS), в цілому в цьому напрямку вони також перебувають на початку шляху і є декілька більш складними в освоєнні, чим спеціально, більш ретельне відлагоджені ”під користувача” пропрієтарніе рішення. Незважаючи на це, базова функціональність відкритих ГІС, наприклад, для ведення проектів цілком порівнянна з пропрієтарними рішеннями (табл. 4.4).

Варто також відзначити, що незважаючи найчастіше на відсутність, російськомовної документації та локалізованого інтерфейсу, це не заважає більшості пакетів вільно працювати з кирилицею.

Таблиця 4.4.

Порівняння основних відкритих користувацьких ГІС і деяких пропрієтарних аналогів (Miller & Shaw, 2001)

		Відкриті						
		GRASS 6.4.0	**QGIS 1.4**	**uDIG 1.1**	**gvSIG 1.9**	**SAGA 2.0.4**	**MapWindow 4.7**	**ILWIS 3.4**
Ліцензія		**GPL**	**GPL**	**GPL**	**GPL**	**GPL**	**GPL**	**GPL**
Читання векторних даних	SHP	+	+	+	+	+	+	+
	GML	+	+	+	+	–	–	–
	DXF	+	+*	-	+	+	+**	+
Запис векторних даних	SHP	+	+	+	+	+	+	+
	GML	+	+*	+	+	–	–	–
	DXF	+	–	–	+	–	–	+
Читання растрових даних	JPEG	+	+	+	+	+	+	+
	GeoTIFF	+	+	+	+	+	+	+
	ECW	+	-	-	+	+	+	+
	Arc/Info GRID	+	+	-	-	+	+	+
Запис растрових даних	JPEG	+	+	+	+	+	+	+
	GeoTIFF	+	+	+	+	+	+	+
	ECW	+	+	–	–	+	–	–
	Arc/Info GRID	–	–	–	–	–	–	–

Бази даних Ч=читання З=запис	Post GIS ArcSDE Oracle	З+Ч - Ч	З+Ч - -	З+Ч З+Ч З+Ч	З+Ч З+Ч З+Ч	– – –	З+Ч – –	– – –
Підтримка стандартів OGC		WMS, WFS,SFS, GML	WMS, WFS, WFS-T, SFS, GML	WMS, WFS, WCS, CSW, WFS-G	WMS, WFS, WCS	WMS, WFS	WFS,WCS	WMS, WFS, SFG, GML
Російськомовний інтерфейс		+	+	–	+	–	–	–
Російськомовна документація		+	–	–	+	–	–	–
*– Реалізується за рахунок використання GRASS, ** – Через додаткове розширення, *** – Керівництво користувача								

Складність ліцензування. Відкритість коду не означає відсутність захисту інтелектуальної власності його розробників. Відкрите ПЗ використовує механізми, що підтримують його відкритість і в похідних продуктах. Розробники можуть вибрати стратегію забезпечення відкритості похідних продуктів, що використовують їх продукт або відмовитися від вимоги відкрити вихідні коди похідних продуктів.

Даний вибір здійснюється за допомогою вибору певної ліцензії під якою розповсюджується продукт. Цей пункт може стати вадою для організацій, які отримають комерційну вигоду з розповсюдження самого ПЗ.

Так, наприклад, ArcGIS або будь пропрієтарний продукт у більшості випадків не може запозичувати вихідний код відкритого ПЗ ГІС поширюваного під ліцензією GPL, оскільки це вимагатиме поширення цієї ліцензії на продукт, що використовує фрагменти вихідного коду GPL (так звану ”вірусність” ліцензії).

Продукти, що використовують ліцензії типу BSD (наприклад GDAL), накладають менш суворі зобов'язання на виробників, що використовують їх код, головним чином обмежуючись вимогою чіткої вказівки авторства коду, що, як показує практика, призводить до їх більш широкого розповсюдження. Така ”самовідданість”, однак, є скоріше винятком, ніж правилом.

У цілому, використання відкритого коду вимагає в додатках, що плануються поширювати на комерційній основі, вимагає попереднього аналізу ліцензійної ситуації.

Однією з найбільш широковідомих ліцензій, під якою поширюються відкриті ГІС є GNU GPL. Спрощено, GPL надає користувачу такі права, або ”свободи”:

свободу запуску програми з будь-якою метою;

свободу вивчення того, як працює програма та її модифікації;

свободу розповсюдження копій;

свободу удосконалення програми і випуску покращень у публічний доступ.

На практиці це означає, що ви можете:

Одержавши (скачавши або купивши) одну копію дистрибутива, встановити його на будь-яку кількість комп'ютерів. Ви не зобов'язані платити ліцензійні відрахування за кожне робоче місце, що важливо в випадку великих компаній або учбових закладів.

Одержати доступ до вихідного коду програми, наприклад, можна безперешкодно ознайомитися з алгоритмами, що лежать в основі тієї або іншої просторової операції.

Модифікувати вихідний код і використовувати його для власної мети. Наприклад, у випадку відсутності необхідного інструмента, можна реалізувати його самостійно і використовувати в межах організації.

Однак, GPL позбавляє вас права позбавляти когось вищеперерахованих прав. При передаче будь-кому копії програми, ви зобов'язані передати йому всі ті права і обов'язки, які накладає на вас ця ліцензія. Це необхідно для того, щоб захистити програму, і, відповідно, співтовариство вільного програмного забезпечення від несумлінних підприємців, які в протилежному випадку могли б використовувати код програми в своєму закритому продукті. На практиці це означає, що ви не можете:

Розповсюджувати програму без вихідного коду, якщо ви його змінили за межами своєї організації. Якщо ви скачали вихідний код, внесли в нього зміни, після чого відкомпілювали програму, то в цьому випадку розповсюдження нового бінарного дистрибутива без одночасного забезпечення доступу до вихідних кодів неприпустиме.

Випускати вихідний код під іншими ліцензіями.

Підтримка і надійність в цілому. Незважаючи на наявність, зазвичай, великих і активних співтовариств користувачів, готових допомогти в розв'язку проблем з конкретним продуктом, його учасники не зобов'язані надавати цю підтримку. Можливості з підтримки корпоративних користувачів поки що знаходяться на початкових етапах розвитку, кількість компаній, що надають таку підтримку незначна. Важливість стабільного ПЗ ГІС усвідомлюється його розробниками, які все частіше починають підтримувати дві версії ПЗ, одну – на піці можливостей, що включає усі останні розробки й другу – стабільну, де ведеться більш інтенсивна робота над помилками і обмежене впровадження нових можливостей в угоду стабільності.

Убудованість в технологічні процеси. При всіх своїх перевагах, відкрите користувацьке ПЗ ГІС в цілому є достатньо молодим напрямком, що визнається як його розробниками, так і користувачами. На практиці це проявляється в неготовності організацій переходити на його використання. Прикладів успішного використання відкритих ГІС для розв'язку виробничих задач поки що достатньо мало. Як наслідок, відсутність прикладів

використання відкритого ПЗ ГІС в технологічних процесах призводить до неохочого впровадженню відкритих ГІС через їх ”невідомість”. Організації, головним чином займають очікувальну позицію. Допомогти визначитися з вибором відкритої ГІС покликані проекти подібні CASCADOSS, що оцінюють основні відкриті ГІС за більше чим 50 параметрами з точки зору їх маркетингового, економічного і технологічного потенціалу. Однак в умовах швидкого зростання, подібна інформація швидко застаріває.

4.2.5. Моделі проникнення на ринок відкритого ПЗ ГІС

Можна виділити три моделі, що відображають умови проникнення на ринок відкритих програмних продуктів: модель перезрілості, модель орієнтованості на стандарти і модель орієнтованості на інновації (Free Software Foundation, 2026).

Модель перезрілості реалізується в умовах жорстко поділеного ринку. У цих умовах найчастіше існує один комерційний продукт, що займає основну частку ринку. По мірі зростання популярності цього продукту його концептуальна модель і функціональні можливості починають все більше укорінюватися в свідомості користувача не як функціональність конкретного продукту, а як функціональність будь-якого програмного продукту даної категорії. Відповідно, базовою вимогою до розробки нового програмного продукту цього класу є необхідність відтворення певного набору функцій. Однак, як свідчить практика, новому комерційному продукту, побудованому на цих принципах, дуже складно відвоювати хоча б незначну часку ринку у свого основного конкурента навіть при встановленні більш низьких цін. Одним з можливих виходів у ситуації яка склалася, що вирішує задачу захоплення частки ринку, є випуск нового продукту під відкритою ліцензією, оскільки більшість користувачів віддадуть перевагу відкритому продукту, який можна зіставити за функціональним можливостями з комерційним рішенням, проте не потребуючого регулярних ліцензійних відрахувань (прикладом може слугувати Quantum GIS, як альтернатива ArcView).

Модель орієнтованості на стандарти реалізується в умовах наявності стандартів, що відповідають за вимоги до програмних продуктів певного класу. У цьому випадку рішення від різних виробників стають сумісними один з одним, забезпечуючи однакові умови для конкуренції на ринку між комерційним і відкритим ПЗ (наприклад PostGIS, як альтернатива ArcSDE).

І, нарешті, модель орієнтованості на інновації реалізується в умовах, коли на ринку з'являється новий продукт у якого немає прямого конкурента в комерційному секторі. В цьому випадку також його випуск під відкритою ліцензією має низку переваг (наприклад GRASS).

Рис. 4.19 ілюструє переваги відкритого ПЗ як для компаній, що займаються його поширенням, так і для кінцевих користувачів.

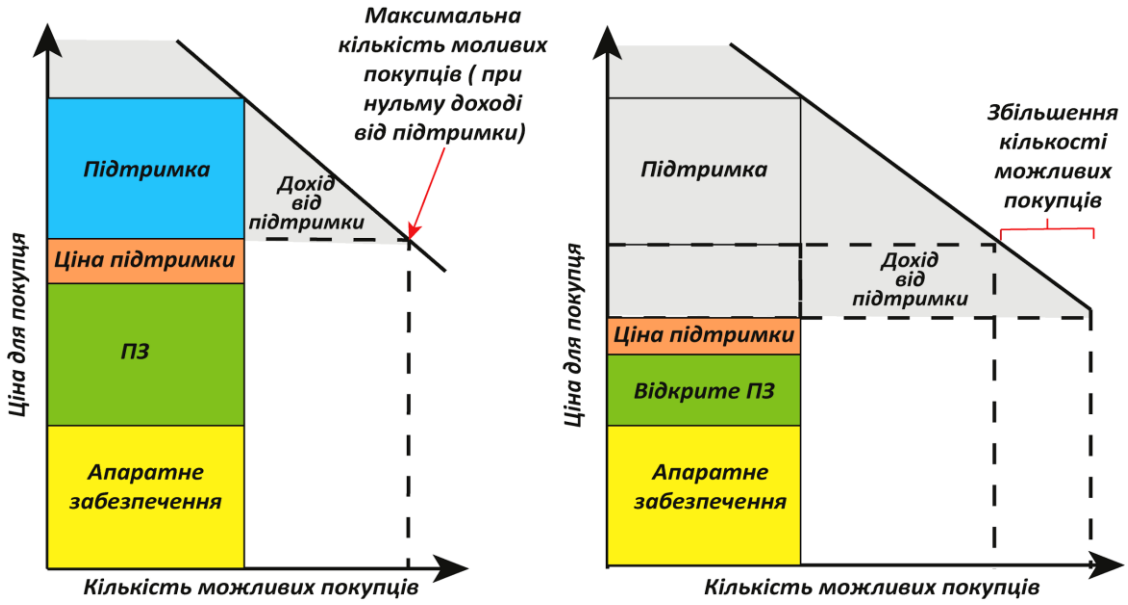


Рис. 4.19. *Границі збуту і кількість потенційних покупців у випадку використання (а) – пропрієтарного ПЗ, (б) – відкритого ПЗ (Зацерковний, 2014)*

На рис. 4.19 представлена крива попиту, що відображує потенційну кількість покупців, готових придбати рішення при заданій ціні, яка для них складається з вартості програмного і апаратного забезпечення плюс вартості технічної підтримки. При переході від використання закритого ПЗ до відкритого, продавець ІТ-рішень (системний інтегратор) має можливість знизити його ціну, тим самим збільшивши потенційну кількість покупців, що в свою чергу забезпечує йому більший прибуток. Покупець же за однакову ціну може дозволити собі купити ІТ-рішення на базі відкритого ПЗ, яке вже включає в себе певний об'єм техпідтримки, або ІТ-рішення на базі комерційного продукту, проте без техпідтримки.

У будь-якій ”здоровій” економіці навіть успішні відкриті програмні продукти вимагають присутності на ринку компаній, готових надавати технічну підтримку і консультування з питань, пов'язаних з обраними продуктами. Саме на цю необхідність й орієнтуються компанії, що заробляють на відкритому ПЗ, основний дохід яких складає не продаж самого продукту, а продаж послуг з його підтримки (OGC, 2026).

У табл. 4.5, для прикладу, наведений список послуг американської компанії OpenGeo, що займається підтримкою відкритого ПЗ ГІС (а саме: GeoServer, PostGIS, OpenLayers, GeoExt, GeoWebCache) (GIS-Lab, 2026).

Таблиця 4.5.

Порівняння програм підтримки відкритого ПЗ ГІС компанії OpenGeo

	Базовий	**Професійний**	**Промисловий**	**Стратегічний**
Ціна, дол. США	$12 000	$30 000	$70 000	$98 000
Виправлення помилок	Не обмежене	Не обмежене	Не обмежене	Не обмежене
Доробка (годин роботи)	Немає	Немає	Немає	350
Навчання, днів	Немає	2	2	4
Сервісні функції	Немає	Оновлення, Тренінги, Установка, Конфігурування, Розробка	Не обмежене	Не обмежене
Час відповіді	1 день	1 день	4 години	2/4 години
Консультації по e-mail	Не обмежене	Не обмежене	Не обмежене	Не обмежене
Консультації по телефону	Немає	Є	Є	Є
Підтримка 24/7	Немає	Додатково	Додатково	Додатково

Як видно з табл. 4.5, усі услуги розбиті на 3 рівня: базовий, професійний і промисловий. При цьому кожний з них має свою ціну і відповідний набір сервісних функцій. Так, базовий рівень розрахований головним чином на організації, яким необхідне впровадження відкритого ПЗ ГІС в їх бізнес-процеси. Професійний і промисловий рівні підтримки – це рівні більш високого класу і розраховані на організації, які вже використовують відкрите ПЗ ГІС і включають в себе крім усього іншого послуги з оновлення, розробки нового або модифікації наявного ПЗ і конфігурування обладнання.

Як вже відзначалося вище, кількість компаній, що надають послуги з підтримки відкритого ПЗ ГІС на сьогодні відносно невелика, однак є інші компанії, що надають комерційну підтримку відкритому ПЗ ГІС, наприклад канадська компанія DM Solutions Group (http://www.dmsolutions.ca), яка підтримує картографічний вебсервер UMN MapServer і Refractions Research (http://www.refractions.net) яка надає послуги з підтримки проектів, побудованих на базі власної відкритої розробки PostGIS.

Відкриті користувацькі ГІС знаходяться на стадії становлення, проте безумовно заслуговують уваги й урахування в довгостроковому плануванні, гарантуючи суттєву економію на ліцензіях, готовність до інновацій і ефективність розробки за рахунок використання готового програмного коду.

Відкриті ГІС не ставлять під загрозу існування інших, пропрієтарних програмних продуктів, проте забезпечують кращі умови конкуренції. Вигода в використанні такого ПЗ, з одного боку, особливо очевидна для невеликих, некомерційних і громадських об'єднань і компаній, для дослідницьких, державних й інших організацій з великою кількістю філіалів, де достатньо обмеженої функціональності. З іншого боку, відкриті ГІС являють собою новий інструмент конкурентної боротьби для компаній, основний прибуток яких отримується не від продажу ПЗ (наприклад компаній-інтеграторів).

Використання відкритих ГІС здатне різко зменшити видатки і підсилити конкуренцію. Незважаючи на це, недоліки, притаманні відкритому ПЗ ГІС, на даний момент перешкоджають негайному його впровадженню в організаціях як основного ПЗ ГІС.

5. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

5.1. Задачі впровадження ГІС в Україні

В Україні перші спроби створення ГІС відносяться на кінець 70-х рр. XX ст. Одна з них – створення містобудівної інформаційної системи для м. Києва. Планувалося звести інформацію про природні умови системи ”місто-передмістя”, в узагальненій формі представити каталоги даних про об'єкт, створити мікрокліматичну карту, провести розрахунки на певні площі температур, швидкостей вітру, поширення зон викидів промисловості в атмосферу при різних погодних умовах. Система мала базуватися на ЕОМ, дані та програма – зберігатися на перфокартах...

Серйозне впровадження ГІТ в Україні розпочалось у середині 90-х рр. XX ст.

Завдання створення єдиної геоінформаційної системи на рівні держави та регіонів було визначено в Законі Україні ”Про захист інформації в автоматизованих системах” та Розпорядженні КМУ ”Про затвердження переліку завдань (проектів) Національної програми інформатизації на 2002 р., їх державних замовників та обсягів фінансування” від 13.06.02. № 323-р.

Проте створення ГІС було більше декларативним…

Серед позитивних чинників, які характеризують сучасний стан застосування ГІТ, необхідно відзначити:

1. Формування в державних установах і організаціях колективів фахівців, що активно працюють у напрямку застосування ГІС у різних сферах людської діяльності, зокрема: у Державному проектному інституті Діпроміcто (Київ); Науково-дослідному інституті геодезії і картографії (Київ); Київському національному університеті ім. Тараса Шевченка, Київському національному університеті будівництва і архітектури, Київському національному авіаційному університеті, Одеському національному університеті ім. І.І. Мечникова; Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Національному університеті ”Львівська політехніка” (Львів); Львівському аграрному університеті, в Національній гірській академії (Дніпропетровськ); у Харківському технічному університеті радіоелектроніки; у Харківському національному університеті ім. В.Н. Каразіна, у Харківській національній академії міського господарства, в Житомирському національному агроекологічному університеті, в

Українському центрі менеджменту Землі і ресурсів (Київ) та в ряді інших (Зацерковний, 2014).

В Україні ГІТ розвивають Національне космічне агентство, Український центр менеджменту землі і ресурсів при Раді Національної безпеки та оборони України, Укргеодезкартографію у складі Деркомзему, Міжвідомчий центр електронної картографії (м. Харків) та ін (Зацерковний, 2014).

2. Створення ГІС-асоціації (1997 р.) і Асоціації геоінформатиків (2003 р.), сприяють активізації і консолідації геоінформаційної діяльності в Україні. Всеукраїнський благодійний фонд сприяння розвитку геоінформаційних технологій та послуг ”ГІС-Асоціація України” об’єднує фахівців, зайнятих у галузі розробки та впровадження ГІС. ГІС-асоціація у свої структурі має дирекцію, експертну раду, учбово-методичний центр та департамент впровадження проектів (Зацерковний, 2014).

3. Щорічне проведення ГІС-форумів починаючи з 1995 р., конференцій ”Геоінформатика: теоретичні і прикладні аспекти” (з 2002 р.), конференцій користувачів продуктів фірми ESRI (з 1998 р., ЗАТ ЕСОММ), 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 регіону” (Одеса, 2003 р.), Можливості сучасних ГІС/ДЗЗ технологій у сприянні вирішення проблем регіонів (ДНВЦ ”Природа” та багатьох інших.

4. Створення державних підприємств і комерційних компаній, які спеціалізуються на розробці і/або використанні ГІТ, зокрема: державного науково-виробничого підприємства ”Геосистема” (м. Вінниця) і науково-виробничого центру ”Геодезкартінформатика” (м. Київ); комерційних компаній ”Інтелектуальні системи, Гео”, ”Інститут передових технологій”, ”ЕСОММ”, ”ГЕОКАД”, ”Аркада”, ”Герніка” (м. Київ); ”Високі технології” (м. Одеса) тощо (Зацерковний, 2014);

5. Розробка 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 ”Герніка” (м. Київ), Кривбасінвест (Кривій ріг) та ін.

6. Створення електронного атласу України – пілотної версії комп'ютерного Національного атласу України (2000) – Інститутом географії НАН України і компанією ”Інтелектуальні системи, Гео” (Київ) (рис. 5.1) (Зацерковний, 2014).

Рис. 5.1. *Електронна версія Національного атласу України*

7. Внесення курсів з ГІС і ГІТ до програми підготовки фахівців природознавчих, екологічних, інженерних та сільськогосподарських спеціальностей у багатьох вищих навчальних закладах країни; відкриття у деяких з них курсів підготовки фахівців у галузі ГІС і ГІТ (Зацерковний, 2014).

До факторів, що стримують розвиток ГІТ, належать відносно низький в цілому рівень комп'ютеризації в країні, відсутність у достатній кількості відповідних фахівців, скудне фінансування, відсутність коштів на придбання ліцензійного програмного забезпечення тощо. В держструктурах обмін просторовими даними здійснюється головним чином ручними методами.

Однак, незважаючи на це, ГІС знаходять застосування у все нових сферах науки, виробничої діяльності і освіти. Коло користувачів ГІС постійно розширюється і відкриває нові можливості для обміну накопиченою інформацією. Деякі системи комплектуються за бажанням замовника готовими базами даних. Все це призводить до того, що покупцями ГІС стають невеликі міста й області, окремі галузі промисловості, медицина, освіта і таке інше. Невеликі навчальні і довідково-інформаційні ГІС бажають мати ВНЗ і навіть приватні особи, діяльність яких пов’язана з управлінням (Зацерковний, 2014).

Важливим моментом необхідно вважати посилення міжнародної кооперації і координації геоінформаційної діяльності. Одним із головних наслідків є створення глобальних інформаційних систем типу Глобальної природно-ресурсної бази GRID під егідою ЮНЕСКО, ГІС європейського економічного співтовариства CORINS і багато інших (Зацерковний, 2014).

Про значення ГІС можна говорити і виходячи з того, яка увага приділяється їм у більшості країн світу. В багатьох із них створені національні й регіональні організації у завдання яких входить розвиток досліджень, пов’язаних з ГІС, розробка пропозицій у сфері національного й міського планування інформації, координація програм отримання, обробки й розповсюдження цієї інформації, створення мереж ГІС. З цією метою розроблена правова база, створюється потужне, апаратне й програмне забезпечення, налагоджена підготовка та перекваліфікація необхідного класу спеціалістів.

Розвиток інформаційних технологій на базі обчислювальної техніки, створення автоматизованих, високопродуктивних робочих станцій, банків даних і баз знань, а також обчислювальних мереж привело до появи нового напрямку в інформатиці – геоінформатики, в основі якої лежать ГІС і ГІТ. На сьогодення вже існують (функціонують) сотні ГІС різного рівня і різного призначення.

Нами зазначалося (Зацерковний, 2014), що для раціоналізації управлінських процесів в органах виконавчої влади і місцевого самоврядування в розвинутих державах і країнах з перехідною економікою запроваджуються новітні ГІТ, оскільки відомо, що вони можуть широко застосовуватися у практиці управління, відкривають нові можливості при аналізі територіально-прив'язаних даних, пошуку закономірностей їх розподілу, моделюванні та прогнозі ситуацій.

Розвиток передових країн світу переконливо демонструє відсутність альтернативи цієї технології в державному управлінні та самоврядуванні. Проте при запровадженні будь-яких інновацій на державній службі, особливо сучасних технологій управління, виникають певні ускладнення. Це підтверджується проведеним аналізом щодо спроб застосування ГІТ у декількох регіонах і містах нашої країни.

Як свідчить виконаний нами (Зацерковний, 2014) аналіз можливостей ГІТ і основних пріоритетних напрямків природно-ресурсної тематики, ГІС загальнодержавного і регіонального рівнів доцільно орієнтувати на розв’язок задач:

1. оцінки стану природних ресурсів регіону і планування процесів їх раціонального використання;
2. оцінки і прогнозування екологічного стану регіону;
3. оцінки ефективності і прогнозування господарського використання території регіону;
4. розробки рекомендацій щодо забезпечення функцій управління територіальними утвореннями.

5.2. Аналіз проблем впровадження ГІС у систему управління територіями

Незважаючи на величезну затребуваність, процес впровадження ідеології ГІС у СУТ йде дуже повільно і не є простим. Складність впровадження обумовлена необхідністю залучення в нього багатьох підрозділів і фахівців, великими обсягами різнорідної і часто не узгодженої просторової і описової інформації, необхідністю створення або адаптації загальної інформаційної інфраструктури, на базі якої буде діяти ГІС у СУТ.

Питання наповнення баз даних ГІС в Україні стоїть дуже гостро і вирішується дуже повільно. В Україні до сьогодення не вирішена до кінця проблема збору первинних даних для ГІС і не розроблена технологія оновлення даних.

Будь-який проект, що розроблений на районному, міському або регіональному рівні зіштовхується з необхідністю суттєвих витрат зі збору первинних даних. Для більшості користувачів ГІС витрати на збір даних є надзвичайно великими (до 80% витрат), що ставить під сумнів саме існування геоінформаційного проекту.

Друга проблема, яка на сьогодні ще не стала надзвичайно актуальною, але безумовно стане, це відсутність реальних технологій оновлення даних. Треба зазначити, що оновлення даних вимагає суттєвих матеріальних витрат, однак без розвиненої системи оновлення даних будь-яка ГІС буде нежиттєздатна.

Державні структури володіють величезною кількістю інформації на паперових носіях, однак ділитися цією інформацією, а тим більше здійснювати обмін, навіть і не збираються. Тому про Spatial Database Engine[9] (SDE) – технології говорити рано, але прагнути до цього необхідно.

SDE (програмний продукт) – це сервер просторових баз даних, що дозволяє в режимі клієнт-сервер обслуговувати велику кількість користувачів ГІС різного рівня, таких, як ArcView, Arc/Info або додатків, розроблених на базі інструментарію MapObjects. Система орієнтована на спільну роботу зі СКБД Oracle, Informix, Sybase, DB2. Можливе обслуговування просторових баз даних практично необмеженого обсягу в багатокористувацькому режимі як для локальних, так і для віддалених клієнтів (наприклад тих, хто використовує Internet або Intranet). Не вистачає фінансових коштів, що уповільнює реалізацію проектів. Незважаючи на це, процес впровадження ГІТ в практику управління територіями в Україні хоч і дуже повільно, але має місце. При цьому можна виділити два шляхи впровадження ГІС – *еволюційний* і *революційний*.

Геоінформаційні проекти зазвичай коштовні, не обіцяють швидкої економічної віддачі, вимагають корінних змін у свідомості і веденні інформаційних баз, документообігу тощо. Перед усім, треба відзначити

[9] Spatial Database Engine (SDE) – це високоефективний засіб для роботи з великими об’ємами просторових даних. По своїй суті SDE є об’єктно-орієнтованою системою, яка працює з багатьма комерційними реляційними СКБД. SDE забезпечує ГІС реальною відкритою клієнт/серверною архітектурою. За допомогою SDE можна розміщувати і ефективно керувати своїми просторовими даними в стандартній СКБД певного підприємства поряд з іншою непросторовою інформацією. SDE надає потужні інструменти, які можуть бути використані для простого і складного аналізу великих об’ємів просторових даних. Розробники ПЗ можуть також використовувати SDE для розробки спеціалізованих додатків, що забезпечують доступ і можливості маніпулювання різнорідними просторовими даними.

відомчу роз'єднаність. В обласних і міських службах відсутні фахівці потрібної кваліфікації і належна матеріальна база.

Еволюційний шлях відбиває відносно повільне, поступове визрівання потреби до оволодіння ГІТ. Йому передує доволі тривалий і незримий етап накопичення знань про ГІТ, переваги їх використання і перспективи розвитку у фахівців, керівників середньої ланки, керівників установ. Таким чином поступово створюється сприятливий психологічний і професійний фон, готується ”ґрунт” для сприйняття ГІС. Якщо в такій обстановці з'являються ”подвижники” – фахівці в галузі ГІС, що пропонують свої послуги і демонструють можливості ГІТ, то це викликає зацікавленість і пропозиції про співробітництво.

Революційний шлях впровадження ГІТ також вимагає сприятливої інформаційної атмосфери, проте ”подвижники” демонструють можливості і результати впровадження ГІС більш яскраво і масштабно у більш стислі строки.

У першому і другому випадках необхідні дві умови: певний час для виникнення потреби в ГІС і появи ”подвижника” – носія геоінформаційної методології.

Можливий і третій шлях, коли ГІС розробляються у великих академічних і університетських центрах, в містах з наукоємною промисловістю, де є висококласні фахівці і відповідний технічний потенціал.

Аналіз процесів розробки ГІС у ряді регіонів і міст України та країн СНГ демонструє, що сьогодні ГІС в управлінні територіями у повному обсязі ще не створена, а темпи вирішення цієї назрілої проблеми залишають бажати кращого. Так, згідно зі статистичними даними компанії ”AgiSoft” про використання ГІС в країнах Західної, Східної Європи і Росії, Україна займає ”лідируюче” останнє місце (0,8%).

Втім, кількість тут не є головним чинником, куди важливіше якість впроваджуваних проектів. Адже від нього залежить віддача від використання системи і, як наслідок, бажання замовника підтримувати і розвивати її.

Більша частина користувачів винятково пов'язують ГІС зі створенням карт, і тільки невелика група користувачів ГІС знає про їх потужні можливості у плані проведення різних міждисциплінарних досліджень з наочною просторовою візуалізацією результатів. Розвиток ГІС до цього часу здебільшого ведеться на рівні окремих підсистем, причому без орієнтації на їх подальшу інтеграцію. Причин такого стану справ декілька.

Першою причиною є відсутність координованих дій у сфері розвитку ГІС на державному рівні у розрізі створення ГІС в управлінні територіями, які б враховували інтереси усіх організацій і осіб, що займаються виробництвом, накопиченням, розповсюдженням і використанням цифрових геоданих, стримує потік інвестицій, не дозволяє досягти прийнятного рівня інформаційного забезпечення різноманітних задач геоінформаційної підтримки прийняття рішень в процесі управління територіями.

Ініціатором може бути не держава, але регулюючі функції повинні бути саме державними. Координація дій є необхідною умовою створення ГІС в управлінні територіями, оскільки такий проект за визначенням є розподіленою системою, складною за організацією як технологій, так і інформаційних потоків між учасниками. Оптимізація процесів збору, обробки та надання інформації з метою підвищення їх економічної ефективності можлива лише після усунення паралелізму в роботах, чіткого розподілу ролей та повноважень між учасниками ГІС в управлінні територіями.

Для успішного впровадження та функціонування ГІС на рівні області має бути створена чітка схема міжвідомчої взаємодії між різними службами та відомствами області, яка враховувала б взаємні інтереси сторін. Крім того, необхідне розуміння, що лише спільна робота та зацікавленість може бути основою для впровадження ГІС та прийняття ефективних рішень на базі використання комплексної інформації системи ГІС.

Друга причина пов'язана з недостатнім цільовим фінансуванням створення ГІС. Застосування ІТ, а особливо ГІТ, в обласних державних адміністраціях (ОДА) підвищить якість управлінських рішень, що дасть значний економічний ефект.

Проте для того, щоб відчути цей ефект, необхідно вкласти певні кошти на впровадження технологій. Як свідчить досвід країн східної Європи, термін окупності капіталовкладень на впровадження ГІС, напряму залежить від розміру стартових витрат.

Ситуація на даний період часу характеризується тим, що з одного боку, вкрай мало фінансуються розробки базового характеру, а саме створення базових ІР комунальної власності, з іншого, витрачаються сотні тисяч гривень на вирішення тих же задач у масштабах окремих відомств.

Крім того, висока вартість ПЗ і обладнання, дефіцит спеціально підготовленого персоналу істотно ускладнюють розв’язок задачі впровадження ГІТ в СУТ. Сьогодні в регіонах відсутній універсальний інструментарій, який забезпечив би науково обґрунтовані, уніфіковані підходи до створення оперативних, управлінських, моніторингових, облікових, науково-дослідних, господарських систем, розрахованих на певний професійний і інтелектуальний рівень, як для проектування, так і для експлуатації, таких, щоб базувались на єдиній інформаційній базі з максимальним використанням. Застосування ГІС забезпечує високий рівень оберненості засобів, витрачених на отримання, оптимальну структуризацію, аналіз і візуалізацію вихідних даних.

Третьою причиною є проблема неповноти, невірогідності і неактуальності наявних даних, відсутність у регіоні єдиної цифрової картоснови, яка могла б задовольнити потреби всіх учасників ГІС.

Першою частиною даної проблеми є єдність цифрової картоснови. Проблема полягає в тому, що відомчі ІС учасників ГІС в управлінні територіями використовують різні картоснови, отримані від різних

постачальників. Досить часто ці картоснови не забезпечують необхідної точності визначення планового положення. В організаціях, які не мають можливості роботи з закритими матеріалами, робота взагалі ведеться на туристичних схемах. Навіть при виконанні більш-менш якісного сканування та прив'язки, отримані різними організаціями топоматеріали виявляються не сумісними за плановим положенням об'єктів. Такий стан справ робить неможливим обмін електронними копіями графічних документів та інтеграцію галузевих ГІС до ГІС в управлінні територіями.

Другою частиною проблеми є специфічність вимог ГІС в управлінні територіями до цифрової картоснови. В такій картооснові акцент зміщується з галузі топографії в галузь ІС і кадастрового обліку, а значимість суто просторової інформації знижується.

Для ГІС в управлінні територіями в першу чергу важливою є точність планового положення і конфігурації об'єктів незалежно від масштабу вихідного матеріалу, тому застосування картографічних прийомів щодо поліпшення зчитуваності та наочності карт шляхом переміщення умовних позначень (об'єктів) карти неприпустиме. Такі прийоми можуть застосовуватись лише при оформленні оглядових схем. Точність цифрової картоснови повинна відповідати точності технічного обліку об'єктів нерухомості. Причому, для більшості проєктів наявність на картоснові ізоліній рельєфу, пунктів планової та висотної геодезичної мережі, координатних сіток та інших умовних позначень, що зумовлюють закритість даних, не є обов'язковою. Набагато більше значення мають атрибути адресної прив'язки: назви вулиць, номери будинків, наявність зв'язку з базою даних адрес.

Розробка специфічної кадастрової картоснови, яка б включала метричну інформацію достатньої точності про будинки та елементи вулично-шляхової мережі, може допомогти у вирішенні четвертої проблеми, яка пов'язана з режимними обмеженнями на використання топографічних матеріалів. Організації, що не пов'язані з використанням у своїй діяльності закритих матеріалів і не мають відповідного діловодства, зазвичай не йдуть на організацію коштовних робочих місць та систем технічного захисту інформації. Для розв’язання своїх вузьковідомчих задач вони використовують відкриті картоснови низької точності, втрачаючи при цьому перспективи, що дає інтеграція локальних ІС до єдиної ГІС в управлінні територіями.

Використання закритих топоооснов створює парадоксальну ситуацію, коли дані, що за визначенням повинні бути загальнодоступними (наприклад дані містобудівного кадастру щодо регламентів використання території), мають гриф таємно або, у кращому випадку, для службового користування.

П'ятою причиною є бажання організацій, що мають реально працюючі ІС, захистити свої комерційні інтереси. Бажання є законним і потребує доопрацювання діючої нормативної бази у плані захисту авторських та майнових прав на інформаційний продукт. У той же час, для ІР, що виконані (ведуться) за кошти міської громади (фінансуються з бюджету) та складають

комунальну власність, повинно діяти правило обов'язкового надання даних ІР в користування за ціною, що покриває витрати на копіювання та технічну підтримку.

Крім того, потребують визначення засади, на яких буде надаватись інформація, що є власністю учасників ГІС в управлінні територіями.

Шоста причина – проблема програмного забезпечення. Часто комунальним службам та організаціям нав'язуються комплексні програмні рішення. В таких умовах вартість систем часто виявляється неадекватною реальній віддачі від їх впровадження.

Для розв’язку кожної задачі доцільно підбирати інструментальні засоби, оптимальні з технологічної і економічної точок зору.

При створенні ГІС в управлінні територіями потрібно передбачати використання учасниками різного програмного забезпечення. Не повинно бути ніякого адміністративного тиску. Інтеграційна складова ресурсів ГІС в управлінні територіями повинна виражатись лише в обов'язковому застосуванні встановлених базових ІР, протоколів та форматів обміну даними.

Сьома причина – непідготовленість кадрів організацій, що приймають участь у створенні ГІС та окремих її компонент. Керівництво підприємств зазвичай не пов'язує зростання ефективності основного виробництва з впровадженням інформаційних технологій. Інші проблеми можна вважати наслідками нерозв'язаності цієї, тому що при наявності бажанні керівництва можна знайти і фінансові кошти, і кадри, і технічне забезпечення.

Впровадження ІТ вимагає досить серйозної підготовки як загальнометодологічної, так і суто технічної. Різний рівень, інтереси, можливості і технологічна політика розвитку ГІТ в галузевих міністерствах і відомствах, корпораціях призводить до формування відомчих (галузевих) вимог до підготовки фахівців, ускладнюючи, тим самим, розробку і стандартизацію єдиної базової системи безперервної і професійної геоінформаційної освіти.

Слабким ланцюгом є рівень підготовки професійних кадрів, які займаються територіальним управлінням, тобто там, де використання ГІС вкрай необхідно – губернаторів, мерів, голів місцевого самоврядування і безпосередньо підпорядкованих їм служб у галузі ГІТ.

Це може привести до ”небезпечної” хвороби – своєрідної ”ГІСофобії”, для якої характерним є стан, при якому ГІС здаються надзвичайно складним незрозумілим і коштовним продуктом, а фахівці, що займаються геоінформатикою – вузькопрофесійними і відірваними від реальних проблем фахівцями, що викликає гостре неприйняття і небажання навіть обговорювати геоінформаційну тематику.

Більшість учасників ГІС в управлінні територіями – комунальні структури з низьким (за мірками підприємств, що працюють з інформаційними технологіями) рівнем оплати праці. Кваліфіковані спеціалісти, які принципово здатні оживити процес, у таких структурах не

затримуються. Це відноситься не тільки до рядових виконавців, програмістів та інженерів, але й до керівних кадрів.

Хронічно слабка забезпеченість навчально-методичними матеріалами (підручниками, довідниками, посібниками тощо) стала в даний час критичною і може стати для нашої країни взагалі непереборною проблемою.

Поки що надто слабка нормативно-правова база впровадження і використання ГІС в управлінні територіями. В умовах нормативного вакууму та відсутності типових рішень з побудови ГІС доцільним здається використання колективного обговорення проблем спеціалістами, що мають досвід реального впровадження ІС міського або відомчого рівня. Для участі у вирішенні вказаних питань доцільно залучати провідних спеціалістів з галузі інформатизації, з обл- та міськархітектури (топографо-геодезичне управління, відділ містобудівного кадастру), міськзему (Центр Державного земельного кадастру), міськпроекту, БТІ, облстатуправління та міськстатуправління, комітету (управління) по пресі та інформатизації, управління благоустрою, відповідних депутатських комісій, районних адміністрацій, управління НПС, санепідемстанції, управління соціального захисту, експлуатуючих підприємств та служб (обл- та міськенерго, міськводоканал тощо).

Але першочерговою задачею є розробка економічного обґрунтування доцільності створення ГІС в управлінні територіями.

Восьма причина – ГІС, як і будь-яка складна система, не застрахована від збоїв у роботі. Оскільки це може привести до помилок в аналізі ситуацій, то обов’язково потрібно розробити механізм інформування інших користувачів ГІС, а також її розробників. Зазвичай, проблеми виникають у зв’язку зі збором даних на конкретній території; з визначенням формату даних; з уведенням даних в ГІС; з підтримкою високої якості даних; з підключенням ГІС до СППР.

Дев’ятою причиною є інерція, консерватизм, які втім, цілком зрозумілі.

Бо створення не просто комп’ютерів, а реальних, з необхідним відгуком і тривимірною візуалізацією систем автоматизованого проектування і ГІС відбулося, за суттю, відносно недавно. До цього вести мову про симбіоз проектувальника або управлінця і комп'ютера, про синергетичний ефект від їх взаємодії можна було досить умовно.

Більшість структур, де використання ГІТ є вигідною і перспективною справою, залишаються або не охопленими, або в них впроваджуються окремі рудиментарні функції ГІС, які забезпечують розв’язок вузького кола задач, зазвичай візуалізації електронних карт. Спостерігається серйозна нестача владного бажання, а не інформації.

Для того, щоб ефективно керувати територіальними утвореннями в сучасних умовах, потрібно знати все про майнові і природні територіальні ресурси. Потрібна їх інвентаризація. А як її провести, коли нема звідки взяти первинну інформацію про майно, про природні ресурси?

Впровадження ГІС ускладнюється здебільшого не через нерозуміння їх важливості, наприклад для створення територіальних кадастрів. Навпаки, воно штучно гальмується через ясне уявлення чиновника про те, що ”світле завтра” для може для нього й не настати. Оскільки зрозуміло, якщо сьогодні впровадити ефективну інформаційну систему, то завтра комп'ютер буде автоматично видавати довідки і реєструвати документи – а це прямий шлях до скасування бюрократичної мафії, яка щільно засіла на різних ешелонах влади.

Перераховані основні причини стримують розвиток ГІС, однак це не означає, що вони не можуть бути подолані. Усунення або навіть часткове вирішення цих проблем стане каталізатором впровадження ГІС у СУТ. Вкладаючи кошти у створення ГІС, ми тим самим допомагаємо собі. Врешті-решт і вигоди держави, і територіальних громад, і пересічних платників податків будуть істотними – це економія часу, коштів, боротьба з бюрократією, захист майна, прийняття обґрунтованих ефективних рішень і багато інших благ. У масштабі ж держави йдеться про оптимізацію територіального планування, розвитку інфраструктури, економії бюджетних коштів тощо.

5.3. Технологічні проблеми впровадження ГІС у систему управління територіями

5.3.1. Проблема збереження просторових даних

Під час розробки ГІС у СУТ, одним із основних питань є вибір методики та способу збереження та обробки даних. Вибір способу організації даних ГІС має величезне значення, оскільки безпосередньо визначає:

– функціональні можливості створюваної ГІС;

– придатність тих чи інших технологій отримання та введення даних;

– просторову точність подання графічної частини інформації;

– можливість отримання якісного картографічного матеріалу;

– організацію контролю карт.

– швидкодію системи під час виконання обчислень, отримання або перетворення даних та візуалізації на екрані.

Складність даної проблеми полягає в обсягах даних, з якими доведеться оперувати; бо мова йде не про сотню або тисячу просторових об'єктів, а про сотні тисяч і навіть мільйони. Зрозуміло, що не можна підійди до розв'язку цієї проблеми спрощено: завести лінійний список об'єктів, при запуску програм завантажувати весь цей список в оперативно-запам’ятовуючий пристрій (ОЗП), а при збереженні записувати список з пам'яті комп'ютера на жорсткий диск. При нестачі обчислювальних ресурсів (продуктивність процесора, об'єм оперативної пам'яті), що завжди має місце в ГІС, необхідно застосувати доволі

витончені структури даних і реалізувати ефективні способи маніпулювання великими об'ємами даних з урахуванням їх розміщення на всіх рівнях ієрархії комп'ютерної пам'яті. Нагадаємо, що реляційна модель погано підходить для ефективного маніпулювання просторовими даними.

Розглянемо декілька варіантів організації зберігання просторових даних (Байрак, 2007).

Увесь простір території що картографується розбивається рівномірно на однакові прямокутні сектора (рис. 5.2).

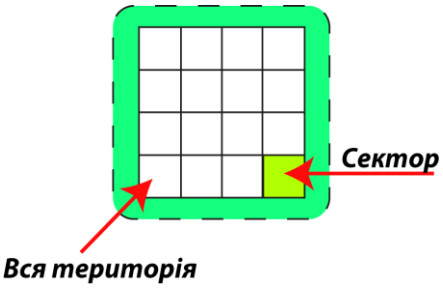


Рис. 5.2. *Розбивка простору картографування на прямокутні сектори*

З кожним сектором пов'язується блок даних, який описує межі сектора і який зберігає дві таблиці об'єктів (рис. 5.3).

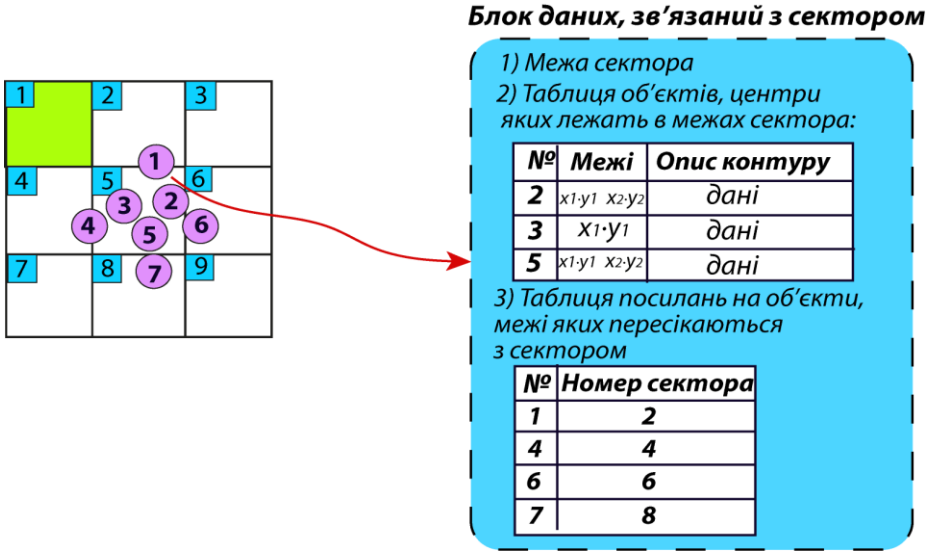


Рис.5.3. *Пов'язування об'єктів карти з табличними даними*

Така організація збереження даних дозволяє швидко визначати список секторів, для яких необхідно завантажити блоки даних. Проте, недоліком цього підходу є унеможливлення визначення ефективної розбивки території на сектори при відсутності інформації про те, скільки просторових об'єктів буде на карті і де вони будуть розташовуватися. Крім того, запропонована схема суттєво зменшує свою ефективність при нерівномірному розподілі (скупченості) просторових об'єктів.

Для усунення зазначених недоліків доцільно використовувати іншу організацію збереження даних.

Як правило, всі дані розмежовані та утворюють рівні, які в свою чергу утворюють ієрархію, яку можна класифікувати та виділити, як окремі частини ГІС. У відповідності з таким підходом територія не розбивається на однакові сектори (Байрак, 2007).

На початку, коли на карті немає жодного просторового об'єкта, існує усього один сектор, межі якого повністю співпадають з межами території. З цим сектором пов'язаний блок даних, що містить опис меж секторами і список об'єктів, межі яких повністю лежать в межах сектора.

По мірі додавання об'єктів у сектор і при досягненні певної критичної кількості об'єктів відбувається розбивка сектора на чотири однакових під сектори (рис. 5.4) (Байрак, 2007).

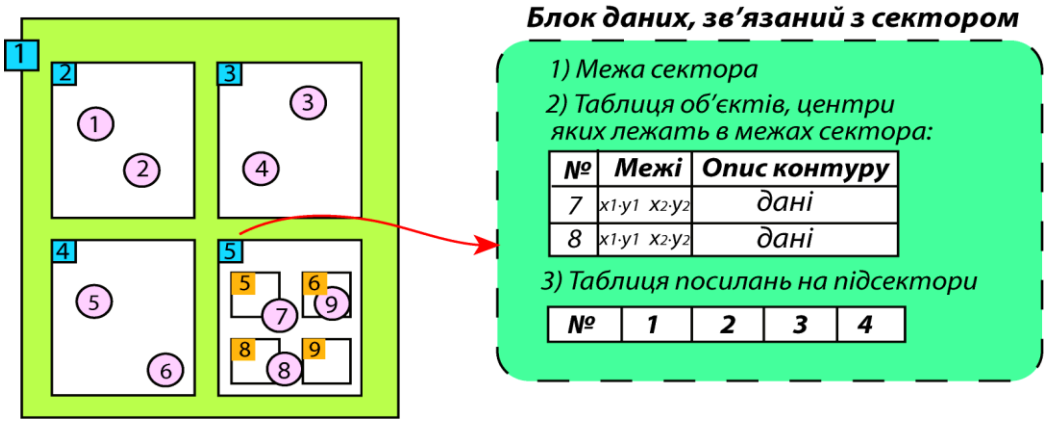


Рис. 5.4. *Формування ієрархії вкладених секторів*

При цьому об'єкти, контури яких цілком лежать у межах одного з підсекторів, переміщуються до блоку даних цього підсектора. Об'єкти, що лежать на межах підсекторів, залишаються у блоці даних батьківського сектора. Застосовуючи описаний механізм до підсекторів, одержуємо ієрархію вкладених секторів, з кожним з яких пов'язана відносно невелика кількість об'єктів.

Для визначення місцезнаходження об'єкта за його номером необхідна таблиця, що складається з двох стовпців: ”номер об'єкта”, ”номер сектора”.

Підхід, описаний в цьому способі збереження даних (Зацерковний, 2011), ураховує нерівномірність розподілу об'єктів по території і дозволяє зберігати об'єкти відносно невеликими порціями, завантажуючи списки об'єктів тільки для потрібних секторів. Крім того, можна скласти ефективний алгоритм відбору об'єктів за заданою прямокутною областю, поступово відсікаючи сектора, що не містять потрібну область.

5.3.2. Робота ГІС в мережі

Оскільки більшість прикладних ГІС призначені не для домашнього використання, а для роботи у великих організаціях і установах, колективам яких необхідно оперативно обробляти великі обсяги просторової інформації то в такій ситуації ГІС у СУТ повинна забезпечувати можливість роботи з одним набором геоданих декількох користувачів в межах локальної комп'ютерної мережі. Задачу ускладнює той факт, що необхідно провадити не тільки перегляд інформації, а й спільне, найчастіше одночасне внесення змін у базу просторових даних.

При роботі ГІС у мережі найчастіше виникають проблеми при:

– внесенні змін у бази даних з боку декількох клієнтів, що може спричинити порушення цілісності СКБД;

– приведенні в актуальний стан інформації, розміщеної в оперативній пам'яті клієнтської програми. Для цього необхідно передбачити систему оповіщення клієнтів про зміни, що вносяться у загальні дані з боку одного з клієнтів;

– уведенні блокування одночасної зміни одного інформаційного об'єкта з боку декількох клієнтів;

– створенні нових об'єктів, оскільки потребується генерація унікальних ідентифікаторів незалежно від того, який клієнт ініціював створення об'єкта.

Вирішити ці проблеми допомагає застосування технології ”клієнт–сервер”. Усі перераховані задачі бере на себе спеціальний додаток сервера просторових даних. Клієнтські ж додатки використовують спільні дані за допомогою звертань до додатку сервера.

В ОС Windows для використання технології ”клієнт–сервер” найзручніше усього використовувати штатний для цієї операційної системи механізм DCOM (Distributed Component Object Model), який є мережевим розширенням технології COM (Component Object Model). Додаток, побудований у відповідності з принципами COM, надає доступ до своїх функцій в вигляді набору інтерфейсів (інтерфейсом в COM називається таблиця, що містить адреси функцій). DCOM дозволяє спілкуватися додаткам не тільки в межах одного комп'ютера, а й в межах локальної комп'ютерної мережі. Загальна структура сервера даних ГІС і схема взаємодії клієнтів з сервером представлена на рис. 5.5 (Волков, 2011).

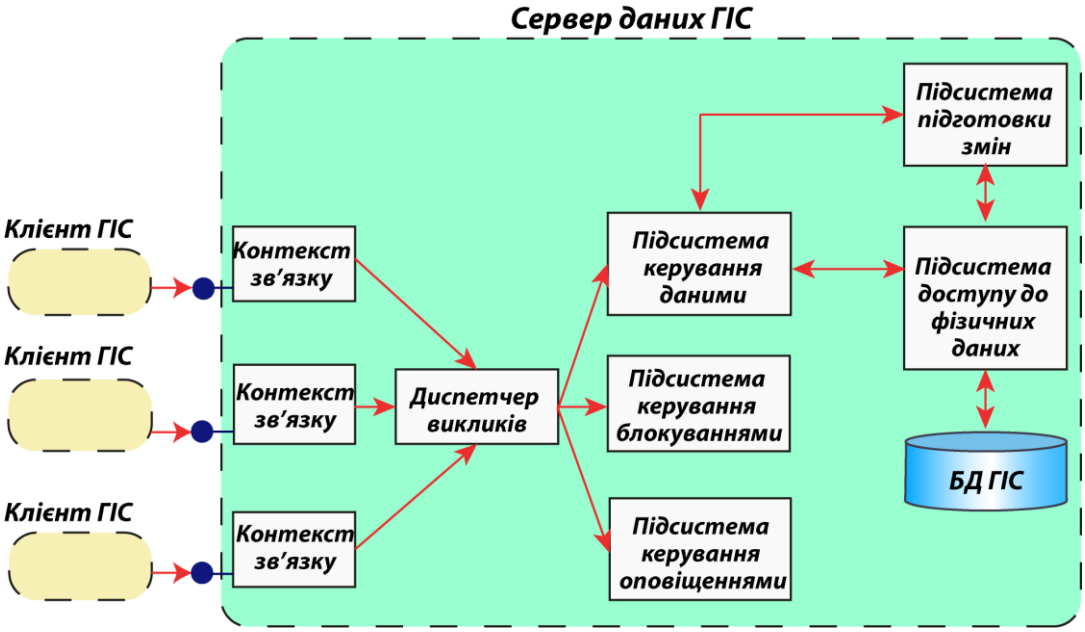


Рис. 5.5. *Загальна структура сервера даних ГІС і схема взаємодії клієнтів з сервером*

Контекст зв'язку для забезпечення взаємодії клієнта з сервером і збереження інформації, специфічної для конкретного клієнта представлений на рис. 5.6.

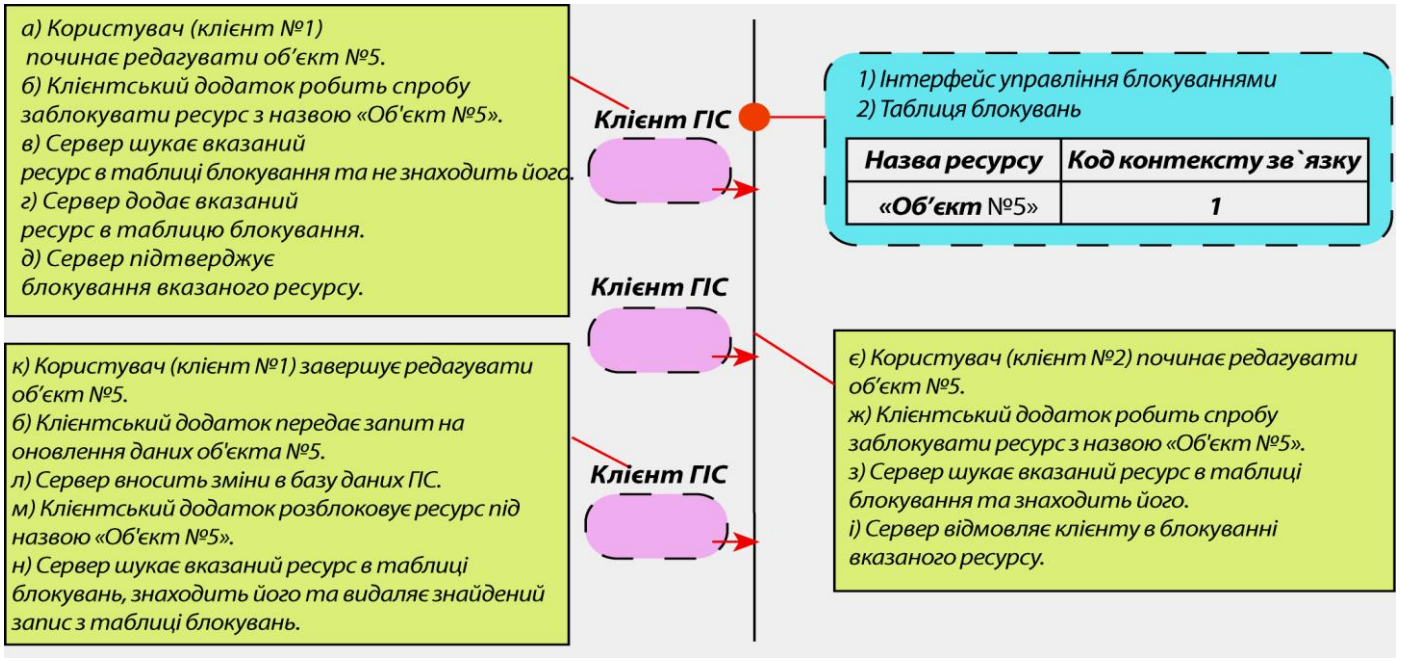
Диспетчер викликів забезпечує синхронізацію викликів функцій сервера з боку клієнтів (постановку в чергу одночасних викликів з боку декількох клієнтів) (Зацерковний, 2011).

Підсистема керування даними обробляє запити клієнтів на одержання і внесення змін у просторові дані.

Підсистема підготовки змін перетворює високорівневі запити (зміна контуру об'єкта) в низькорівневі операції зміни фізичних даних (записати блок даних сектора *N*) і поміщає їх у вхідну чергу підсистеми доступу до фізичних даних, яка в фоновому режимі вносить зміни в фізичні дані.

Підсистема блокувань призначена для запобігання одночасного внесення змін в один об'єкт з боку декількох клієнтів (рис. 5.7) (Волков, 2011).

Підсистема оповіщень призначена для синхронізації оперативних даних, які є копією загальних даних і які використовуються в клієнтських додатках для підвищення продуктивності (кешування).



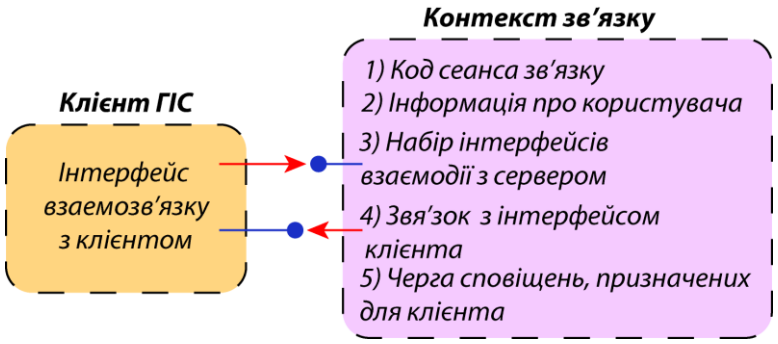


Рис. 5.6. *Контекст зв'язку для забезпечення взаємодії клієнта з сервером і збереження інформації, специфічної для конкретного клієнта*

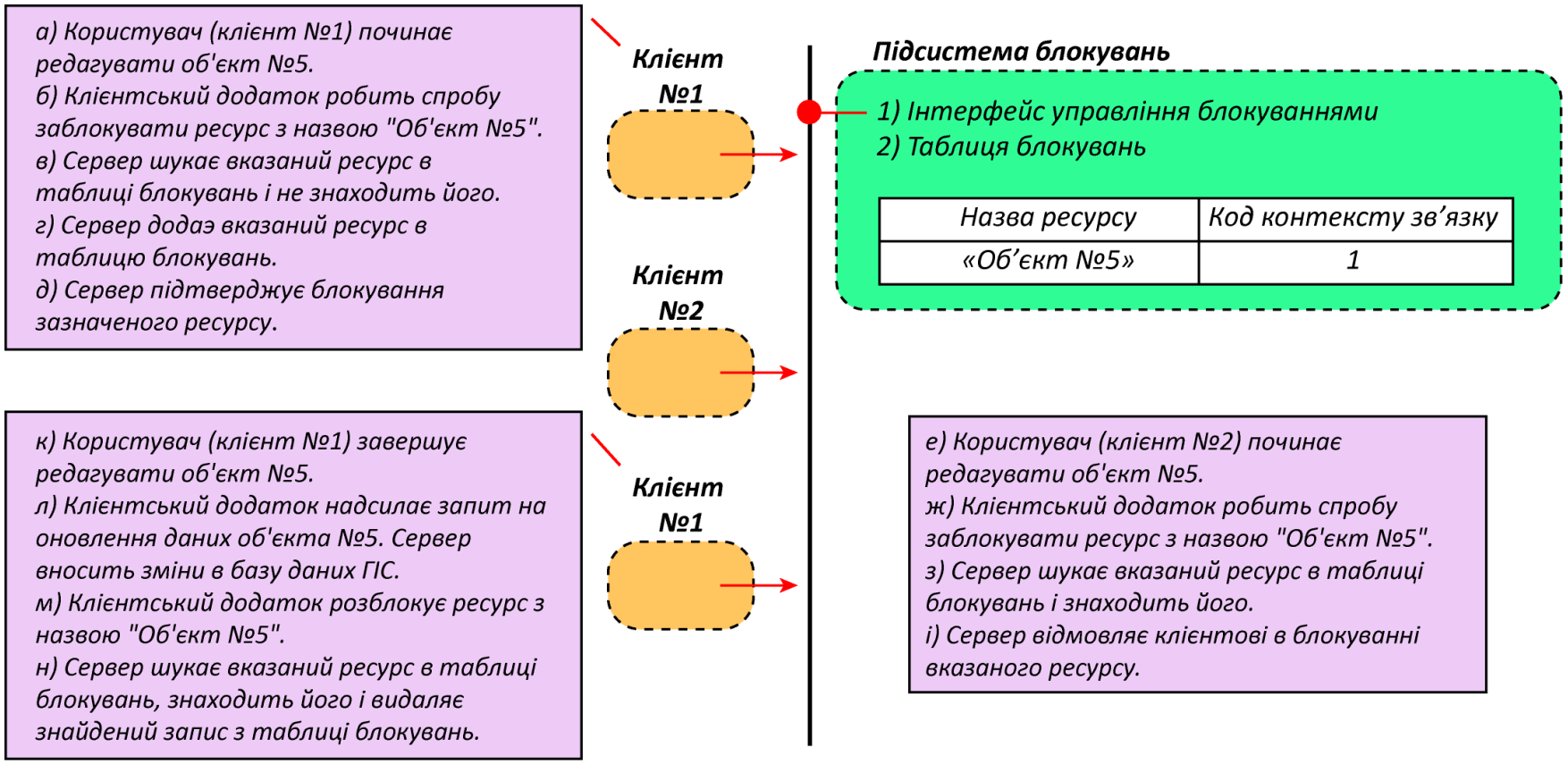


Рис. 5.7. *Підсистема блокування*

Система оповіщень функціонує згідно такого сценарію (Волков, 2011):

1) один з клієнтів посилає на сервер запит на внесення змін у загальні дані (рис. 5.8 *а*);

1) сервер провадить необхідні зміни в даних (рис. 5.8 *б*);

2) після внесення змін сервер формує пакет оповіщень (протокол змін) і поміщає копію пакета в чергу оповіщень кожного контексту зв'язку(рис. 5.8 *в*);

3) сервер сповіщає кожного клієнта про надходження оповіщень за допомогою функцій інтерфейсу взаємодії з клієнтом (рис. 5.8 *г*);

4) кожний клієнт одержує від сервера пакети оповіщень, що зберігаються в черзі оповіщень в контексті зв'язку (при одержанні пакетів оповіщень сервер автоматично видаляє їх з черги) (рис. 5.8 *д*);

5) кожний клієнт обробляє отримані оповіщення, приводячи в актуальний стан свої оперативні дані (рис. 5.8 *е*).

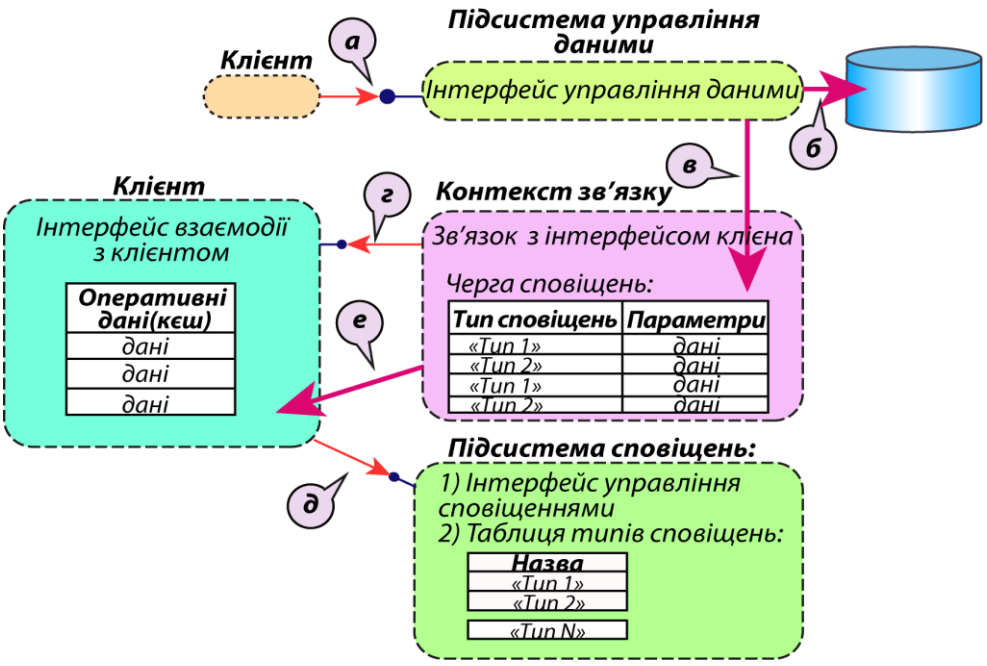


Рис. 5.8. *Підсистема оповіщень*

Необхідно зауважити, що система оповіщень може використовуватися не тільки для оновлення оперативних даних, а й для потреб адміністратора ГІС. Так, наприклад, деякі оповіщення можуть мати керуючий характер і використовуватися для автоматичного завершення роботи всіх клієнтів, приєднаних у даний момент до серверу даних або ж для розсилання візуальних повідомлень від адміністратора до користувачів ГІС (Волков, 2011).

5.3.3. Розподілені ГІС

При розв'язку геоінформаційних задач масштабу регіону виникає необхідність забезпечити доступ до загальних просторових і семантичних даних різних відомств і служб. Проблема ускладнюється тим, що зміни, які вносяться в загальні дані з боку однієї з організацій, повинні стати доступними для всіх інших зацікавлених організацій певного територіального утворення.

Оскільки малоймовірна наявність локальної комп'ютерної мережі між усіма територіальними службами, то розроблювальна ГІС повинна включати функції тиражування змін, які вносяться в загальні дані, між усіма зацікавленими суб'єктами. Інструментальна ГІС повинна забезпечувати процедуру опису структури розподілених даних (рис. 5.9) (Волков, 2011).

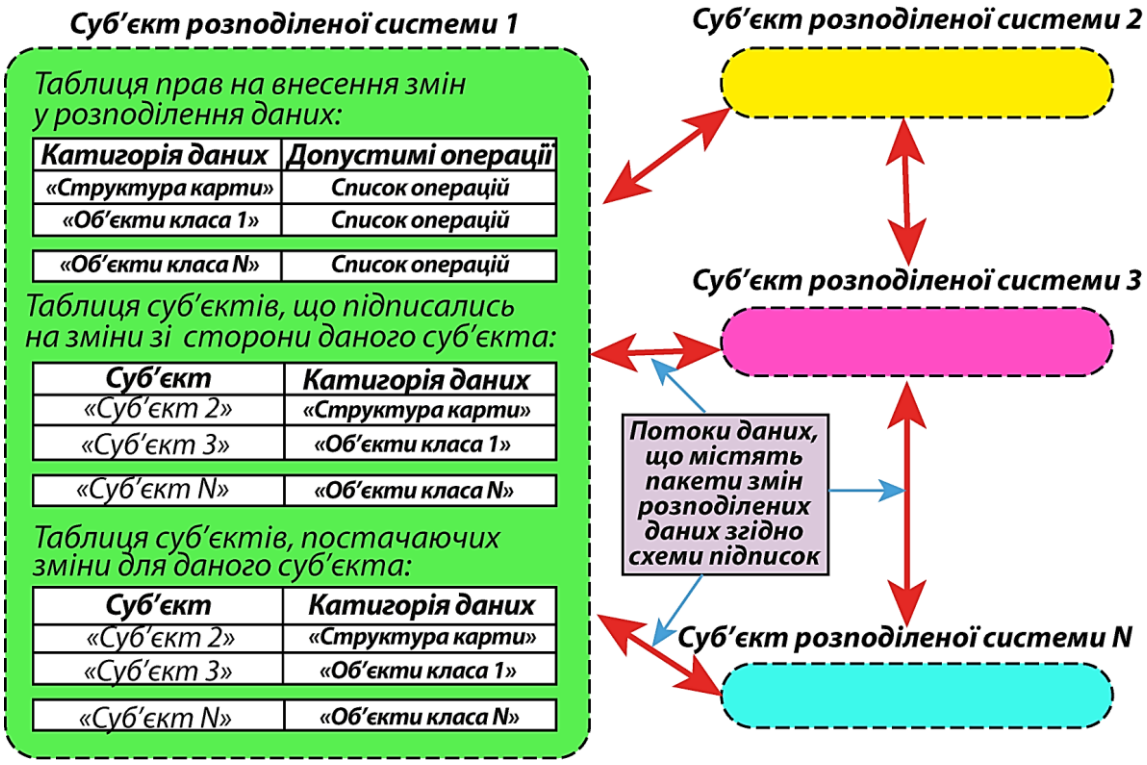


Рис. 5.9. *Опис структури розподілених даних*

Після визначення структури розподілених даних в процесі роботи з даними, програмне забезпечення ГІС автоматично формує пакети змін для всіх суб'єктів розподіленої системи (рис. 5.10 *а*). За допомогою спеціальних утиліт ГІС відбувається обмін пакетами змін між суб'єктами розподіленої системи (рис. 5.10 *б*) (Волков, 2011).

Однією з ключових проблем розподілених систем є генерація унікальних ідентифікаторів для нових об'єктів (Волков, 2011).

Розв'язати цю проблему може допомогти спеціальний механізм ідентифікації об'єктів у розподіленому середовищі.

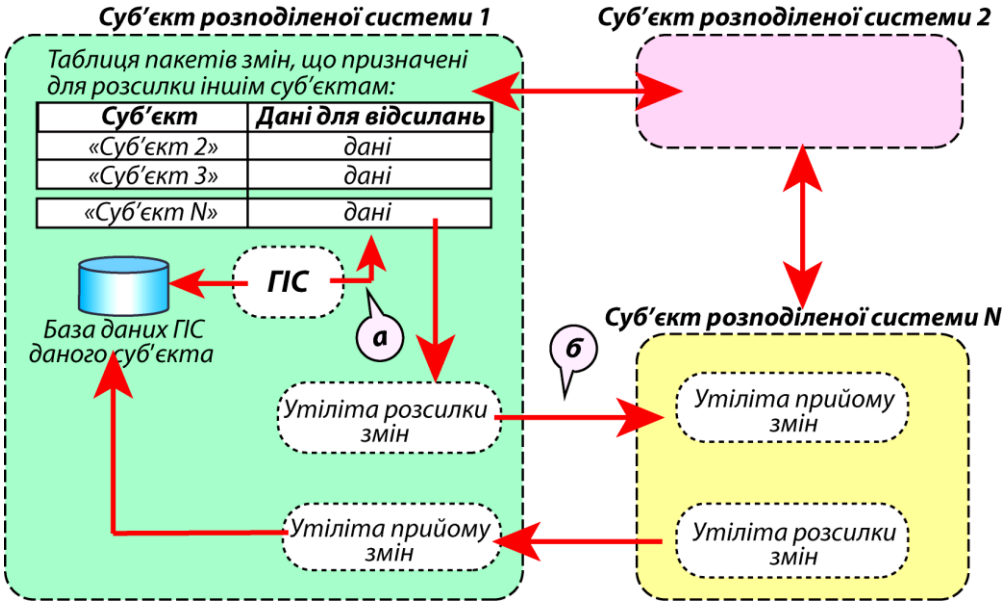


Рис. 5.10. *Формування пакетів змін для суб'єктів розподіленої системи*

Уся множина ідентифікаторів поділяється на групи ідентифікаторів, кожній з яких присвоюється глобальний унікальний ідентифікатор ГУІД (генерацію таких ідентифікаторів забезпечують штатні функції операційної системи Windows).

Будь-яка база даних ГІС супроводжується таблицею груп ідентифікаторів, елементи яких використовуються в базі даних (рис. 5.11 *а*) (Волков, 2011).

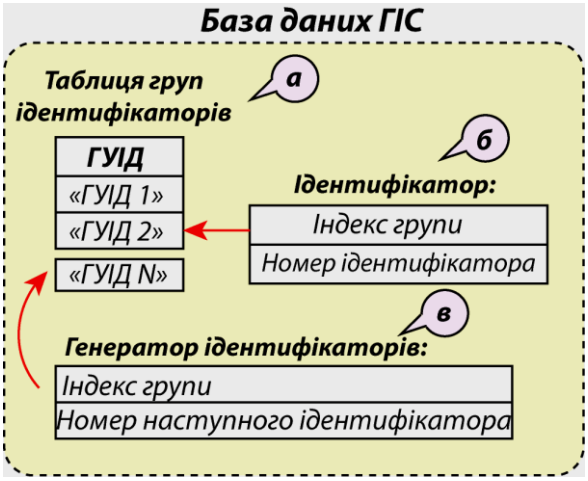


Рис. 5.11. *Таблиця груп ідентифікаторів*

Ідентифікатори об'єктів складаються з двох частин: індексу групи ідентифікаторів і номера ідентифікатора в межах групи (рис. 5.11 *б*). Одна з груп ідентифікаторів бази даних використовується для генерації нових ідентифікаторів (рис. 5.11 *в*). При переповненні номерів ідентифікаторів в межах цієї групи, система створює нову групу ідентифікаторів з новим ГУІД і скидає номер об'єкта в межах групи в початковий стан. З цього моменту створена група використовується для генерації нових ідентифікаторів.

При обміні даними між базами даних усі пакети, призначені для обміну інформацією, обов'язково супроводжуються таблицями груп ідентифікаторів (рис. 5.12*а*) (Волков, 2011).

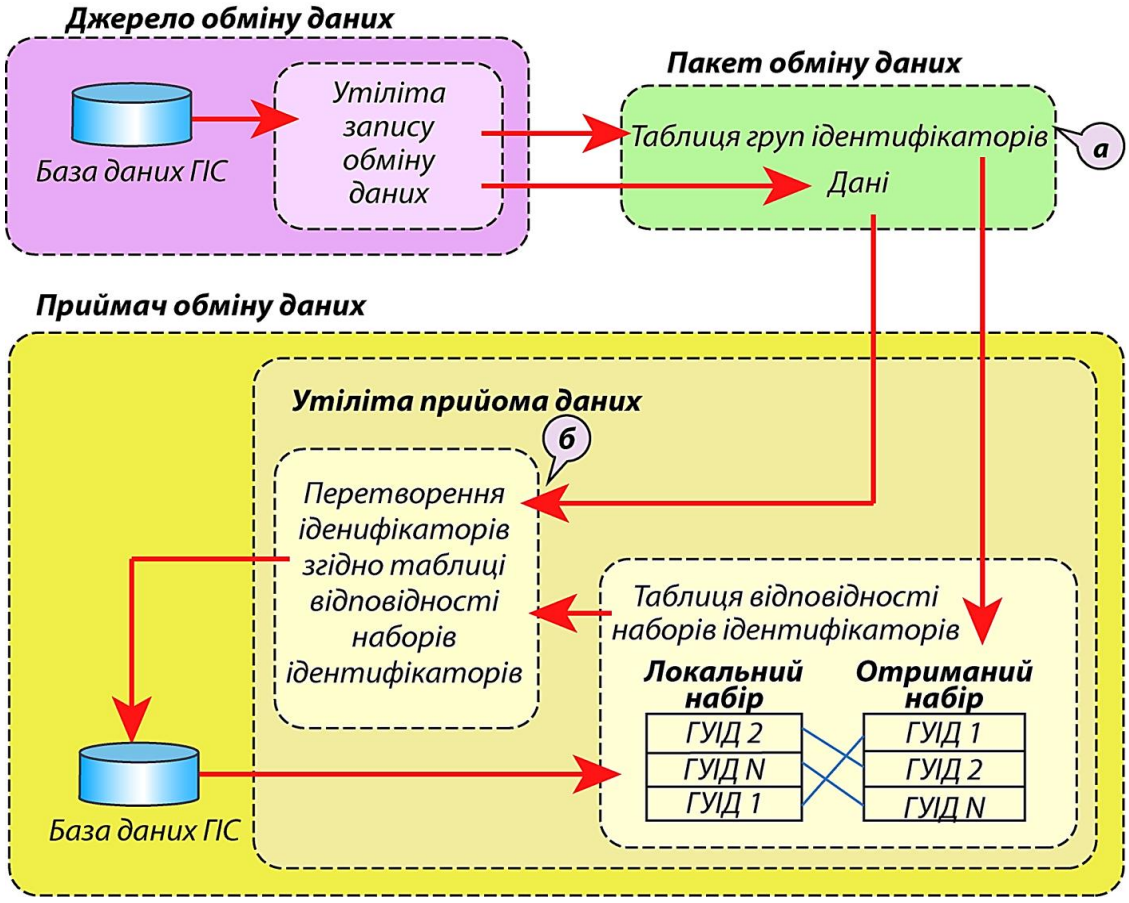


Рис. 5.12. *Обмін даними*

Ця інформація використовується утилітами прийому обмінних даних для коректного перетворення ідентифікаторів (рис. 5.12 *б*), необхідного при переносі з однієї бази даних в іншу. Описаний підхід дозволяє застосовувати для ідентифікації об'єктів достатньо компактні, але унікальні ідентифікатори (Зацерковний, 2011).

5.3.4. Розширюваність ГІС

Розробники універсальних ГІС розуміють, що на базі їх системи будуть створюватися великі прикладні системи, де ГІС буде існувати як одна з багатьох компонент. Для того, щоб це було можливо, необхідно заздалегідь продумати, яким чином майбутні прикладні системи стануть взаємодіяти з проектованою інструментальною ГІС загального призначення.

Зробити систему відкритою і яку можна було б легко адаптувати до розв'язку прикладних задач можна, застосувавши такі підходи:

1) механізм вбудовування модулів розширення в ГІС (рис. 5.13 *а*);

2) інтерфейс прикладного програмування, який забезпечує доступ до ключових функцій і об'єктів ГІС з боку зовнішніх додатків (рис. 5.13*б*);

3) набір універсальних елементів керування для вбудовування функціональності ГІС в інші додатки (рис. 5.13 *в*);

4) набір елементів ActiveX або класів мови Java для вбудовування функцій ГІС у прикладні системи, що проектуються за технологією Internet/Intranet (рис. 5. 13 *г*) (Волков, 2011).

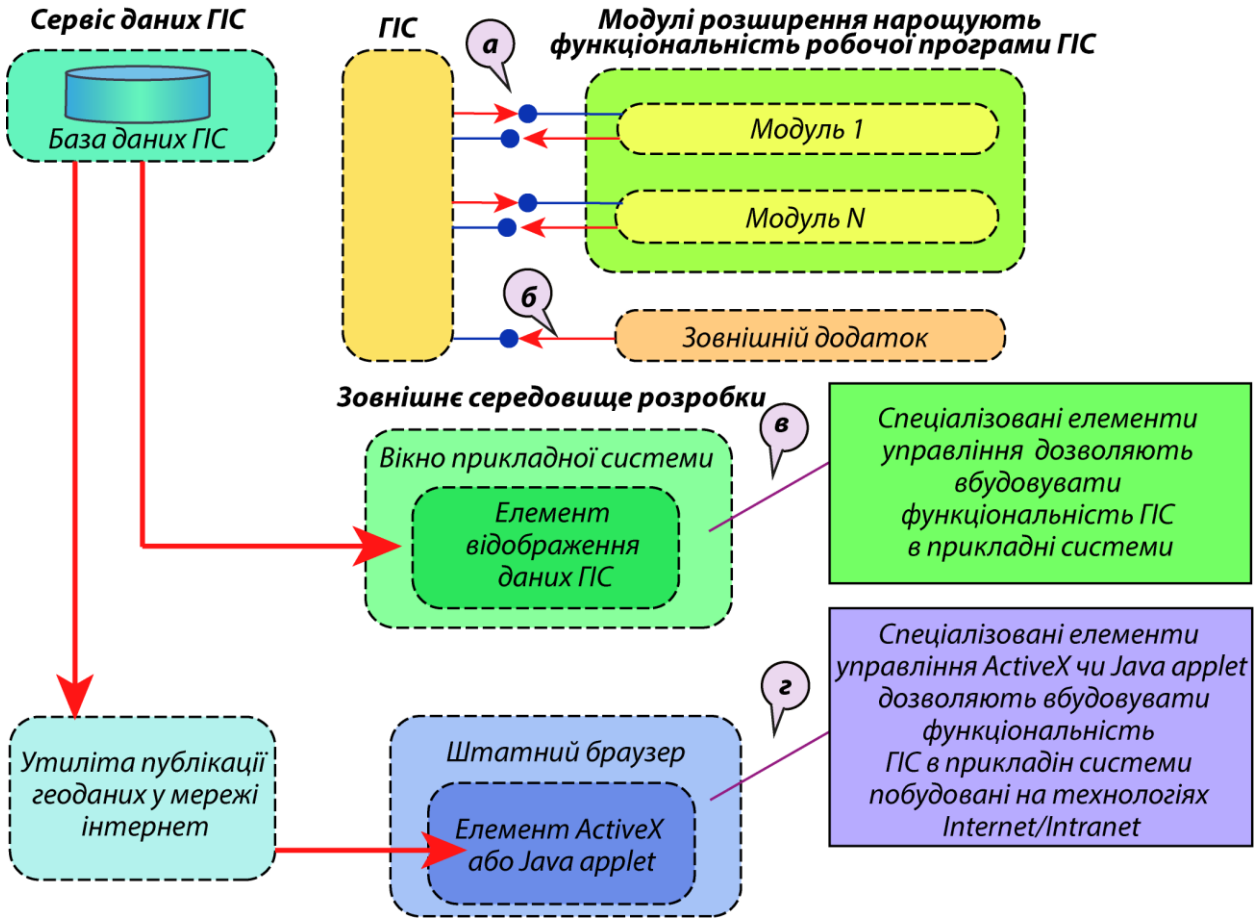


Рис. 5.13. *Підходи щодо адаптування ГІС до розв'язку прикладних задач*

6. РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ ГІС ДЛЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

Є таке тверде правило.
Встав зранку, умився, привів себе в порядок –
і відразу ж приведи в порядок свою планету.
Антуан-де Сент-Екзюпері

Для сталого розвитку економіки і інфраструктури територіальних утворень, ефективного управління їх фондами і ресурсами, необхідна комплексна багатоаспектна інформація, яка б дозволяла оперативно приймати ефективні рішення і прогнозувати шляхи оптимального розвитку території.

Існуючі сьогодні галузеві і відомчі елементи інформаційних систем програмно і технічно несумісні, інформація, що міститься в них найчастіше дублюється, доступ до них територіальних структур управління обмежений. Інформаційне забезпечення структур управління зводиться головним чином до створення баз даних на підставі документів, що надходять до адміністрації і обміну інформацією між органами влади різних рівнів. Усе це реалізовано на базі локальних обчислювальних мереж, не пов'язаних між собою. Перекидання файлів здійснюється в текстовому вигляді за допомогою модемів. При цьому виникає багато проблем, зокрема і проблема захисту інформації.

6.1. Мета створення ГІС для системи управління територіями

Концепція створення ГІС для СУТ передбачає виконання заходів з впровадження в органи управління територіями сучасних ГІТ для комплексного аналізу багатоаспектної, різнорідної інформації при розв'язанні задач управління територіями.

Метою створення ГІС у СУТ є підвищення якості, актуальності і доступності даних про стан природно-ресурсного потенціалу регіону, підвищення оперативності і обґрунтованості прийняття управлінських рішень у процесі управління територіями за рахунок розв'язання задач забезпечення збору, накопичення і інтеграції інформації для виконання інформаційно-аналітичних функцій в органах влади регіону; наочне подання і аналіз різнорідної інформації про стан і процеси що відбуваються в регіоні для органів державного, муніципального управління і органів самоврядування, науково-дослідних організацій, підприємств та населення; розробка і

презентація проектів і звітів; організація і проведення досліджень економіки, соціального і екологічного стану регіону; забезпечення стандартизації при виконанні розробок ГІС підприємств і відомств; інтеграція даних різних організацій з прив'язкою до електронної карти.

ГІС подають інформацію візуально таким чином, що стають очевидними нові відношення, властивості і тенденції, які не можна, помітити засобом текстових файлів, електронних таблиць і баз даних (Байрак, 2007; Бурачек та ін., 2011b; Зацерковний та ін., 2016). Програмне забезпечення існуючих інформаційних систем, інтегроване з ГІС, дозволяє програвати низку сценаріїв і вибирати варіанти оптимальних управлінських рішень.

Концепція[10] створення ГІС для СУТ передбачає застосування ГІТ управління в структурних підрозділах обласної державної адміністрації, підвідомчих організаціях і установах регіону.

Створення ГІС управління територіями являє собою сукупність упорядкованих в часі, взаємозв’язаних, об’єднаних в стадії і етапи робіт, виконання яких необхідне і достатнє для створення ГІС, що відповідає заданим вимогам. У роботах зі створення ГІС беруть участь:

– замовник (користувач), для якої створюється дана система;

– розробник, який здійснює роботу зі створення ГІС, надає замовнику науково-технічні послуги на різних етапах створення, а також розробляє різноманітні програми і технічні засоби автоматизованих інформаційних систем (АІС);

ГІС як продукт інтелектуальної діяльності людини, за своє ”життя” проходить етапи проектування, розробки та експлуатації.

Етап проектування включає в себе:

1. Вивчення предметної сфери автоматизації (реалізується шляхом спілкування із замовником (користувачем). Результатом є ”Технічне завдання” із зазначенням детальних вимог до проекту, характеристик на перспективу. Документ підписується замовником).

Технічне завдання на впровадження ГІС у СУТ формується і оптимізується в залежності від побажань і потреб Замовника. Передбачаються різні варіанти впровадження: від постачання базової ГІС за мінімальну вартість з наступним самостійним внесенням даних в систему співробітниками Замовника, що пройшли навчання до досконалої автоматизації всіх процесів з повним уведенням усіх наявних даних до інформаційної бази.

2. Визначення ключових атрибутів задачі з усіма структурами та ієрархічними зв'язками між ними. При цьому проектувальник безпосередньо опрацьовує всі можливі вхідні та вихідні документи ІС, формати, довідники, простежує способи проходження інформації, частоту використання кожного атрибута, його тип, залежність від інших атрибутів, об’єм. За потребою

[10] Концепція (*лат. conceptio – ”поєднання, сукупність, вираз, формулювання ідеї”*) – система поглядів, понять, уявлень про певний предмет, яка є ”образним ключем" до розуміння конкретної проблеми, яка визначає методи і способи її розв’язку.

проводять так зване зовнішнє кодування – заміну довгих текстових назв атрибутів короткими кодами.

3. Визначення та забезпечення зв’язків ГІС по всіх можливих запитах користувачів (неможливе без спілкування з безпосереднім користувачем ГІС, оскільки метою є складання повного переліку всіх можливих напрямків створення і подання запитів користувачем. Крок є фактично ключовим для ГІС, адже зміст кожного запиту визначає процес пошуку, обробки, видачі потрібної користувачеві інформації).

4. Розробка технології обслуговування ГІС у СУТ, що включає такі параметри: порядок збору, введення-виведення та збереження даних; правила роботи всіх груп користувачів.

5. Вибір типу ЕОМ і програмного забезпечення (конкретні пакети створення ГІС та СКБД) для реалізації.

6. Перевірка коректності проекту.

7. Визначення термінів реалізації проекту.

При розробці концепції ГІС потрібно визначитись з принциповим вибором:

– взяти за основу архітектуру однієї з існуючих систем і в подальшому приступити до її ”удосконалення”, створюючи свою версію архітектури;

– взятися за розробку принципово нової архітектури, що не має аналогів.

Обидва підходи мають як переваги, так і недоліки. В першому випадку однією з серйозних проблем є перспектива ”винаходу велосипеда”, і якщо його ринкова ціна ще й не дуже сильно поступається ціні інших аналогічних систем, що добились успіху на ринку, то нова ГІС з великою імовірністю навряд чи очікує успіх, а скоріше усього вона залишиться в аутсайдерах. Основна причина невдачі – відсутність в реалізованому продукті технологічної новизни в необхідному масштабі.

Другий шлях дозволяє створити унікальний програмний продукт, проте існує загроза, що створюючи його переборщити настільки, що споживачеві буде незрозуміла вся глибина підходу, та й конкуренти докладуть зусиль зіпсувати враження від продукту. Тільки чималі інвестиції в роз'яснення і рекламу здатні дозволити продукту завоювати ринок. Ускладнити справу можуть похибки, пов'язані з налагодженням нової технології. Таким чином, основний недолік другого шляху – пряма протилежність статичності – надмірна революційність.

Здоровий глузд підказує, що доцільно обрати керівництвом до дії ”золоту середину”, з якою пов'язаний еволюційний підхід. У відповідності з ним до розробки необхідно проаналізувати стан технологій в предметній області, для якої створюється ГІС, виявити проблеми, які вимагають свого найшвидшого розв'язку, ознайомитися з існуючими архітектурами ГІС, визначити їх недоліки і розробити нову архітектуру (концепцію) ГІС, позбавлену недоліків, які ускладнюють ефективний розв’язок найбільш серйозних проблем предметної області.

Вибір еволюційного підходу може привести до появи такого продукту, в якому є чимало новаторських рішень, який зручний в роботі, дозволяє вирішувати задачі предметної області і не занадто шокує користувачів, які мають досвід роботи з іншими ГІС.

Створювана ГІС території (регіону) повинна бути багаторівневою з розмежуванням прав доступу і функцій, що визначаються компетенцією органів влади певного рівня і які забезпечують міжрівневу взаємодію та вирішувати такі задачі:

– створення і ведення банків просторово-координованої інформації;

– оцінювати покомпонентний і інтегральний економіко-соціологічний і природно-ресурсний потенціали області;

– створювати високоякісні карти результатів покомпонентної і комплексної оцінки економіко-соціологічного і природно-ресурсного потенціалів області, регіональні оглядові і тематичні карти;

– здійснювати просторово-часовий аналіз і моделювання економіко-соціологічного і природно-ресурсного станів області;

– забезпечувати органи державного управління всіх рівнів, підприємств, організацій, юридичних і фізичних осіб (в межах компетенції) достовірною інформацією про соціально-економічний, екологічний і природно-ресурсний стани території;

забезпечувати аналітичну підтримку підготовки управлінських рішень на різних рівнях управління територіями;

– здійснювати прогнозування еколого-економічних і соціально-економічних наслідків рішень, що ухвалюються в процесі управління територіями;

– здійснювати планування раціонального використання природних ресурсів;

– формувати єдину інформаційну інфраструктуру просторових даних регіону як основу для комплексного аналізу, оцінки стану і прогнозу соціально-економічного розвитку території;

забезпечувати підтримку прийняття рішень в процесі управління територіями;

створювати основи для подальшої інтеграції ГІС регіону в загальнодержавну і міжнародні ГІС.

Функції, що реалізуються ГІС в управлінні територіями:

• інформаційна взаємодія з джерелами і споживачами інформації;

• організація введення, первинної обробки і зберігання інформації, що надходить у вигляді спеціалізованих баз даних, класифікованих за територіальною (з географічною прив'язкою) ознакою;

• обробка і забезпечення абонентів системи інформацією в режимі реального часу;

• підтримка систем моделювання і прогнозу на основі інформації, що циркулює в системі;

• відображення оригінальної інформації, результатів моделювання, аналізу і прогнозу в графічному, символьно-картографічному або текстовому вигляді за запитом кожного конкретного абонента в обсязі, який визначається його компетенцією;

• забезпечення криптографічного захисту інформації;

• створення цифрових топографічних і тематичних карт.

Оперативний характер інформації і велика кількість тематичних напрямків, що входять в коло інтересів органів влади регіону, визначають неможливість повного опису складу системи забезпечення прийняття рішень на стадії проекту. Система може бути створена тільки на підставі методології "вирощування", яка передбачає одночасну розробку й експлуатацію системи, починаючи від введення в дію її ядра.

6.2. Принципи побудови ГІС в управлінні територіями

До системних принципів побудови ГІС у системі управління територіями відносяться:

1) ***цільовий принцип*** – зводиться до визначення цілей і задач ГІС, шляхів їх розв'язку і розробки технічного завдання (ТЗ) на створення ГІС. На першому етапі проектування ГІС, на підставі обстеження і аналізу існуючої системи документообігу (інформаційної системи в системі управління територіями до впровадження ГІС) і інфраструктури територіального утворення, визначається й уточнюється склад функціональних задач і вимог до ГІС. На другому етапі здійснюється вибір методів розв'язку поставлених перед ГІС задач і визначення складу необхідної для цього інформації. Перелік цілей і задач, а також методи їх розв'язку формулюються в ТЗ на розробку ГІС;

2) ***принцип єдності*** – полягає в визначенні границь територіальної системи, дослідженні основних структурних елементів, виявленні існуючих зв'язків між підсистемами одного рівня і елементами, а також між територіальним утворенням і зовнішнім середовищем;

3) ***принцип "чорного ящика"*** – дозволяє на підставі вивчення характеристик територіального середовища на вході і виході ГІС виявити перелік задач, які може і повинна розв'язувати система в різних режимах експлуатації, і показати послідовність їх розв'язку;

4) ***принцип зворотного зв'язку*** – дозволяє побудувати замкнений процес функціонування ГІС, коли на підставі інформації, що надходить з каналу зворотного зв'язку можна коригувати і змінювати раніше прийняті управлінські рішення. При цьому орган управління одержує перманентні повідомлення про хід реалізації його рішень (або запитів), що дозволяє йому оперативно реагувати на ускладнення що виникають;

5) ***модульний принцип побудови*** – забезпечує й розширює арсенал використовуваних математичних методів і передбачає додавання нових

програмних модулів (додатків) до існуючого рівня програмного забезпечення ГІС, без істотної його переробки;

6) ***принцип простоти експлуатації ГІС*** полягає в зручності звертання до неї, тобто в зручності складання завдання для керуючої програми в діалоговому режимі. Це дозволяє службовцям, які не володіють достатніми знаннями, провадити формування банка (бази) даних;

7) ***принцип стандартизації і уніфікації просторової інформації*** для роботи з нею в режимі "оператор – ГІС" передбачає складання уніфікованого переліку якісних і кількісних показників середовища управління територіями, створення системи класифікаторів і кодування інформації для її введення і виведення, а також розробку стандартних форм вхідної і вихідної документації для всіх стадій збору, збереження, обробки і видачі інформації – від польових описів ґрунтів до експлуатації ГІС. При цьому форми вихідної інформації (вихідні документи) повинні бути максимально наближені до традиційного подання результатів досліджень (карти, таблиці властивостей, розрізи, моделі рельєфу тощо);

8) ***принцип сумісності*** ГІС в управлінні територіями з іншими інформаційними системами.

До загальних принципів побудови ГІС у системі управління територіями відносяться:

1. Поетапне створення територіальної ГІС.

2. Комплексний (системний) підхід до проектування ГІС.

3. Багаторівнева побудова системи, організація інформаційної взаємодії між елементами системи одного рівня, а також міжрівневої взаємодії, яка б забезпечувала створення єдиного інформаційного поля.

4. Чітке визначення видів, обсягів, форм і способів одержання інформації, необхідної для кожного рівня, з метою оптимізації її кількості і якості, що приведе до більш ефективної і оперативної роботи інформаційної системи.

5. Дотримання міжнародних стандартів у сфері подання вихідної інформації, інформаційно-обчислювальних мереж і засобів зв'язку.

6. Модульний принцип побудови системи і її відкритість, які б забезпечували можливість її структурного і функціонального нарощування.

7. Єдність методологічних, технологічних і організаційних принципів побудови системи.

8. Можливість конвертації інформації і організації інформаційного впливу з функціонуючими і заново створюваними системами впритул до загальнодержавного і міжнародного рівнів.

9. Багаторівневий захист інформації.

10. Побудова інформаційної системи з урахуванням географічної прив'язки, усіх інформаційних об'єктів, що входять до неї.

6.3. Загальний опис структури ГІС в управлінні територіями

6.3.1. Інформаційна структура ГІС в управлінні територіями

Структура ГІС в управлінні територіями представлена на рис. 6.1.

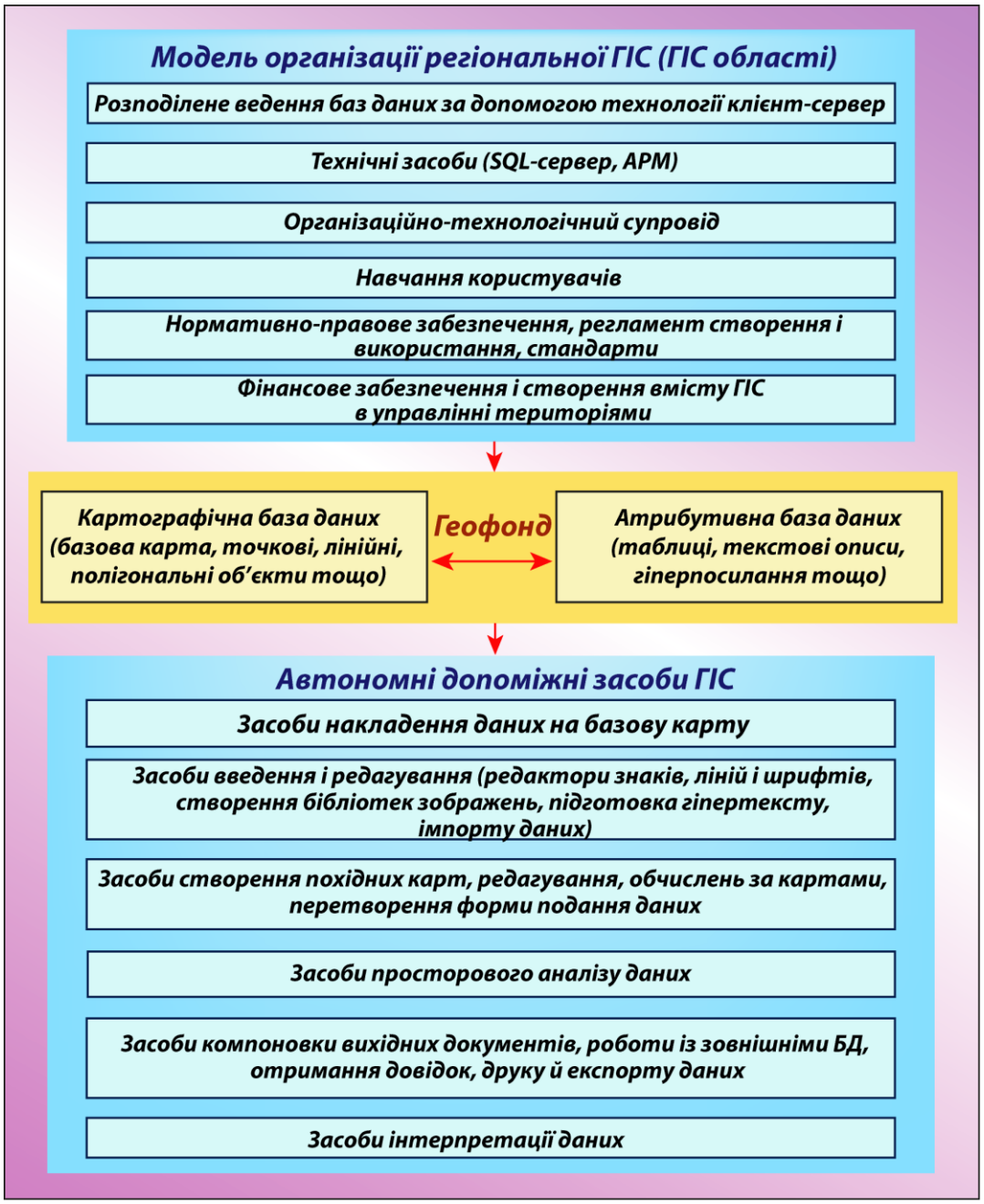


Рис. 6.1. *Структура організації ГІС в управлінні територіями*

ГІС в управлінні територіями веде (створює, модифікує й підтримує в актуальному стані) сукупність електронних карт, що відбивають регіональну господарську і соціальну діяльність.

Кожна електронна карта (ЕК) складається з власне карти і пов'язаних з нею таблиць атрибутивних даних. Дана сукупність ЕК позначається як фонд топографічних карт регіону (Геофонд).

Для забезпечення картографічної прив'язки інформації в ГІС управлінні територіями використовується комплекс базових шарів регіону, що створюються і передаються на центральний сервер до Геофонду регіону, що розміщується й підпорядковується обласній державній адміністрації (ОДА).

Якщо в процесі розробки регіональної ГІС створюються базові шари, то вони в обов'язковому порядку передаються до Геофонду регіону на правах власності (у випадку виплати вартості створення) або володіння і передається відомствам і підприємствам, що створюють власні ГІС.

Базова карта (базовий шар) слугує для прив’язки даних, нанесення тематичного змісту, оверлею шарів у ГІС. Базовими картами можуть виступати карти адміністративно-територіального поділу, топографічні карти, карты землекористування, ландшафтні карти тощо.

Для забезпечення цілісності електронних карт територіального утворення (регіону) розробка ГІС окремих відомств і підприємств регіону повинна здійснюватися тільки на підставі базових шарів, зосереджених у регіональному Геофонді, а також на основі єдиного стандарту картографічної і атрибутивної прив'язки. Даний стандарт Створення шарів, що відбивають господарську і соціальну діяльність, здійснюється спеціалізованою організацією на базі інформації, що надаються регіональними органами влади і відомствами на нормативно-правовій або договірній основі.

Стандарт картографічної і атрибутивної прив'язки складається з переліку стандартних картографічних аркушів (планшетів), регіональних стандартних планшетів, базових шарів і пов'язаних з ними шаблонів картографічної і атрибутивної прив'язки.

Планшет визначається масштабом і границями. Усі шари ЕК повинні належати єдиному планшету. Стандартні планшети (аркуші), що використовуються у картографії, найчастіше є незручними при використанні для певного регіону, оскільки регіон може потрапляти на периферію аркуша або на область перетинання аркушів. Тому для конкретного подання території зручніше створювати власні стандартні планшети, забезпечивши при цьому можливість перетворення їх у стандартні картографічні аркуші і навпаки.

Головною вимогою до переліку базових шарів є мінімізація кількості карт (шарів), що отримуються за допомогою ”малювання”, і відповідно надання можливості створення максимальної кількості шарів за допомогою спеціальних засобів геокодування, побудови ізоліній, виділення фрагментів карт і об'єднання планшетів і фрагментів у єдину карту (шар).

Шаблоном атрибутивної прив'язки є група атрибутів (полів) таблиць даних, які дозволяють визначити належність певного об'єкта об'єкту або

об'єктам іншого шару. Наприклад, поштова адреса підприємства забезпечує його зв'язок з будівлею, що належить шару ”Будівлі і споруди”. Шаблон картографічної прив'язки визначить тип шару і його зв'язок з аналогічними за тематикою шарами інших масштабів.

Шаблон картографічної і атрибутивної прив'язки є описом способу ідентифікації об'єкта у різних шарах. Стандарт шаблонів картографічної й атрибутивної прив'язки забезпечує можливість отримання похідних шарів шляхом геокодування і як наслідок, дозволяє уникнути зайвих витрат часу і коштів. При наявності цього шаблону атрибутивні дані базових шарів відіграють роль словників (довідників), визначаючи назви об'єктів і, можливо, їх синоніми.

Створення і подання документів до ГІС відрізняється від аналогічних можливостей систем, орієнтованих на документообіг, способом організації документа: якщо в останніх інтегруючим компонентом є текст, то в ГІС – карта.

6.3.2. Тематичні шари ГІС в управлінні територіями

Основні результати реалізації ГІС подаються у вигляді системи баз географічно прив'язаних даних (соціально–економічного стану регіону, економіки і фінансів, екології, ресурсів і природокористування, транспорту і зв'язку, комунального господарства і будівництва, благоустрою, охорони здоров’я, освіти і культури, громадського порядку і безпеки, соціально-політичного стану тощо).

Ці дані повинні бути згруповані у тематичні шари і представлені у компонентах (рис. 6.2).

Рис. 6.2. *Функціональна схема ГІС в управлінні територіями*

Компонент ”ГІС соціально–економічного розвитку регіону” створює геобазу адміністративного поділу регіону, інформаційні бази паспортів територій, підключає інформаційні бази даних управління економіки адміністрації регіону за показниками прогнозу соціально–економічного розвитку (включаючи розвиток промисловості, сільського господарства, малого бізнесу тощо), який дозволяє виконати аналіз діяльності органів управління у порівнянні з суміжними територіями на поточний момент і в динаміці за роками, кварталами, забезпечуючи тим самим умови розробки заходів з управління територіями.

Компонент ”ГІС інженерних комунікацій” слугує для вирішення задач оперативного моніторингу стану регіональних (міських) мереж шляхом інтеграції з державними галузевими АСУ, підвідомчими організаціями і приватними структурами.

Компонент ”ГІС – генеральний план розвитку” створює геобазу з будівництва, реконструкції, перспективним проектам розвитку.

Компонент ”ГІС земельного кадастру” створює банк геоданих про межі земельних ділянок у розрізі прав власності на землю, функціонального призначення і реєстр власників, забезпечуючи тим самим умови об'єктивного стягнення земельних податків і дотримання нормативно-правових актів з володіння, користування, зміни власника тощо.

Компонент ”ГІС – нерухомість” передбачає розв'язання задач інвентаризації нерухомості шляхом інтегрованої системи обліку і контролю за використанням майна.

Компонент ”ГІС – дороги і транспорт” створює банк геоданих про дороги регіону, якість покриття та їх технічний стан, технічні характеристики мостів, проїздів, переїздів, дорожні знаки, створює інформаційні бази економічних показників про використання доріг для вантажних і пасажирських перевезень, вартості утримання доріг, а також створює реєстр власності і границі відповідальності, що дозволить визначити і ефективно використовувати технічні і економічні умови експлуатації й розвитку транспортної дорожньої мережі.

Компонент ”ГІС – екологія” створює банк геоданих про екологічний стан регіону і забезпечує умови розробки заходів з покращання екологічної ситуації в регіоні, визначення обґрунтованих сум платежів в екологічні фонди і напрямків витрачання коштів.

Компонент ”ГІС екопатології” створює банк геоданих про вплив екологічної ситуації на стан здоров'я і смертність населення і забезпечує об'єктивну оцінку умов проживання населення на території регіону.

Компонент ”ГІС медицини” створює геобазу дислокації і інформаційні бази стану медичних установ.

Компонент ”ГІС забезпечення безпеки життєдіяльності населення” створює геобазу постів спостереження за потенційно небезпечними об'єктами, геобази рельєфу та інших характеристик місцевості в масштабах, необхідних

для розв'язання задач моделювання надзвичайних ситуацій на об'єктах спостереження і прилеглихх територіях, інформаційні бази даних для організації роботи і реєстрації результатів роботи постів спостереження;

Компонент ”ГІС – населення” створює бази геоданих з розміщення населення, забезпечує аналіз за статевовіковим складом, призовним віком, зайнятості, соціально незахищеним групам, міграції населення, забезпечуючи тим самим умови аналізу і розрахунку соціальних програм, а також розбивку за виборчими округами й аналіз електорату.

Компонент ”ГІС – УВС” поділяється на складові: ”ГІС пожежної охорони”, ”ГІС – ДАІ”, ”ГІС охорони громадського порядку”. Призначення зазначених компонентів ГІС випливає з їх найменування і не потребує роз'яснень.

Компонент ”ГІС – надзвичайних ситуацій” створює бази потенційно небезпечних об'єктів, тактико-технічних характеристик цих об'єктів, сил і засобів цивільної оборони і залучених сил і засобів підсистеми надзвичайних ситуацій, тактико-технічних характеристик сил і засобів; база геоданих дислокації зон евакуації і маршрутів прямування для підприємств і населення, інформаційні бази тактико-технічних характеристик зон і маршрутів евакуації.

Компонент ”ГІС – споживчий ринок” призначений для складання дислокацій об'єктів торгівлі, у тому числі сезонної, святкової, з можливістю вибірки за вимогою користувача, обробки в залежності від чисельності населення, аналізу оптимального місця розташування за рахунок сполучення з банком даних ”Населення”.

Компонент ”ГІС – соціальна сфера” поділяється на ”ГІС – соціально-незахищені групи населення”, ”ГІС – освіта”, ”ГИС – установи соцзахисту”, ”ГІС – дозвілля” тощо.

6.4. Функціональна структура ГІС в управлінні територіями

ГІС в управлінні територіями не дублює інформаційні процеси служб управління, а дозволяє ефективно узагальнювати, представляти і використовувати їх дані у процесі прийняття рішень на регіональному, районному і місцевому рівнях.

Основними функціями користувача ГІС в управлінні територіями є оперативне ведення даних з господарської і соціальної діяльності; створення і подання документів (проектів і звітів) про господарську і соціальну діяльність на території регіону; створення власних тематичних карт (шарів) на основі існуючих шаблонів і шарів; аналіз стану й процесів господарської і соціальної діяльності на території регіону тощо.

Комплекс аналітичних функцій ГІС в управлінні територіями забезпечує виконання користувачем аналізу стану регіону (або його частини) і надає можливість моделювання варіантів розвитку ситуацій.

Аналітичні функції ГІС в управлінні територіями надають можливості селекції (вибірки), обробки і подання даних. Селекція даних забезпечує можливості вибору підмножини об'єктів за їх просторовими і/або атрибутивними характеристиками. Обробка включає статистичний аналіз, який забезпечує можливість виявлення зв'язків між об'єктами і атрибутами. Різноманітне подання даних: картографічне, табличне, у вигляді графіків (гістограм, діаграм тощо) – дозволяє наочно відображувати предмет і результати роботи у формі, яка найбільш відповідає поточним вимогам.

Для забезпечення перспективного розвитку ГІС в управлінні територіями необхідно виконати наступні вимоги:

– ГІС повинна бути широкотиражованою а, отже, дешевою, оскільки у регіоні вона повинна стояти на робочих місцях багатьох десятків організацій;

– ГІС повинна працювати в розподіленому середовищі і легко адмініструватись;

– в ГІС повинен бути первинний об’єктно-орієнтований (ООП), а не картографічний (топографічний, топологічний тощо) підхід до опису території регіону і об'єктів на ній. Повинні бути реалізовані підтримка складних об'єктів, спадкування властивостей класів, інкапсуляція, поліморфізм, перекриття, перевантаження функцій (моделей об'єкта) тощо. Об'єктна орієнтованість тут розуміється не в тому значенні, що ГІС написана на об'єктно-орієнтованих засобах, а в тому, що ці механізми повинні бути надані користувачу системи в інтерактиві для організації даних про територію регіону;

– різні користувачі ГІС повинні мати можливість відносити будь-які об'єкти на електронній карті до різних класі одночасно і будувати багаторівневі ”шари” об'єктів (класифікаційні системи з різними основами), можливо, свої для кожного застосування або конкретного дослідження. Так наприклад, ієрархія шарів може бути представлена різним чином управлінням навколишнього середовища і комунальними службами.

Поряд з поданням об'єктів території регіону, як розподілених у просторі, в ГІС повинні ”уживатися” взаємододаткові подання: схемотехнічні (у вигляді принципових схем, наприклад, енергосистема регіону або водопровідні чи газові мережі), а також об’єктно-орієнтованих імітаційних моделей об'єктів, що існують на території регіону. При цьому усі множини подань інженерно-комунальних систем повинні бути пов'язані між собою; наприклад, вибір підстанції в принциповій схемі енергосистеми при необхідності повинен показувати її на карті або у структурі екосистеми (якщо остання представлена у своєму просторі ознак).

Оперативне ведення даних забезпечує постійну актуалізацію інформації електронного атласу. Оперативне ведення даних може здійснюватись шляхом створення нових картографічних об'єктів, введення й редагування атрибутивних даних об'єктів існуючого шару, що здійснюється оператором, періодичним поповненням шарів електронної карти (ЕК) даними відомчих і галузевих інформаційних систем, що здійснюється на основі геокодування,

автоматичним оновленням тематичних ЕК на основі спеціалізованих апаратно–програмних комплексів.

Створення нових тематичних карт надає можливості визначення і збереження нових запитів і легенд і/або їх шаблонів, визначення шарів і/або шаблонів, створення нових шарів точок або дуг, комплексування шарів і легенд у нові тематичні карти і/або їх шаблони.

Визначення певного компонента складається з двох різних описів: шаблону і об'єкта. Опис шаблону є структурним (абстрактним); опис об'єкта пов'язує шаблон і конкретний файл й таблиця. Такий поділ дозволяє забезпечити повторне використання (переносність) задач для різних територій.

Визначення шару полягає у створенні або використанні шаблона шару і приєднанні картографічного файла і пов'язаної з ним таблиці до шаблону. При створенні картографічних додатків типовою є ситуація, коли:

– атрибутивні дані існують, але за певними причинами не відповідають потребам додатка: структура надлишкова або неефективна, інший формат тощо;

– вихідний картографічний шар існує, але для більшої території і/або містить об'єкти більш загального класу, чим потребує задача: наприклад, усі сільгосппідприємства замість підприємств тваринництва.

Для того, щоб поділ опису дійсно був потужним інструментом розробки, функція приєднання забезпечує можливість перетворення таблиць і картографічних файлів. При цьому цільова таблиця може бути отримана шляхом конвертування і зміни структури вихідної. Цільовий шар може бути певною підмножиною об'єктів вихідного, виділеним за просторовим або атрибутивним принципом.

Створення нового шару точок забезпечується за допомогою геокодування. Геокодування – це створення або доповнення шару з таблиці атрибутивних даних на підставі її атрибутивної прив’язки до базового шару. Наприклад, якщо існує шар ”Будівлі і споруди” і таблиця ”Підприємства”, до структури якої входить поштова адреса, то шляхом геокодування можна створити шар ”Підприємства”.

Створення нового шару дуг здійснюється за допомогою побудови ізоліній. У цьому випадку на основі даних точкового шару можна побудувати шари дуг, які наочно показують просторову поведінку атрибутів таблиці, що мають числові значення.

6.5. Базове програмне забезпечення

Для створення ГІС в управлінні територіями пропонується сукупність програмного забезпечення фірми ESRI, тощо, що підтримують технологію ”клієнт-сервер”. Побудова регіональної ГІС (ГІС області) на основі даного програмного продукту дозволяє розв’язати такі задачі:

– створення єдиного джерела просторових даних для усіх органів державної влади області;

– забезпечити корпоративну роботу з просторовими даними;

– забезпечити доступ до даних з розподілом прав доступу;

– автоматичне оновлення карт і можливість ведення хронології (версій);

– інтеграція з СУБД MS SQL Server і Oracle;

– можливість створення на одному сервері вебсервісів для зовнішньої і внутрішньої мережі, геоінформаційних сервісів для підключення настільних додатків;

– можливість редагування даних через вебінтерфейс (без установки настільних додатків);

– простота обміну даними, широкий набір варіантів імпорту/експорту;

– безкоштовні геоінформаційні сервіси ArcGISOnline і MS VirtualEarth;

– можливість організації оперативно-диспетчерських служб (моніторинг місця розташування рухомих об'єктів тощо);

– інтеграція інформаційних джерел різних інформаційних органів державної влади;

– ведення матеріалів територіального планування.

6.6. Програмно-технологічна структура і властивості ГІС в управлінні територіями

Фонд топографічних карт є системою баз картографічних і атрибутивних даних. База картографічних даних є системою файлів спеціальних форматів, а атрибутивні дані організовані як таблиці певної системи керування базами даних (СКБД). Основною властивістю ГІС в управлінні територіями є забезпечення цілісності сприйняття електронних карт користувачем, коли просторові і атрибутивні характеристики будь-якого об'єкта електронної карти сприймаються як єдине ціле.

Інформаційно-технологічна основа регіональної ГІС – технологія ”Клієнт – сервер” з використанням віддаленого доступу на базі доступних засобів зв'язку з користувачами (виділених телефонних каналів, оптоволокна). Основні архітектурні принципи програмно-інформаційного комплексу ГІС в управлінні територіями представлені на рис. 6.3.

ГІС в управлінні територіями може бути створена як відкрита або корпоративна система, яка забезпечує підключення за принципом ”загальної шини”. Користувачем (клієнтом) регіональної ГІС стає будь-який суб'єкт (у подальшому ”ГеоКлієнт”), що придбав програмні засоби клієнта, а у випадку корпоративної системи – який у встановленому порядку отримав право доступу (код, пріоритет).

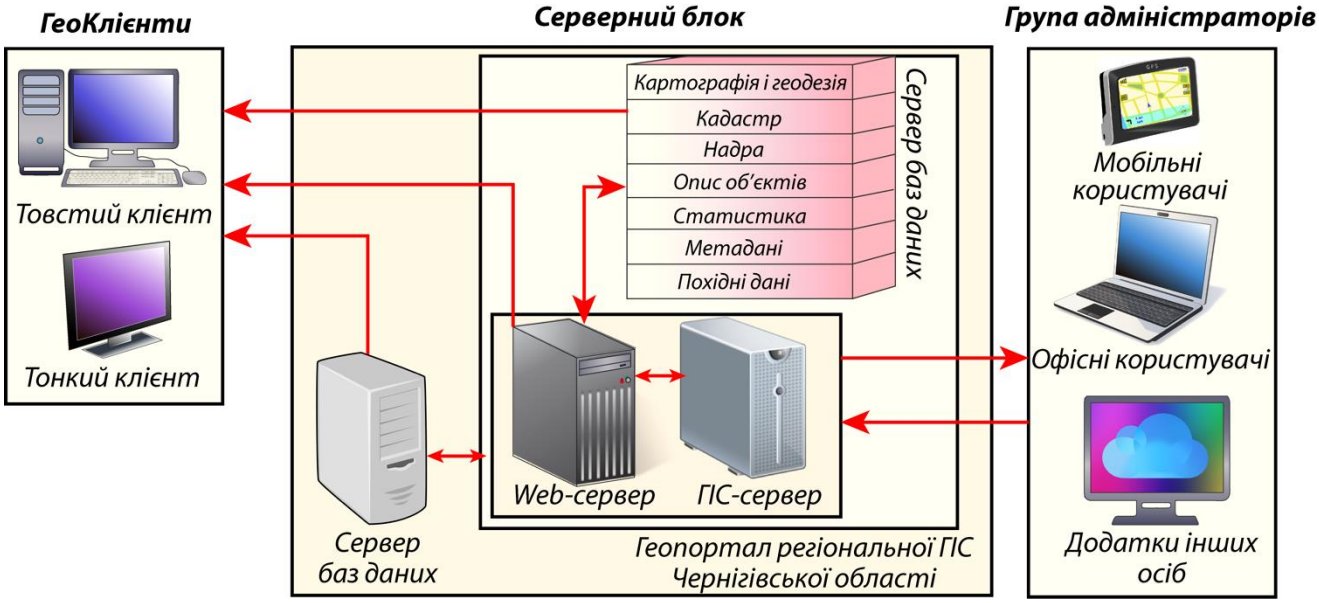


Рис.6.3. *Функціональна взаємодія компонентів ГІС в управлінні територіями*

У відповідності з прийнятою ідеологією уся просторова і атрибутивна інформація знаходиться на сервері. Сервер баз даних містить усі картографічні і атрибутивні дані, які входять до складу електронного атласу регіону. Склад програмного забезпечення, що розміщується на сервері, представлений на рис. 6.4.

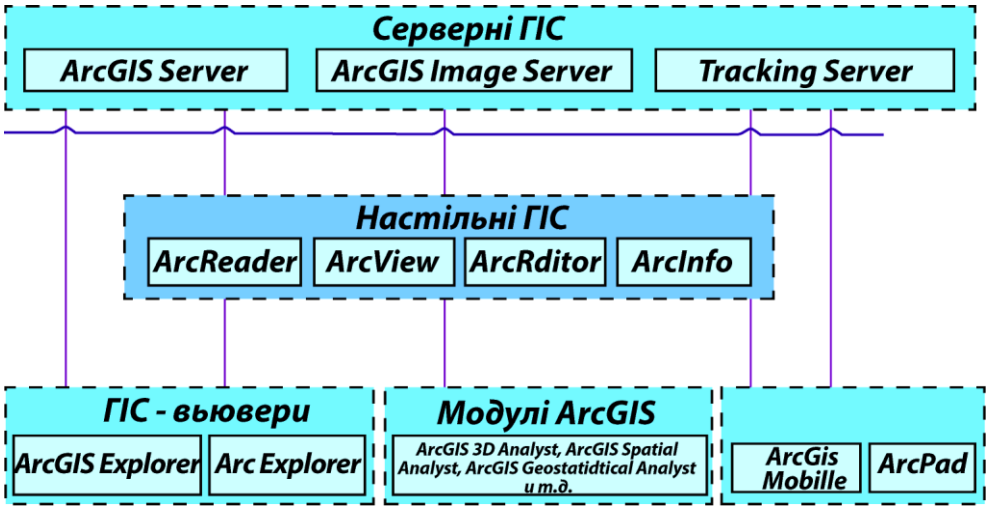


Рис. 6.4. *Складові програмного забезпечення регіональної ГІС*

На комп'ютерах клієнта, обладнаних індивідуальним графічним інтерфейсом, знаходяться картографічні дані, необхідні для розв'язання його задач у відповідності із закладеним у нього алгоритмом функціонування. Атрибутивні дані залежно від їх об'єму і характеру можуть знаходитися або на сервері баз даних, або на комп'ютері користувача. Для формування потрібної йому бази даних користувач, використовуючи власний персональний комп'ютер, вказує потребу у даних як ім'я тематичної карти або, якщо він хоче

побудувати власну тематичну карту, як імена потрібних йому шарів. Сервер ГІС в управлінні територіями пересилає користувачеві необхідні картографічні дані, а при необхідності й атрибутивні дані. При цьому, кожен ”ГеоКлієнт” може створювати власні геоінформаційні проекти, виходячи зі своїх матеріально-технічних можливостей і відомчих інтересів. Це проявляється у тому, що проекти будуть готуватися за різною тематикою з різномасштабними картографічними матеріалами для різних територій.

При визначенні підходів до розв'язку питань санкціонованого доступу до системи і її елементів застосовується комплексний підхід, який передбачає як захист у цілому бази геоданих від несанкціонованого використання шляхом фізичного рознесення сегментів бази геоданих на захищені носії, так і наділення певними повноваженнями користувачів з присвоєнням їм індивідуальних кодів (пріоритетів).

Операційне середовище функціонування програмно-інформаційного комплексу ГІС в управлінні територіями забезпечує локальний мережевий і віддалений доступ, а також доступ в Internet і організує на основі наступної сукупності системних програмних продуктів:

– Windows NT як файл – сервер;

– Windows NT SQL – як сервер баз даних і додатків;

– Windows XP, Windows 7, 10 тощо, як операційне середовище клієнта.

Програмний комплекс ГІС в управлінні територіями складається із засобів клієнта і програмних засобів сервера. ”ГеоКлієнт” є або клієнтом локальної мережі, або віддаленим клієнтом. Файл – сервер Windows NT забезпечує зв'язок з Internet, локальний і віддалений доступ, обслуговування й передачу картографічних даних. Windows NT SQL – сервер керує базою атрибутивних даних електронного атласу і забезпечує створення локальних баз даних клієнта. Для ведення локальних БД можуть бути використані СУБД типу Paradox, dBase, Access тощо. Програмні засоби сервера є комплексом програм, які забезпечують єдине функціонування системи баз даних під управлінням SQL–сервера і системи картографічних даних під управлінням мережевої ОС, яке сприймається як цілісне.

Спілкування користувачів з ГІС в управлінні територіями відбувається через ”ГеоКлієнт”. Якщо користувач є віддаленим клієнтом, то для забезпечення достатньої ефективності роботи потрібні для розв'язання поточних задач картографічні й атрибутивні дані повинні знаходитися на його комп'ютері. Якщо користувач є клієнтом локальної мережі, то картографічні дані можуть знаходитися або на його комп'ютері, або на файловому сервері, а атрибутивні дані – на SQL–сервері.

”ГеоКлієнт” забезпечує формулювання потреб користувача, одержання результатів, а також виконання більшості функцій обробки. Клієнт–сервер складається з інтерфейсу користувача і ядра. Інтерфейс користувача є аналогом панелі управління ОС Windows і забезпечує виклик будь-якої карти або задачі.

Потреби користувача поділяються на три класи:

– формування локальної БД полягає у виклику нової електронної карти, тобто картографічних і/або атрибутивних даних, які не входять до складу локальної бази даних;

– розв'язання задач з використанням поточного стану локальної бази даних;

– створення нових компонентів картографічної і атрибутивної баз даних або структурне розширення системи БД (створення нових шарів).

Формування локальних БД забезпечується програмним сервером ГІС області. Крім того, програмний сервер ГІС в управлінні територіями забезпечує цілісність системи баз картографічних і атрибутивних даних, що складають фонд топографічних планів регіону; формування локальних баз даних за запитами користувача; виконання запитів, пов'язаних зі звертанням до багатьох шарів; найбільш об'ємну аналітичну обробку інформації.

Створення нових компонентів БД здійснюється комплексом утиліт, що входять до складу ”ГеоКлієнта”, і які забезпечують, конвертування, перетворення структур таблиць, перейменування полів тощо.

6.7. Основні вимоги до ГІС у системі управління територіями

ГІС у системі управління територіями повинна бути розгорнута в багатьох організаціях регіону, і в кожній з організацій на багатьох робочих місцях. Система повинна мати архітектуру ”клієнт–сервер”. Очевидно, що система повинна об’єднувати десятки, а то і сотні організацій, а в них – сотні і тисячі користувачів. Тому розглядати варіанти одномашинних ГІС (а такі, як правило і використовуються сьогодні), а також системи, що не мають архітектуру ”клієнт\сервер”, нераціонально. Одномашинні ГІС можуть бути застосовані в окремих випадках, коли потрібно проводити специфічний аналіз, методи якого не представлені, наприклад, у базовій ГІС, яка орієнтована на інтеграцію інформаційних ресурсів регіону.

Максимальна ”відкритість” архітектури ГІС. ”Відкритість” передбачає, що в ГІС штатно представлені механізми обміну даними із зовнішніми системами на основі відкритих форматів даних, і – що важливо – засоби можливості розширення функцій ГІС можливостями досвідчених користувачів. При цьому недостатньо наявності внутрішніх обмежених мовних засобів у ГІС. Необхідно, щоб ГІС надавали доступ до своїх функцій і внутрішніх даних із зовнішніх програм, написаних іншими розробниками, на основі API розробника, що постачається офіційно. Розподілені системи, що швидко розвиваються, повинні мати можливість агрегуватись (інтегруватись) з іншими розробками, які буде багато створено в різних предметних сферах. Більшість широко розрекламованих ГІС мають доволі скромні засоби міжпрограмного обміну.

Повна функціональність ГІС повинна передбачати, що ГІС має всі основні функції, що вимагаються від ГІС у системі управління територіями. Традиційні функції є загальновідомими і тут не аналізуються.

Наявність розвиненої системи прав доступу до картографічних і семантичних даних. Цією вимогою до ГІС найчастіше усього нехтують особи, що роблять вибір на користь тієї або іншої ГІС. І даремно, оскільки розгортання такої ГІС в мережі організації з багатьма користувачами, а тим більше, в мережі, яка об'єднує певну кількість організацій, вимагає обов'язкового розподілу прав доступу до інформації різними користувачами. Без розподілу прав доступу, кожен користувач має можливість, – у результаті помилки або шахрайства, "диверсії" або хуліганства, незадоволеністю керівництвом тощо, – змінити або підмінити будь-яку інформацію в базах картографічних даних (раз вони не захищені системою!), не кажучи про те, що здебільшого картографічна інформація взагалі має режимний статус. Крім того, враховуючи, що ця інформація найчастіше призначається для документів, що мають високий юридичний статус, відсутність в системі прав доступу є неприпустимим для єдиної розподіленої ГІС або навіть ГІС в межах організації. Програмне забезпечення сучасних ГІС (ArcInfo, ArcView, MapInfo, GeoDraw та ін.) на сьогодні не мають розвиненої системи прав доступу до картографічної інформації.

Можливість автоматичного урахування роботи користувачів системи. Базова ГІС повинна вести облік роздруківок картографічної інформації на принтерах інформаційної системи, зберігаючи для контролю інформацію про місце розташування і розміри території, що роздруковується, ім'я користувача, дату роздрукування тощо. Важливо, щоб система вміла надавати уповноваженим особам інформацію про те, який саме користувач, яку інформацію на карті змінював і в рамках яких технологічних процесів.

Для крупної інформаційної системи з сотнями і тисячами користувачів відсутність у ній засобів обліку їх роботи приховує неправомірну роботу з інформацією деяких користувачів і не дозволяє при виникненні юридичних проблем з'ясувати весь ланцюг дій користувачів, що спричинили помилку.

Строга організація структури цифрових картографічних шарів. Надлишкова свобода в питанні побудови системи картографічних шарів і головне – відсутність топологічних зв'язків між об'єктами різних шарів – створює дуже серйозні проблеми для інформаційних технологічних процесів з участю цифрової карти.

Крім того, контрольоване створення системи цифрових шарів дозволяє підтримувати необхідний порядок у ГІС, де кількість картографічних шарів досягає кількох сотень і навіть тисяч, оскільки кожна установа (організація) крім шарів загального призначення (наприклад, топооснови), буде наносити безліч своїх тематичних шарів. Контрольоване створення системи цифрових шарів у цьому випадку не буде хаотичним і не приведе до необхідності кожні два роки повністю реорганізовувати структуру даних системи, що еквівалентно майже цілковитій переробці усієї системи.

Для додаткової гнучкості базова ГІС повинна мати можливість будувати нові часові шари за запитом, що також притаманна більшості ГІС.

Можливість встановлення всіх необхідних топологічних відношень між об'єктами на цифровій карті в ГІС. Значимість підтримки системою технології ведення всього спектра топологічних відношень між об'єктами настільки велика, що без цих механізмів ГІС можна розглядати лише як редактор карт, призначених для перегляду (вьюверів). Тоді як основним призначенням ГІС є головним чином аналіз розподілу інформації по території і моделювання ситуацій і процесів з метою прогнозу.

Зокрема, без міжоб'єктних і міжшарових топологічних відношень неможливо розв'язувати задачі моделювання (аналізу і прогнозу) розвитку мережевих систем, наприклад, моделювання процесів подачі інженерних ресурсів по інженерних комунікаціях у різні райони адміністративної території, визначення величин транспортних потоків тощо.

Наявність розвинених реєстрових і кадастрових програмних систем, що працюють з ГІС на основі нормативної бази країни – земельного, водного, лісового, містобудівного, майнового кадастрів, реєстрів інженерних комунікацій, подій (аварій, надзвичайних ситуацій) тощо.

Можливість організації шарів територіальних зон із заданими регламентами використання територій. Будь-яка ГІС у системі управління територіями – це система, яка крім картографічного подання території повинна мати розвинені взаємопов'язані структури даних, що відносяться до об'єктів, що представляють інтерес практично для всіх користувачів ГІС. До таких об'єктів відносяться:

– земельні ділянки і їх складові частини в об'ємі земельного кадастру;

– сервітути (обмеження прав), що накладаються на об'єкти нерухомості;

– будівлі і приміщення в об'ємі техпаспорта БТІ;

– територіальні зони різного призначення з регламентами, встановленими для цих зон (містобудівний кадастр, екологія, природокористування, лісове господарство тощо);

– фізичні особи (населення);

– юридичні особи (організації);

– події на території (аварії, надзвичайні ситуації, події інформаційного характеру тощо);

– права фізичних і юридичних осіб на земельні ділянки, будівлі, приміщення;

– адміністративно-територіальний поділ території, адресні реєстри міст;

– документи;

– інше.

Якщо базова ГІС є закритою і для неї не створено розвинених і інтегрованих з картографічною інформацією баз даних територіальних об'єктів, то створення їх для розподіленої структури вимагає тривалого часу для створення. Потрібно враховувати, що досить часто постачальники ГІС сильно перебільшують розвиненість таких розробок на основі їх ГІС, тому

потрібно більш ретельне і серйозне, чим одні слова, докази існування таких комплексів, що використовуються в практиці управління територій.

Зручність роботи з великою кількість шарів. Базова ГІС буде містити в собі сотні і навіть тисячі картографічних шарів. Робота з ними повинна передбачати зручний інтерфейс, орієнтований на маніпулювання такою великою кількістю класифікованої інформації. Дана вимога є природною, проте, на жаль, більшість ГІС на що надаються сучасним ринком програмного забезпечення ГІС не мають зручного інтерфейсу для роботи з великими списками шарів, а головне – не мають засобів для їх організації.

Збереження картографічної і семантичної інформації на SQL-сервері. Дана вимога – стандарт для розвинених мережевих ГІС. Робота ГІС з самобутніми базами даних або форматами, відмінними від SQL веде до низької надійності системи.

Можливість вбудовування геоінформаційного ядра у зовнішні програмні системи, що розроблені місцевими розробниками. Дана вимога є вкрай привабливою, оскільки дозволяє місцевим розробникам, вбудовувати ядро ГІС в свої розробки, формуючи для неї свої спеціалізовані інтерфейси з іншим – аніж у базовій ГІС – набором функцій. Жодна базова ГІС не спроможна охопити весь спектр вимог до її функціональному наповненню. Тому вимога, наприклад, існування OCX-компоненти, які дозволяють операційній системі виконувати певні функції по розширенню її можливостей з повним набором функцій ядра, в сукупності з вимогою програмної відкритості ГІС, є вкрай важливою для базової ГІС.

Наявність у вибраній ГІС підсистем, що забезпечують публікацію цифрових карт в інтернеті (для відкритої інформації) або в середовищі інтранет-технологій в межах закритих каналів зв'язку – для режимної або конфіденціальної інформації. У розподіленій ГІС, що працює на крупну організацію, а тим більше на багато організацій, що функціонують на адміністративній території, присутня велика кількість користувачів, які мають право доступу до даних ГІС тільки на читання (із забороною редагування картографічної інформації в повнофункціональному режимі). Крім того, існує значний контингент потенційних користувачів з населення, що мають доступ до інтернету і для яких певна частина інформації з точки зору влади могла б або навіть повинна бути доступною з інформаційною метою. В такому випадку дуже важливо, щоб базова ГІС мала засоби публікації карт в мережі інтернет. Більшість сучасних розвинених ГІС мають такі розширення.

Наявність механізмів, що забезпечують можливість здійснення розподіленого чергування цифрових топопланів у багатьох організаціях регіону і злиття їх в єдину базу картографічних даних – для тих організацій, які не мають можливості виходити у зовнішні телекомунікаційні мережі. Далеко не всі організації, які повинні будуть працювати в рамках розподіленої ГІС, мають можливість виходу у зовнішні канали зв'язку. Для таких організацій ГІС повинна надавати механізми переносу відредагованих нею даних на центральний сервер системи.

Загальні витрати на адміністрування ГІС в організації. Витрати на адміністрування складних систем можуть становити доволі істотні частки щорічних витрат на підтримку функціонування системи. Для розподіленої ГІС, що встановлюється в десятках і сотнях організацій витрати на адміністрування для складних варіантів розв'язання можуть досягати 6-10 тис. американських доларів в місяць на одну організацію тільки на адміністрування ГІС. Для дрібних населених пунктів, де завжди має місце дефіцит кваліфікованих кадрів у сфері ГІС, проблема адміністрування складних комплексів взагалі може бути нерозв'язною.

Простота створення складних умовних позначень по національних стандартах з візуалізацією на екрані і на роздруківках. Дана вимога дуже важлива, оскільки ГІС буде використовуватись вітчизняними організаціями, для яких дотримання стандартів є обов'язковою вимогою. Більшість популярних ГІС забезпечують оформлення електронного подання карт не дуже ефектно, оскільки це різко зменшує швидкість роботи системи при роботі з картою.

Наявність необхідного набору цифрових карт регіону (області), міст і районів, представлених у форматі базової ГІС. Жодна – навіть дуже гарна ГІС – неспроможна працювати без даних. Тому проблема наявності і постійного оновлення цифрової картографічної інформації на область, райони і населенні пункти є однією з найважливіших для ГІС. Без достовірних даних розв'язки, отримані на основі ГІС можуть бути помилковими. Державою встановлено, що постачання картографічної інформації може здійснюватись тільки ліцензованими організаціями. Видача ліцензій на здійснення топографо-геодезичних робіт і одержання цифрової топооснови для ГІС здійснюється Головним управлінням геодезії, картографії та кадастру при Кабінеті Міністрів України.

Розповсюдженість. Бажано використовувати тієї ГІС, яка може претендувати на статус базової в країні. Це є підтвердженням того факту, що ГІС працює без присутності розробників, і її робота достатньо надійна.

Реалізація серйозних побажань користувачів по розвитку ядра системи і виправленню існуючих помилок. Для великої системи, що постійно піддається удосконаленню і розвитку, охоплює в рамках різнорідної задачі велику кількість предметних областей, потрібна можливість спрямованого розвитку ядра ГІС і виправлення помилок, які зазвичай завжди є в будь-яких системах.

Вартість базових комплексів ГІС для крупних організацій. Оскільки базова ГІС повинна встановлюватись на великій кількості робочих місць у багатьох організаціях регіону, її вартість є найважливішим чинником.

Країна-виробник геоінформаційної технології. Проблеми захисту картографічної інформації. Враховуючи дух і букву доктрини інформаційної безпеки України, застосування закордонної ГІС, як базової ГІС органів державної влади, є недоцільною. З оглядом на те, що жодна, високорозвинена країна світу не дозволяє собі використовувати як основу державного управління ГІС закордонного виробництва. Це пов’язано зі зниженням рівня захисту інформації, оскільки доступ до внутрішніх даних системи може бути організований, оминаючи об’явлений механізм захисту інформації.

В економічному аспекті придбання закордонних ГІС у випадку, коли вітчизняний продукт не поступається по основних можливостях закордонним аналогам, є економічно недоцільним, оскільки крупні грошові ресурси уходять не тільки з регіону, алей з країни.

6.8. Вимоги до проектування і впровадження ГІС у систему управління територіями

Найважливішою особливістю технології ГІС є спосіб інтеграції даних. Забезпечення зв'язку між різними темами в системах баз даних, які не використовують ГІС, вимагає визначення зв'язків між окремими полями таблиць ще на етапі проектування. В результаті, якщо навіть цю задачу вдається вирішити, з'являється жорсткий стандарт структур даних.

При використанні ГІТ інтеграція забезпечується прив'язкою даних до єдиної карти і приєднання нових тем не вимагає жорсткої стандартизації структур даних. Однак треба підкреслити, що для прив’язки тематичних даних картографічна основа повинна існувати і бути єдиною для усіх тем.

Тому при формуванні будь-якої ГІС першим етапом є створення базової електронної карти. До базової відноситься інформація, яка зазвичай відображається на стандартних топографічних картах відповідного масштабу, а саме математичні елементи, які відносяться до планової і висотної основи; рельєф суші; гідрографія і гідрографічні споруди; населені пункти; промислові, сільськогосподарські і соціально-культурні об’єкти; дорожня мережа й дорожні споруди; рослинність й ґрунти; адміністративний устрій, окремі природні явища та об’єкти тощо. Разом ці теми задають топографічну основу любої електронної карти. Кожна базова тема включає декілька класифікаційних категорій сегмент; підсегмент; узагальнюючий об’єкт; об’єкт; елемент.

Категорії сегмент і підсегмент мають класифікаційний характер і не мають графічного аналогу. За своїм семантичним змістом вони ідентичні відповідним категоріям з топографічного класифікатору. На відміну від останнього, у вищенаведеному списку категорій включена додаткова – ”узагальнюючий об’єкт”. Розробники електронної карти України масштабу 1:500000 так аргументують її необхідність: ”деякі географічні об’єкти, що

існують як єдине ціле і мають свою атрибутику, включають в себе багато більш дрібних об’єктів, зі своїми наборами атрибутів” (Зацерковний, 2016).

При створенні базової карти виникає комплекс взаємопов'язаних питань, які визначають характер, зміст і можливості використання цифрової картографічної основи для території регіону. До таких питань відносяться вибір масштабу вихідних картматеріалів; визначення вмісту створюваної електронної карти; забезпечення необхідних нормативів точності; забезпечення можливості оперативного приведення електронної карти у відповідність з поточним станом місцевості (моніторинг); забезпечення сумісності просторово-координованих даних різного тематичного (галузевого) характеру, отриманих різними засобами і подання у різних форматах; розробка структури автоматизованої картографічної системи, яка б забезпечувала ефективне багатоцільове використання електронної карти.

Першою особливістю створюваних цифрових карт об’єктів і суб’єктів регіону є їх розмір; повинні бути зведені і зшиті десятки, сотні або навіть тисячі номенклатурних аркушів карт (планів). Це породжує протиріччя між прагненням обрати можливо більш великий масштаб вихідних картматеріалів і обсягом робіт з цифрового картографування. При збільшенні масштабу карт (планів) їх сумарна площа зростає у квадратичній залежності і відповідно збільшуються вартість і терміни виконання робіт. У той же час, чим більше масштаб, тим вище повнота вмісту, детальність і точність створюваної цифрової карти. Це протиріччя обтяжується двома факторами. По-перше, при переході до більш великих масштабів знижується кондиційність усієї сукупності вихідних картматеріалів, що проявляється у неповноті охоплення території і в різночасності аркушів карт і планів. По-друге, при візуалізації електронних карт і при документуванні комп'ютерних карт на ”твердому” носії у дрібних масштабах необхідне багатомасштабне подання даних, оскільки діапазон зміни масштабів від вихідного до оглядового, який забезпечує охоплення усієї території, змінюється у декілька сотень або тисяч разів. Перший фактор з неминучістю приводить до необхідності використання різномасштабних і різночасових вихідних картматеріалів на різних ділянках території й наступного доведення цифрової карти до актуального стану і необхідних повноти вмісту, детальності і точності. Облік іншого фактора вимагає виконання спеціальних робіт з генералізації цифрової карти з формуванням її похідних оригіналів для усього використовуваного масштабного ряду (Campbell & Wynne, 2023; Chang, 2019; Heywood et al., 2011; Longley et al., 2015; Руденко та ін., 1991), оскільки просте зменшення масштабу карти перетворює її у малозмістовну картинку, яка не відповідає картографічним вимогам.

Другою відмітною особливістю цифрових карт є їх багатошаровий характер з потенційною необмеженістю кількості тематичних шарів. При цьому, якщо вміст первинної цифрової картографічної основи головним чином диктується вимогами до вмісту топографічних карт і планів, то наступне її використання припускає суміщення з нею тематичних (галузевих) даних,

одержуваних різними способами, що розрізняються за точністю і змістом, які подаються у різних масштабах і проекціях і віднесених до різних ділянок території і моментів часу (Руденко та ін., 1991). Нормативна точність деяких типів даних перевершує точність вихідних картматеріалів при будь-якому виборі їх масштабу. Часто тематичні дані подаються на картах, проекція яких невідома. Крім того, при використанні матеріалів аерокосмічних зйомок необхідна фотограмметрична обробка даних. Як наслідок, виникають проблеми координування цих даних у цифровій карті і збалансованого подання картографічної інформації при реалізації електронних і комп'ютерних карт різних масштабів.

Третьою важливою особливістю електронних карт (яка часто випускається з розгляду) є їх об'єктний характер. Якщо під електронною картою розуміється модель території, а не просто графічне її відтворення у прийнятій системі умовних знаків, то повинні бути визначені просторові об'єкти, їх місце розташування, характеристики і взаємозв'язки (Руденко та ін., 1991). Тому, просторово-координовані дані повинні подаватись в електронній карті в ”розпізнаному” вигляді. На практиці це досягається за рахунок використання таких технологій цифрового картографування, які забезпечують формування просторових об'єктів шляхом атрибутування елементів карти; визначення просторових відношень на основі використання векторних топологічних подань даних; визначення концептуальних відношень об'єктів за рахунок використання об'єктно-орієнтованих засобів подання і обробки даних.

При цьому повинна бути забезпечена можливість довільного об'єктоутворення з формуванням ієрархічних угрупувань будь-яких елементів карти без обмежень за їх типами (точковий, лінійний або полігональний) і розміщенню у різних тематичних шарах. Дані, що розміщені в електронній карті – різномасштабні, різночасові і нерівноточностні, просторово-координовані різними способами, але повинні утворювати багатошарову ієрархічно організовану об'єктну структуру, яка є моделлю території. Природні вимоги до моделі – точність, детальність, достовірність і актуальність, вступають у протиріччя з характером використовуваних даних. Ситуація ускладнюється також часто недостатньою точністю математичної основі великомасштабних планів, що виявляються при проведенні GPS-вимірів; при достатньо точному взаємному координуванні близьких об'єктів їх прив'язка до системи координат підвернена доволі нерегулярним похибкам і в цілому уся територіальна структура помітно деформована. Як наслідок, збільшення масштабу вихідних матеріалів не дає очікуваного збільшення точності цифрової карти (Руденко та ін., 1991).

Це означає, що практично неможливо одноразово (протягом короткого періоду часу) створити цифрову картографічну основу, яка б задовольняла усім висунутим вимогам. Тому єдиною реальною можливістю є створення первинної цифрової карти на базі наявних картматеріалів і організації процесу постійного наступного її удосконалювання усіма доступними засобами моніторингу. При цьому необхідно, щоб первинна цифрова карта у

максимально можливій мірі відповідала вимогам, що висуваються до неї, а зазначений процес був достатньо інтенсивний, щоб максимально швидко забезпечив повне задоволення цих вимог, а в подальшому – забезпечив би моніторинг змін, що відбуваються на місцевості у масштабі часу, близькому до реального.

Таким чином, базова електронна карта принципово повинна розглядатися як динамічний об'єкт, на відміну від статичних одноразово створюваних графічних оригіналів карт і планів. Ця динамічність забезпечується за рахунок оперативної комп'ютерної обробки даних, що знову надходять і основна задача полягає у розробці методів їх обробки, які можуть бути реалізовані на основі модифікації поняття цифрової карти, що надає їй нові, відмінні від традиційних, якості.

Перша якість – багатомасштабність, яка проявляється в наступному:

– до кодифікатора цифрової карти включаються коди усіх видів об'єктів, що відповідають умовним знакам для усього розглядуваного масштабного ряду – від максимально детального до оглядового, який забезпечує охоплення усієї території;

– кодифікатор супроводжується таблицею генералізації, де для кожного коду зазначені інтервали масштабів його актуалізації, а для кожного інтервалу зазначена графічна форма відтворення, що відповідає масштабу умовного знака;

– при візуалізації похідної електронної карти і при документуванні похідних комп'ютерних графічних оригіналів карт в картографічному зображенні відтворюються тільки актуалізовані в даному масштабі об'єкти у відповідній графічній формі;

– кодифікатор також супроводжується таблицею необхідних нормативів точності й детальності, де для кожного виду об'єкта (коду) зазначені середня абсолютна похибка точок його контуру у масштабі місцевості і цензова характеристика детальності, яка відповідає певному масштабу графічних оригіналів карт (планів).

Отже, нормативи точності і детальності контурів об'єктів визначаються не масштабом карти, а виходячи з вимог споживачів, індивідуально і незалежно для кожного виду об'єктів і незалежно один від одного, а зміст карти і її графічне оформлення ставиться в залежність від масштабу її актуалізації. У цьому полягає багатомасштабність цифрової карти, яка відрізняє її від графічних оригіналів карт і планів.

Друга якість полягає у спеціальній організації даних у цифровій карті, яка передбачає її розбивку на сукупність координатно-взаємозв'язаних блоків і рознесення даних за цими блоками залежно від їх призначення і характеристик даних. Координатні взаємозв'язки можуть бути горизонтальними (примикання блоків, що відповідають суміжним ділянкам території), вертикальними (вкладеність блока, що містить дані більш високої детальності і точності у блок з даними меншої детальності і точності) і тематичними (суміщення блоків, що містять дані різного тематичного характеру). Раціональна організація даних в

електронній карті такого виду передбачає виділення наступних цифрових карт, що утворюються сукупностями наступних блоків.

Базова електронна карта (БЕК) утворює єдину основу (переважно топографічного характеру) для усіх інших електронних карт, є принципово багатомасштабною і може бути розбита на блоки с горизонтальними координатними взаємозв'язками, що відповідають номенклатурним аркушам вихідних картматеріалів (Руденко та ін., 1991).

Детальні електронні карти, що мають вертикальний координатний взаємозв'язок з БЕК, формуються на окремі виділені ділянки території, для яких необхідні більш високі повнота вмісту, детальність і точність відтворення просторової інформації і/або доступ до інформації за ними повинен бути обмежений.

Тематичні електронні карти є похідними від БЕК, містять інформацію за різними аспектами території (зазвичай – ”атласний” набір) і мають тематичний координатний взаємозв'язок з БЕК.

Галузеві цифрові карти відрізняються від тематичних тим, що містять спеціалізовану інформацію (наприклад – комунікації), потрібну відомствам й організаціям для здійснення їх діяльності, надану з високою точністю й детальністю.

Крім того, для забезпечення точної математичної основи цифрових карт формується координатно-об'єктна база даних (КОБД), яка містить точно виміряні координати точок, що ідентифікуються у цифрових картах, і елементи їх взаємного координування. Координатно-об'єктна база даних представляє собою єдиний спеціальний шар БЕК і детальних електронних карт і має одночасно вертикальні й тематичні координатні взаємозв'язки з ними.

Для оперування сукупністю електронних карт необхідний інтегратор картографічної інформації, який здійснює управління автоматизованою картографічною системою (АКС) регіону з урахуванням координатних взаємозв'язків електронних карт і їх блоків, а також необхідні зовнішні функції роботи з периферійним обладнанням, з різними форматами даних, підтримки різних картографічних проекцій і систем координат (Руденко та ін., 1991).

Сукупність електронних карт з різними видами координатних взаємозв'язків між ними за суттю являє собою гіперкарту, як різновид гіпергеозображення (за аналогією з поняттям ”гіпертекст”), який узагальнює поняття карти. Просторове координування включає в себе увесь набір необхідних операцій – цифрування, координатну прив’язку, фотограмметричну обробку, урівнювання мереж, трансформації проекцій, геокодування. Ядром РГІС є базова електронна карта (БЕК), яка первісно створюється шляхом цифрування наявних вихідних картматеріалів, характеристики яких (масштаб, дата) приписуються блокам первинної БЕК. У першу чергу цифрування зазнають головні елементи вмісту вихідних топографічних матеріалів, які необхідні більшості користувачів. Частина інформації галузевого характеру поміщується у галузеві електронні карти і в подальшому доопрацьовуються до рівня, який відповідає відповідним

галузевим стандартам (вимогам). Крім того, у БЕК може поміщатися інформація нетопографічного характеру, яка необхідна більшості користувачів. Як вже було відзначено, характеристики первинної БЕК можуть не повною мірою задовольняти вимогам, що висуваються до неї. Тому подальша підтримка БЕК здійснюється шляхом внесення до неї документованих змін і характеристик даних (точність, детальність, дата), що приписуються об'єктам, які зазнали змін.

Після створення первинної БЕК формується координатно-об'єктна база даних (КОБД), яка в подальшому підтримується шляхом створення і розвитку мережі опорних точок на території, що картографується. Ущільнення мережі опорних точок в КОБД і аналіз поля деформацій площини, які відновлюються за векторами нев'язок, дозволяють:

– оцінити точність створюваних електронних карт;

– забезпечити картографічну точність просторового координування даних; порівняно легко розв'язуються задачі компенсації деформацій основи (у тому числі "м'якої") вихідних картматеріалів, і трансформації проекцій тематичних карт (у тому числі при невідомих проекціях);

– підвищувати точність математичної основи електронних карт по мірі ущільнення мережі опорних точок, шляхом аналізу полів деформацій площини і проведення відповідних компенсуючих перетворень.

Базова електронна карта складається з шарів. У шарі поєднуються об'єкти з однаковими атрибутами і типом, тобто способом подання на карті (точка, дуга, полігон). Якщо є базова карта області, то дороги, лісові масиви, використання земель тощо, можна представляти як окремі "кальки", що накладаються на карту регіону. Однак таке накладення можливе тільки у тому випадку, якщо ці "кальки" отримані на основі тієї ж контурної карти, яка є базовою картою регіону. Шари можуть бути отримані або шляхом векторизації зображення ("малювання"), або за допомогою процедур обробки існуючих шарів і таблиць даних. Базовий шар може бути отриманий тільки шляхом "малювання".

На основі базового шару (карти) будь-яка установа або підприємство може створювати власні шари, приєднувати до них таблиці даних будь-якої структури, описувати і виконувати запити, тобто створювати свої карти, які залежно від характеру інформації, можуть бути доступні іншим відомствам або бути конфіденційними. При цьому для розв'язання задач однієї галузі або об'єкта управління можуть бути використані дані інших галузей і служб (рис. 6.5).

ГІС в управлінні територіями за характером інформації є міжгалузевою. Поряд з особливостями ГІТ уникнути організаційних проблем, пов'язаних з міжгалузевим характером даних, дозволяють наступні організаційні принципи:

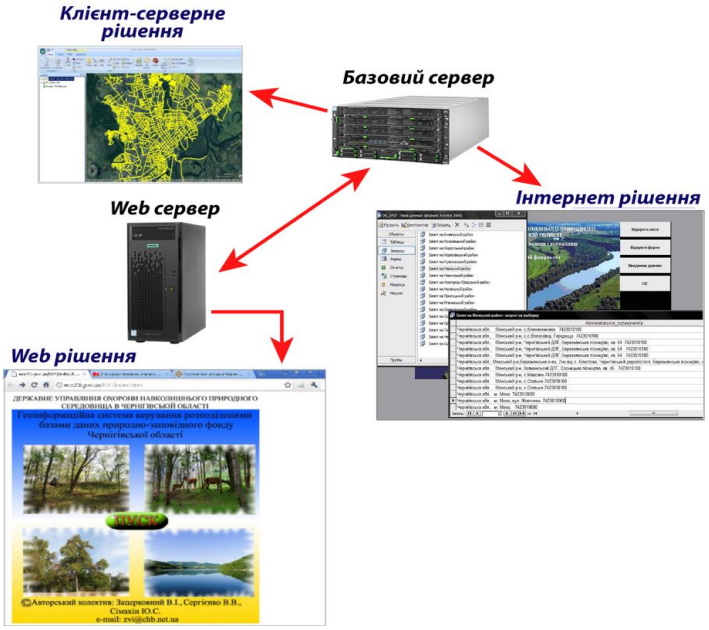


Рис. 6.5. *Приклад створення електронної карти "ГеоКлієнтом"*

– формування інформаційного забезпечення починається на підставі структурування даних державних і муніципальних служб;

– забезпечення інформаційного середовища, бути клієнтом якого зручно за рахунок можливості отримати доступ до потрібних даних, а також розширення аналітичних можливостей розв'язання власних задач.

Використання ГІТ визначає лише можливість створення інтегрованого інформаційного середовища. Для реалізації цієї можливості необхідно виконати дві умови:

– зробити доступним для усіх організацій придбання необхідних електронних карт для задоволення власних інформаційних потреб, причому таких, що мають єдину картографічну основу;

– забезпечити можливість швидкого створення необхідних додатків.

Забезпечення єдності електронної карти регіону повинне бути покладене на спеціалізовану організацію, в обов'язки якої повинне входити не тільки створення і ведення сукупності базових карт регіону, але й масовий їх продаж за цінами, набагато нижчими, чим вартість їх створення.

Особливістю програмно-технологічної організації ГІС в управлінні територіями є наявність у її складі програмного комплексу клієнта ГеоКлієнт. ГеоКлієнт – це незалежний програмний продукт обробки запитів користувача і конвертації атрибутивних даних для накладення на базову карту з сервера системи. Даний комплекс дозволяє отримати доступ до усіх інформаційно-аналітичних послуг ГІС в управлінні територіями. ГеоКлієнт включає повний набір функцій, який забезпечує типові потреби оперативного ведення електронної карти і аналітичної діяльності. ГеоКлієнт надає можливості непроцедурної розробки багатьох додатків за допомогою тільки визначення класів і запитів.

6.9. Організаційне забезпечення розробки і експлуатаціїГІС у систему управління територіями

Роботи з нанесення тематичних шарів, адміністрування, супроводу пілотної ГІС області здійснюються на договірних началах зі спеціалізованим підприємством при координації і контролі роботи з боку управління інформатизації ОДА.

Взаємодія з підприємствами регіону здійснюється і регулюється на підставі договорів (контрактів).

Основними функціями спеціалізованого підприємства є:

– розробка програмного і інформаційного забезпечення ГІС області;

- забезпечення цілісності і актуальності регіонального фонду цифрових топографічних карт;

– забезпечення експлуатації ГІС в управлінні територіями користувачами.

Схема організаційного забезпечення і розробки ГІС в управлінні територіями представлена на рис. 6.6.

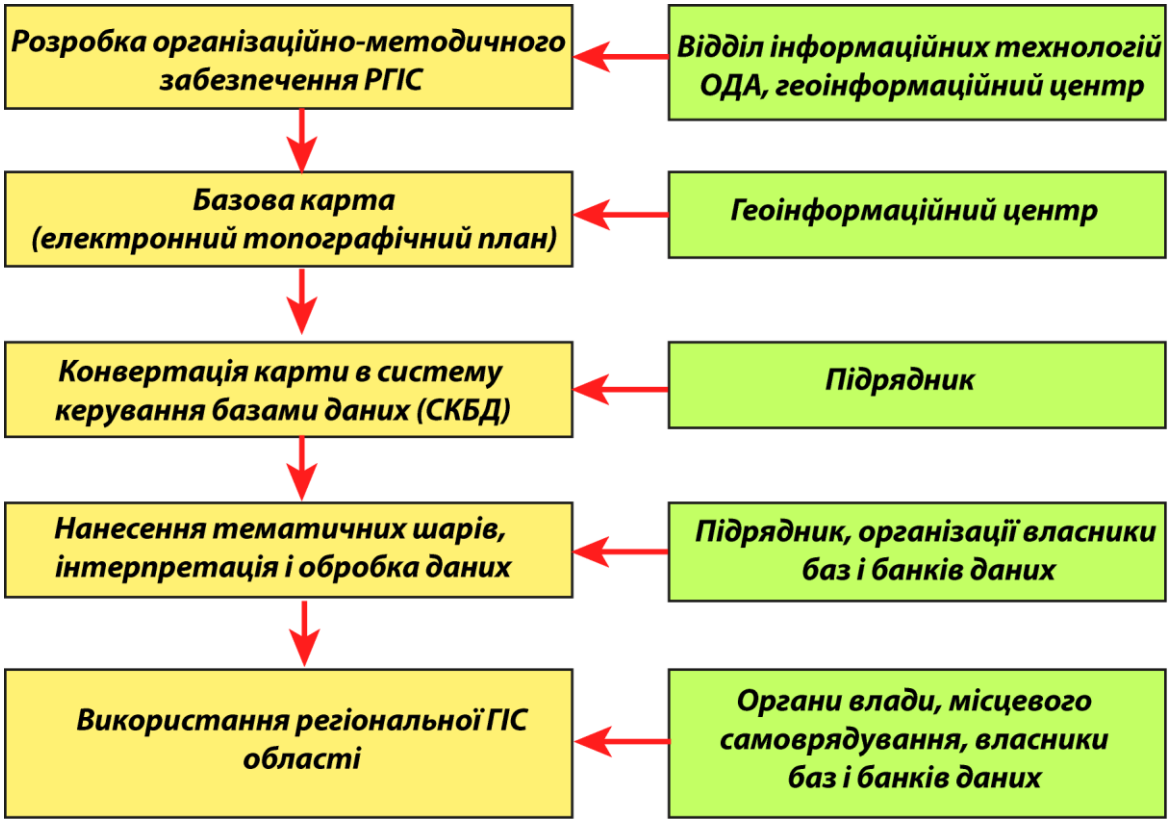


Рис. 6.6. *Схема організаційного забезпечення і розробки ГІС в управлінні територіями*

Користувачами ГІС в управлінні територіями є всі відповідальні посадові особи і службовці регіональних органів виконавчої і місцевої влади, що мають доступ до системи або до її результатів і документів.

Безпосередню обробку інформації ГІС в управлінні територіями здійснюють аналітики і оператори, об'єднані в спеціальний інформаційно-аналітичний підрозділ адміністрації регіону (на початковому етапі, можливо, у складі розробників ГІС в управлінні територіями). Ведення даних і контроль за виконанням задач ГІС області здійснює підрозділ адміністратора у складі ГІС в управлінні територіями.

Інформаційні зв'язки в управлінні територіями забезпечують створення і ведення електронного атласу регіону.

Ведення даних про зовнішні зв'язки здійснюється на підставі обміну даними з ГІС інших регіонів України, що виконують подібні функції, або шляхом одержання даних за запитом від органів влади і/або підприємств.

Виконання заходів запропонованих у даній концепції буде сприяти прискоренню соціально-економічного розвитку регіону, підвищенню авторитета і престижу регіону і країни в цілому.

Реалізація заходів даної концепції дасть потужний імпульс створенню прикладних ГІС для різних галузей, у тому числі містобудівної діяльності, охорони здоров'я (розташування поліклінік, лікарень, муніципальних і приватних аптек і кіосків, зон обслуговування), освіти (розташування дошкільних закладів, шкіл і вищих навчальних закладів; зон обслуговування; відповідність соціальним нормам, виділення обмежувальних зон навколо навчальних закладів; визначення і відображення маршрутів шкільних автобусів у сільських районах тощо), транспорту загального користування (система транспортних магістралей; маршрути різних видів транспорту загального користування; розташування транспортних підприємств; складу транспорту; транспортна доступність місцевості; ліцензування і узгодження маршрутів приватного транспорту загального користування), житлово-комунального господарства (розташування керуючих компаній і житлового фонду, товариств власників житла, підприємств – постачальників житлово-комунальних послуг; дислокація підприємств з вивозу побутових відходів, їх автопарків, зон обслуговування, маршрутів руху тощо), інженерних мереж населених пунктів (прокладка трас магістралей водо-, тепло-, газо-, енергопостачання і каналізації тощо), аналізу і вироблення рекомендацій з відстеження ситуації при виникаючих техногенних процесах, моніторингу стану навколишнього середовища, обліку об'єктів меліорації і водовідведення, розробки і супроводу інвестиційних проектів.

Створення комплексної регіональної ГІС дозволить більш ефективно вирішувати задачі соціально-економічного розвитку регіону за напрямками господарської діяльності: подання інвестиційного потенціалу області; розвиток транспортно–дорожньої мережі; організацію енергопостачання; розвиток житлово-комунального господарства; розвиток промисловості і сільського господарства; містобудування (розвиток міських і сільських

територій); розвиток засобів телекомунікацій, створення єдиного інформаційного і телекомунікаційного простору області; охорону навколишнього середовища, екологічну безпеку і раціональне природокористування; забезпечення охорони правопорядку і безпеки; збереження і зростання історичної і культурної спадщини тощо.

7. АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ЩОДО РОЗРОБКИ СТРУКТУРИ ГІС У СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

Якою б не була ваша мета, ви зможете її досягти,
тільки якщо захочете попрацювати.
Опра Вінфрі

Для управління територіями, органами державної влади будь-якого рівня, потрібне швидке залучення різнорідної координатно-прив'язаної інформації – кадастрової, топографічної, статистичної, геологічної, екологічної, економічної тощо. Ця інформація повинна подаватись в зручній для аналізу формі і забезпечувати прийняття ефективних управлінських рішень. ГІС у системі управління територіями дозволяють інтегрувати різнорідну інформацію, обробляти її різними методами і подавати в вигляді, зручному для аналізу.

7.1. Загальні відомості про розробку структури ГІС

Найважливішим фактором розвитку сучасного суспільства стала інтенсифікація виробництва, розподілу, обміну і споживання зростаючих обсягів інформації, яка істотно підвищила актуальність створення і використання ефективних і адекватних механізмів її залучення, обробки і цільового використання в системах управління територіями.

Сучасні СУТ потребують інформаційні механізми нового типу, які адекватно відображають ринкові умови, глобалізаційні процеси, екологічний стан територій з відповідними цілями, методами, структурами, інструментами, технічними і економічними, математичними і лінгвістичними засобами управління.

Для забезпечення можливості використання ГІС в управлінні територіями перед усім необхідно розробити структуру картографічної бази даних по територіях муніципальних утворень регіону (рис. 7.1), з забезпеченням подальшого використання цієї інформації для оперативного управління територіями.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

а) виконати аналіз структури і задач органів місцевого самоврядування території (регіону);

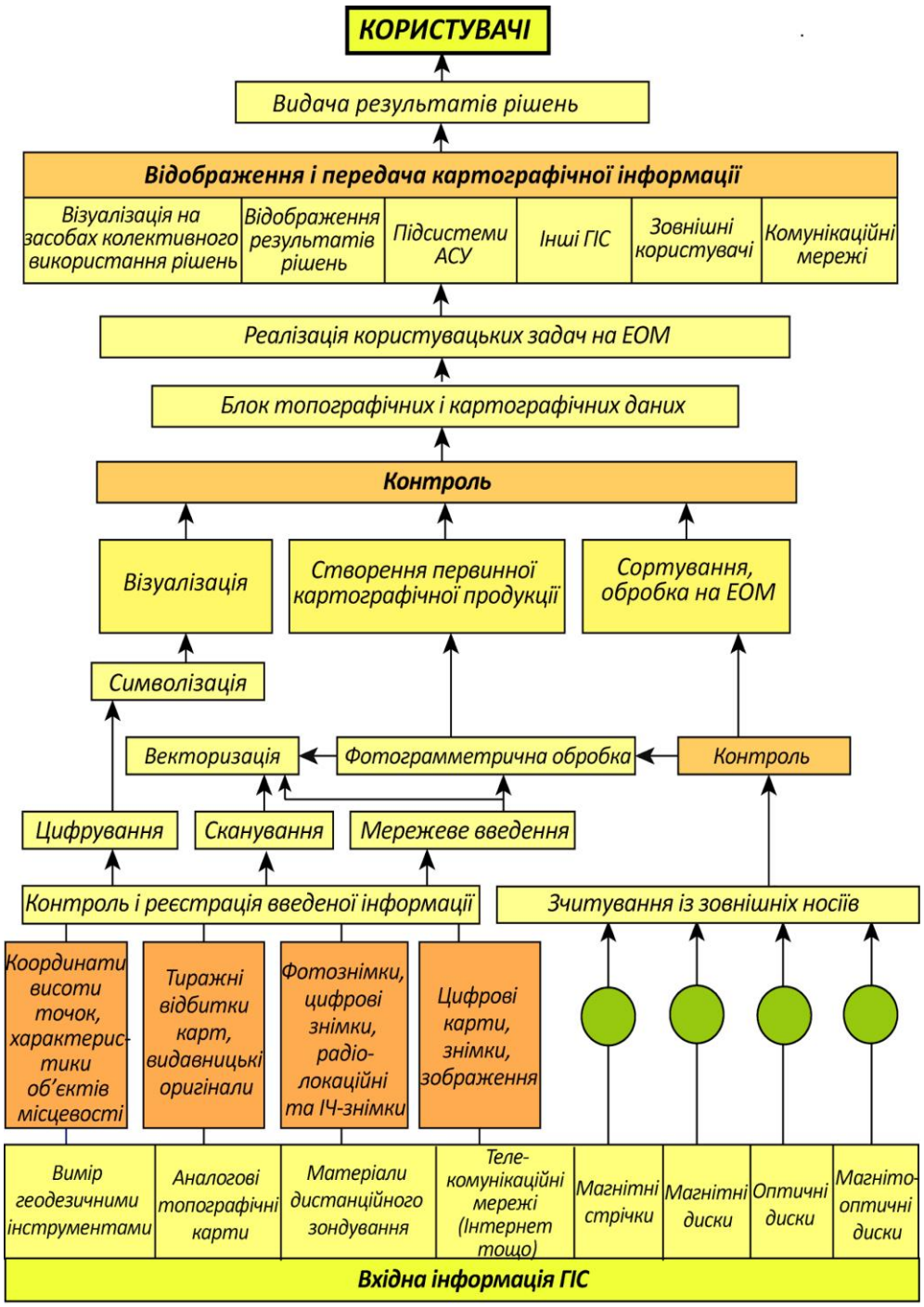


Рис. 7.1. *Структура картографічної бази даних*

б) дослідити можливість розв'язку задач управління територіями за допомогою ГІТ;

в) виконати адаптацію комплексу програмних продуктів для розв'язання задачі створення і наповнення картографічної бази даних по досліджуваній території;

д) розробити структуру картографічної бази даних на територію в аспекті задач управління;

е) виконати технологічний процес зі збору даних в єдину картографічну базу даних по території.

Розробка структури ГІС у СУТ передбачає використання теоретичних положень і методів: теорії систем і системного аналізу; основних положень інформатики, геоінформатики; геодезичного і аерофотограмметричного методів створення топографічних карт; сучасних методів збору геодезичної інформації на основі GPS-технологій; методів картографічного моделювання; методів кадастрового зонування території; методів моніторингу території з використанням ДЗЗ.

Цілями створення ГІС у СУТ є розробка картографічної основи інформаційних систем територіального і муніципального управління в регіоні, застосування просторового аналізу для прийняття ефективних управлінських рішень .

Розробка ГІС у СУТ дозволить: забезпечити права громадян на інформацію, проголошених Конституцією України; актуалізувати інформаційне забезпечення прийняття управлінських рішень зі сталого розвитку регіону методами і засобами, які використовують цифрові карти і цифрові моделі місцевості; інтегрувати в єдиний інформаційний простір інформаційні ресурси населених пунктів, регіону, держави.

До укрупненого переліку основних напрямків використання ГІС при здійсненні діяльності пов'язаної з управлінням територіями можна віднести моніторинг соціально-економічного стану регіону; економіки і фінансів; екології, раціонального використання ресурсів і природокористування; транспорту і зв'язку; комунального господарства і будівництва; сільського господарства; охорони здоров'я, освіти і культури; суспільного порядку, оборони і безпеки; соціально-політичного стану.

Основним технічним рішенням при розробці СУТ є застосування ГІТ. При цьому, необхідним є організація збору комплексної інформації і її акумуляція в спеціально розробленому наборі реляційних таблиць даних. Уся інформація крім табличного подання має просторову прив'язку, яка здійснюється за допомогою основного апарата подання даних в ГІС пошарового відображення (Зацерковний та ін., 2016; Суховірський, 2000; Pick, 2023). Шари повинні бути розроблені таким чином, щоб в них в них відображалася основна картографічна і семантична інформація, необхідна в структурних підрозділах адміністрацій територіальних утворень. Наприклад, це може бути інформація по: виборчих округах, виборчих ділянках, житлово-експлуатаційних службах, адміністративних районах і ділянках, муніципальних округах, зонах відділів міліції тощо.

З урахуванням світових тенденцій, що склалися в досліджуваній предметній області, пропонується ґрунтуватися на базових технологіях інтернету; ідеології інформаційних сховищ і архітектурі ”клієнт-сервер”; SQL-орієнтованих інструментальних системах (СКБД ORACLE, INFORMIX тощо); CASE-технологіях проектування інформаційних систем і баз даних; ГІТ; технологіях створення й розповсюдження інформації на сучасних носіях; розвитку системи графічних і текстових редакторів; мультимедіа технологіях і технологіях створення віртуальної реальності.

При створенні цифрової моделі досліджуваної території необхідно врахувати її багатоцільове призначення і можливість використання для розв'язку широкого кола задач територіального управління. Технологічна схема створення банка даних різнорідної інформації для ГІС в управлінні територіями представлена на рис. 7.2.

Рис.7.2. *Технологічна схема створення банка даних різнорідної інформації для ГІС в управлінні територіями*

Загальна схема технологічних процесів обробки картографічної інформації в ГІС представлена на рис. 7.3.

Як вихідний картографічний матеріал пропонується використовувати: оглядово-топографічні карти масштабу 1:1000000 на територію регіону і суміжні території; топографічні карти масштабу 1:200 000 на територію регіону; геологічні карти масштабу 1:200000; топографічні карти для територій сільськогосподарських і лісових угідь, судноплавних річок в масштабах 1:100000, 1:50000, 1:25000, 1:10000; для розв'язку інженерних задач і задач муніципального господарства необхідно використовувати карти масштабів 1:5 000, 1:2 000, 1:500.

7.2. Аналіз підходів щодо розробки функціональної структури ГІС

Для визначення узагальненої структури ГІС скористаємося методом загальної теорії систем, обґрунтовану в працях (Kossiakoff et al., 2020; Meadows, 2008; Mesarovic & Takahara, 1989; Sterman, 2000; Sugumaran & Degroote, 2010; Катренко, 2003), методами структурного аналізу, які широко використовуються при розробці програмних проектів і систем.

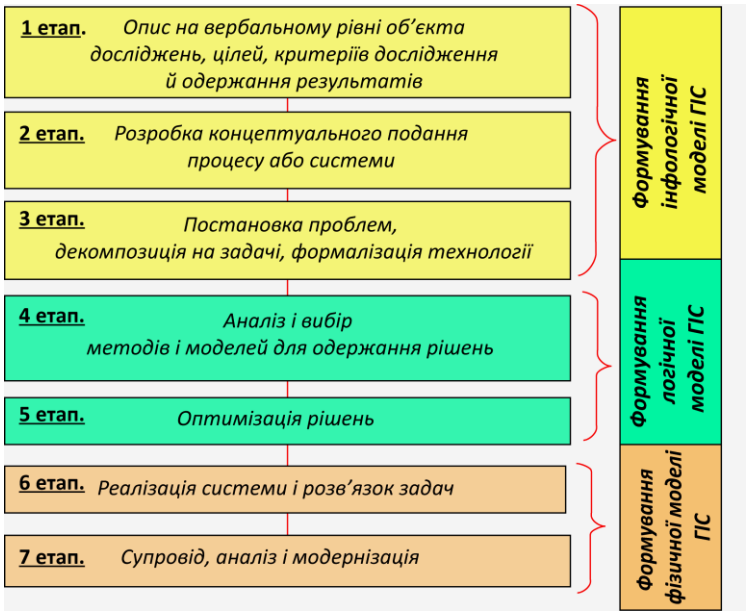


Рис. 7.3. *Схема побудови автоматизованої системи*

Системний підхід дозволяє представити процес побудови будь-якої інформаційної системи в вигляді схеми, що містить сім етапів (рис. 7.4), які визначають створення системи від постановки задачі до її реалізації (Smith et al., 2018).

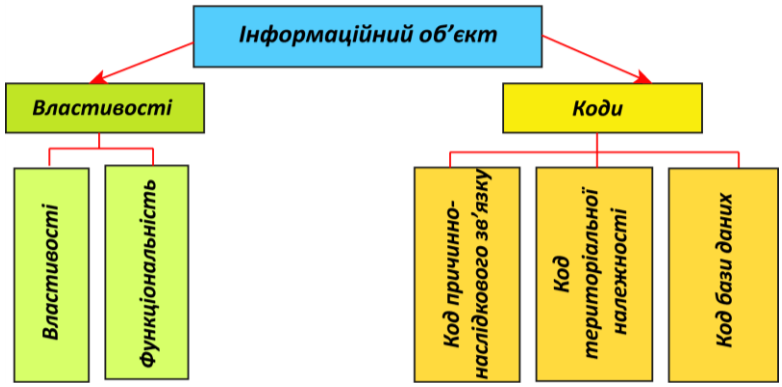


Рис. 7.4. *Схема інфологічної моделі*

Третій етап – деталізація загальної задачі створення і застосування системи, визначення системи описів для переходу від словесних формулювань до схемного або логічно взаємозалежного опису функцій і задач системи, яке дозволить розбити систему на основні її складові частини. Іншими словами, здійснюється *формалізоване* подання взаємозв'язку частин і процесів системи. В результаті визначиться структурна схема системи.

На перших трьох етапах відбувається формування *інфологічної моделі.* Схема інфологічної моделі даних представлена на рис. 7.5.

Код причинно-наслідкового зв'язку, визначає взаємозв'язки між об'єктами і слугує для швидкого обмеження кола об'єктів, які можуть бути використані при розв'язку певного класу керуючих задач.

Код територіальної приналежності, вказує на просторово-координовану прив’язку об'єктів, також може бути використаний при необхідності визначення основних властивостей території по об'єктах, що розміщені на ній.

Код бази даних, що вказує на приналежність інформаційного об'єкта до конкретної галузі знань або бази даних, що акумулює інформацію по об’єктах одного класу або групі різнорідних об'єктів, що здійснюють взаємний вплив на інший об'єкт.

У відповідності зі схемою моделі пропонується така ієрархічна організація роботи з інформацією:

– дані першого (нижнього) рівня: семантичні і просторові координати об'єкта: паспортні дані мешканців територіального утворення (регіону), адреси будинків і квартир, назви і розташування підприємств, опис інженерних мереж, географічні координати;

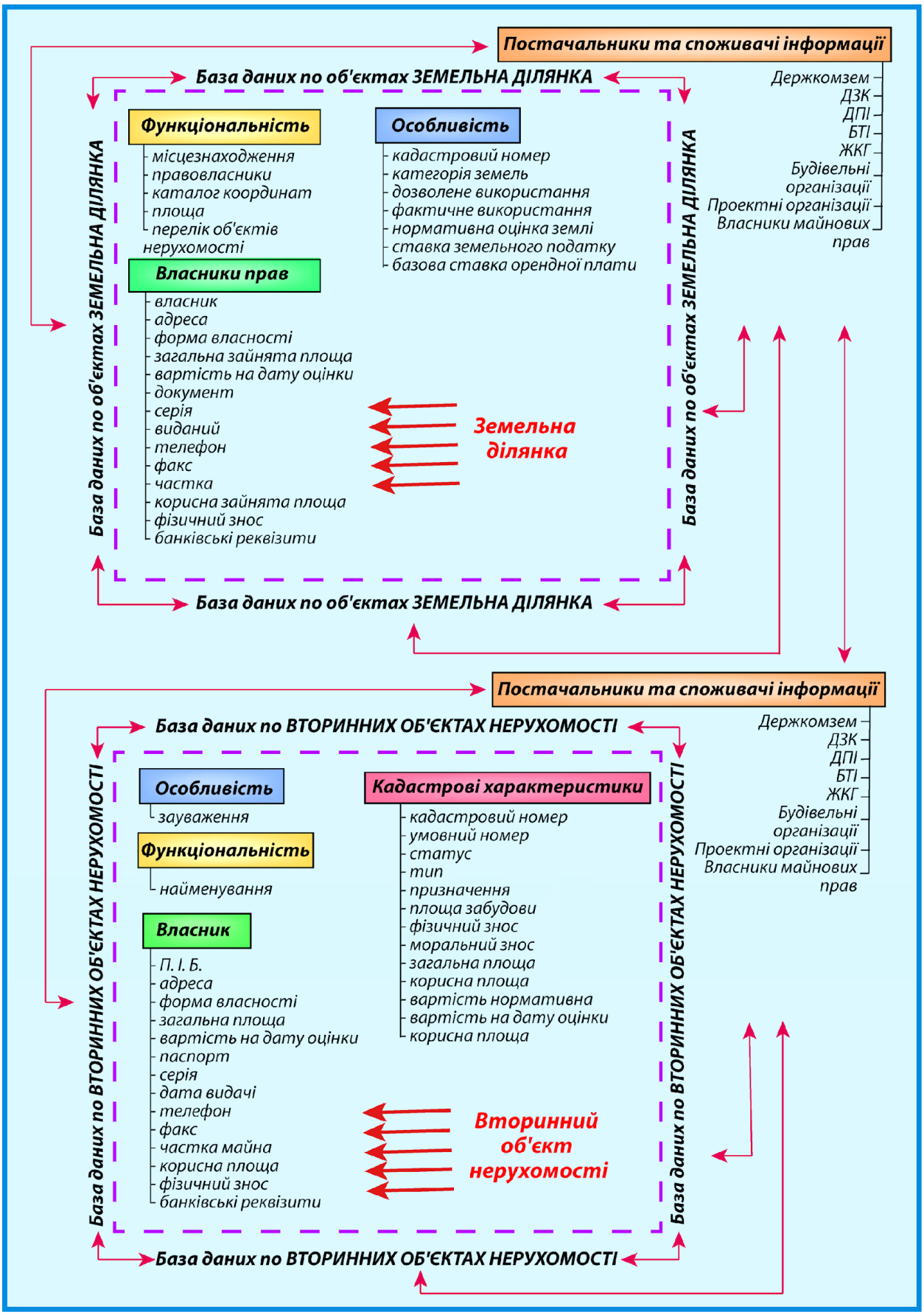
– дані другого (середнього) рівня: дані галузевих баз даних, межі землевідведень, ділянок ЖЕУ тощо;

– дані третього (високого) рівня: підсумкові вибірки з масивів інформації першого і другого рівнів для розв'язку управлінських задач.

Одним з найважливіших елементів ГІС в управлінні територіями є земельний кадастр, в рамках якого систематизується і накопичується інформація за такими розділами: дані про права на землю й іншу нерухомість; відомості про вартість земельної й іншої нерухомості, необхідні для ефективного і справедливого оподатковування майна і адекватного відшкодування його вартості в випадку примусового відчуження земельних ділянок для суспільних потреб; дані про використання земель, які слугують основою для прийняття рішень, спрямованих на оптимізацію територіального розвитку регіонів.

На рис. 7.6, як приклад, наведена одна з можливих структурних компонент ”ГІС земельного кадастру”.

Інформаційною основою ГІС в управлінні територіями є банк даних, склад і організація якого визначаються переліком вхідних і вихідних даних, необхідних для розв'язку функціональних задач.


Постачальники та споживачі інформації
База даних по об'єктах ЗЕМЕЛЬНА ДІЛЯНКА
Держкомзем
ДЗК
ДПІ
БТІ
ЖКГ
Будівельні організації
Проектні організації
Власники майнових прав
Функціональність
місцезнаходження
правовласники
каталог координат
площа
перелік об'єктів нерухомості
Особливість
кадастровий номер
категорія земель
дозволене використання
фактичне використання
нормативна оцінка землі
ставка земельного податку
базова ставка орендної плати
Власники прав
власник
адреса
форма власності
загальна зайнята площа
вартість на дату оцінки
документ
серія
виданий
телефон
факс
частка
корисна зайнята площа
фізичний знос
банківські реквізити
Земельна ділянка
База даних по об'єктах ЗЕМЕЛЬНА ДІЛЯНКА
База даних по об'єктах ЗЕМЕЛЬНА ДІЛЯНКА
База даних по об'єктах ЗЕМЕЛЬНА ДІЛЯНКА
Постачальники та споживачі інформації
База даних по ВТОРИННИХ ОБ'ЄКТАХ НЕРУХОМОСТІ
Держкомзем
ДЗК
ДПІ
БТІ
ЖКГ
Будівельні організації
Проектні організації
Власники майнових прав
Особливість
зауваження
Функціональність
найменування
Власник
П. І. Б.
адреса
форма власності
загальна площа
вартість на дату оцінки
паспорт
серія
дата видачі
телефон
факс
частка майна
корисна площа
фізичний знос
банківські реквізити
Кадастрові характеристики
кадастровий номер
умовний номер
статус
тип
призначення
площа забудови
фізичний знос
моральний знос
загальна площа
корисна площа
вартість нормативна
вартість на дату оцінки
корисна площа
Вторинний об'єкт нерухомості
База даних по ВТОРИННИХ ОБ'ЄКТАХ НЕРУХОМОСТІ
База даних по ВТОРИННИХ ОБ'ЄКТАХ НЕРУХОМОСТІ
База даних по ВТОРИННИХ ОБ'ЄКТАХ НЕРУХОМОСТІ

Групи розв'язуваних задач

- облік землевідводів, облік землекористувачів, облік орендаторів землі, формування баз даних по орендаторах;
- зонування міських територій з метою оподаткування;
- формування реєстру платників податків;
- введення ДЗК;
- введення кадастрової документації
- видача звітних форм та спеціальної документації в паперовому та електронному вигляді;
- надання інформації по персоналіях, адресах, телефонах.

Рис. 7.5. *Функціональна схема ГІС земельного кадастру*

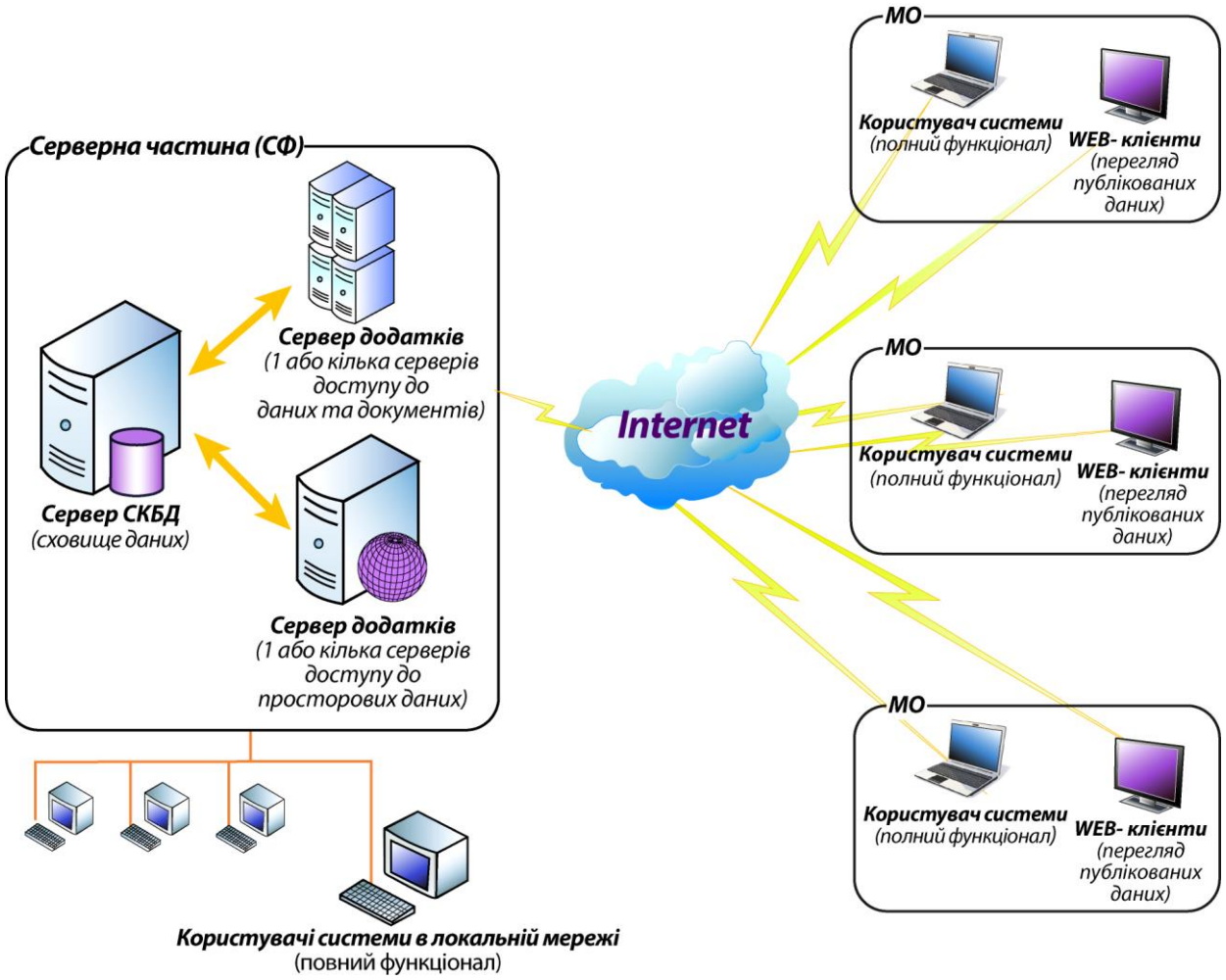


Рис.7.6. *Модель централізованого сховища даних з роботою фахівців муніципальних органів і органів самоврядування в віддаленому режимі*

Основою мережевої структури функціонування ГІС у СУТ доцільно обрати централізоване сховище даних (серверна частина) з роботою фахівців

муніципальних органів і органів самоврядування в віддаленому режимі. При цьому забезпечується робота в локальній мережі.

Загальний банк даних з центром в обласному центрі (рис. 7.7), пов'язується з банками даних в районних центрах областей, які в свою чергу акумулюють інформацію на рівні всього регіону.

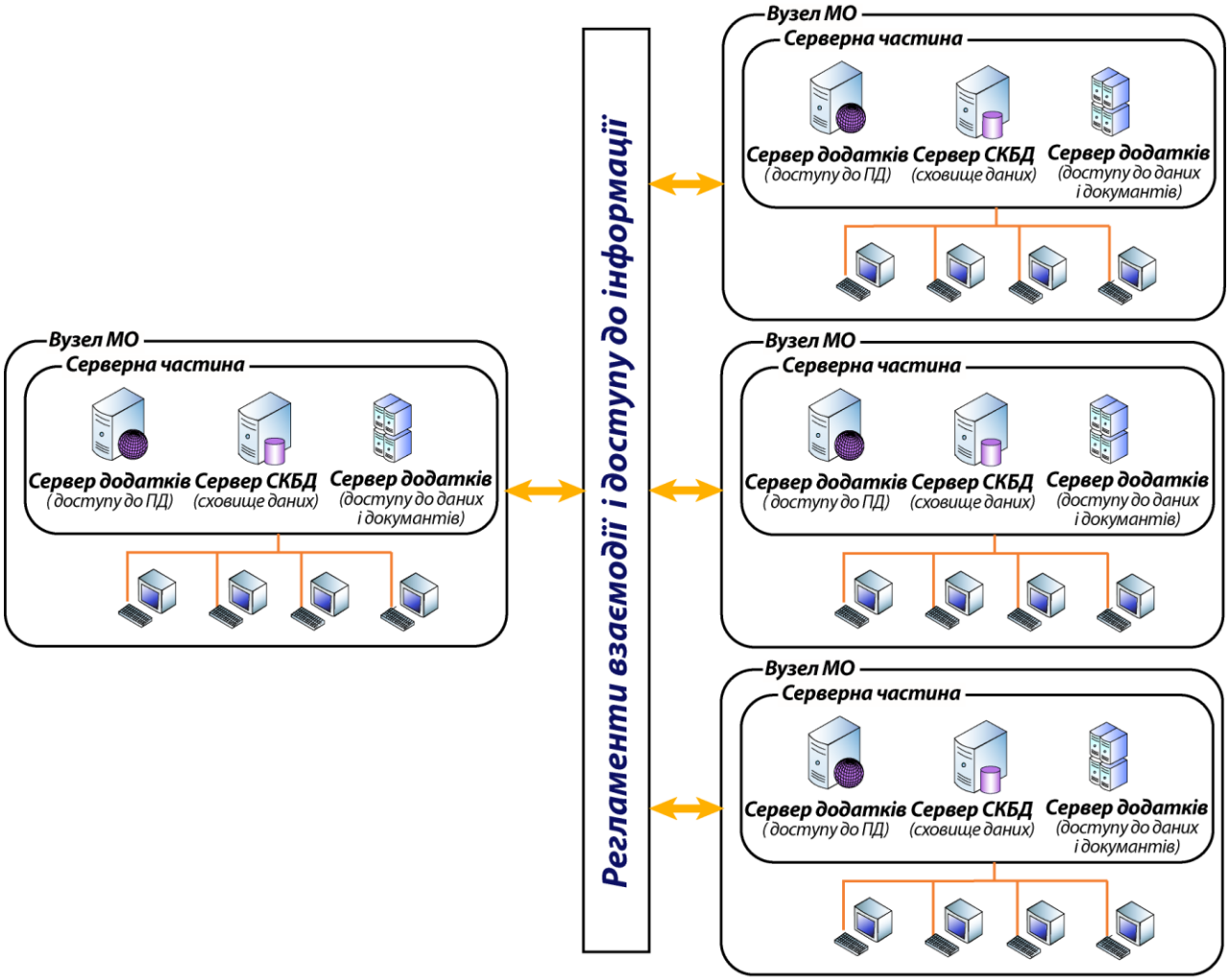


Рис.7.7. *Модель централізованого сховища даних з роботою фахівців муніципальних органів і органів самоврядування за територіальним принципом*

При такому підході на рівні регіону можна завжди забезпечити наявність актуальної інформації по всіх адміністративних районах і населених пунктах, однак такий підхід вимагає створення надійних засобів обміну даними (оптиковолоконні мережі) з усіма суб'єктами, що не завжди можна зробити.

Можливий й другий підхід, коли створюється центральний регіональний вузол (центральне сховище даних) і вузли в кожному територіальному утворенні (адміністративний район, населений пункт). Робота фахівців будується за територіальним принципом.

Для функціонування системи передбачені такі елементи бази даних (БД):

− БД суб'єкта дослідження, яка включає в себе БД адміністративних районів регіону, БД муніципальних, селищних і сільських утворень;

− БД збережених запитів;

− БД системи контролю доступу;

− БД шаблонів звітів;

− БД нормативно-довідкової інформації.

Функціональна схема ГІС у СУТ представлена на рис. 7.8.

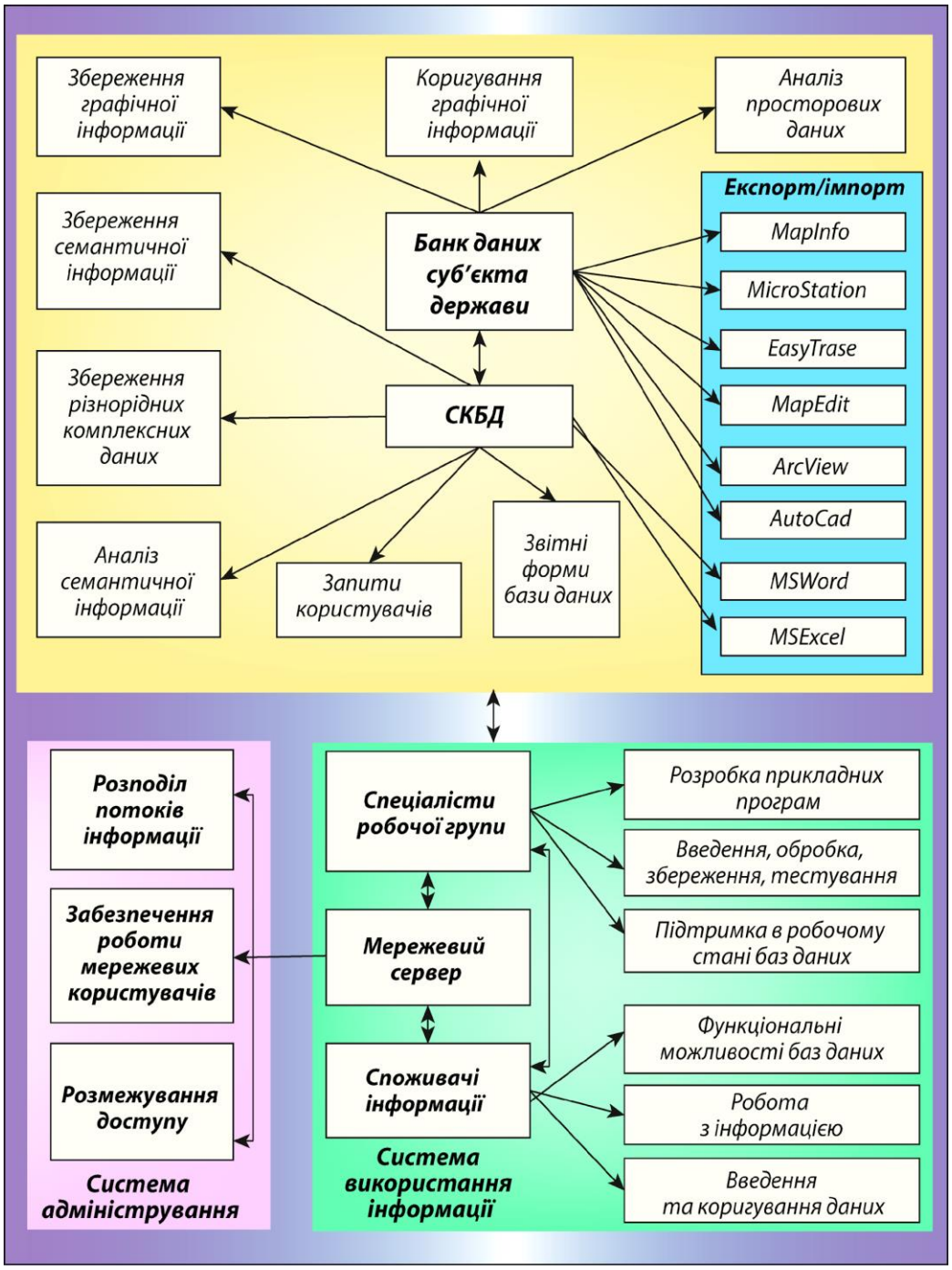


Рис. 7.8. *Функціональна схема ГІС у СУТ*

Для структуризації інформації, що зберігається в базі даних, доцільно розробити набори таблиць, які заповнюються в залежності від рівня

підпорядкованості території: населений пункт, район, область. Як приклад, у табл. 7.1 (Зацерковний, 2014) представлена датологічна модель організації інформаційних потоків у банку даних, а також шляхи одержання похідної інформації про територію.

Таблиця 7.1.

Датологічна модель організації інформаційних потоків у банку даних

Територія	Назва таблиці	Дії з таблицею	
		Стовпці заповнюються (N_i)	Стовпці підсумовуються (M_i)
Населений пункт	Основні відомості про населений пункт	POS1	
	Населення	POS2	
	Житловий фонд	POS4	
	Інженерні мережі	POS5	
	Транспортна мережа	POS6	
	Види використання території	POS7	
	Розподілення будівель	POS8	
Район	Загальні відомості про район	R1	
	Населення	R2	R2=ΣPOS2
	Розселення	R3	R3=ΣPOS1+ΣPOS2
	Житловий фонд	R4	R4=ΣPOS4
	Інженерні мережі	R5	R5=ΣPOS5
	Транспортна мережа	R6	R6=ΣPOS6
	Ресурсна база	R7	
	Зонування	R8	R8=ΣPOS7
	Зведені дані по будівлях	R9	R9=ΣPOS8
	Зведені дані по будинках	R10	R10=ΣPOS9
	Зведені дані по інженерних мережах	R11	R11=ΣR5
Область	Загальні відомості про область	OB1	
	Населення	OB2	OB2=ΣR2
	Житловий фонд	OB3	OB3=ΣR4
	Інженерні мережі	OB4	OB4=ΣR5
	Транспортна мережа	OB5	OB5=ΣR6
	Ресурсна база	OB6	OB6=ΣR7
	Зонування	OB7	OB7=ΣR8
	Зведені дані по муніципальні утворення на території області	OB8	OB8=ΣPOS1
	Зведені дані по будівлях	OB9	OB9=ΣR9
	Зведені дані по будинках	OB10	OB10=ΣR10
	Зведені дані по інженерних мережах	OB11	OB11=ΣR11

Четвертий етап – алгоритмізація методів і розв'язків задач, що стоять перед системою, вибір моделей даних, математичних і технологічних рішень.

П'ятий етап – оптимізація рішень, що здійснюється на основі додаткового дослідження предметної області і специфіки розв'язуваних задач. Цим закінчується побудова системи на *логічному* рівні проектування.

Шостий етап – реалізація системи. В термінах проектування говорять про перехід до *фізичного* (рівня) побудови системи.

Сьомий етап – модернізація створення інформаційної системи, яка передбачає урахування можливих ситуацій функціонування, а також тенденцій розвитку програмно-технологічних засобів.

Для побудови складових структури узагальненої ГІС використаємо метод загальної теорії систем (ЗТС) (Mesarovic & Takahara, 1989).

Визначимо функціональну систему S як відображення вхідної множини *X* (множини первинних елементів) на *вихідну* множину *Y*.

У формальному поданні ЗТС це буде відповідати запису (7.1):

$$S: X \to Y. \tag{7.1}$$

У загальному випадку будь-яка складна система вважається неоднорідною (гетерогенною), тому доцільно розбити її на однорідні компоненти (підсистеми) шляхом побудови стратифікованої (багаторівневої) системи (рис. 7.9).

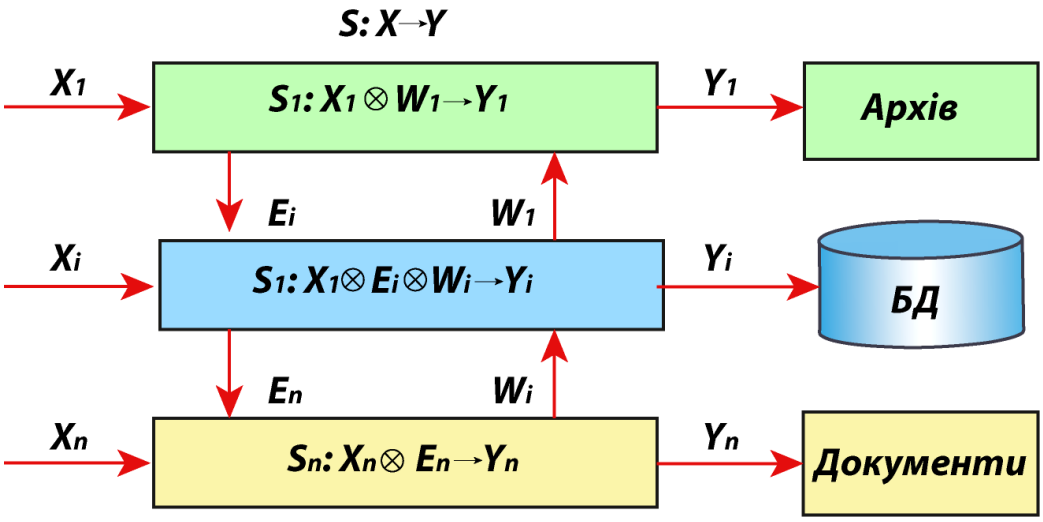


Рис.7.9. *Побудова стратифікованої (багаторівневої) системи*

Страти – це рівні, які визначаються за сукупністю подібних ознак. У залежності від критеріїв оцінки система може розбиватися різним чином, наприклад на системні рівні, якщо критерієм є технологічні ознаки.

Стратифікація (поділ системи *S* на рівні) можлива, якщо множини вхідної (*X*) і вихідної (*Y*) інформації неоднорідні і які можна представити в вигляді декартових добутків (⊗), тобто якщо вхідна і вихідна інформація утворює два незалежних базиси X_i *и* Y_i (7.2):

$$X=(X_1 \otimes X_i \dots X_n);$$
$$Y= (Y_1 \otimes Y_i \dots Y_n). \tag{7.2}$$

У цьому випадку система S може бути описана в вигляді сукупності n рівнів. Для кожного рівня можна записати (7.3):

$$\begin{aligned} &S_1: X_1 \otimes W_1 \rightarrow Y_1; \\ &S_i: X_i \otimes E_i \otimes W_i \rightarrow Y_i; \\ &S_n: X_n \otimes E_n \rightarrow Y_n, \end{aligned} \qquad (7.3)$$

де E, W – відповідно спадні і висхідні інформаційні потоки, які забезпечують зв'язок між рівнями (рис. 7.9).

Саме наявність спадних і висхідних потоків об'єднує підрівні в єдину систему. Відсутність таких потоків призводить до того, що вихідна система S розбивається на сукупність незалежних більш дрібних систем.

Можливість розкладання вхідних/вихідних даних на незалежні групи (7.1) і виявлення спадних і висхідних інформаційних потоків дозволяє розбивати систему на системні рівні, системні рівні – на підсистеми, процеси – на задачі тощо.

Багаторівневість може бути обумовлена різними критеріями, зокрема різнорідністю вхідних/вихідних даних або технологічними ознаками. Наприклад, вихідні множини подаються в вигляді як документів, так і інформаційних даних. Отже, виявлення такої різнорідності слугує основою побудови системи в вигляді сукупності рівнів.

ЗТС в однаковій мірі як для аналізу систем, так і для процесів обробки даних. Це дозволяє визначити структуру створюваної системи і описати її технології.

7.3. Побудова схеми узагальненої ГІС

При системному підході процес розробки ГІС інтерпретується як пошук оптимальної структури системи шляхом її розбивки на підсистеми. При цьому реалізується концепція розробки ”зверху вниз”.

Побудову схеми узагальненої ГІС можна здійснити на підставі аналізу вхідних/вихідних інформаційних потоків, що функціонують в автоматизованій системі,

Сукупність вхідних і вихідних даних ГІС може бути представлена в вигляді незалежних технологічних сукупностей трьох груп: збору, моделювання і збереження, подання. Дійсно, збір інформації здійснюється незалежно від збереження даних. Дані зберігаються незалежно від процедур збору і подання інформації. На подання (видачу) інформації в тій або іншій формі дається завдання незалежно від способів моделювання.

Ці умови є достатніми для того, щоб представити вхідні X і вихідні Y потоки узагальненої ГІС в вигляді незалежних сукупностей (в формі декартових добутків), аналогічно виразу (7.4):

$$X=(X_1 \otimes ТЗ_з \otimes ТЗ_м \otimes ТЗ_п);$$
$$Y=(X_у \otimes ЦММ \otimes ЦМК), \quad (7.4)$$

де $ТЗ_с$ – технічне завдання на збір інформації;

$ТЗ_м$ – технічне завдання на збереження, оновлення й моделювання;

$ТЗ_п$ – технічне завдання на подання даних після остаточної обробки;

X_1 – множина первинних даних, що вимірюються або збираються за допомогою різних технологій;

$X_у$ – множина уніфікованих даних, що отримуються після збору і первинної обробки;

ЦММ – цифрова модель місцевості, що зберігається в базі даних ГІС;

ЦМК – цифрова модель карти, яка згенерована для візуального подання на дисплеї або для печатки.

В рамках даної теорії ЦМК являє собою відображення цифрової моделі місцевості за допомогою засобів комп'ютерної візуалізації. Застосування ЦММ і ЦМК наочно прослідковується в технології роботи модульної системи MGE (Modular GIS Environment) й ряду інших пакетів ГІС.

Множина *X* представляє собою складну сукупність даних, одержуваних за допомогою різних технологій: по фотознімках, геодезичними методами на місцевості, з карт, за допомогою систем GPS (Global Position System), з архівних табличних даних тощо.

На основі ЗТС з урахуванням виразу (7.5) представимо узагальнену ГІС в вигляді стратифікованої трирівневої структури (рис. 7.10):

$$УСО: X_1 \otimes ТЗ_С \otimes НТ_М \otimes X_у;$$
$$УМХ: X_у \otimes ТЗ_М \otimes НТ_П \otimes ЦММ; \quad (7.5)$$
$$УП: ТЗ_П \otimes ЦММ \otimes ЦМК,$$

де *РЗО* – системний рівень збору і первинної обробки інформації;

РМЗ – системний рівень моделювання, збереження й оновлення;

РП – системний рівень подання даних;

$НТ_М$, $НТ_П$ – нормативні вимоги до даних при моделюванні і поданні інформації відповідно; вони є аналогами проміжних висхідних інформаційних потоків.

Для концептуальної побудови ГІС згідно (7.3) необхідно визначити $НТ_М$, $НТ_П$, тобто інформаційну основу.

Таким чином, застосовуючи системний підхід, можна побудувати структурну схему узагальненої ГІС в вигляді трирівневої системи (рис. 7.10) і по цих рівнях проводити порівняння різних ГІС між собою, а також порівняння ГІС з іншими автоматизованими системами.

Нормативні вимоги в (7.3) визначаються при подальшому аналізі, тобто при переході до наступних етапів побудови.

Термін *узагальнена* ГІС означає, що при розгляді ГІС абстрагуємося від конкретного її застосування.

Функціонування узагальненої ГІС згідно її формалізованого опису (7.3) і схемі (рис. 7.10) здійснюється таким чином [122].

На першому системному рівні (РСО) відбувається збір первинних даних X_1, які одержуються за допомогою різних методів і технологій і тому вони мають різну структуру, формат і подання. В процесі первинної обробки ці різнорідні дані корегуються і уніфікуються. В результаті формується певна уніфікована підмножина даних X_y, яка частково зберігається в вигляді архівів і повністю передається на рівень моделювання і збереження.

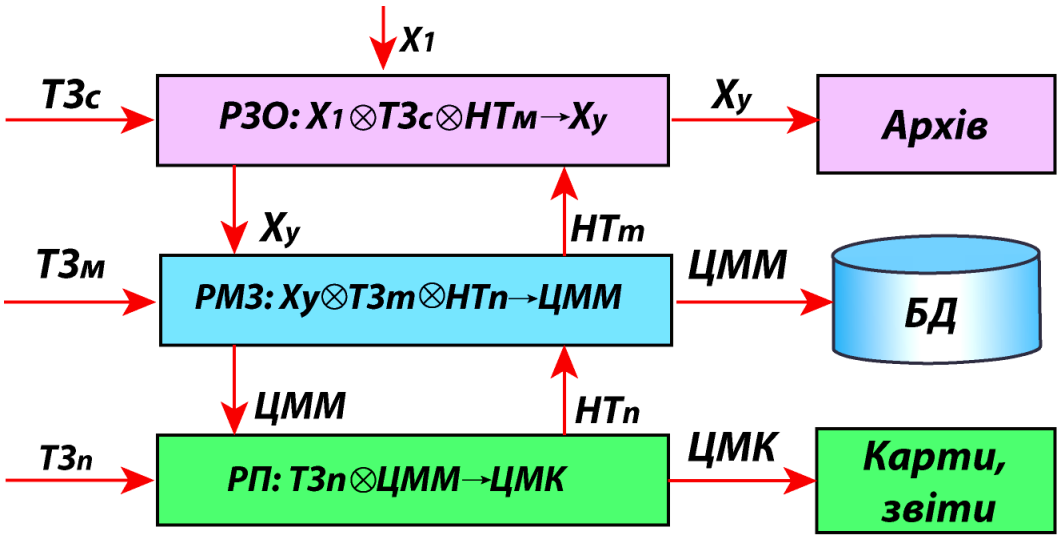


Рис. 7.10. *Структура узагальненої ГІС*

На другому системному рівні (РМХ) здійснюються: аналіз уніфікованої інформації X_y, установлення зв'язків між частинами моделі; усунення надлишковості, якщо така має місце; перевірка на цілісність і несуперечність даних; визначення первинних і зовнішніх ключів; формування метаданих тощо. Підмножина X_y містить необхідні дані для побудови цифрової моделі місцевості, яка зберігається в базі даних у вигляді сукупності графічної і символьної інформації. ЦММ слугує основою для розв'язку прикладних задач на базі різних методів моделювання. Ці процеси також відбуваються на рівні РМХ. В результаті обробки сформована цифрова модель або результат її використання підготовляються для візуального подання. Для цього вона передається на третій системний рівень (Зацерковний, 2014).

На третьому системному рівні (РП) ЦММ перетворюється в цифрову модель карти, яка й слугує основою подання інформації.

Аналізуючи групи задач обробки даних на трьох системних рівнях, можна відзначити наступне.

На першому рівні найбільш широко представлені задачі первинної обробки інформації: розпізнавання, структуризації, декомпозиції, компоновки, виміру, стиснення, контролю, уніфікації.

Для другого рівня визначальними є задачі типізації, геометричного перетворення, експертного типу, побудови цифрових моделей, синтезу тощо.

На третьому рівні найбільш значимі є задачі оптимізації, компоновки, синтезу тощо.

Природно, що різні задачі і методи моделювання можуть бути присутніми кожному рівні в різному ступені, але вид рівня визначає їх значення.

В загальному вигляді ГІС може включати такі підсистеми:

– семантичного моделювання (кодування) інформації, що збирається (перший рівень);

– імітаційного моделювання для контролю вхідної інформації (перший рівень);

– геометричного моделювання (перший, другий і третій рівні);

– імітаційного моделювання для контролю модельних рішень (другий рівень);

– корегуванні інформації на підставі векторних або скалярних критеріїв (перший і другий рівень);

– інтерактивного (евристичного) моделювання (другий рівень);

– семантичного моделювання (кодування) інформації, що зберігається в БД (другий рівень),

– документаційного забезпечення (третій рівень) (Зацерковний, 2014).

При зборі первинної інформації основним є семантичне моделювання. Інваріантне моделювання має пріоритет на другому рівні. Евристичне моделювання займає провідне місце при інтерактивній обробці і в процесах контролю і корекції. Врешті-решт, інформаційне моделювання є основним в підсистемах документаційного забезпечення.

Таким чином, незалежно від вигляду інструментальної системи, що складає основу конкретної ГІС, будь-яка ГІС повинна володіти загальними ознаками і властивостями узагальненої ГІС (Зацерковний, 2014).

Визначимо ГІС як *повну* (інформаційну систему), якщо в ній присутні всі три системних рівня, визначених вище. В протилежному випадку будемо вести мову про *неповну* ГІС.

Даний метод аналізу можна застосувати не тільки до ГІС, а й до будь-якої автоматизованої системи. Отже, будь-яку інформаційну систему, систему управління при аналогічних заданих умовах (7.2) можна представити трирівневою системою. Ця спільність структур систем, що різняться задачами і цілями, а також єдність перетворення інформації дає підставу вести мову і про єдність концепцій і методів обробки даних в цих системах. Отже, на рівні системної структури ГІС та інших автоматизованих систем існує загальність принципів обробки даних для широкого кола прикладних задач, включаючи управління, організацію виробництва, проектування, збереження й оновлення даних. Ця спільність є наслідком інтеграції.

Системний підхід дозволяє побудувати схему ГІС в вигляді основних рівнів обробки інформації і проводити порівняльний аналіз як з іншими автоматизованими системами, так і з ГІС, призначеними для розв'язку різних задач (Bertalanffy, 1968; Chiang & Wainwright, 2005; Hall & Fagen, 1956; Hanrahan et al., 1999; Klir, 2001; Shannon, 1975; Юферева, 2015) .

8. ОЦІНКА ПРИРОСТУ ІНФОРМАЦІЇ ВІД ВПРВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

Питання кількісного виміру інформації є надзвичайно актуальними. Перші чіткі пропозиції про загальні підходи щодо виміру кількості інформації були зроблені Р. Фішером у 1921 р. в процесі розв'язання питань математичної статистики. Проблемами збереження інформації, її передачі по каналах зв'язку і задачами визначення кількості інформації займались Р. Хартлі (1928 р.) і Х. Найквіст (1924 р.). Р. Хартлі заклав основи теорії інформації, визначивши міру кількості інформації для деяких задач (Hartley, 1928).

Найбільш переконливо ці питання були розроблені і узагальнені американським інженером Клодом Шенноном у 1948 р. З цього часу почалось інтенсивний розвиток теорії інформації взагалі і поглиблене дослідження питання про вимір її кількості зокрема.

8.1. Аналіз підходів до визначення кількості інформації

Щоб застосувати математичні засоби для дослідження інформації, потрібно відволіктись від значення (змісту) інформації. Наприклад, якщо зміст вихолощений із повідомлень, то відправною точкою для інформаційної оцінки події залишається тільки безліч відмінних одна від однієї подій і відповідно повідомлень про них.

Припустимо, що нас цікавить інформація про стан деяких об'єктів: у якому з чотирьох можливих станів (тверде, рідке, газоподібне, плазма) знаходиться певна речовина, або який з чотирьох рівнів забруднення води є у річці?

У всіх цих випадках має місце невизначеність події, що цікавить дослідника, яка характеризується наявністю вибору однієї з чотирьох можливостей. Якщо у відповідях на наведені витання відволіктись від їх змісту, то обидві відповіді будуть нести однакову кількість інформації, оскільки кожен з них виділяє один з чотирьох можливих станів об'єкта і, отже, "знімає" одну й ту ж невизначеність повідомлення.

Невизначеність невід'ємна від поняття імовірності. Зменшення невизначеності завжди пов'язано з вибором (відбором) одного або декількох елементів (альтернатив) з певної їх сукупності. Така взаємна зворотність понять імовірності і невизначеності стала основою для використання поняття імовірності при виміру ступеня невизначеності в теорії інформації.

Якщо припустити, що будь-яка з відповідей на питання рівноймовірна, то його імовірність у всіх питаннях дорівнює 1/4. Однакова імовірність відповідей у цьому прикладі обумовлює й рівну невизначеність, що знімається (зменшується) відповіддю у кожному з двох питань, і, отже, кожна з відповідей несе однакову інформацію.

Тепер спробуємо порівняти наступні два питання: до якого класу відноситься дорога (міжнародного, державного, обласного чи місцевого значення)? Працездатна чи непрацездатна система? У першому випадку можливі чотири рівноймовірні відповіді, у другому – дві. Отже, імовірність будь-якої відповіді у другому випадку більше, чим у першому (1/2 > 1/4), в той час, як невизначеність, що знімається відповідями, більше у першому випадку. Будь-яка з можливих відповідей на перше питання знімає більшу невизначеність, на відміну від відповіді на друге питання. Тому відповідь на перше питання несе більше інформації. Отже, чим менше імовірність певної події, тим більшу невизначеність знімає повідомлення про його появу і, отже, більшу інформацію воно несе про цю подію (Hartley, 1928).

Припустимо, що кожна така подія має m рівноймовірних результатів. Такою подією може бути, наприклад, поява будь-якого символу з алфавіту, що містить m таких символів. Як виміряти кількість інформації, яку можна передати за допомогою такого алфавіту? Це можна зробити, визначивши кількість N можливих повідомлень, які можуть бути передані за допомогою цього алфавіту. Якщо повідомлення формується з одного символу, то N = m, якщо з двох, то N = m·m = m2. Якщо повідомлення містить n символів (n – довжина повідомлення), то N = mn. Здавалось б, шукана міра кількості інформації знайдена. Її можна розуміти як міру невизначеності результату випробування (досліду), якщо під дослідом розуміти випадковий вибір якогось повідомлення з певної кількості можливих. Однак ця міра не зовсім зручна. При наявності алфавіту, що складається з одного символу, тобто коли m=1, можлива поява тільки цього символу. Отже, невизначеності в цьому випадку не існує, і поява цього символу не несе ніякої інформації. Між тим, значення N при m=1 не обертається в нуль. Для двох незалежних джерел повідомлень (або алфавіту) з N1 і N2 числом можливих повідомлень загальна кількість можливих повідомлень N = N1N2, в той час як більш логічно було б вважати, що кількість інформації, що отримується від двох незалежних джерел, повинна бути не добутком, а сумою складових величин.

8.1.1. Оцінка кількості інформації за підходом Р. Хартлі

Вихід з цього становища був знайдений Р. Хартлі (Hartley, 1928), який запропонував інформацію I, що є в одному повідомленні, визначати логарифмом загальної кількості можливих повідомлень N (8.1)

$$I(N) = \log N \qquad (8.1)$$

Якщо ж вся множина можливих повідомлень складається з одного (N=m=1), то $I(N)$ =log1=0, що відповідає відсутності інформації в цьому випадку. При наявності незалежних джерел інформації з N_1 і N_2 кількістю можливих повідомлень

$$I\,(N) = log\ N = log\ N_1N_2 = log\ N_1 + log\ N_2, \qquad (8.2)$$

тобто кількість інформації, що припадає на одне повідомлення, дорівнює сумі кількостей інформації, що могли бути отримані від двох незалежних джерел, взятих поодинці. Формула, запропонована Хартлі (Hartley, 1928), задовольняє висунутим вимогам. Тому її можна використовувати для виміру кількості інформації.

Якщо можливість появи будь-якого символу алфавіту рівноймовірна (а ми до цього передбачали, що це саме так), то ця імовірність $p = 1/m$. Вважаючи, що $N = m$,

$$I = log\ N = log\ m = log\ (1/p) = -\ log\ p, \qquad (8.3)$$

тобто кількість інформації на кожний рівноймовірний сигнал дорівнює логарифму імовірності окремого сигналу зі знаком мінус.

Отримана формула дозволяє для деяких випадків визначити кількість інформації. Однак для практичних цілей необхідно задатись одиницею його виміру. Для цього будемо вважати, що інформація – це усунута невизначеність. Тоді в найпростішому випадку невизначеності вибір буде здійснюватись між двома рівноймовірними несумісними повідомленнями, наприклад між двома якісними ознаками: позитивним і негативним імпульсами, імпульсом і паузою тощо. Кількість інформації, що передається в цьому найпростішому випадку, зручніше усього прийняти за одиницю кількості інформації. Саме таку кількість інформації можна отримати, якщо застосувати формулу (8.2) і взяти логарифм за основою 2. Тоді

$$I = -\ log2\ p = -\ log2\ 1/2 = log_2\ 2 = 1 \qquad (8.4)$$

Отримана одиниця кількості інформації являє собою вибір з двох рівноймовірних подій, має назву двійкової одиниці, або *біта*. Назва *bit* утворена з двох початкової і останньої літер англійського виразу *binary digit*, що й означає двійкову одиницю. Біт є не тільки одиницею кількості інформації, але й одиницею виміру ступеня невизначеності. При цьому мається на увазі невизначеність, яка міститься в одному експерименті, що має два рівноймовірних результати.

На кількість інформації, що одержується з повідомлення, впливає фактор несподіванки його для одержувача, який залежить від імовірності отримання того або іншого повідомлення. Чим менше ця імовірність, тим повідомлення

більше несподіване і, отже, більш інформативне. Повідомлення, імовірність появи якого висока і, відповідно, має низький ступінь несподіваності, несе небагато інформації.

Р. Хартлі розумів, що повідомлення мають різну імовірність і, отже, несподіваність їх появи для одержувача буде різною. Але, визначаючи кількість інформації, він прагнув повністю виключити фактор ”несподіваності”. Тому формула Хартлі дозволяє визначити кількість інформації у повідомленні тільки для випадку, коли поява символів рівноймовірна і вони статистично незалежні. На практиці ці умови виконуються рідко. При визначенні кількості інформації необхідно враховувати не тільки кількість різноманітних повідомлень, які можна отримати від джерела, але й імовірність їх одержання.

Найбільше поширення при визначенні середньої кількості інформації, яка міститься у повідомленнях від джерел найрізноманітнішої природи, одержав, підхід К. Шеннона (Shannon, 1975).

8.1.2. Оцінка кількості інформації за підходом К. Шеннона

Нехай джерело передає елементарні сигнали k різних типів. Прослідкуємо за достатньо довгим відрізком повідомлення. Нехай в ньому є N_1 сигналів першого типу, N_2 сигналів другого типу, ..., N_k сигналів k-го типу, причому $N1+N2+...+Nk=N$ – загальна кількість сигналів у спостережуваному відрізку, $f1, f2, ..., fk$ – частоти відповідних сигналів. При зростанні довжини відрізку повідомлення кожна з частот прагне до фіксованої границі, тобто

$$lim\ fi = p_i,\ (i = 1, 2, ..., k), \tag{8.5}$$

де p_i можна вважати імовірністю сигналу.

Припустимо, був отриманий сигнал і-го типу з імовірністю p_i, що містить $-log\ p_i$ одиниць інформації. На відрізку, що розглядається, і-й сигнал зустрінеться приблизно Np_i разів (будемо вважати, що N досить велике), і загальна інформація, що доставлена сигналами цього типу, буде дорівнюватись добутку $Np_i log p_i$. Те ж відноситься й до сигналів будь-якого іншого типу, тому повна кількість інформації, що доставлене відрізком з N сигналом, буде приблизно дорівнювати. $-N \sum_{i=1}^{k} log\ p_i$

Щоб визначити середню кількість інформації, що припадає на один сигнал, тобто питому інформативність джерела, потрібно це число розділити на N. При необмеженому зростанні кількості сигналів приблизна рівність перейде в точну. В результаті буде одержане асимптотичне співвідношення – формула Шеннона (Shannon, 1975)

$$I = -\sum_{i=1}^{k} p_i\ log\ p_i. \tag{8.6}$$

Якщо в формулі Шеннона (Shannon, 1975) прийняти, що $p_1 = p_2 = ... = p_i = ... = p_N = 1/N$, то

$$I = -\sum_{i=1}^{N} \frac{1}{N} log \frac{1}{N} = -log \frac{1}{N} = log N. \quad (8.7)$$

Це свідчить про те, що формула, яка була запропонована Хартлі, являє собою окремий випадок більш загальної формули Шеннона.

Знак мінус у формулі Шеннона не означає, що кількість інформації у повідомленні – негативна величина. Пояснюється це тим, що імовірність p, згідно визначенню, менше одиниці, але більше нуля. Оскільки логарифм числа, меншого одиниці, тобто $log\ p_i$ – величина від'ємна, то добуток імовірності на логарифм числа буде позитивним.

Крім цієї формули, Шенноном (Shannon, 1975) була запропонована абстрактна схема зв'язку, що складається з п'яти елементів (джерела інформації, передатчика, лінії зв'язку, приймача і адресата), і сформульовані теореми про пропускну здатність, завадостійкість, кодування тощо.

В результаті розвитку теорії інформації і її додатків ідеї К. Шеннона швидко поширили свій вплив на найрізноманітніші галузі знань. Було відмічено, що формула Шеннона (Shannon, 1975) дуже схожа на формулу ентропії, що використовується в фізиці, і яка виведена Больцманом. Ентропія позначає ступінь невпорядкованості статистичних форм руху молекул. Ентропія максимальна при рівноймовірному розподілу параметрів руху молекул (напрямку, швидкості і просторовому положенні). Значення ентропії зменшується, якщо рух молекул упорядкувати. По мірі збільшення упорядкованості руху ентропія прагне до нулю (наприклад, коли можливе тільки одне значення і напрямок швидкості)

Використовуючи відмінності формул кількості інформації Шеннона і ентропії Больцмана (різні знаки), Л. Бриллюен охарактеризував інформацію як негативну ентропію, або негентропію. Оскільки ентропія є мірою невпорядкованості, то інформація може бути визнана як міра впорядкованості матеріальних систем (Brillouin, 1956).

У зв'язку з тим, що зовнішній вид формул співпадає, можна припустити, що поняття інформація нічого не додає до поняття ентропії. Однак це не так. Якщо поняття ентропії застосовувалось раніше тільки для систем, що прагли до термодинамічної рівноваги, тобто до максимального безладу в русі її складових, до збільшення ентропії, то поняття інформації звернуло увагу і на ті системи, які не збільшували ентропію, а навпаки, перебуваючи в стані з невеликими значеннями ентропії, прагли до її подальшого зменшення.

Важко переоцінити значення ідей теорії інформації в розвитку найрізноманітніших наукових сфер. Однак, на думку К. Шеннона, всі невирішені проблеми не можуть бути вирішені за допомогою таких магічних слів, як "інформація", "ентропія", "надлишковість".

Теорія інформації заснована на імовірнісних, статистичних закономірностях явищах. Вона дає корисний, проте не універсальний апарат. Тому безліч ситуацій не вкладаються в інформаційну модель Шеннона. Не

завжди видається можливим заздалегідь встановити перелік усіх станів системи і обчислити їх імовірності. Крім того, в теорії інформації розглядається тільки формальна сторона повідомлення, в той час як його зміст залишається поза увагою. Наприклад, система радіолокаційних станцій веде спостереження за повітряним простором з метою виявлення літака супротивника Система S, за якою ведеться спостереження, може бути в одному із двох станів x_1 – супротивник є, x_2 – супротивника відсутній. Важливість першого повідомлення неможливо оцінити за допомогою імовірнісного підходу. Цей підхід і заснована на ньому міра кількості інформації висвітлюють перед усім, ”структурно-синтаксичну” сторону її передачі, тобто. висвітлюють відношення сигналів. Однак поняття ”імовірність”, ”невизначеність”, з якими пов’язане поняття інформації, передбачає процес вибору. Цей процес може бути здійснений тільки при наявності безлічі можливостей. Без цієї умови, як модно припустити, передача інформації неможлива (Зацерковний, 2013).

8.1.3. Змістовна оцінка кількості інформації

Прагнення оцінити змістовну сторону інформації зумовило розвиток семантичної теорії, що базується на семіотиці — науці про знакові системи. Оскільки інформація невіддільна від носія, вона завжди втілюється у знаках, словах та мовах. Семіотика розглядає знак як елемент повідомлення, слово — як значущу сукупність знаків, а мову — як систему правил їх використання. Відтак, аналіз знакових структур є ключовим методом визначення кількості, змісту та прагматичної цінності інформації. (Панкратова, 2011).

Як знакові системи використовуються природні і штучні мови, в тому числі інформаційні і мови програмування, різні системи сигналізації, логічні, математичні і хімічні символи. Вони слугують засобом обміну інформацією між високоорганізованими системами (здатними до навчання і самоорганізації). Прикладом можуть слугувати живі організми, машини з певними властивостями.

Розглядаючи знакові системи, виділяють три основних аспекти їх вивчення: синтактику, семантику і прагматику.

Синтактика вивчає синтаксис знакових структур, тобто способи сполучень знаків, правила утворення цих сполучень і їх перетворень безвідносно до їх значень. Відзначимо у зв’язку з цим, що розглянуті попередньо способи визначення кількості інформації можна віднести до синтаксичних способів.

Семантика вивчає знакові системи як засоби виразу сенсу, певного змісту, тобто правила інтерпретації знаків і їх сполучень, змістовну сторону мови.

Прагматика розглядає співвідношення між знаковими системами і їх користувачами, або приймачами-інтерпретаторами повідомлень. Іншими

словами, до прагматики відноситься вивчення практичної корисності знаків, слів і, отже, повідомлень, тобто споживчої сторони мови (Morris, 1938).

Основна ідея семантичної концепції інформації полягає в можливості виміру змісту (предметного значення) суджень. Але зміст завжди пов'язаний з формою, тому синтаксичні і семантичні властивості інформації взаємопов'язані, хоча й різняться. Виходить, що зміст все-таки можна виміряти через форму, тобто семантичні властивості інформації виразити через семантичні. Тому й дослідження семантики ґрунтувались на понятті інформації як зменшенні або усуненні невизначеності (Carnap, & Bar-Hillel, 1952).

Потрібно відзначити, що методи точного кількісного виміру змісту інформації на даний час ще не розроблені, тому обмежимося тільки коротким описом підходів до вирішення цієї проблеми.

Першу спробу побудови теорії семантичної інформації зробили Р. Карнап та І. Бар-Хіллел (Carnap, & Bar-Hillel, 1952). Дослідники запропонували визначати вимір семантичної інформації за допомогою логічної вірогідності, яка полягає у рівні підтвердження певної гіпотези. При цьому, кількість семантичної інформації, що міститься у повідомленні, зростає зі зменшенням ступеня підтвердження апріорної гіпотези. Якщо гіпотеза побудована на емпіричних даних, які повністю дублюються у повідомленні, то повідомлення не несе ніяких нових відомостей (Панкратова, 2011).

Логічна ймовірність гіпотези при цьому дорівнює одиниці, а семантична інформація виявляється рівною нулю. Гіпотеза тут повністю випливає з даних експерименту. І навпаки, по мірі зменшення ступеня підтвердження гіпотези, або запасу знань, кількість семантичної інформації, що надається повідомленням, зростає. Чим більше логічна імовірність висловлення, тим менше повинна бути міра його вмісту, тобто чим більше описів стану "дозволяє" те або інше висловлення, тим менше повинна бути його семантична інформативність і, навпаки, чим більше описів стану ним виключається, тим більше повинна бути його інформативність. Таким чином, семантико-інформаційний вміст висловлення визначається не тим, що містить даний вислів, а тим, що воно виключає (Панкратова, 2011).

Концепція Карнапа-Бар-Хіллела отримала продовження в працях Кемені (Kemeny, 1953) які прокладають шлях до сфери виміру змісту інформації, що передається. Ця концепція дозволяє, наприклад, встановити зв'язок між гіпотезою і початковим достовірним значенням, зокрема зробити висновок про ступінь підтвердження гіпотези (Панкратова, 2011).

Фінський вчений Я. Хінтикка (Hintikka, & Pietarinen, 1966) застосував основні ідеї семантичної теорії інформації Карнапа і Бар-Хиллела для логіки висловлень. Для багатьох ситуацій (спостереження, виміри, підтвердження гіпотези, наукове прогнозування, пояснення) він запропонував метод визначення зменшення невизначеності, яке, наприклад, зазнає гіпотеза g після одержання того або іншого емпіричного факту h або взагалі зміни

інформаційного змісту висловлення g при отриманні висловлення h (Klir, 2001).

Незважаючи на певні досягнення, пропозиції Карнапа-Бар-Хіллела виявились малопридатними для аналізу змісту природної мови, а також наукового знання. Ця теорія, що ґрунтується на імовірнісній логіці, незастосовна до аналізу основного масиву наукового знання – достовірного знання. З точки зору цієї теорії, наприклад, вислів ”На Місяці є нафта” містить інформацію, а ”На Землі є нафта” – ні, оскільки це достовірне знання (Юферева, 2015).

На початку 1960-х рр. радянський вчений Ю. Шрейдер спробував розробити методи визначення впливу розмаїтості складу і структурності інформації на її прийом та ефективність обробки для подальшого використання. Теорія Ю. Шрейдера відрізнялася від теорії інформації К. Шеннона своїми вихідними положеннями. В теорії Ю. Шрейдера акцентується на властивостях приймача, що сприймає і накопичує інформацію та на оцінці її змістового значення, але питання про канал передачі інформації відсувається на другий план. Основна ідея семантичної теорії інформації полягає в тому, що семантичну інформацію, яка сприймається системою, можна оцінювати за ступенем зміни власне семантичної інформації, що відбулись у системі (Панкратова, 2011).

Для того, щоб сприймати будь-яку інформацію від зовнішніх джерел система-приймач має мати мінімальний запас знань (внутрішня інформація), який позначається терміном тезаурус. Якщо внутрішня інформація дозволяє, система може розширити свій тезаурус аж до максимальної для неї доступної інформації, коли тезаурус збагачується до оптимального рівня. Подальше сприйняття інформації стає надлишковим (все менш значущим) і нарешті система постає насиченою та ”знає все”. Цю схему Ю. Шрейдер пояснює на прикладі сприйняття інформації людиною (Панкратова, 2011).

Сутність схеми така: кількість інформації, що видобувається людиною з повідомлення, визначається ступенем змін її знання. Будова людського знання, згідно із семантичною теорією, розглядається у вигляді сукупності змістовиражальних елементів та змістових відношень між ними. Множинність змістовиражальних елементів та змістових відношень називається тезаурусом (Панкратова, 2011).

Слово ”тезаурус” грецького походження, означає ”скарбниця”. Отже, тезаурус – це знання, яке подане у вигляді понять та відношень між ними, тобто є певним чином структурованим знанням. Тезаурус має складну структуру, де одні поняття та відношення, групуючись, утворюють інші, які, у свою чергу, формують більш складні поняття та відношення. Тезаурус є засобом подання знань, а оскільки знання кожної людини різні, то, відповідно, відрізняються і їх тезауруси.

Використання поняття «тезаурус» (база знань) дозволяє оцінити кількість отриманої інформації за ступенем змін у внутрішній структурі знань приймача. Ефективність цього процесу залежить від узгодженості тезаурусів джерела та

одержувача. Якщо повідомлення занадто складне для поточного рівня знань (наприклад, наукове визначення лісу для немовляти), воно не розкриває зв’язків між поняттями й не змінює тезаурус, а отже — не несе інформації. Справжнє отримання інформації — це трансформація змістових елементів та відношень між ними.

Суттєва розбіжність між тезаурусами джерела та приймача мінімізує кількість засвоєної інформації. Яскравим прикладом є «передчасні» відкриття, які суспільство не здатне оцінити через неготовність своєї бази знань. Зокрема, ідеї М. Лобачевського щодо неевклідової геометрії, викладені у 1826 році, спершу ігнорувалися або жорстко критикувалися. Світ визнав це видатне досягнення лише через 12 років після смерті вченого, коли загальний науковий тезаурус нарешті еволюціонував до рівня сприйняття його концепцій. (Катренко, 2003).

Дослідження співвідношення між знаками та їхніми користувачами з точки зору використання отриманої інформації та впливу знаків на поведінку систем складає основу прагматичної концепції теорії інформації (Юферова, 2015).

8.2. Розроблення моделі оцінки приросту інформації, що одержується при впровадженні ГІС у систему управління територіями

Об’єктами дослідження ГІС у СУТ виступають реально існуючі процеси, явища, системи, події на певній території, взаємодії, зв'язки між ними, закономірності, притаманні певній множині (класу) досліджуваних об'єктів. Метою дослідження є одержання додаткової інформації про територіальні об’єкти з метою більш ефективного управління ними.

Аналізуючи практику розв’язку задач управління територіями за допомогою ГІС, не можна не звернути уваги на неформальність постановки більшості задач (Александров та ін., 2010). Експерт-аналітик, що працює з даними інформаційного середовища певної території, отримавши просторові і атрибутивні дані, звертається до карт і схем території, маючи найчастіше лише інтуїтивне уявлення про план наступних дій. Це зумовлюється як нестачею вихідних даних, так і розмаїттям виникаючих реальних ситуацій. Тому в умовах складної формалізації задач управління територіями роль ГІС зводиться не до видачі готових рішень, а до надання геоінформаційної підтримки прийняття рішень.

Для опису реальних об'єктів в ГІС використовується модель просторових даних, тобто спосіб цифрового опису просторових об'єктів, що містить відомості про їхнє розміщення і властивості, просторові та непросторові атрибути. Математичні моделі об'єктів територіального управління і

відношення між ними, що використовуються в ГІС і які приведені в систему, утворюють тезаурус цієї системи, що являє собою множину математичних моделей (Craighead & Convis, 2013), упорядкованих і класифікованих за певною системою ознак.

Тезаурус – це "запас" моделей, які є у розпорядженні дослідника при даному стані теоретичного обґрунтування ГІС, або обрані чи створені ним виходячи з практичних міркувань, з урахуванням наявних обмежень процесу управління *(Зацерковний, 2013).*

Для підвищення ефективності управління територіями за допомогою ГІС необхідно розширити тезаурус цієї системи, що включає в себе моделі досліджуваних об'єктів, результатів вимірів, зовнішніх факторів впливу, вимірювальної системи і її підсистем.

У процесі управління територіями ГІС виступають засобом підтримки прийняття рішень, у наукових дослідженнях ГІС – це завжди система, спрямована на одержання нових знань і наукових даних. Але як в першому, так і в другому випадку, ГІС – це система одержання додаткової корисної інформації.

Процес управління певною територією зазвичай розтягнутий у часі і може вестися або безперервно, або дискретно з певною частотою $1/T_n$, яка обирається за умови достатності часу для зменшення невизначеності до заданого рівня при певній інтенсивності моніторингу й управління. Його можна розглядати як процес виконання ГІС за певним алгоритмом складних k іспитів (випробувань, досліджень) $G_{ij}(i = l, 2, \dots, k)(j = 1,2, \dots, l)$, що не перевершують l іспитів. У процесі здійснення цих іспитів частина невизначеності (ентропія) замінюється інформацією, тобто процес управління територіальним утворенням зводиться до одночасного паралельного або зсунутого у часі переведенню багатовимірного вектора $X(x_i, t, \tau)$ у багатомірний вектор $Y(y_i, t, \tau)$ $X \to Y$ (рис. 8.1).

Незважаючи на наявність у такій системі не тільки фізичних, але й інформаційних, економічних та інших процесів, обмежимося розглядом тільки інформаційних взаємодій. Властивості такої системи передбачають наявність у ній елементів і зв'язків різної природи. Відслідковуючи ці зв'язки, можна побачити результат взаємодії не тільки елементів, а й усієї системи.

У процесі функціонування до ГІС надходить інформація про стан досліджуваних об'єктів, фіксуючи тим самим певні властивості зовнішніх і внутрішніх процесів та явищ, що відбуваються на певній території і впливають на них.

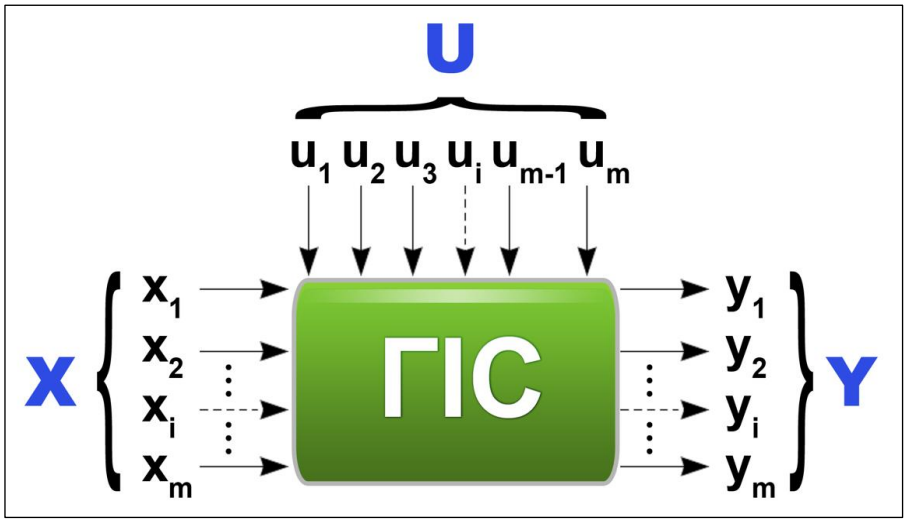


Рис. 8.1. *Вхідні і вихідні сигнали ГІС в управлінні територіями*

Володіючи можливістю фіксації зміни станів об'єктів територіального утворення, впливом на нього інших систем і природних чинників, ГІС аналізує ці зміни і інтерпретує їх, надаючи тим самим додаткову інформацію в канал управління, тобто переводить об'єкт управління територіями в новий апостеріорний стан, який визначається вектором $Y(t,\tau)$.

Відомо декілька способів визначення кількості приросту інформації: ентропійний; алгоритмічний; комбінаторний; семантичний і прагматичний (Панкратова, 2011).

Найбільш доцільним способом оцінки приросту інформації, яку можна отримати за допомогою впровадження ГІС в СУТ, є ентропійний підхід. Ентропія має переваги перед імовірнісною оцінкою приросту кількості інформації, оскільки не пов'язана із статистичними законами розподілу випадкових величин. За величиною ентропії можна судити про рівні надійності каналів ГІС і вибір оптимального каналу з точки зору надійності.

Кількість інформації, що отримується у процесі управління територіями, дорівнює зміні ентропії:

$$I_{G_{ij}}(X,t,\tau) = H_0(X,t,\tau) - H_{G_{ij}}(X,t,\tau), \qquad (8.8)$$

де $H_{G_{ij}}(X,t,\tau) = p_{G_{ij}}H_{G_{ij}}(X,t,\tau)+\ldots+p_{G_{il}}H_{G_{il}}(X,t,\tau)$ – умовна ентропія стану об'єкта управління при здійсненні складного іспиту (дослідження) G_{ij}, що складається з l підіспитів; $p_{G_{ij}}$ – імовірність результату іспиту G_{ij}.

Найбільш цікавими для практики є випадки, коли має місце точне, але з запізнюванням на τ_3 відтворення стаціонарного випадкового процесу [135]: $Y(y_i,t,\tau) = X(x_i,t-\tau_3,\tau)$, або коли вихідний процес відтворюється без запізнювання, але діє вектор збурень U (рис. 8.1), який не залежить від вхідного процесу:

$$Y(y_i,t,\tau) = X(x_i,t-\tau_3,\tau) + U(u_j,t,\tau), \qquad (8.9)$$

де *j= 1, 2,.. m*.

При цьому передбачається, що вектор $X(t,\tau)$ характеризує апріорний стан об'єкта без урахування раптових відмов (надзвичайних або аварійних) ситуацій.

Середню кількість інформації, отримувану при переведенні вектора $X(t,\tau)$, можна визначити за формулою (Friedman et al., 2008):

$$I(X \to Y,t,\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int f(X,Y,t,\tau)\, log_2 \frac{f(X,Y,t,\tau)}{f(X,t,\tau)f(Y,t,\tau)}\, dXdY, \quad (8.10)$$

де $f(X,Y,t,\tau)$ – загальний диференціальний закон розподілу векторів *X* і *Y*;

$f(X,t,\tau)$ – диференціальний закон розподілу вектора *X*;

$f(Y,t,\tau)$ – диференціальний закон розподілу вектора *Y*.

Виконавши певні перетворення, формулу (8.3) представимо у вигляді:

$$I(X \to Y,t,\tau) = H(X,t,\tau) - m_Y[H_Y(X,t,\tau)], \quad (8.11)$$

або

$$I(X \to Y,t,\tau) = H(Y,t,\tau) - m_X[H_X(Y,t,\tau)], \quad (8.12)$$

де $H(X,t,\tau) = -\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int f(X,t,\tau)\, log_2 f\,(X,t,\tau)dx$ – апріорна ентропія вектора *X*;

$m_Y[H_Y(X,t,\tau)] = -\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int f(X,t,\tau,Y)\, log_2 f\,(X,Y,t,\tau)dXDY$ – усереднене за вихідними параметрами значення ентропії після одержання сигналів на виході;

$f_Y(X,t,\tau)$ – умовний диференціальний закон розподілу вектора *X* при одержанні вектора *Y*. При цьому отримуємо (Friedman et al., 2008)

$$f_Y(X,t,\tau) = \frac{f(X,Y,t,\tau)}{f(Y,t,\tau)}. \quad (8.13)$$

При нормальному законі розподілу випадкових векторів на вході і виході ГІС у процесі управління територіями маємо:

$$f(X,t,\tau) = \frac{1}{\sigma_X\sqrt{2\pi}} exp\left\{\frac{(X-m_X)^2}{2\sigma_X^2}\right\}; \quad (8.14)$$

$$f(Y,t,\tau) = \frac{1}{\sigma_Y\sqrt{2\pi}} exp\left\{\frac{(Y-m_Y)^2}{2\sigma_Y^2}\right\}. \quad (8.15)$$

Далі знаходимо:

$$log_2 \frac{f(X,Y,t,\tau)}{f(X,t,\tau)f(Y,t,\tau)} =$$

$$= log_2 \frac{1}{\sqrt{1-r^2}} - \frac{r^2 \log_2 e}{2(1-r^2)} \left[\frac{(X-m_X)^2}{\sigma_X^2} - \frac{2(X-m_X)(Y-m_Y)}{r\sigma_X\sigma_Y} + \frac{(Y-m_Y)^2}{\sigma_Y^2} \right]. \quad (8.16)$$

Підставивши вирази (8.14), (8.15) і (8.16) в формулу (8.13), після певних перетворень можна отримати

$$I(X \to Y, t, \tau) = log_2 \frac{1}{\sqrt{1-r_{XY}^2(t,\tau)}} = -\frac{1}{2} log_2 [1 - r_{XY}^2(t,\tau)], \quad (8.17)$$

$$r_{XY}(t,\tau) = \frac{1}{\sigma_X\sigma_Y} \int_{-\infty}^{\infty} (X - m_X)(Y - m_Y) f(X, Y, t, \tau) dX dY,$$

де r_{XY} – коефіцієнт кореляції векторів *X*, *Y*; $\sigma_X^2(t,\tau)$ – дисперсії векторів *X*, *Y*.

Ентропія випадкового *m*-мірного вектора *X(t, τ)*, що підпорядковується нормальному закону розподілу, дорівнює: $H(X,t,\tau) = log_2 \sqrt{(2\pi e)^m |R^{XX}|}$.

Середня кількість інформації при перетворенні $X \to Y$ можна виразити через кореляційні матриці:

$$I(X \to Y, t, \tau) = -\frac{1}{2} log_2 \frac{|R|}{|R^{XX}| + |R^{YY}|}, \quad (8.18)$$

де $R^{XX} = \begin{vmatrix} R_1^{XX} \cdots R_{1m}^{XX} \\ R_2^{XX} \cdots R_{2m}^{XX} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ R_{m1}^{XX} \cdots R_{mm}^{XX} \end{vmatrix}$; $R^{YY} = \begin{vmatrix} R_1^{YY} \cdots R_{1m}^{YY} \\ R_2^{YY} \cdots R_{2m}^{YY} \\ \vdots \quad \vdots \quad \vdots \\ R_{m1}^{YY} \cdots R_{mm}^{YY} \end{vmatrix}$; $R^{XY} =$

$$\begin{vmatrix} R_{11}^{XX} & \dots & R_{1m}^{XX} R_{11}^{XX} & \dots & R_{1m}^{XY} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ R_{m1}^{XX} & \dots & R_{mm}^{XX} R_{11}^{XY} & \cdots & R^{XY} \\ R_{11}^{XY} & \dots & R_{1m}^{XY} R_{11}^{YY} & \cdots & R_{1m}^{YY} \\ R_{m1}^{XY} & \dots & R_{mm}^{XY} R_{1m}^{YY} & \cdots & R_{mm}^{YY} \end{vmatrix} \quad (8.19)$$

– кореляційні визначники, що відповідають кореляційним матрицям, складеним з кореляційних моментів:

$$R_{\nu\mu}^{XX} = m\left[(X_\nu - m_{X_0})(X_\mu - m_{X_\mu})\right];$$
$$R_{\nu\mu}^{YY} = m\left[(Y_\nu - m_{Y_0})(Y_\mu - m_{Y_\mu})\right];$$
$$R_{\nu\mu}^{XY} = \left[m(X_\nu - m_{Y_\mu})(X_\mu - m_{X_\mu})\right]. \quad (8.20)$$

При незалежних компонентах вектора *X(t,τ)* маємо

$R_{\nu\mu}^{XX} = \begin{cases} \sigma_0^2 \ при & \nu = \mu \\ 0 \ при & \nu \neq \nu \end{cases}$, а ентропія вектора дорівнює:

$$H(X,t,\tau) = log_2\,\sigma_1\sqrt{2\pi e}+\ldots+log_2\,\sigma_m\sqrt{2\pi e}. \qquad (8.21)$$

Відомо, що ступінь зв'язку між випадковими процесами характеризується кореляційною функцією. Якщо вихідний вектор *Y(t,τ)* не пов'язаний з вхідним вектором *X(t,τ)*, то $R_{\nu\mu}^{XX} = 0$, тобто кількість інформації, що надходить у процесі управління, $I(X \to Y, t, \tau) = 0$.

При урахуванні усіх характеристик вектора *X(t,τ)* коефіцієнт кореляції $r_{XY}(t,\tau) \to 0$, отже $I(X \to Y, t, \tau) \to \infty$. Для одновимірного випадкового процесу формула (8.5) перетворюється в формулу

$$I(x_i \to y_i, t, \tau) = -\frac{1}{2}log_2[1 - r^2(t,\tau)], \qquad (8.22)$$

де $r(t,\tau) = -\frac{R_{11}^{XX}(t,\tau)}{\sigma_X(t,\tau)\sigma_Y(t,\tau)}$ – коефіцієнт кореляції.

Розглянемо окремі випадки одновимірної передачі інформації. При запізнюванні відтворення

$$y(t,\tau) = x(t-\tau_3,\tau); \qquad (8.23)$$

$$r(t,\tau) = -\frac{1}{\sigma^2}\int_{-\infty}^{\infty}\ldots\int[x(t)-m_x]\,[x(t-\tau_3)-m_x]f(x,y,t,\tau)dxdy, \qquad (8.24)$$

або остаточно $r(t,\tau) = \frac{R(\tau_3)}{R(0)}$, де $R(\tau_3)$ – кореляційна функція центрованої випадкової величини; $R(0) = \sigma^2$ – дисперсія.

Кількість інформації у цьому випадку дорівнює:

$$I(x \to y, t, \tau) = -\frac{1}{2}log_2\left[1 - \frac{R^2(\tau_3)}{R^2(0)}\right]. \qquad (8.25)$$

Оскільки $0 \le R(\tau_3)/R(0) < 1$ при $\tau_3 > 0$, то $\infty > I(x \to y, t, \tau) \ge 0$.

ГІС в СУТ спроможна надати додаткову інформацію про стан об'єкта, якщо вона представляє вихідний вектор $Y(t,\tau)$ при мінімальній затримці τ_3: при $\tau_3 \to 0$ $R(\tau_3) \to 0$ і, отже, $I(X \to Y, t, \tau) \to \infty$.

ГІС в СУТ практично не надає додаткової інформації про стан об'єкта дослідження, якщо вона представляє вихідний вектор $Y(t,\tau)$ з великою затримкою τ_3: при $\tau_3 \to \infty$ $R(\tau_3) \to 0$ і, отже, $I(X \to Y, t, \tau) = 0$.

При наявності шумів *u (t,τ)* і нормальному розподілі параметрів *x*, *y* маємо

$$y(t,\tau) = x(t,\tau) + u(t,\tau),$$
$$\sigma_Y^2(t,\tau) = \sigma_x^2(t,\tau) + \sigma_u^2(t,\tau), \qquad (8.26)$$

$$r(t,\tau)=\frac{1}{\sigma_x\sigma_y}\int_{-\infty}^{\infty}\dots\int(x-m_x)(y-m_y)f(x,y,t,\tau)dxdy=\frac{\sigma_x^2}{\sigma_x\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_u^2}}=\frac{1}{\sqrt{1+\frac{\sigma_u^2}{\sigma_x^2}}}.$$

Середня кількість інформації, яку можна отримати при наявності шумів, дорівнює:

$$I(x\to y,t,\tau)=-\frac{1}{2}log_2(1-r^2)=\frac{1}{2}log_2\frac{\sigma_x^2+\sigma_u^2}{\sigma_u^2}. \qquad (8.27)$$

Якщо точність переведення вхідного вектора $X(t,\tau)$ у вихідний вектор $Y(t,\tau)$ є невисокою (присутні похибки), так що $\sigma_u >> \sigma_x$, то

$$\frac{\sigma_x^2+\sigma_u^2}{\sigma_u^2}\to 1 \text{ і отже } I(X\to Y,t,\tau)\to 0. \qquad (8.28)$$

ГІС у СУТ спроможна надати істотну кількість інформації про стан об'єкта при високій точності переведення вхідного вектора $X(t,\tau)$ у вихідний вектор $Y(t,\tau)$.

$$\text{При } \sigma_u >> \sigma_x\ \frac{\sigma_x^2}{\sigma_u^2}+1\to\infty \text{ і, отже, } I(x\to y,t,\tau)\to\infty. \qquad (8.29)$$

Таким чином, середня кількість інформації, що отримується у процесі управління територіями при використанні ГІС при нормальному законі розподілу параметрів і похибок, залежить від дисперсії похибок і точності ГІС, а також від ступеня зв'язку векторів X і Y і затримки відтворення. При законах розподілу вихідних параметрів і завад, які відрізняються від нормальних, середня кількість інформації, що отримується у процесі контролю, визначається за формулою (8.13).

8.3. Розроблення моделі оцінки приросту інформації, що одержується при впровадженні ГІС у систему управління територіями в канал зворотного зв’язку

Оскільки ГІС у СУТ не дає додаткової інформації про стан об'єкта, якщо вона представляє вихідний вектор $Y(t,\tau)$ без зв'язку з характеристиками вхідного вектора $X(t,\tau)$, то ГІС доцільно включати в канал зворотного зв’язку системи управління певною територією.

Інформація про стан параметрів $x_1,x_2,\dots,x_m$ об'єкта управління територією передається до ГІС каналом зворотного зв’язку. Підсистема введення інформації ГІС обробляє отриману інформацію з метою вироблення сигналів управління $y_1,y_2,\dots,y_m$. Сигнали управління перетворюються виконавчою системою в керуючі впливи $z_1,z_2,\dots,z_l$, які впливають на об'єкт управління територією, змінюючи його ентропію, тобто контур контролю й управління є замкнутим (рис. 8.2).

Контур циркуляції інформації у такій системі може бути представлений у загальному випадку для довільних законів розподілу у векторній формі (Суховірський, 2002):

$$X(t,\tau) \to Y(t,\tau) \to Z(t,\tau) \to X(t,\tau) \qquad (8.30)$$

або для одновимірної системи:

$$x(t,\tau) \to y(t,\tau) \to z(t,\tau) \to x(t,\tau). \qquad (8.31)$$

Припустимо, що інформація протягом часу τ_3 накопичується, трансформується, і лише після цього за інтервал τ_3 один раз виробляється сигнал управління. Це припущення не суперечить фізичним процесам у реальних системах переробки інформації, оскільки в реальних системах усі процеси є квантованими. Для одержання загальних кількісних співвідношень при довільних законах розподілу розривається замкнутий контур у місці з'єднання об'єкта управління з ГІС і подається на вхід останньої певне, цілком визначене значення X від постійного джерела. Тоді в розімкнутій системі буде реалізована передача:

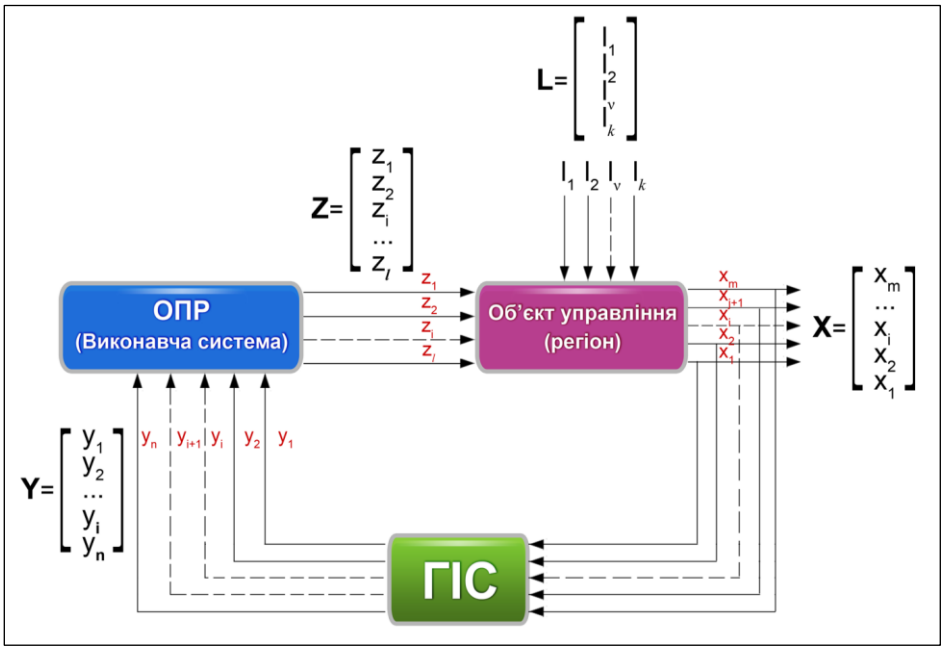


Рис. 8.2. *Контур процесу управління територіями при впровадженні ГІС в канал зворотного зв'язку*

$$X \to Y \to Z \to X'. \qquad (8.32)$$

Кількість інформації при передачі X→X' дорівнює

$$I(X \to X', t, \tau) = H(X', t, \tau) - m_x[H_x(X', t, \tau)], \qquad (8.33)$$

де $H(X', t, \tau)$ – ентропія вектора X' до надходження вектора X;

$m_x[H_x(X',t,\tau)]$ – усереднене за X значення ентропії після одержання сигналу X'.

Рівняння (8.16) подається у вигляді (Friedman et al., 2008):

$$I(X \to X',t,\tau) = H(X',t,\tau) - H_x(X,t,\tau) + S, \qquad (8.34)$$

де $S=H_x(X',t,\tau) - m_x[H_x(x,t,\tau)]$ – приріст ентропії шумів, приведених до виходу керованого процесу.

Замкнемо контур системи управління. Тоді на вхід виконавчої системи буде впливати вектор X у певний $(v-1)$-й момент часу, а вектор X' буде представляти значення тих же параметрів у момент часу v, тобто $X = X_{v-1}$; $X' = X_v$. Рівняння (8.19) для визначення середньої кількості інформації в v-й момент часу в замкнутому контурі управління перепишеться у вигляді

$$I_v(X,t,\tau) = H_{v-1}(X,t,\tau) + H_v(X,t,\tau) + S_v(t,\tau), \qquad (8.35)$$

де $H_{v-1}(X,t,\tau)$, $H_v(X,t,\tau)$– значення ентропії об'єкта відповідно у v-й і v–1-й моменти часу.

Отже, приріст ентропії об'єкта за інтервал дискретності дорівнює різниці приросту ентропії приведених шумів і кількості інформації, переданої в замкнутому контурі ($Xv\text{-}1 \to Xv$) за той же інтервал часу. З урахуванням ентропії, для початкового моменту часу на основі рівності (8.18) можна записати:

$$H_v(X,t,\tau) = H_0(X,t,\tau) - \sum_{i=0}^{v} I_i(X,t,\tau) + \sum_{i=0}^{v} S_i(X,t,\tau), \qquad (8.36)$$

тобто ентропія об'єкта дорівнює початковій ентропії цього процесу плюс сумарний приріст ентропії приведених шумів і мінус сумарна кількість інформації, переданої через контур ($Xv\text{-}1 \to Xv$). Для стаціонарного процесу приріст ентропії об'єкта дорівнює

$$H_v(X,t,\tau) = H_{v-1}(X,t,\tau), I_v(X,t,\tau) = S(X,t,\tau). \qquad (8.337)$$

У замкнутій системі спостерігається стаціонарний процес управління, якщо кількість інформації, що передається за інтервал дискретності, дорівнює відповідному приросту ентропії наведених шумів. Дійсно, при стаціонарному процесі

$H_v(X,t,\tau) = H_0(X,t,\tau)$. Отже, $I_v(X,t,\tau) = S(X,t,\tau)$.

У замкнутій системі управління буде відсутнє, якщо приріст ентропії приведених шумів у відповідний інтервал часу дорівнює приросту ентропії об'єкта. Для некерованого об'єкта кількість інформації $I_v(X,t,\tau) = 0$.

Таким чином, $H_v(X,t,\tau) = H_{v-1}(X,t,\tau) = S_v(X,t,\tau)$, тобто приріст ентропії приведених шумів у відповідний інтервал часу дорівнює приросту

ентропії некерованого об'єкта. Усі наведені співвідношення для багатовимірних об'єктів справедливі й для одновимірних.

Впровадження ГІС у процес управління територіями, за розрахунками автора дозволяє зменшити ентропію системи на 40–65%.

Запропонований підхід дозволяє визначити ентропію стану системи управління територіями при отриманні нею інформаційного ресурсу від ГІС, встановлену в замкнутий контур управління і свідчить про необхідність впровадження ГІС у канал зворотного зв’язку для забезпечення ефективного управління територіями.

У результаті досліджень основних чинників, що впливають на розвиток СУТ, є можливість встановити ступінь впливу цих факторів на СУТ, обґрунтувати роль та вплив ГІС як підсистеми управління територіями.

ГІС мають емерджентну властивість, деякі фахівці ГІС називають цю властивість *перехресним баченням* – можливістю комплексного врахування культурного, фізичного, біологічного, соціально-економічного й інженерно-технічного ландшафтів, що допомагає людям ухвалювати більш обґрунтовані й ефективні рішення. Причому цей процес може застосовуватись на різних масштабних і організаційних рівнях.

Таким чином, через свою універсальну природу й інтеграційну здатність просторово прив'язана інформація виступає ключовим елементом для ухвалення рішень.

9. РОЗРОБКА МОДЕЛІ ІНТЕГРАЦІЇ ДАНИХ ІСНУЮЧИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ У ГІС

На сучасному етапі розвитку науки та техніки, за тотального впровадження комп'ютерних технологій в усі сфери життя основним методом дослідження згаданих процесів та розв'язання породжених ними проблем стає математичне моделювання.

Математичне моделювання в геоінформатиці використовується для моделювання об'єктів земної поверхні. Основним елементом даного моделювання є цифрова модель місцевості, яка отримується за допомогою різноманітних технологій. Цифрові моделі зберігаються двома способами: в базах даних або у вигляді незалежних файлових структур.

У процесі управління територіями накопичуються колосальні за обсягом масиви різнобічної інформації, але ця інформація територіально рознесена, різнорідна за структурою і форматами збереження, не пов'язана каналами інформаційного обміну, що робить її недоступною широкому колу користувачів з числа органів державної влади (ОДВ) різних рівнів та суб'єктам господарювання. У зв'язку з відсутністю єдиної методологічної і нормативно-правової бази, у відповідності з якою здійснюється збір даних, має місце дублювання збору однієї й тієї ж інформації, що істотно ускладнює процес пошуку необхідної інформації та її подальше опрацювання, успішне завершення якого не гарантовано для кожного окремо взятого випадку.

Необхідність інтеграції ІР певної території в рамках ГІС ґрунтується на цільності об'єкта (територія – одна, об'єкти нерухомості – одні й ті ж) і органу управління (адміністрація) при множині розрізнених поглядів на напрями розвитку території.

Згідно з визначенням аналітиків, інтеграція даних реалізується комплексом методів, архітектурних підходів і програмних інструментів, які забезпечують узгоджений доступ і доставку даних для всієї множини корпоративних застосувань і ділових процесів (Doan et al., 2012).

Інтеграція даних у єдиному ІР й узгоджена робота з ними сьогодні є однією з актуальніших проблем для управління територіями, оскільки інформаційно-технологічні процеси мають яскраво виражений міжвідомчий характер. Незважаючи на це, кількість інтеграційних проектів, при всій їх необхідності, надто мала (Doan et al., 2012).

Інтеграційний проект можна визначити як створення і впровадження ІС для забезпечення взаємодії більше, чим однієї відносно автономної ІС.

9.1. Проблеми інтеграції даних для ГІС

Кожна інтегрована ІС є унікальною внаслідок великої складності і ”замкнутості” на місцеві умови. У кожному населеному пункті певної території існує своя, насичена подіями історія розвитку ІС, свої власні рішення, свої фахівці, особливості нормативної бази тощо. Тому сьогодні не існує жодної моделі інтеграції, яку було б легко запровадити на певній території і швидко отримати результат. Чітких методик ”*як треба будувати ІС*” також не існує: у кожному територіальному утворенні впровадженню передує обстеження, під час якого фахівці знайомляться з існуючим станом справ і потім розробляють концепцію створення інтегрованої ІС саме для конкретного територіального утворення *N*, яка пропонує діяти тільки так, як можна діяти саме тут, з цією структурою управління, з цим складом фахівців.

Серед найбільш істотних проблем інтеграції виділяються такі (Doan et al., 2012, Зацерковний, 2013):

1. Інтегрована ГІС — це масштабна система, розробка якої триває роками під впливом постійних змін у законодавстві та управлінських вимогах. Через надмірну складність і критичний обсяг неочікуваних коректив розробники часто потрапляють у «пастку супроводу», коли виправлення існуючих підсистем унеможливлює подальший розвиток. Це нівелює ефект від інтеграції. Для стабільного функціонування ГІС критично важливою є модифікованість — здатність інструментальних засобів та інформаційних схем до швидкої адаптації без перепроектування всієї системи.

2. Інтеграція накопичених даних (наприклад, ДЗК та БТІ) у СУТ стикається з проблемою неузгодженості ідентифікаторів. Через різне написання найменувань юридичних чи фізичних осіб автоматичне об'єднання баз стає неможливим: виникають дублікати або «розірвані» записи, де документи одного власника прив’язуються до різних копій його імені. Це змушує фахівців вручну звіряти дані з паперовими архівами протягом тижнів. Оскільки юридичний пріоритет зазвичай залишається за паперовим носієм, будь-яка розбіжність робить електронну базу нерелевантною. У підсумку така інтеграція дає «нульовий результат», оскільки замість єдиного інформаційного простору система отримує масив помилок, що потребує повної переробки (Зацерковний, 2011).

3. Відсутність оперативного зв’язку між інтеграторами та розробниками відомчих ІС створює критичні ризики для впровадження ГІС у СУТ. Оскільки процес інтеграції розтягнутий у часі, неочікувані зміни в реєстрах (наприклад, оновлення довідників у податковій службі чи ДЗК) часто залишаються

непоміченими розробниками загальної системи. Ситуація загострюється через централізовані державні ІС, де зміни на загальнонаціональному рівні (законодавчі, бюджетні чи технічні) можуть миттєво зруйнувати локальні конвертори даних. Як наслідок, канали інформаційного обміну блокуються, а зусилля з побудови єдиного простору на рівні території зводяться нанівець через ігнорування потреб регіональної інформатизації з боку державних структур.

4. Інтеграція ГІС у СУТ передбачає реінжиніринг міжвідомчих процесів і перерозподіл функцій, що часто спричиняє соціально-психологічний опір. Організації-учасники можуть побоюватися втрати впливу, ресурсів або посилення позицій конкурентів. Це призводить до затягування термінів узгодження, висування необґрунтованих вимог або відкритого саботажу. Такі побоювання мають підґрунтя: ГІС робить управлінську структуру прозорою та мобільною, що дозволяє легко передавати функції разом із робочими місцями до більш ефективних підрозділів. Для самої системи фізичне розташування співробітника не має значення — ключовим є лише санкціонований доступ до єдиного інформаційного простору, що значно полегшує радикальну реорганізацію управління територією.

5.Деякі розробники ІС свідомо обмежують експорт даних у загальноприйняті формати (відсутність конверторів), щоб штучно утримати замовника в межах власного програмного забезпечення («вендорна залежність»).

6. Через нестабільність ринку ПЗ та трудову міграцію фахівців часто виникає ситуація «зникнення розробника». Припинення діяльності фірм або виїзд програмістів за кордон робить підтримку та модернізацію підсистем неможливою (Зацерковний, 2013).

Існує два основні підходи до впровадження ГІС у СУТ: створення системи «з нуля» або інтеграція наявних ІС.

Розробка «з нуля» є найбільш успішною стратегією, оскільки вона позбавлена обтяжуючих чинників: застарілого обладнання, різнорідних програмних комплексів та потреби у вивіренні великих масивів неузгоджених даних. Це дозволяє відразу побудувати правильну архітектуру, де ядро системи функціонує як єдиний реєстр для всіх споживачів.

Оптимальним варіантом у цьому випадку є централізована модель із послідовним розвитком спеціалізованих підсистем (ДЗК, БТІ, ЖКГ тощо). Усі вони розміщуються на центральному сервері та пов’язуються з ядром через єдині регіональні довідники. Такий підхід не обов'язково дешевший, але гарантує реальну економію часу та високу системну якість результату.

Найпоширенішим, але найскладнішим сценарієм є інтеграція наявних ІС. Вона виникає через хаотичний розвиток відомчих систем, які створювалися без єдиних стандартів. Це призводить до накопичення суперечливих масивів даних у різних форматах із розбіжностями в ідентифікації об'єктів. Оскільки ці дані юридично закріплені в документах, жодна з баз не є еталонною, а їхнє механічне виправлення неможливе.

Ситуацію ускладнює розвиток технологій дистанційного зондування землі (ДЗЗ). Величезні обсяги растрових даних, складні метадані та специфічні формати вимагають потужного серверного ПЗ. Це ставить інтеграцію в пряму залежність від високої продуктивності корпоративного середовища та апаратного забезпечення, створюючи додаткові технологічні бар'єри для створення єдиного інформаційного простору.

Процес обміну цифровими картографічними даними між геоінформаційними проектами вимагає попереднього глибокого аналізу сумісності форматів передачі векторних та атрибутивних показників. Ключовим етапом є перевірка узгодженості картографічних проекцій і систем координат разом із одиницями вимірювання та визначенням потреби у додаткових перетвореннях під час експорту чи імпорту. Важливо дослідити відмінності у моделях подання просторових даних та їхній пошаровій структурі щоб уникнути ситуацій коли цільова ГІС не зможе повноцінно прийняти інформацію без попереднього розкладання об'єктів на простіші набори. Окрему увагу слід приділити розбіжностям у класифікаторах атрибутивного опису та оцінці витрат на процедури перекодування текстів і назв. Питання візуалізації потребує аналізу сумісності бібліотек умовних знаків та можливості їхнього доповнення специфічними шрифтами. При роботі з растровими даними такими як аерофотоплани необхідно встановити спільні формати та перевірити методи їхньої георефернції для коректної прив'язки до координат проекту. Завершальним етапом аналізу є оцінка ризику втрати точності й семантики даних під час передачі а також визначення потреби у свідомій генералізації об'єктів у разі значної різниці між масштабами джерела та цільової системи.

Отже, інтеграція вже існуючих ІС в єдиний інформаційний комплекс (ГІС в СУТ) сполучена з розв’язком великої кількості проблем. Фактично у порівнянні зі створенням нової інтегрованої ГІС для задач управління територіями проблема ускладняються на порядок, а то й взагалі не може мати вдалого розв’язку з різних причин (Doan et al., 2012).

Проведений аналіз проблемної області, цілей моделювання, природи об'єкта моделювання свідчать про необхідність застосування на високому рівні абстракції теоретико-множинного апарата для побудови моделі інтеграції даних (Гальчинський та ін., 2004).

9.2. Застосування теоретико-множинного апарата для побудови моделі інтеграції даних

Визначимо інтегровану ІС як систему, що забезпечує інформаційну взаємодію щонайменше двох відносно незалежних ІС.

Базовим поняттям пропонованої моделі є поняття інформаційного об'єкта (ІО). Зазвичай, ІО відповідають сутностям предметної області, кожний об'єкт характеризується значеннями заданого набору атрибутів. Тому ІО можна визначити як множину упорядкованих пар:

$$x = \{< a_1, d_1 >, < a_2, d_2 >, \ldots, < a_n, d_n >\}, \;\; a_i \neq a_j, \; i_i \neq j_j, \;\; i, j \in [1, n],$$

де a – ім'я атрибута, d – значення атрибута.

У цьому випадку під ІС можна вважати множину ІО і певну інформаційну схему, яка описує характеристики об'єктів, що входять до складу системи і задовольняють вимогам обраної інформаційної схеми.

Під інформаційною схемою будемо розуміти кортеж $S =< A, D, T, \phi, \delta >$, де $A = \{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ – множина атрибутів інформаційних об'єктів; $D = \{D_1, D_2, \ldots, D_m\}$ – родина множин можливих значень атрибутів; $T = \{t_1, t_2, \ldots, t_l\}$ – множина типів об'єктів; $\phi: A \to D$ – відображення, що ставить у відповідність до кожного атрибута множину його можливих значень; $\delta: T \to 2^A$ – відображення, що задає для кожного типу множину його елементів.

ІС, побудовану за схемою S, будемо називати кортеж $U^S =< S, U, \gamma >$, де $S =< A, D, T, \phi, \delta >$ – інформаційна схема; $U = \{U_1, U_2, \ldots, U_n\}$ – множина ІО; $\gamma: U \to T$ – відображення, що ставить у відповідності до ІО його тип, і для будь-якого ІО виконані умови:

– множина атрибутів відповідає типу $\{a: < a, d >\in x\} = \delta(\gamma(x))$;

– для будь-якої пари $< a, d >\in x$ маємо $d \in \phi(A)$.

Зміну ІС задамо відображенням $F: W^S \to W^S$, де W^S – множина усіх ІС, що задовольняють схемі S. Задамо множину ІС $U^{\overline{S}} = \left\{U_1^{S^1}, U_2^{S^2}, \ldots, U_N^{S^N}\right\}$, де $U_i^S =< S_i, U_i, T, \gamma_i >$ і $S_i =< A_i, D_i, T_i, \phi_i, \delta_i >$, і введемо позначення:

$$S = \{S_1, S_2, \ldots, S_N\}, \quad \overline{A} \underset{1 \le i \le N}{Y} A_i, \quad \overline{D} \underset{1 \le i \le N}{Y} D_i, \quad \overline{T} \underset{1 \le i \le N}{Y} T_i, \quad \overline{U} \underset{1 \le i \le N}{Y} U_i.$$

Множина ІС $U^{\overline{S}}$ є несуперечливою, якщо існують $\overline{\phi}: \overline{A} \to \overline{D}$, $\overline{\delta}: \overline{T} \to 2^{\overline{A}}$, $\overline{\gamma}: \overline{U} \to \overline{T}$, які є розширенням відповідних відображень $\phi_i, \delta_i, \gamma_i (1 \le i \le N)$.

Якщо множина ІС $U^{\overline{S}}$ несуперечлива, то ІС $U' =< \overline{S}, \overline{U}, \overline{\gamma} >$, де $S =< \overline{A}, \overline{D}, \overline{T}, \overline{\phi}, \overline{\delta} >$ будемо називати інтегрованою на $U^{\overline{S}}$ (рис. 9.1).

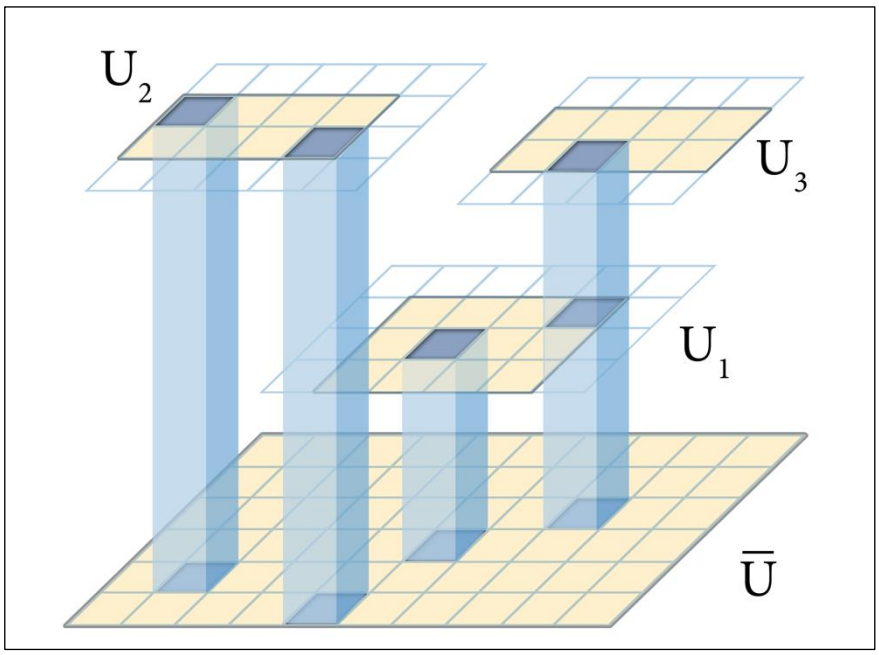


Рис. 9.1. *Розподіл об'єктів в інформаційній системі U*

Зазвичай ІС повинні задовольняти більш жорстким вимогам, чим відповідність певній схемі. Такі вимоги, зазвичай, накладаються різними семантичними залежностями, що визначають, які стани ІС є припустимими, і використовують для узгодженої зміни даних в ІС.

Мета інтеграції полягає у збереженні відповідності множини ІС заданому набору семантичних залежностей. Семантичною залежністю, заданою на U^S, будемо називати c-предикат, заданий на W^S. Множина семантичних залежностей $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_p\}$ є несуперечливою, якщо існує ІС U^S, така, що $c_i(U^S)$ для усіх $1 \le i \le p$.

На практиці залежність між ІС необхідно зводити до залежностей між типами елементів, що входять до них. Нехай множина всіх можливих ІО X_i задовольняє схемі і має набір атрибутів, що відповідають типу t_i:

$$X_{t_i} = \{x: x = \{< a_1, d_1 >, < a_2, d_2 >, \ldots, < a_n, d_n >\} \&\& (A^x = \delta(t_i)) \&(\forall a_i \in A^x, a_i(x) \in \phi(a_i))\}.$$

Для практики найбільш характерними є декілька типів залежностей для реальних зв'язків між ІО, які буде розглянуто нижче.

Семантичною залежністю будемо називати T-залежність, якщо для об'єктів $x_i \in X_{t_i}$, $x_j \in X_{t_j}$вона визначається предикатом $\alpha(x_i x_j) \alpha\ \beta(x_i x_j)$.

Залежність такого виду дозволяє тільки перевірити наявність або відсутність порушення залежності і не надає механізму корекції множини ІС у відповідності з даними обмеженнями.

T-залежність між типами $t_i, t_j \in T$ будемо називати V-залежністю $(t_i \xrightarrow{V,\alpha,\beta} t_j)$, якщо існує відображення $V: X_{t_i} \times X_{t_j} \to X_{t_j}$, таке, що виконана умова $\alpha(x_i, x_j) \alpha\ \beta(x_i, V(x_i, x_j))$.

Існує відображення *V,* що дозволяє отримувати виходячи зі значень типу t_i і t_j, нове значення типу t_j, яке буде задовольняти заданому предикату β.

Основною проблемою, що виникає при відображенні *V*, є наявність циклічних послідовностей, які можуть привести до нескінченної рекурсії при корегуванні залежних об'єктів. У праці (Гальчинський та ін., 2004) доведено, що використання *V*-залежностей не гарантує наявність автоматичної процедури узгодженого коригування множини ІС.

Множину атрибутів $K(t_i) \subseteq \delta(t_i)$ будемо називати ключем для типу $t_i \in T$, якщо $\forall x' \in U$ виконано: $\{x: x \in U, a(x) = a(x'), \forall a \in K(t_i)\} = \{x'\}$. Ключові атрибути $a \in K(t_i)$ однозначно визначають будь-який ІО з множини *U*.

А-залежністю $(t_i \xrightarrow{A'A''} t_j)$ називають *V*-залежність спеціального виду. Нехай $A' \subset K(t_i), A''\ I\ K(t_j) = \emptyset$, тоді

$$\alpha(x,y) \equiv \forall a \in A', a(x) = a(y),$$
$$\beta(x,y) \equiv \forall a \in A'', a(x) = a(y),$$
$$V(x,y) = \{< a_1, d_1 >, < a_2, d_2 >, \ldots, < a_p, d_p >\},$$

де $$d_i \equiv \begin{cases} a_i(x), & \text{якщо } a_i \in A'' \\ a_i(y), & \text{якщо } a_i \notin A''. \end{cases}$$

Для будь-якої несуперечливої множини *A*-залежностей $C = \{c_1, c_2, \ldots, c_p\}$ існує процедура, яка дозволяє коригувати ІС U^S, використовуючи кінцеву послідовність відображень V_i, що відповідають *T*-залежностям з *C* таким чином, що U^S буде задовольняти С.

Ключовий атрибут $a \in \delta(t_j)$ назвемо залежним (запозиченим) для t_j, якщо існують A', A'' такі, що $a \in A''$і $t_i \xrightarrow{A'A''} t_j$. У протилежному випадку, атрибут $a \in \delta(t_j)$ будемо називати вільним (власним) атрибутом.

Атрибути ІО $x \in U^S$ можуть бути віднесені до однієї з трьох груп, які не перетинаються: ключові, вільні й залежні атрибути.

Під активною інформаційною моделлю (АІМ) розуміють кортеж $< S, U^S, C, F >$, де S – інформаційна схема, U^S– ІС зі схемою S. *C* – множина семантичних залежностей, $F: W^S \to W^S$ таке відображення, що $\forall U^S \in W^S$, $\forall c \in C$, виконано $c(F(U^S))$. У цьому випадку, для будь-яких *U,S,C,* де *C* – несуперечлива множина *A*-залежностей, можна побудувати активну модель $< S, U^S, C, F >$, де відображення *F* має вигляд

$$F(\{x_1, x_2, \ldots, x_n\}) = \{y_1, y_2, \ldots, y_n\},$$

де $y_i = \{< a_1^i, d_1^i >, < a_2^i, d_2^i >, ///, < a_{k_i}^i, d_{k_i}^i >\}$,

$$d_j^i = \begin{cases} a_j^i(x_k), & \text{якщо, такі, що інакше.} \\ & \exists\exists x_k, c_1 \in C, \\ & \alpha_1(x_k, x_i)\&a_j^i \in A''; \\ a_j^i(x_k), & \end{cases} \qquad \text{виду} \quad \gamma(x_k) \xrightarrow{A'A''''} \gamma(x_i),$$

На практиці при інтеграції даних з ІС встає питання: як мінімізувати залежності між ІС без втрати цілісності, коректності і доступності інформації. Для вирішення цієї задачі необхідно оцінити ступінь залежності між ІС. Ступенем залежності типу $t_i \in \overline{T}$ від ІС U_j будемо вважати *R(t_i,U_j)* – кількість залежностей $c \in C$ виду $t_i \to t$, де $t \in T_j$.

Ступінь залежності між ІС U_i та U_j визначається таким чином:

$$R(U_i, U_j) = \begin{cases} \sum_{t \in T_i} R(t, U_j), & \text{якщо i} \neq j \\ 0, & \text{якщо i} = j \end{cases}.$$

Як показано у праці [138], при розподілі незв'язаних типів $T' = \{t_1, t_2, \ldots, t_k\} \subseteq \overline{T}$ за ІС з $\overline{U^S}$ мінімальне значення буде досягнуто при їх розподілу за $U^S_{t_1'}$, $U^S_{t_2'}$, …, $U^S_{t_k'}$, таких, що буде досягнуте максимальне значення k-мірної матриці G, де кожний елемент $G[i_1, i_2, \ldots, i_k] = \sum_{j=1}^{k} \sum_{U_l \in U^S} R(t_j, U_{t_j})$ є $G[i_1', i_2', \ldots, i_k']$.

Побудована модель може слугувати основою для конкретизації семантичних залежностей і застосування технології інтеграції даних обраної предметної області (рис. 9.2).

На наступному етапі моделювання знижується рівень абстракції моделі, виділяються основні класи об'єктів єдиного інформаційного простору, для яких визначається структура: властивості, поведінка і взаємне відношення.

Будується багаторівнева об'єктна схема інтегрованої системи, в якій базовим класом об'єктів обліку є клас "ІО" (основні елементи: ключові атрибути, стан і методи, які змінюють стан). Нащадками класу "ІО" є класи і підкласи ("Реальний об'єкт", "Віртуальний об'єкт", "Класифікатор" тощо), що містять статичні елементи, які характеризують головним чином семантичні особливості класу і динамічні елементи для збереження історії зміни відповідних параметрів. Подальше розширення об'єктної схеми відбувається в залежності від специфікації обраної предметної галузі (Зацерковний, 2013).

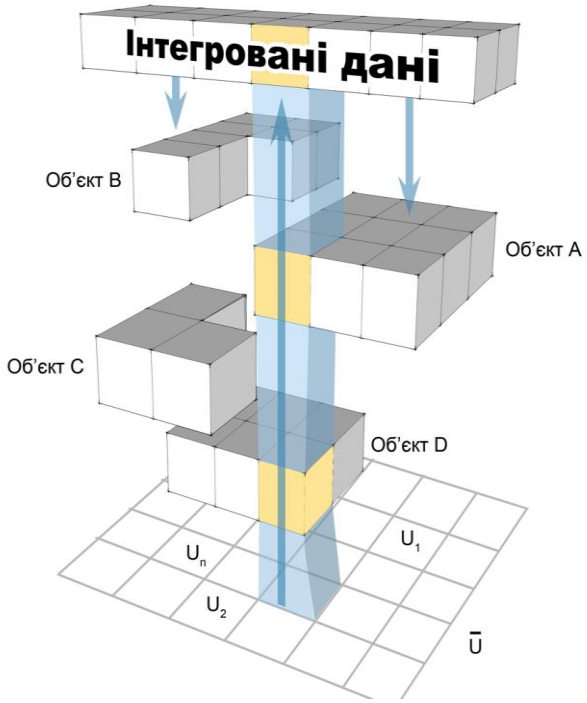


Рис. 9.2. *Взаємодія інформаційних об'єктів у процесі інтеграції*

Для подання всіх ІО може використовуватись мова розмітки XML. Перетворення ІС, опис інформаційної схеми системи можуть задаватись відповідними XSLT-перетвореннями[11], що дозволяє задавати складні перетворення документів на основі компактних декларативних програм. Відомі механізми коригування залежних атрибутів об'єкта ІС у відповідності з заданою множиною *A*-залежностей (Зацерковний, 2011).

Математична модель інтеграції даних побудована таким чином, адекватно описує міжсистемні особливості ІС і може слугувати основою для інтеграції розрізнених даних. Поліпшення структури та ІЗ на основі інтеграції даних не тільки спростить процедуру управлінського впливу на відповідні процеси, але й допоможе створити умови щодо запобігання перетворення наявних ІР у "сховища непотрібних даних".

[11] XSLT (eXtensible Stylesheet Language Transformations) виконує роль «перекладача». XML зберігає структуру «ІО» (інформаційного об'єкта). XSLT-процесор бере цей об'єкт і за заданими правилами (декларативними програмами) трансформує його: наприклад, перетворює семантичний опис об'єкта в графічний вигляд на карті або в електронний паспорт території.

10. РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ТА УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІМИ

10.1. Розробка моделі геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системі управління територіями

Впровадження ГІС у систему управління територіями (СУТ) сьогодні здійснюється на принципах розбудови Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД), що закріплено Законом України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних». Згідно з нормами цього закону, створення єдиного інформаційного простору базується на забезпеченні інтероперабельності (технологічної сумісності) та відкритості даних.

Осучаснений підхід передбачає, що замість простого обміну файлами між власниками створюється мережа сервісів геопросторових даних. Ефективність управління досягається через обов’язкове оприлюднення метаданих та забезпечення доступу до наборів даних у режимі реального часу через геопортали. Це дозволяє здійснювати безшовне інтегрування цифрових моделей для стратегічного планування та моніторингу соціально-економічного розвитку на всіх ієрархічних рівнях — від територіальної громади до загальнодержавного рівня.

При обробці даних використовуються сучасні методи перетворення сирих геоданих у знання для управління. Зокрема, це автоматизоване просторове моделювання, аналіз великих масивів даних (Big Data) та застосування стандартів OGC для обміну інформацією. Такий підхід гарантує, що управлінські рішення базуються на актуальних, юридично значущих та технічно узгоджених даних, які є доступними для всіх суб'єктів НІГД без дублювання зусиль на їх збирання (рис. 10.1).

1.Геоінформаційно-довідкова система оперує об'єктами та даними тоді як етапи припущень вибору та дії залишаються за керівником. Інтерфейс відповідає на запитання «що є» надаючи зафіксовані факти у стандартній формі за допомогою баз даних та засобів візуалізації.

2.Діагностична система додає до функціонала категорію припущень залишаючи керівнику лише вибір та дію. Інтерфейс реагує на запити «що якщо» надаючи варіанти для подальшої ручної обробки через статистичний аналіз моделювання та експертні методи.

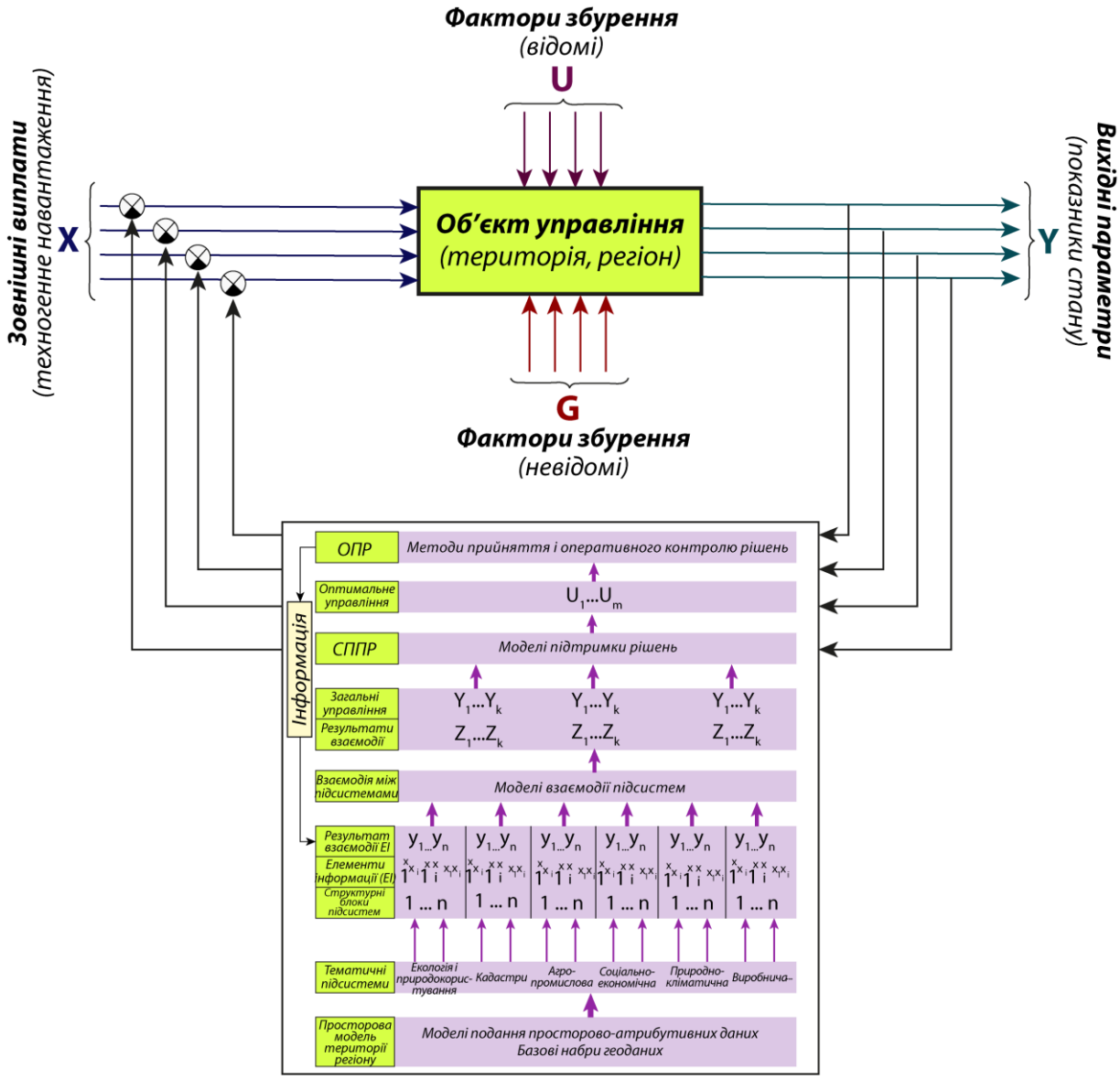


Рис. 10.1. *Перетворення даних в управлінську інформацію*

3. Система ухвалення рішень охоплює категорії об'єктів даних припущень та вибору мінімізуючи роль керівника до фінальної дії. Тип інтерфейсу надає рекомендацію «що найкраще» на основі моделей оптимізації та математичного програмування.

4. Автоматична ІС (АІС) самостійно реалізує повний цикл управління від збору даних до безпосередньої дії. Керівництво не бере участі у поточному процесі але регулярно оцінює та перевіряє автоматичний прогін системи використовуючи гнучкі інструменти автоматичного режиму.

Типи ГІС в СУТ і організаційні рівні управління взаємозалежні: більш висока категорія ІС відповідає більш низькому рівню управління.

Наприклад, АІС не підходять для керівників вищого рівня і більш придатні на оперативному рівні.

Керівники середньої ланки (департаментів та управлінь) при виборі альтернатив потребують систем здатних відповідати на запитання «що якщо» та «що є найкращим». Для вищого керівництва яке формує стратегічні цілі та програми розвитку пріоритетною є агрегована інформація для відповідей на питання «що є» та «що якщо» що зазвичай реалізується через ГІС із розвиненими інтерфейсними можливостями. Розуміння категорії використовуваної системи є критичним для осіб що ухвалюють рішення оскільки це запобігає некоректним запитам до системи та конфліктам із розробниками.

Запропонована класифікація ГІС в управлінні територіями базується на принципах ієрархічної декомпозиції та стратифікації. Це передбачає дослідження об’єкта на різних рівнях абстракції включаючи системний рівень для побудови моделі кібернетичний для механізмів управління операційний для опису процесів а також алгоритмічний інформаційний та програмний рівні для технічної реалізації.

Принцип «повної системи» забезпечує баланс у проєктуванні надаючи правила визначення меж системи та деталізації її елементів без втрати цілісного бачення. Водночас він застерігає від «надмірної системності» яка може створити нерозв'язні суперечності та вказує шлях компромісної реалізації ідей у практичній діяльності.

Модель системи вважається ”практично повною”, якщо вона дає можливість розв'язати задачу, що стоїть перед дослідником, з точністю не нижче заданої.

У відповідності з особливостями складних систем, якою є ГІС в СУТ і тими ознаками, які характеризують систему як складну, можна сформулювати особливості моделей ухвалення рішень у складних системах:

1. Ухвалекння рішень у складних системах є багатомодельне дослідження.

2. Моделі ухвалення рішень повинні будуватись з урахуванням чинників невизначеності впливів зовнішнього середовища.

3. Моделі ухвалення рішень повинні враховувати різнорідні суперечливі вимоги, що висуваються до системи.

4. ГІС в СУТ має розгалужену ієрархічну систему. У такій системі здійснюється взаємопов’язане прийняття рішень підсистемами різних ієрархічних рівнів.

Враховуючи наведене, можна зробити висновок, що моделі прийняття рішень повинні будуватись на основі використання методів декомпозиції і координації. Формально, з теоретико-множинних позицій модель *M* подається відношенням (сукупністю відношень) *X*, заданих на сімействі *m* утворюючих множин, тобто

$$M = (X_1, X_2, \ldots, X_m, R), \qquad (10.1)$$

де R $\in X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_m$ – графік відношення.

В умовах невизначеності впливу зовнішнього середовища математична модель прийняття рішень (10.1) може бути записана у вигляді (10.2)

$$M = (\Delta \times \Omega, f), \text{ або } M = (\Delta(\omega), \omega) \in \Omega, \qquad (10.2)$$

де $\Delta(\omega)$ – множина припустимих альтернативних рішень;

Δ – множина рішень;

Ω – множина станів середовища;

$f-$ цільова функція, яка характеризує якість рішень в умовах впливу середовища $f: \Delta \times \Omega \to R1$, тоді $f = f(x, \omega)$, $x \in \Delta$, $\omega \in \Omega$..

Прийняття рішень полягає у виборі альтернативи $x \in \Delta$, у припущеннях про те, який стан $\omega \in \Omega$ може прийняти середовище.

Дослідження процесів прийняття рішень за допомогою ГІС свідчать, що інформація про стан зазначеної системи, яка опрацьовується і аналізується в умовах складної СЕС, якою є певне територіальне утворення, подається у більшості випадків у вигляді понять і відношень, що задаються природною або професійно-орієнтованою мовою.

Одним з конструктивних способів формального опису ситуацій, пов'язаних з невизначеністю прийняття рішень, є спосіб формалізованого подання, який ґрунтується на нечіткому описі основних елементів формалізованого подання ситуації прийняття рішень. Реалізація підходу ухвалення рішень в умовах невизначеності складається з трьох етапів (Worboys & Duckham, 2004)

1) фазифікація – перехід від точних даних розв'язуваної задачі до нечітких на основі вхідних функцій приналежності;

2) розв'язок задачі з використанням нечіткої логіки;

3) дефазифікація – перехід від нечітких інструкцій до чітких на основі вихідних функцій приналежності.

Загальна модель ухвалення рішень використовує нечіткі моделі, які хоч і мають меншу ефективність для параметрів, що розраховуються, але зберігають її майже постійною у широкому діапазоні зміни значень параметрів.

Отже, до цільової функції, крім дискретних і кількісних факторів, необхідно ввести й лінгвістичні. Тоді в рамках лінгвістичного підходу ситуація ухвалення рішень, під якою розуміють умови і цілі, що описуються фразами, відповідає термам з терм-множин лінгвістичних змінних, введених для формалізованого опису ситуації (Zadeh 1975).

Для реалізації нечіткої логіки використовується база правил «якщо — то» та функції приналежності для лінгвістичних термів. Одним із ефективних методів декомпозиції в цьому контексті є дерево рішень, яке на основі навчальної вибірки формує ієрархічну структуру правил класифікації (Quinlan, 1986).

Процес визначення класу об'єкта або ситуації полягає у послідовному наданні відповідей на питання у вузлах дерева, починаючи з кореня. Питання зазвичай стосуються значень параметрів або належності змінних до певних підмножин ознак. Залежно від відповіді здійснюється перехід до наступного вузла (лівого чи правого), доки не буде досягнуто кінцевого листа, що вказує на конкретний клас.

Для побудови дерева рішень на етапі підготовки визначаються елементи: фактори $X_1, X_2, \ldots, X_k$; тип факторів (дискретний, лінгвістичний, кількісний); можливі значення кожного фактора $O_1, O_2, \ldots, O_n$; класи об'єкта. Побудова моделі зводиться до розв'язання задачі автоматичної класифікації, оскільки результат має дискретні значення.

Нехай через $\{C_1, C_2, \ldots, C_k\}$ позначені класи (значення мітки класу), У даному випадку можливі 3 ситуації:

1. Множина T містить один або більше прикладів, що відносяться до одного класу C_{k} . Тоді дерево рішень для T – це лист, який визначає клас C_{k}.
2. Множина T не містить жодного прикладу, тобто є пустою множиною. Тоді це знову лист, і клас, асоційований з листом, обирається з іншої множини, відмінної від T, наприклад, з множини, асоційованої з батьком.
3. Множина T містить приклади, що відносяться до різних класів. У даному випадку необхідно множину T розбити на певні підмножини. Для цього обирається одна з ознак, що має два або більше відмінних значень $O_1, O_2, \ldots, O_n$. Множина T розбивається на підмножини $T_1, T_2, \ldots, T_n$, кожна підмножина T_i містить усі приклади, які мають значення O_{i} для обраної ознаки. Ця процедура буде рекурсивно тривати до тих пір, поки кінцева множина не буде складатись із прикладів, що відносяться до одного класу.

Таким чином, модель у загальному вигляді має вид: $M = f(X_1, X_2, \ldots X_k)$, де X_k – фактор, що описується вектором можливих значень $X_k = \{O_1, O_2, \ldots O_n\}$; M – результат ухвалення рішень, $M = \begin{cases} C_1 \\ C_2 \\ \ldots \\ C_k \end{cases}$.

Розглянемо підхід до ухвалення рішень на основі дерева цілей.

Етап 1. Вибір факторів X_k, за якими буде прийматися рішення, і визначення для кожного вектора можливих значень $X_k = \{O_1, O_2, \ldots O_n\}$.

Етап 2. Визначення класів $\{C_1, C_2, \ldots, C_k\}$ – альтернативних рішень.

Етап 3. Завдання вихідної вибірки – множини T, у якій відображена історія поведінки користувача.

Етап 4. Побудова дерева рішень. Необхідно розбити множину T на підмножини $T_1, T_2, \ldots, T_n$, для обраної ознаки O_{i}. Процедура буде рекурсивно тривати до тих пір, поки кінцева множина не буде складатись із прикладів, які відносяться до одного й того ж класу. Якщо в процесі роботи був отриманий вузол, асоційований з пустою множиною (тобто жоден приклад не потрапив у даний вузол), то він позначається як лист, і рішенням цього листа обирається

клас, який найчастіше зустрічається у безпосереднього прабатька даного листа.

Етап 5. Ухвалення рішень, які відповідають класу C_k.

Даний підхід дозволяє реалізувати ухвалення рішень в умовах невизначеності у складних системах, до яких відносяться системи управління територіями. Дерева рішень є ефективним інструментом у системах геоінформаційної підтримки ухвалення рішень і інтелектуального аналізу даних. В галузях, де є високою ціна похибки, вони можуть слугувати відмінним засобом підвищення якості розпізнавання, класифікації і прогнозування при використанні мінімальної кількості діагностичних прецедентів.

Управлінські дії завжди пов'язані з процесами виявлення, розпізнавання територіальних об'єктів (процесів, явищ). Тому наявність вбудованої в ГІС СППР дозволить аналізувати інформацію, яка надходить до ГІС в режимі реального часу і видавати ОПР цілісне уявлення (виражене у графіках, моделях, цифрах) про ситуацію на певній території. Такі системи можуть ефективно використовуватись при різноманітних управлінських і моніторингових операціях, діях і заходах різного виду і масштабів, моделюванні заходів щодо попередження і ліквідації надзвичайних ситуацій тощо.

Запропонований підхід до ухвалення рішень в умовах невизначеності на основі дерева цілей, що ґрунтується на математичній моделі, в якій використовуються лінгвістичні змінні, надає можливість спростити процес прийняття рішень і наблизити його до розуміння ОПР. Внаслідок цього можуть істотно розширюватись функціональні можливості технології прийняття рішень за рахунок впровадження геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системах управління територіями.

10.2. Розробка моделі управління розвитком територій за допомогою ГІС

На сьогодні існує декілька підходів щодо побудови ГІС, у яких моделі ГІС подаються з підкресленням ролі картографічної складової даних. Так, у працях (Worboys 2004; Зацерковний та ін., 2014) дано узагальнене представлення ІС, де розглядається математична модель на основі функціональної схеми перетворення даних (рис. 10.2). ГІС розглядається як абстрактна розімкнена ІС, яка опрацьовує повідомлення і яка подається групою підсистем, що відповідають певним технологічним етапам.

Перша група сприймає вплив $\overline{a}$ від об'єктів досліджуваної території, в результаті чого формується первинне повідомлення $\overline{x}$, яке несе інформацію про властивості об'єктів у вигляді певних характеристик або показників. Такими є просторові координати об'єкта та його зображення, зафіксоване на

матеріальному носії, результати вимірювань параметрів різних процесів на об'єкті або в його навколишньому середовищі тощо.

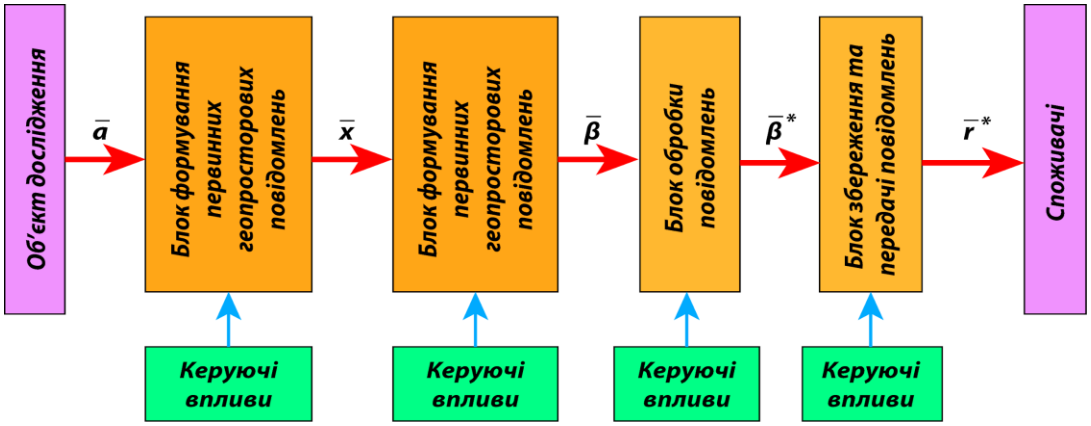


Рис. 10.2. *Функціональна схема розімкнутої ГІС*

Носіями первинного повідомлення $\bar{x}$ є матеріали ДЗЗ, результати наземних інструментальних зйомок, семантичні відомості та описи об'єктів на поверхні Землі. У загальному випадку первинні повідомлення $\bar{x}$ можуть подаватись у цифровому, дискретно-аналоговому та діалоговому видах. Системи формування первинних повідомлень $\bar{x}$ – це геодезичні прилади: віддалеміри, висотоміри, сканери, дігітайзери тощо. До більш складних пристроїв можна віднести фотоапарати, геодезичну, супутникову, фотограмметричну та картографічну апаратуру, космічні засоби ДЗЗ.

Друга група – засоби перетворення первинних повідомлень, які перетворюють повідомлення $\bar{x}$ до виду $\bar{\beta}$, що дозволяє виконувати подальшу обробку за допомогою обчислювальних засобів. Зазвичай у даній підсистемі повідомлення аналогового виду перетворюються у цифрові формати (внутрішні формати обробки ГІС).

Третя група – засоби обробки повідомлень, призначені для перетворення повідомлень $\bar{\beta}$ у найбільш прийнятну для користувача форму $\bar{\beta}^*$, яка дозволяє добути з них необхідну інформацію.

Четверта група – засоби збереження й видачі інформації у вигляді запиту користувача $\bar{r}^*$.

При обробці, збереженні та передачі первинних повідомлень $\bar{x}$ до них надходять керуючі впливи та збурення. Основними факторами, що зумовлюють збурення, є обмежена ємність запам'ятовуючих пристроїв та пропускна здатність каналів зв'язку, а також дії всіляких випадкових та навмисних завад, недосконаліть апаратури та технологій обробки, похибки операторів тощо.

В ГІС функціонують повідомлення: первинні $\bar{x}$, оброблені (вторинні) $\bar{\beta}$, призначені для зберігання та передачі за каналами зв'язку, оцінки

перетворених $\overline{\beta}^*$ і виданих користувачу $\overline{r}^*$ повідомлень. Кожне перетворення підсистем представлено функціональним оператором. Тоді маємо

$$\overline{x} = P\overline{a};\ \ \overline{\beta} = \Phi\overline{x};\ \overline{\beta}^* = \Omega\overline{\beta};\ \overline{r}^* = \Psi\overline{\beta^*},$$

де P – оператор первинного перетворення картографічних повідомлень;

Φ – оператор подання;

Ω – оператор обробки;

Ψ – оператор збереження та передачі.

Отже, модель передбачає перетворення досліджуваного стану об'єкта $\overline{a}$, у зручну для користувача інформацію у формі $\overline{\beta}^*$, а після обробки та збереження з певною оцінкою $\overline{r}^*$ повідомлення:

$$\overline{r} = A\overline{x}. \qquad (10.3)$$

Усі перетворення, що виконуються системою, описуються оператором A. Функціональний оператор A характеризує головну мету (задачу) перетворень у ГІС і за своєю суттю є її математичною моделлю при обробці повідомлень без спотворень.

Загальний вираз математичної моделі має вигляд

$$\gamma = G(a, \gamma), \qquad (10.4)$$

де γ – стан системи в момент часу $t\,i\,t_1$, де ε – оператор зміни стану ГІС.

До недоліків наведеної концепції (Worboys 2004; Зацерковний та ін., 2014) можна віднести відсутність у моделях чітко визначеного зворотного зв'язку, який міг би бути базою для формування сигналу узгодження $[\rho(\overline{\beta}, \overline{\beta}^*), \rho(\overline{r}, \overline{r}^*)$ або $\rho(\overline{x}, \overline{r}^*)]$, без якого управління ГІС є проблематичним. Іншим недоліком, на думку автора, є інтерпретація даних ГІС як виключно картографічних даних.

Реальний процес оцінки ситуації в ГІС ґрунтується на методі порівняння результату геосистемного аналізу (ГА) $\tilde{a}$ з поставленим йому у відповідність до можливих результатів a за шкалою з множини моделей можливих результатів:

$$\Delta a = \tilde{a} - a. \qquad (10.5)$$

Припустимо, що значення різниці Δa у значній мірі є доступною для визначення при ГА.

Існує результат ГА (процесу), який відбувається у геоінформаційному метричному просторі та отриманого за даними моніторингу цього простору – реалізація $\tilde{x}$ з множини X ($\tilde{x}$ – може приймати значення в середині діапазону X). G – множина фізичних моделей реалізацій, доступних для спостереження

та вимірювання. Фізична модель реалізації $\tilde{g}$ ставиться у відповідність до реалізації $\tilde{x}$ при умові $\tilde{x} - \tilde{g} = \Delta r \to 0$.

Маючи справу з поняттями "досліджуваний об'єкт", "модель", "тезаурус" "порівняння", визначимо задачу ГІС як задачу оцінки результату (на певному етапі розвитку).

Розглянемо розв'язання задачі у порівнянні "реальний фіксований об'єкт" – "керована модель". Маємо об'єкт $x^0 \in X$ та тезаурус M. Порівнюючи x^0з $m \in M$, обираємо з множини M модель m^*, найбільш наближену до x^0 у значенні критерію порівняння, тобто:

$$m^* = \underset{m \in M}{argmin} r(x^0, m). \qquad (10.6)$$

Схема системи оцінки наведена на рис. 10.3.

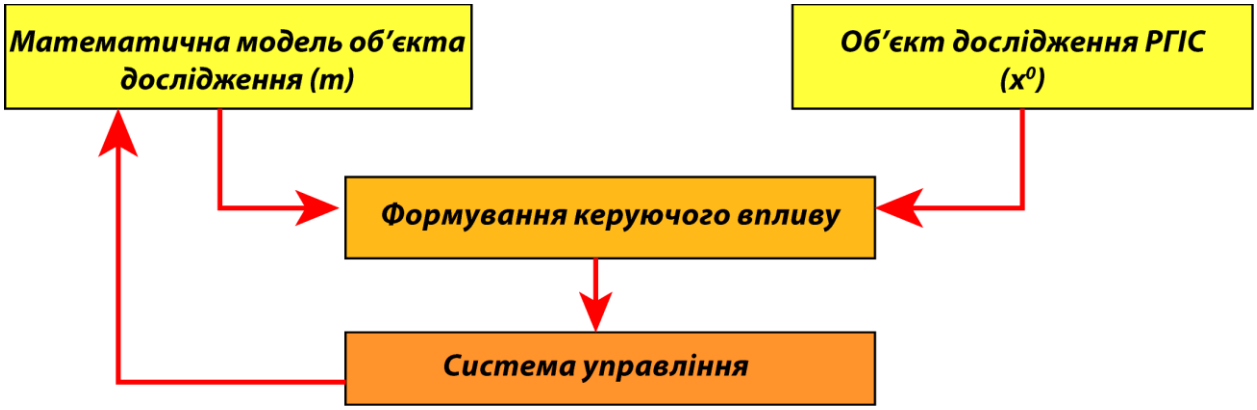


Рис. 10.6. *Схема вибору моделі управління за заданим об'єктом*

Система управління за допомогою системи управління y підбирає відповідну об'єкту x^0 модель m^*, впливаючи на об'єкт (x) і переводячи його у стан x^*, найбільш наближений до m^0 в значенні критерію порівняння r. Вираз (10.6) описує відому процедуру стохастичної апроксимації, яка забезпечує збіжність з мінімальною помилкою.

$$P\left\{\lim_{i \to \infty}\left[r(\overline{a}_i) - r\left(\overline{a}^*\right)\right] = 0\right\} = 1, \qquad (10.7)$$

де P – ймовірність; $\overline{a_i}$ – екстремальні значення параметрів; $\overline{a^*}$ отриманий результат аналізу. Вираз (10.7) – це формула оцінки результату у загальному вигляді.

Задача оптимізації результату за схемою "фіксована модель" – "керований об'єкт" є

$$x^* = \underset{x \in X}{argmin}\ \mathrm{r}(x, m^0) \qquad (10.8)$$

і спрямовується на мінімізацію розбіжностей між поточним станом об'єкта та його фіксованим (планованим, бажаним) станом у відповідності з моделлю m^o.

Уточнюючи (10.8), маємо

$$x^* = \underset{x \in X}{argmin}\, r[m^*(x), m^0] = \underset{x \in X}{argminr} \left[\underset{m \in M}{argminr}(x, m), m^0 \right], \quad (10.9)$$

Де $m^*(x) = \underset{x \in X}{argmin}\, r(x, m^0)$ – поточний стан об'єкта (результат оцінки), який змінюється у процесі управління об'єктом. Тобто у цьому випадку відбувається безпосереднє управління моделлю, але сам об'єкт дослідження залишається незмінним.

На рисунку 10.6 показано управління у об'єктом x за результатом r (порівняння об'єкта з заданою моделлю m^o).

ГІС в СУТ можна інтерпретувати як систему оцінки результату процесу (наприклад, результат розвитку СЕС на i-ому етапі), тобто сукупності методів та засобів вимірювань і оцінки стану процесу за досягнутим результатом.

Наведена методологія аналізу достатньо простих тематичних ГІС може використовуватися за однією із вищеперерахованих схем (рисунки 10.6, 10.7).

Багатокомпонентні і багатофункціональні системи мають безліч впливів на процес функціонування, що потребує окремого дослідження.

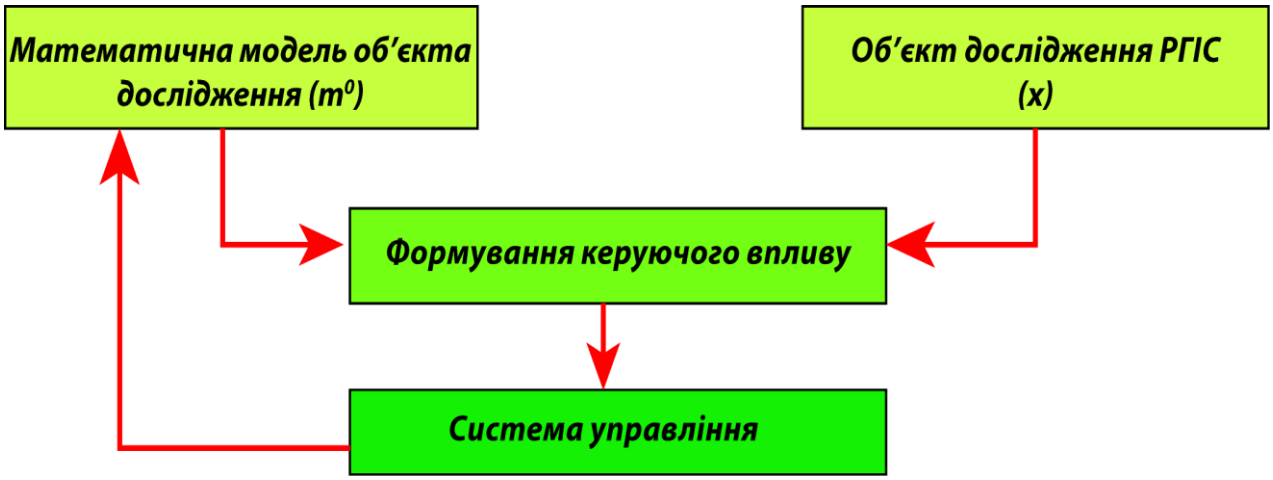


Рис. 10.7. *Схема вибору об'єкта управління за заданою моделлю*

Проблеми теорії оцінки результату розвитку СЕС виникають у зв'язку з наявністю чинників впливу, які не враховуються повністю або частково робочою моделлю об'єкта. Це ускладнює вирішення головного завдання – формування даних і рекомендацій за вибором оптимальних рішень процесів розвитку (управління з мінімальною помилкою при неконтрольованих збуреннях), розглядати ГІС в СУТ як системи спостереження та вимірювання

фізичних явищ простору: вимірювання, збору й оцінки параметрів поточного процесу розвитку СЕС та вироблення даних для управління процесом.

Вихідну модель системи управління процесом СЕС із застосуванням ГІС побудуємо на основі інтерпретації вищеописаної моделі з відповідним змістом і властивостями елементів, що входять до складу системи та їх взаємозв'язку (рис. 10.8):

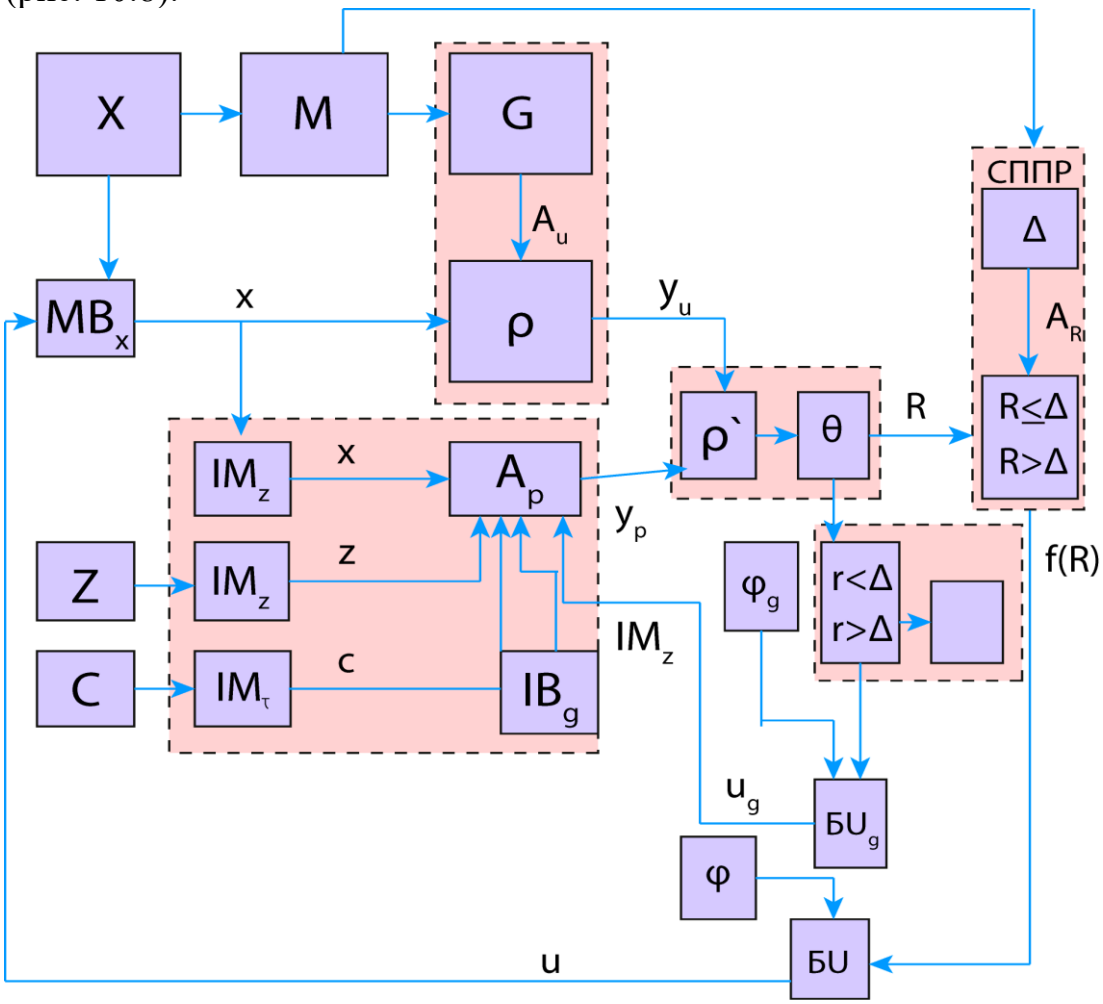


Рис. 10.8. *Теоретична вихідна модель системи управління процесом соціально-економічного розвитку з застосуванням ГІТ зі зворотним зв'язком і СППР*

X – множина реальних об'єктів (процесів соціально-економічного розвитку певної території). Множина *X* сформована з існуючих можливостей (засоби, ресурси, кадри), досвіду інших країн, регіонів, досвіду минулих років. Очевидно, що *X* містить стохастичну складову, яка відбиває невраховані моменти (неконтрольовані збурення);

M – тезаурус, множина математичних моделей, які описують процеси, що відбуваються на певній території, теоретичне міркування про реальні об'єкти, повнота якого визначається станом теорії та постановкою практичного завдання;

G – множина способів та засобів ГІС, які здійснюють збір, обробку інформації й забезпечують адекватне відтворення математичних моделей, що

містяться в тезаурусі *M*. *G* – це фізичні моделі («еталони»), що описують результат у реальному масштабі часу.

В ідеальному варіанті *X*, *M* та *G* у представленій схемі можна вважати еквівалентними множинами (рис. 10.9).

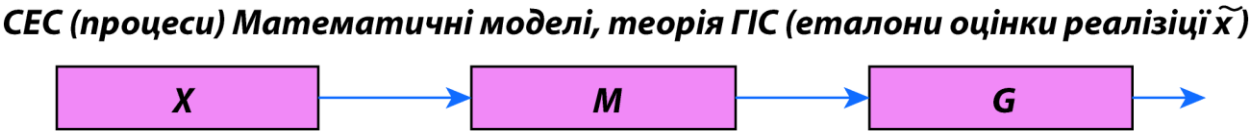


Рис. 10.9. *Узагальнена модель соціально-економічного розвитку регіону з застосуванням ГІС*

MB_x – механізм вибору процесу (об'єкта *x*), визначається запланованим результатом y_u, обраним з урахуванням обмеження можливостей в аспекті планованих термінів, ресурсів, які використовуються, політичної ситуації та інших відомих і прогнозованих чинників.

Наведений процес відбувається в ідеальній системі, що описується оператором A_u, де оператор порівняння ρ ідентифікує *x* з відповідним еталоном з множини *G*, найбільш наближеним до *x* за критерієм ρ.

Система є детермінованою, а результат процесу y_u – модель об'єкта *x,* – вільною від похибок.

У реальній системі з оператором A_p враховується наявність неконтрольованих факторів впливу, для чого вводяться можливі управління u_g, обрані з множини U_g, обмеженої існуючими ресурсами ϕ_g.

До факторів, що здійснюють неконтрольований вплив на результат вимірювання, потрібно віднести:

– обмеження кількості і (або) тривалості доступних для спостереження реалізацій досліджуваного процесу, тобто будемо спостерігати тільки окремі реалізації процесу $\tilde{x}(t)$, проявом яких керує імовірнісний механізм IM_x, що визначає статистичний характер проблеми оцінки;

– дія зовнішніх неконтрольованих збурень – процесів *z(t)* – зміна зовнішньої економічної ситуації, погодних умов тощо. Ці процеси впливають на результат y_p та змінюються у часі непередбаченим чином (реалізації *z(t)* обираються механізмом IM_z);

– викривлення інформації у множині *G* (недосконаліть фізичних моделей ГІС) через ентропію при недосконалості теоретичного підходу в *M*, при застосуванні застарілого картографічного матеріалу, похибок вимірювання та їх інтерпретації, відхилення значень параметрів еталонів в ідеальній системі від номінальних значень через недосконаліть опису фізичних моделей множини *G* (визначено імовірнісним механізмом IM_g).

Враховуючи наведене, видно, що реальна система є стохастичною. Похибка оцінки результату досліджуваного реального процесу (похибка реальної системи) може бути виражена значенням функціоналу і є випадковою величиною та повністю характеризується своїм законом розподілу.

При заданому допуску Δ оператор управління (контролю) A_r порівнює r та Δ_g і надає пропозиції щодо необхідності введення в ГІС сигналу управління u_g (при $r > \Delta_g$). Потім відбувається вибір управління U_{g*} у відповідності з алгоритмом $x^* = \underset{x \in X}{arg\,min}\, r\,(x, m^0)$. Відхилення значень параметрів $c(t)$ елементів від номінального значення в результаті неконтрольованого технологічного відхилення процесів розвитку визначається імовірнісним механізмом неконтрольованого впливу IM_c.

Таким чином, в ідеальній системі (детермінованій, гіпотетичній) апріорна невизначеність знімається повністю і об'єкт ідентифікується з конкретним елементом тезауруса. При цьому кількість отриманої інформації залежить від об'єкта тезаурусу та дорівнює початковій ентропії.

У реальній системі існує певна невизначеність через дію механізмів MB_x, IM_z, IM_c, IM_g. Остаточна невизначеність є похибкою системи (похибкою оцінки відхилення результату процесу розвитку від запланованого) і процес усунення похибки або аналізу і оцінки, її урахування у прийнятому рішенні доцільно зробити за допомогою СППР, яка на певній стадії покаже ОПР похибку результату для визначення останнім подальших дій.

10.3. Розробка моделі оцінки впливу людино-машинних похибок на процес управління територіями

Одним із головних чинників, які визначають ефективність і працездатність ГІС в СУТ, є достовірність даних на усіх етапах їх формування, перетворення (конвертації) й обробки, тобто забезпечення необхідного рівня достовірності інформації, на підставі якого приймаються управлінські рішення. За експертними оцінками, витрати на збір і опрацювання інформації (реєстрація первинних даних) складають до 40%, передачу інформації (зв'язок, сигналізація) – до 30%, заповнення та тиражування документації – 30% (Longley et al., 2015).

Достовірність інформації в ГІС визначається як імовірність того що дані в системі відповідають дійсним значенням у межах заданої точності. Для її забезпечення в системи обробки даних вводять інформаційну часову або структурну надлишковість що дозволяє виявляти локалізувати та виправляти похибки. Необхідний рівень достовірності встановлюється на основі балансу між ризиками від помилкових рішень та витратами на їх запобігання. Похибки класифікують за джерелом виникнення на помилки персоналу через низьку кваліфікацію чи недбалість несправності технічних засобів та вплив зовнішнього природного середовища.

Головна відмінність ГІТ від інших ІТ полягає у необхідності зв'язку між картографічною інформацією та тематичними даними що дозволяє інтерактивно поєднувати табличне та графічне подання. Це забезпечує якісно новий підхід до аналізу різнорідної інформації від екстремальних числових

значень до лінгвістичних оцінок якості. Найбільш критичним залишається людський фактор оскільки інтенсивність похибок внесених операторами під час заповнення документів та введення даних на один-два порядки перевищує частоту технічних збоїв. Це робить верифікацію дій персоналу та підвищення його кваліфікації пріоритетним завданням для забезпечення якості управління територіями особливо на робочих місцях із віддаленим доступом. (Fisher, 2018).

Ускладнення техніки збільшує протиріччя між вимогами, що пропонуються науково-технічним прогресом, і здібностями людей. Якою б досконалою не була техніка, її ефективне і безпечне застосування врешті-решт залежить від того, наскільки повно узгоджені конструктивні параметри з оптимальними умовами роботи людини, з його психофізіологічними можливостями і особливостями. Тому й виникає необхідність оцінки впливу людино-машинних похибок на точність ГІС в СУТ в єдиному комплексі «людина–техніка–середовище». Пропозиції автора щодо можливості зменшення похибок персоналу у процесі отримання первинних даних при польових вимірах викладені у працях (Зацерковний, 2008; Зацерковний та ін., 2010; Зацерковний та ін., 2010b; Зацерковний та ін., 2010c; Зацерковный, 2010).

Похибки, викликані несправністю технічних засобів системи, – це похибки, пов'язані з несправністю обладнання, невідповідністю його технічним нормам, з порушенням необхідних умов роботи технічних засобів і збереження машинних носіїв інформації, з фізичним зношенням елементів і вузлів технічних засобів, різного роду завадами тощо.

Похибки вхідних даних, викликаних зовнішнім середовищем, надходять до системи у складі спотворених вихідних даних. Спотворення інформації в інформаційних мережах можливі на будь-якому етапі її циркуляції: при збереженні, передачі або обробці. Причини таких похибок можуть бути випадковими або навмисними. У свою чергу, випадкові похибки можуть бути як природними, пов’язаними з дією природних чинників, так і штучними. До числа природних чинників відносяться космічні та теплові шуми, атмосферні електромагнітні розряди, іскріння контактів, недостатня надійність електронних елементів і елементів електричних ланцюгів, порушення реєстру вального шару магнітних або оптичних носіїв тощо. Випадкові штучні похибки, пов’язані з діяльністю людей, тобто з випадковими похибками персоналу (Wickens et al., 2021). Навмисні похибки завжди пов’язані з навмисними діями порушників.

Важливими особливостями ГІС є можливість забезпечення комплексного введення, контролю, збереження, відображення й аналізу різної семантичної та картографічної інформації, підготовка картографічних матеріалів для аналітичної обробки, що забезпечує прийняття ефективних рішень на основі аналізу та інтерпретації просторово-розподілених даних (Зацерковний 2016) у процесі управління територіями. Власне різнорідність інформації, якою повинна оперувати система, і призводить до виникнення

низки проблем, найголовнішою серед яких є опрацювання невизначеної інформації та проблема пошуку інформації.

ГІС в СУТ є складною технічною системою і як будь-яка інша технічна система вона повинна проходити випробування – реалізацію на практиці певного комплексу умов. Очевидно, що проведення таких випробувань тільки заради випробувань нереальне, через характер та сутність ГІС в СУТ і велику вартість такого експерименту.

Одним із шляхів визначення оцінки впливу людино-машинних похибок при впровадженні ГІС в СУТ є імітаційне моделювання, пов'язане перед усім з їх формалізацією. Формалізація пов'язана зі значними проблемами, викликаними головним чином складністю формалізації психофізіологічних станів людини-оператора і складностями формалізації об'єктів дослідження в ГІС. В загальному випадку задача ускладнюється ще й тим, що об'єкти дослідження ГІС є динамічними системами.

Теорія і практика динамічних вимірів полягає у визначенні імовірнісних характеристик випадкових процесів, що здійснюються на основі попередньо побудованої моделі аналізованого випадкового процесу. Модель дає можливість встановити алгоритми і технічні засоби вимірів. Якщо вона виявиться не адекватною реальному процесу, можуть виникнути значні похибки у вимірах, – теоретичні і методичні систематичні похибки. Побудова моделі доповнюється на основі апріорних даних, гіпотез, фізичних і математичних тверджень.

Отже, результати імітаційного моделювання завжди суттєво відрізняються від реальності за рахунок апріорного характеру вхідної інформації. Звідси випливає постановка задачі експериментальної оцінки ГІС в СУТ у процесі функціонування (розвитку) за поточними результатами на виході ГІС, тобто випробувальний режим поєднується з робочим.

Оскільки повне виявлення усіх можливих похибок принципово неможливе, то певна частка інформації, що заноситься до файлів бази даних ГІС при первинному формуванні або актуалізації, є спотвореною. Крім того, не виявлені відразу похибки інформації можуть виникати й на інших етапах обробки даних, зокрема, під час "тиражування" викривленої інформації (проникнення в інші файли при розв'язанні інформаційно-пов'язаних задач). У цих випадках застосовують оптимальні стратегії і процедури відновлення з використанням попереджуючих заходів захисту на основі фіксації контрольних точок, збереження копій тощо.

Отже, забезпечення достовірності обробки даних пов'язано з необхідністю вирішення комплексу взаємопов'язаних задач розробки ефективних методів контролю і/або їх раціонального вибору з урахуванням орієнтації на конкретну специфіку похибок, потенціальних витрат ресурсів на захист і наступне відновлення викривленої інформації. Незважаючи на заходи з підвищення достовірності підготовки і обробки інформації, бази даних, СОД, у тому числі й ГІС, містять значну частку викривленої інформації. У випадках, коли надлишковість даних є великою (наприклад, у текстовій інформації),

похибки даних, що зберігаються в базах геоданих і вихідних даних, можна легко виявити і виправити. Завдяки цьому, наслідки похибок можуть бути несуттєві. Однак у більшості випадків ГІС опрацьовують формалізовану, малонадлишкову інформацію; при цьому ймовірність вияву похибок у вихідних документах низька і наслідки похибок можуть бути досить важкими. Типова «класична» технологічна схема процесу обробки інформації в ГІС включає певну послідовність етапів (рис. 10.9).

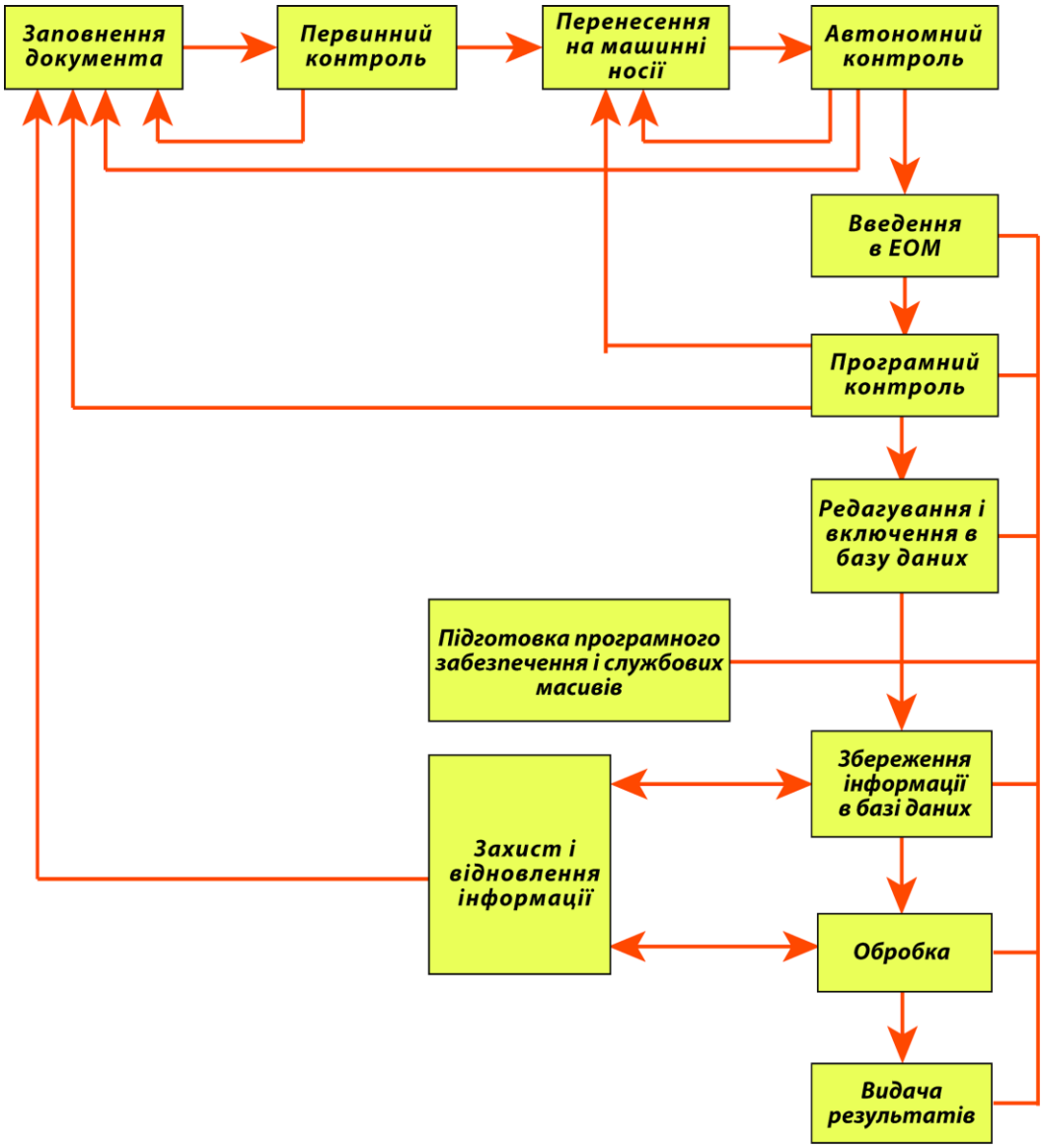


Рис. 10.9. *Технологічна схема процесу обробки інформації ГІС в управлінні територіями*

Спотворена інформація може бути внесена на будь-якому етапі (оператор неправильно зчитав показання приладу (табло екрана) або неправильно (нерозбірливо) записав їх у документ; працівник групи підготовки даних втратив один або декілька документів; оператор підготовки даних неправильно сприйняв нерозбірливо написаний реквізит і набрав на клавіатурі помилкове значення; оператор правильно сприйняв символи

вихідного тексту, але помилився при їх введенні з клавіатури (зробив ”описку”, пропустив або додав зайвий символ, змістив колонки документа, переставив місцями сусідні символи тощо); відбувся збій у пристрою підготовки або введення даних, який спотворив один або декілька символів; у процесі збереження даних на носію відбулось руйнування інформації через пошкодження покриття (файл не зчитується); в процесі обробки відбувся збій при зверненні до оперативної або зовнішньої пам’яті; через похибки в програмі обробки неправильно обчислений окремий показник або спотворений цілий файл).

Варіанти можливої організації збору, підготовки і введення даних у комп’ютер можуть бути систематизовані таким чином:

1) реєстрація інформації на первинних документах з наступним їх введенням до ГІС в СУТ (етапи ”заповнення документа”, ”первинного контролю”, ”перенесення на машинні носії”, ”автономного контролю” і ”введення в комп’ютер” (рис. 8.11);

2) реєстрація інформації людино- і машинозчитуваних документів, їх безпосереднє введення до комп’ютера за допомогою спеціальних пристроїв;

3) одночасна реєстрація інформації на друкованих і машинних носіях та введення за допомогою стандартних пристроїв введення;

4) дистанційна передача зареєстрованої інформації каналами зв’язку до серверу з місця її виникнення.

Найперспективнішим варіантом є ”автономний контроль” (для систем, яким не потрібна висока реактивність відносно процедур актуалізації баз даних) – ”перенесення на машинні носії”. Однак через низку організаційних і технічних причин питома вага цього варіанта, сукупність етапів якого супроводжується найбільшою участю людини і характеризується найбільшою кількістю похибок, поки що є дуже високою.

Незалежно від застосовуваного варіанта організації збору інформації в цілому викривлення і руйнування даних у процесі функціонування ГІС в СУТ виникає внаслідок трьох причин: похибки у вихідних даних, викликані людиною; збоїв і відмов обчислювальних пристроїв (пристроїв підготовки, введення і обробки); похибок у програмах обробки.

Приблизне усереднення розподілу інтенсивностей похибок перерахованих типів становить (Greene, 2017; Jensen, 2015): для електроніки – $10^{-8}…10^{-7}$ похибок/символ; електромеханіки – $10^{-5}…10^{-4}$; для людини-оператора – $10^{-3}…10^{-2}$ похибок/символ. Наведені цифри визначають середню кількість викривлених елементів (зокрема, символів) інформації, що припадають на один невикривлений, і слугують мірою імовірності появи похибок відповідного походження. З цих даних видно, що людина є найбільш ненадійною ланкою в ланцюзі процедур збору і обробки інформації.

Ґрунтуючись на теорії випадкових функцій, можна запропонувати таку методологію моделювання оцінки впливу людино-машинних похибок на точність ГІС в СУТ. У спрощеному вигляді можна прийняти, що об'єкти дослідження N у фіксований момент часу обробки інформації в ГІС

перебувають у статичному стані. Тоді об'єкт $N^0 \in N$ характеризується сукупністю незалежних параметрів z_1^0, z_2^0,...,z_n^0, які є характеристиками просторового положення різних точок об'єкта *N*.

Величина z – це узагальнена безрозмірна характеристика об'єкта дослідження, що відображає результат виміру певного параметра *Z* (наприклад, остаточне рішення для СППР, запис координат з приймача GPS, отримання інформації з пункту прийому даних ДЗЗ тощо). Ця величина є інтегративним підсумком роботи компонентів ГІС (персоналу, апаратного і ПЗ та середовища) і її похибка є складовою від похибок цих компонентів.

Умовно стан людини, приладу (програми) і середовища на момент початку виміру можна описати відповідно векторами *G, M, S* випадкових змінних:

$$G = \begin{pmatrix} g_1 \\ g_2 \\ \dots \\ g_i \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_j \end{pmatrix}, \quad S = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ \dots \\ s_k \end{pmatrix},$$

де i, j, k – розмірності векторів відповідно G, M, S.

Змінні g_i, m_j і s_k відрізняються істотним розкидом. Критерії оцінки значень достовірності, що характеризують окремі етапи переробки, залежать від мети і характеру розв'язання задач проектування або аналізу.

У всіх випадках критерієм виступає ймовірність викривлення елемента інформації або, імовірність невикривленої (безпомилкової) передачі (обробки) елемента, яка визначається як відносна кількість викривлених або, невикривлених елементів інформації у загальному потоці інформації. При цьому, залежно від характеру вирішуваних питань, елементом інформації може бути символ (двійковий або алфавітно-цифровий), реквізит, запис.

У першому випадку мову ведуть про достовірність символу σ_c, у другому – про достовірність реквізиту σр, в третьому – про достовірність запису або рядка документа σз.

Якщо відома ймовірність викривлення символу π_c на певному етапі обробки, то для початку цього етапу при припущенні про незалежний характер викривлення окремих розрядів маємо:

$$\sigma c = 1 - \pi \text{с}, \;\; \sigma \text{р} j = (1 - \pi_c)^{n_j}, \;\; \sigma \text{з} = \prod_{j=1}^{m} (1 - \pi_c)^{n_j},$$

де m – кількість реквізитів у запису; nj – кількість символів j-го реквізиту.

Оскільки значення π_c зазвичай достатньо мале, то $(1 - \pi_c)^{n_j} \approx 1 - n_j \pi_c$.

Можна записати: $\sigma_{pj} \approx 1 - n_j \pi_c = 1 - \pi_{pj}$, $\sigma_з = \prod_{j=1}^{m} (1 - \pi_{pj})$.

У загальному випадку задачу оптимізації забезпечення достовірності можна сформулювати як задачу мінімізації витрат відповідних ресурсів. Складність і практична неможливість точного розв'язання такої загальної

задачі пояснюється двома основними причинами: складністю отримання і подання витрат ресурсів у порівнянних одиницях і комбінаторним характером розв'язання задачі високої розмірності. У зв'язку з цим потрібні (бажані) значення достовірності інформації на різних етапах задаються з емпіричних міркувань на підставі експертних оцінок або літературних даних.

Вхідні дані, що виробляються людино-машинними системами, мають структуру, відмінну від структури даних, які контролюються в каналах зв'язку і апаратурі. Основні відмінності полягають у недвійковій основі системи числення і більш складній ієрархічній конструкції елементів інформації. Так, типова ієрархічна структура вхідних даних включає такі рівні агрегації: символ (q=10 або більше) – слово або реквізит (сукупність символів) – запис (сукупність реквізитів) – блок записів (файл). Така ж структура характерна й для звичайної мови: символ – слово – речення – абзац (розділ, глава). Більш складна структура повідомлень, більш складний синтаксис визначають і більшу розмаїтість можливих похибок порівняно з двійковою інформацією.

Загалом для класифікації похибок підготовки даних і методів їх виявлення істотне значення мають чотири чинники: граматичний характер похибок; рівень агрегації контрольованих елементів; вид і форма, яка використовується для контролю надлишковості, момент внесення надлишковості до контрольованих елементів. З урахуванням першого чинника можна виділити два класи похибок: синтаксичні і семантичні.

Синтаксичні похибки спотворюють структуру і лексику подання даних, тобто порушують загальні правила побудови реквізитів і записів. Типові похибки такого типу полягають у пропуску символу (скорочення встановленої довжини реквізиту); додаванні зайвого символу (збільшення довжини реквізиту); заміні правильного символу на сторонній, що не відповідає знаковому шаблону реквізиту (наприклад, внесення алфавітного символу у числовий реквізит); зсуву за рядками або стовпчиками документа, що призводить до зміни формату і шаблону декількох реквізитів.

Семантичні похибки викривляють значення, зміст інформації і відповідності формальним синтаксичним правилам. Методи виявлення синтаксичних похибок достатньо прості (перевірка шаблонів форматів) і доволі розвинені у стандартних системах введення інформації. У зв'язку з цим практичне значення мають дослідження й удосконалення методів захисту від похибок другого класу – семантичних. З урахуванням цього чинника виділяють три основні рівня ієрархії контрольованих елементів: реквізит, запис, блок записів (файл). У відповідності з цим семантичні похибки розбивають на три класи: орфографічні, змістовні і блочні (Зацерковний 2011).

Орфографічні похибки полягають у викривленні змісту речення, який визначається записом. Прикладом є переміна місцями однойменних (найчастіше сусідніх записів) реквізитів. При цьому кожний реквізит є «правильним» і відповідає множині припустимих значень, однак запис у загальному випадку містить спотворену інформацію. Виникнення таких похибок зумовлене тим, що оператор у процесі заповнення або копіювання

«переключає» погляд з одного рядка на інший і продовжує заносити реквізити, які відносяться до іншого запису. Блочні похибки викривляють блок записів. При цьому кожний запис сам по собі може лишатися правильним, але блок виявляється дефектним. Можливими причинами дефектності є відсутність деяких записів, їх перестановка тощо. Такі похибки виникають у випадках втрати документів, неправильного комплектування носіїв інформації тощо.

З урахуванням третього чинника спектр конкретних методів контролю на кожному рівні агрегації контрольованих елементів визначається розмаїтістю способів введення інформації і використання надлишковості. При цьому виявлення орфографічних похибок можливе при наявності надлишковості в значеннях як окремих реквізитів, так і їх сполучень; змістовні похибки виявляються тільки при наявності надлишковості, яка охоплює сполучення реквізитів (у межах одного запису, декількох записів одного файла, записів різних файлів); блочні похибки виявляються тільки при наявності надлишковості, що охоплює реквізити блоку записів.

З урахуванням четвертого чинника розрізняють два основних етапи підготовки даних, пов’язаних з появою значної кількості семантичних похибок: заповнення документів (формування повідомлень); перенесення документів на машинні носії і введення в комп’ютер (введення повідомлень). Відповідно виділяють два моменти введення надлишковості: перед заповненням документів і перед введенням у комп’ютер. У першому випадку можливе виявлення похибок, що виникли як на етапі заповнення, так і на етапі перенесення на машинні носії (етапі перекодування). У другому випадку виявляється тільки похибок етапу перекодування і наступних етапів.

Зазвичай при моделюванні людино-машинних похибок у ГІС (створенні ергадичних ГІС) виділяють найбільш істотні з них. Наприклад, для вектора *G* – фізіологічні змінні – характеристики зорового, слухового, тактильного, рухового й інших аналізаторів; психологічні змінні – характеристики сприймань, уявлень, мислення, уваги, пам'яті тощо; для вектора *M* – характеристики оптичних систем геодезичних приладів, дигітайзерів, моніторів, робочих мір і відлікових пристроїв, рівнів і компенсаторів нахилу, осьових систем тощо; для вектора *S* – характеристики змінних, пов'язаних із зображенням цілі (яскравість, контраст, колір тощо), і змінних, що впливають на роботу ГІС в управлінні територіями (температура, вологість, тиск, вібрації тощо).

Оскільки компоненти векторів є випадковими змінними, то можна вважати, що G, M, S – випадкові вектори. Величину z можна розглядати як функціонал $z = f(U, V, W)$, де U, V, W – випадкові величини, що залежать відповідно від випадкових векторів *G, M, S* і які представляють собою функції

$$U = \alpha(G) = \alpha(g_1, g_2, \ldots, g_i),$$
$$V = \beta(M) = \beta(m_1, m_2, \ldots, m_i),$$
$$W = \gamma(S) = \gamma(s_1, s_2, \ldots, s_i).$$

Для певного параметра z_1^0 величину z можна представити як вектор-функцію:

$$z = \begin{pmatrix} z_{i1} \\ z_{i2} \\ \dots \\ z_{in} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_{i1}(U,V,W) \\ f_{i2}(U,V,W) \\ \dots\dots\dots\dots\dots \\ f_{in}(U,V,W) \end{pmatrix} = f(U,V,W),$$

(10.10)

де z_{in} – кількість вимірів параметра z_1^0.

Встановлення закону розподілу z – досить складна задача. Для цього необхідно знати загальний розподіл випадкових величин U, V і W, що є функціями відповідно випадкових векторів G, M і S. Визначити ж загальний розподіл величин U, V і W поки що не представляється можливим. Тому на практиці можна обмежитися пошуком числових характеристик розподілу величини z за числовими характеристиками розподілу випадкових величин U, V і W.

Вибір функцій f, β, γ при моделюванні людино-машинних похибок у ГІС є важливою задачею і залежить від конкретних умов, стану параметрів системи і виду робіт, що виконуються людиною-оператором. Можна припустити, що вони є детермінованими, не змінюються в інтервалі часу виміру і від виміру одного об'єкта до іншого в даній серії вимірів.

Функції f, β, γ можна знайти за допомогою алгоритму, що заснований на застосуванні імітаційного моделювання з використанням комп'ютера. При цьому як вихідні дані беруться конкретні реальні значення g_i, m_j і s_k, що відносяться до конкретних вимірів. Функції β, γ і f представляються у вигляді квадратичної форми від змінних g_i, m_j і s_k. У подальшому здійснюють імітаційне моделювання з використанням нормально розподілених випадкових величин для одержання статистично великої кількості випадкових змінних, тобто моделюють результати отримання інформації за допомогою ГІС в управлінні територіями на підставі даних g_i, m_j і s_k. Далі за методом найменших квадратів визначають коефіцієнти рівнянь для кожної функції. Оскільки у функціях f, β, γ значення g_i, m_j і s_k мають різну розмірність, для приведення їх до безрозмірного вигляду використовують такі центровані величини:

$$\frac{g_i - \overline{g}}{\sigma_{g_i}}, \qquad \frac{m_j - \overline{m}}{\sigma_{m_j}}, \qquad \frac{s_k - \overline{s}}{\sigma_{s_k}}.$$

Величини f, β, γ залежать від значення математичного очікування функції z. Тому в кожному конкретному випадку зі зміною z будуть змінюватися і величини f, β, γ.

Використовуючи наведену методику, можна моделювати різні варіанти людино-машинних похибок у ГІС, підбирати оптимальні значення окремих компонент.

При моделюванні процесу обробки інформації ГІС в СУТ важливим питанням є не стільки моделювання самого процесу, скільки моделювання похибок, що виникають у процесі обробки. Тому актуальним є визначення середньої квадратичної погрішності σ_z.

Похибка функції залежить від погрішностей аргументів *U, V, W,* за якими вона обчислюється, і від вигляду *f* самої функції.

$$\sigma_Z = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial U}\backslash Big|_P\right)^2 \sigma_U^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial V}\backslash Big|_P\right)^2 \sigma_V^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial W}\backslash Big|_P\right)^2 \sigma_W^2 + 2\left(\frac{\partial f}{\partial U}\backslash Big|_P\right)\left(\frac{\partial f}{\partial V}\backslash Big|_P\right)\cdot \mathrm{cov}(U,V) + \cdots}$$

$$\overline{+2\left(\frac{\partial f}{\partial U}|P\right)\left(\frac{\partial f}{\partial W}|P\right)\cdot cov(U,W) + 2\left(\frac{\partial f}{\partial V}|P\right)\left(\frac{\partial f}{\partial W}|P\right)\cdot cov(V,W)}, \qquad (10.11)$$

де σ_U, σ_V, σ_W, – середньоквадратичні похибки випадкових змінних *U, V, W,* тобто похибки, що вносяться людиною, ГІС в управлінні територіями або окремим приладом і середовищем;

$cov\,(U,V), cov\,(U,W), cov\,(V,W)$ – коваріації між випадковими змінними $(U,V),(U,W),(V,W)$.

Середньоквадратичні похибки σ_U, σ_V і σ_W можна визначити відомими способами при апріорному розрахунку з формули (10.11), якщо відома середньоквадратична похибка σ_z. Їх також можна оцінити з формули (10.10) за умови, що спільні розподіли компонентів векторів *G*, *M, S* сконцентровані головним чином в околицях точок *A* $(\overline{g_1}, \overline{g_2}, \ldots, \overline{g_i})$*; B* $(\overline{m_1}, \overline{m_2}, \ldots, \overline{m_j})$*; C* $(\overline{s_1}, \overline{s_2}, \ldots, \overline{s_k})$.

Провівши попередні дослідження стану компонентів людино-машинної системи (людини-оператора, приладу (програми) і середовища), можна вказати границі, в яких змінюються похибки, що вносяться людиною-оператором – σ_U, ГІС в управлінні територіями (приладом) –σ_V і середовищем – σ_W:

$$\underline{\sigma_U} \le \sigma_U \le \overline{\sigma_U}; \quad \underline{\sigma_V} \le \sigma_V \le \overline{\sigma V}; \quad \underline{\sigma_W} \le \sigma_W \le \overline{\sigma_W}.$$

Моделювання процесу обробки інформації в ГІС можна здійснювати й іншими методами. Наприклад, можливий метод моделювання процесу обробки інформації в ГІС, заснований на ідентифікації їх моделей методами багатомірного лінійного регресійного аналізу. Такий підхід ґрунтується на припущенні, що ГІС в СУТ у процесі обробки інформації нагадує відстежувальні системи, за аналогією з якими структурна схема спостережень і фіксації інформації може бути подана у вигляді, представленому на рисунку 10.10.

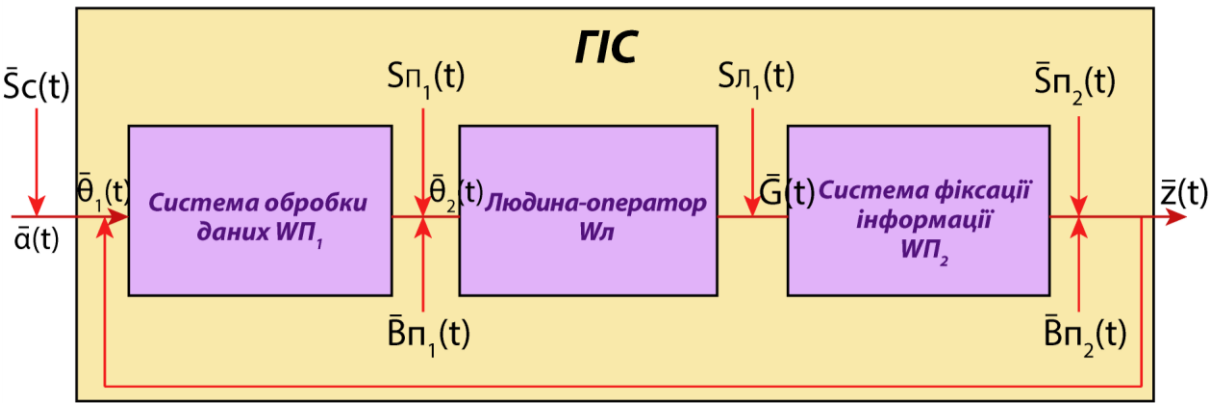


Рис. 10.10. *Функціональна схема процесу обробки інформації ГІС у системі управлінні територіями*

На рис. 10.10 $\overline{\alpha}(t)$ – вхідний сигнал; $\overline{z}(t)$ – вихідний сигнал (результати спостережень); $\overline{S_C}(t)$, $\overline{S_{П_1}}(t)$, $\overline{S_Л}(t)$, $\overline{S_{П_2}}(t)$ – вплив зовнішньою середовища на вхідний сигнал, людину-оператора і прилад (програму); $\overline{\theta_1}(t)$ – сигнал, що надходить на вхід системи обробки інформації в ГІС; $\overline{\theta_2}(t)$ – сигнал, що надходить до людини; $W_Л$, $W_{П_1}$ і $W_{П_2}$ – передатні функції людини-оператора і відповідних систем ГІС; $\overline{B}_{П_1}(t)$ і $\overline{B}_{П_2}(t)$ – вплив похибок приладу на сигнал, що проходить через певний функціональний блок, тобто транзитний сигнал.

Простежимо шлях проходження сигналу $\overline{\alpha}(t)$ у системі обробки інформації ГІС в управлінні територіями. На вхід ГІС надходить сигнал $\overline{\theta_1}(t)$, зашумлений впливом зовнішнього середовища $\overline{S_C}(t)$. Далі він перетворюється оператором $W_{П_1}$ і на нього здійснюють вплив завади $\overline{S}_{П_1}(t)$ і $\overline{B}_{П_1}(t)$. У результаті він стає сигналом $\overline{\theta_2}(t)$, який надходить на вхід до людини-оператора.

Перетворений оператором $W_Л$ і впливом завади $\overline{S_Л}(t)$ він стає сигналом $\overline{G}(t)$, який фіксується на пристроях реєстрації і носіях інформації ГІС в управлінні територіями.

У свою чергу на сигнал $\overline{G}(t)$ здійснюють вплив оператор $W_{П_2}$ і завади $\overline{S}_{П_2}(t)$ *(t)* і $\overline{B}_{П_2}(t)$. Після всіх цих трансформацій на виході утворюється результат виміру. При цьому необхідно враховувати важливу обставину. Завади $\overline{S}_{П_1}(t)$, $\overline{S_Л}(t)$ і $\overline{S}_{П_2}(t)$ по суті роблять вплив не на сам транзитний сигнал, а на оператори $W_{П_1}$,$W_Л$ і $W_{П_2}$. У результаті трансформуються передатні функції функціонального блока (програми) і людини-оператора, що позначається на якості транзитного сигналу.

Отже, вихідна величина $\overline{z}(t)$ буде визначатися таким чином:

$$\overline{z}(t) = W_{П_2}\overline{G}(t) + \overline{S}_{П_2}(t) + \overline{B_{П_2}}(t),$$

де $\overline{G}(t) = W_{\Lambda}\overline{\theta_2}(t) + S_{\Lambda}(t)$ і $\overline{\theta_2}(t) = W_{\Lambda}\overline{\theta_1}(t) + \overline{S}_{\Pi}(t) + \overline{B}_1(t)$.

При аналізі й синтезі ГІС в СУТ необхідно мати інформаційну математичну модель, що характеризує залежність виходів $\overline{\theta_2}(t)$, $\overline{G}(t)$ і, врешті-решт, $\overline{z}(t)$ від впливу відповідно характеристик $\overline{\theta_1}(t)$, $\overline{\theta_2}(t)$ і $\overline{G}(t)$.

Побудова математичної моделі полягає у визначенні оператора *F,* що ставить у відповідність z і $\overline{G}$:

$$z = F(G). \tag{10.12}$$

Аналіз стохастичного зв'язку між z і $\overline{G}$ зводиться до пошуку числових значень оцінок і дисперсій оцінок коефіцієнтів передбачуваного зв'язку між величинами z і $\overline{G}$ (оцінювання параметрів зв'язку).

Одним із способів побудови математичних моделей подібних систем є спосіб статистичної пасивної ідентифікації [158], при якій математична модель будується, ґрунтуючись на спостереженнях за випадковими вхідним $\overline{G}$ і вихідним *z* сигналами.

Достатньо повною ймовірнісною характеристикою оператора *F* є оператор умовної щільності ймовірностей $f(z|\overline{G})$ вихідного сигналу *z* при спостереженні вектора $\overline{G}$ (вхідного сигналу). Ця характеристика встановлюється дослідним шляхом і є оператором, який визначає зв'язок між повними ймовірнісними характеристиками вхідної і вихідної випадкових величин, тобто між щільностями ймовірностей *f (*$\overline{G}$*)* і *f (z)* – $f(z) = \int_{-\infty}^{\infty} f(z|\overline{G})\, / f(\overline{G}) d\overline{G}$.

Стохастична залежність (10.12) може бути охарактеризована рівнянням регресії – умовним математичним очікуванням $M[z|\overline{G}]$ випадкової вихідної змінної *z* при фіксованому векторі значень вхідного сигналу $\overline{G}$:

$$M[z|\overline{G}] = \Phi(\overline{G}) \tag{10.13}$$

і центрованим випадковим відхиленням *ψ(z)* випадкової величини *z* від умовного середнього. Отже, стохастичний зв'язок (10.12) можна представити у вигляді $z = M[z|\overline{G}] + \psi(z)$. Зазвичай передбачається, що структура рівняння регресії (10.13) має такий вигляд:

$$M[z|\overline{G} = \overline{g}] = M[z|g_1, g_2, \ldots, g_n] = a_0 + a_1 g_1 + \ldots + a_n g_n, \tag{10.14}$$

де g – спостережуване значення випадкового вектора $\overline{G}$.

Аргументи $g1, g2, \ldots, gn$ визначають *z* лише в середньому, тобто *z* залежить в «середньому» лінійно від аргументів $g1, g2, \ldots, g$. Задача полягає в перевірці правомірності припущення про наявність залежності вигляду (10.13)

і знаходженні оцінок коефіцієнтів а0, а1, …, ап рівняння (10.14), які дають мінімум функціоналу

$$T(a_0, a_1, \ldots, a_n) = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n}\left\{z_j - (a_0 + a_1 g_{1j} + \ldots + a_n g_{nj})\right\}^2 .$$

Ця задача вирішується за допомогою способу найменших квадратів і розв'язку систем лінійних рівнянь відносно невідомих коефіцієнтів рівняння регресії. Величина коефіцієнтів a_i вказує на ступінь впливу *i*-й характеристики G_i, на вихід *z*. Аналогічно можна визначити наявність і величину зв'язків між $\overline{\theta_2}$ і $\overline{G}$, $\overline{\theta_1}$ і $\overline{\theta_2}$.

За допомогою запропонованої методики можна визначити усереднені характеристики моделі обробки інформації ГІС в СУТ, при яких на виході отримують значення *z* у припустимих границях у процесі експлуатації. Цим характеристикам будуть відповідати певні величини зв'язків між зазначеними вище сигналами, які можна назвати базовими. Виділяючи для конкретного випадку величини зв'язків, можна визначити, чи виходять вони (і які саме) за межі базових значень і зробити висновок про джерело збурень і величину його впливу на кінцевий результат (Зацерковний, 2013).

11. РОЗРОБКА ПІДХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС В УПРАВЛІННІ ТЕРИТОРІЯМИ ТОЧНИМ І АКТУАЛЬНИМИ ДАНИМИ

11.1 Джерела даних для ГІС в управлінні територіями

Якщо на початковому етапі створення ГІС в управлінні територіями вимагається, головним чином, інтеграція в ГІС вже існуючих даних, то в подальшому для інформаційного наповнення вимагається налагодження збору даних для актуалізації БД ГІС і функціонування ГІС в оперативному режимі.

Існуючі джерела просторової інформації для ГІС – численні і різноманітні як за якістю, так і за точністю (карти, аеро- і космічні знімки, матеріали статистичної звітності, кадастри, дані гідрометеорологічних спостережень, екологічного моніторингу, топографічні й тематичні карти (геологічні, ґрунтові та інші), дані ДЗЗ, геоінформаційних проектів, Інтернет тощо (рис. 11.1.) й отримуються за допомогою різних технологій (DeMers, 1997; Kraak & Ormeling, 2020; Huxhold, 1991).

Рис. 11.1. *Джерела даних для ГІС*

Разом з даними для бази геоданих ГІС потрібні й метадані, що містять інформацію про проекції, географічну основу і базову карту, рівні генералізації, цензи і норми відбору об'єктів картографування, дизайн, дані про

час створення або перевидання карти, процедури збору і компіляції даних, системи кодування і точність приладів тощо. Крім того, у ГІС рідко використовується тільки один вид даних, найчастіше відбувається поєднання різних даних про певну територію, які отримуються з різних джерел, тому вони є різнорідними за стандартами, формою, поданням тощо.

Розмаїття технологій і методів збору породжує різноманітність типів даних, які згодом необхідно опрацьовувати. Сукупність даних, необхідних для створення ІЗ ГІС, поділяють на дві групи – первинні і вторинні. Первинні дані – це дані, отримані вимірами або спостереженнями безпосередньо на досліджуваному об’єкті, наприклад, шляхом аерокосмічного знімання, вибіркового дослідження в польових умовах або шляхом дистанційного зондування чи за допомогою GPS. Вторинні дані – це дані, отримані на основі обробки первинних даних (наприклад, рішення прямої засічки за даними польових журналів) або з уже наявних моделей даних (наприклад, сканування зображення карт, знімків) тощо.

Найважливішим фактором, що характеризує якість даних у ГІС, є сумарна похибка виміру координат точок досліджуваних геопросторових об’єктів.

У випадку виникнення проблеми підвищення точності обробки даних необхідно провести ретельний аналіз даних і віддати перевагу (при рівних параметрах) первинним даним, оскільки вони містять менше похибок, викликаних методами вимірів і обробки.

Для спрощення процесу обробки, збереження і можливості обміну підсистемами або іншими ГІС ці різнорідні дані потребують попередньої первинної обробки та уніфікації. Процес перетворення вихідних даних на уніфіковані представлений на рис. 11.2.

Рис. 11.2. *Схема процесу перетворення вихідних даних в уніфіковані*

Уніфікація подання даних у ГІС управління територіями включає в себе:

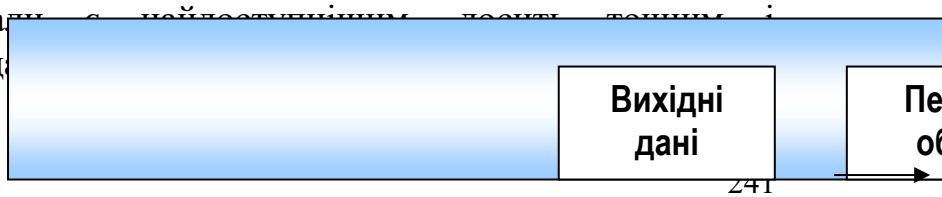
– уніфікацію використовуваних моделей збереження і подання геоінформації та їх прив’язку до міжнародних моделей подання геоданих;

– розробку інтерфейсних засобів взаємодії між різними геоінформаційними середовищами;

– впровадження прикладних аналітичних модулів у ГІС.

Метою уніфікації є доповнення даних інформацією, якої бракує, спрощення даних, виключення надлишкових даних, аналіз погрішностей (видаленні або зменшенні) тощо. Уніфікація за своєю суттю зазвичай не змінює інформативність сукупності даних, а зводить їх в інформаційну основу.

Картографічні матеріали є найдоступнішим досить точним і інформативним джерелом да



втрачають актуальність, рідко оновлюються і фактично не забезпечують цілісної актуальної картини сучасного стану та використання території регіону. Суттєві зміни, що відбуваються під впливом техногенних (поява нових житлових будівель, доріг, відведення територій під дачні ділянки, устрій нових водойм тощо) і природних (лінійна ерозія, ріст ярів, абразія берегової лінії, зміна устя річок, зміна режиму використання земель та територій) процесів геоморфогенеза (Burrough & McDonnell, 2015; Карпінський & Лященко, 2011), сприяють швидкій втраті актуальності картографічних зображень, і це може призвести до надходження неактуальної інформації до баз даних.

Крім того, похибки, допущені при оновленні карт за матеріалами фотозйомки 70-х-80-х рр. XX ст. (одна з організацій-виконавців оновила карту за аеро- або космознімком, інша – ні), тиражуються з попередніх картографічних матеріалів у наступні. Як наслідок, майже завжди є розбіжності в картографічних матеріалах на одну територію. Досить часто картографічні матеріали від тривалого використання через зношення мають погану якість, тому при цифруванні доводиться стикатися з великими проблемами, особливо при цифруванні різних тематичних карт однієї й тієї ж території, оскільки одні й ті ж об’єкти, зображені на різних картах, при накладанні не співпадають.

Крім карт, джерелами даних можуть виступати географічні атласи, рельєфні карти, геозображення, що відтворюють земну поверхню у вигляді тривимірної об’ємної моделі, профілі (вертикальні розрізи земної кори за певними напрямами побудовані в масштабі, що містять умовні позначки і подають земну поверхню й розміщені поблизу неї явища в узагальненому вигляді), блок-діаграми (являють собою поєднання перспективного зображення земної поверхні з профілями) тощо.

Складною частиною отримання даних у ГІС є геокодування.

В процесі геодезичних вимірів початкова (вхідна) інформація для ГІС утворюється або у цифровому вигляді (секунди, міліметри), або в аналоговому (топологічні плани, профілі). Однак після камеральної обробки аналогові дані також перетворюються у цифровий вид. Ці результати можуть бути подані з тією або іншою детальністю і точністю. Використання GPS й електронних тахеометрів дозволяє отримувати високоточні просторово-координатні дані вимірювань у цифровій формі і використовувати їх безпосередньо у геоінформаційному середовищі, минаючи проміжні матеріали у вигляді картографічних матеріалів на паперовій основі.

Збереження матеріалів безпосередньо у цифровій формі усуває проблему створення проміжних паперових карт. Досвід свідчить (Ищук и др., 2010), що використання GPS й електронних тахеометрів при значних обсягах робіт дозволяє суттєво знизити вартість знімань порівняно з традиційними технологіями у 3-4 рази, отримувати більш однорідний цифровий картографічний матеріал, незважаючи на високу вартість обладнання й отримувати значну економію коштів. Крім того, забезпечуються високоякісні

дані про місця розташування меж володінь, угідь, будівель, розташування доріг, річок тощо, отриманих у ході польових досліджень і зйомок або імпортуванням з даних інших систем (Зацерковний, 2013).

Інформаційні джерела кадастрів, Інтернет, гідрометеорологічні спостереження, текстові (літературні) та статистичні головним чином є допоміжними до вимірюваних первинних даних.

Основними недоліками класичних технологій одержання актуальних даних для ГІС є висока трудомісткість і висока вартість польових робіт. У середньому за вартісними і часовими витратами польові роботи складають щонайменше 60% від усього обсягу робіт. Крім того, вони не піддаються автоматизації, на відміну від технологій ДЗЗ, які позбавлені цих недоліків.

Високим вимогам сучасних технологій наповнення баз геоданих ГІС, за точністю й оперативністю одержання, відповідають тільки методи ДЗЗ і GPS-вимірів, переваги яких полягають в:

1) актуальності даних на момент знімання (більшість паперових картографічних матеріалів зазвичай є застарілими);

2) високій оперативності одержання даних для великих територій;

3) високій точності обробки даних;

4) високій інформативності (застосування спектрозонального, інфрачервоного і радарного знімання ДЗЗ дозволяє отримати інформацію, що не розізнається на звичайних знімках);

5) економічній доцільності (витрати на одержання інформації за допомогою ДЗЗ істотно менші наземних польових робіт);

6) можливості одержання тривимірної моделі місцевості (матриці рельєфу) за рахунок використання стереорежиму або лідарних методів зондування і, як наслідок, можливість здійснення тривимірного моделювання;

7) можливості одержання максимально генералізованого зображення;

8) моніторингу фактичного використання земель регіону, інвентаризації зелених насаджень, оцінці їх загальної площі, виявленні осередків захворювань рослин, розподілі зелених насаджень за категоріями стану, контролі приживлюваності тощо;

9) моніторингу стану інженерних комунікацій, включаючи картографування й уточнення схем розташування комунально-енергетичних і теплових мереж, трубопроводів і газопроводів (діагностика їх стану);

10) моніторингу транспортної мережі регіону, включаючи оцінку стану об'єктів дорожньо-мостового, гаражно-стояночного господарства, контроль стану покриттів доріг, тротуарів, узбіч, виявлення наявності (відсутності) дорожньої розмітки тощо;

11) моніторингу стану полігонів побутових відходів, виявленні несанкціонованих місць смітників у промислових зонах і серед об'єктів природного комплексу, моніторингу об'єктів у межах промзон тощо.

Наявність інформації ДЗЗ забезпечує надійний глобальний контроль за економічною, метеорологічною та екологічними ситуаціями територій, а

також може широко використовуватись в оптимізації системи управління транспортом.

11.2. Задачі управління територіями, що розв'язуютьсяза допомогою ДЗЗ

Дані ДЗЗ високої просторової розрізненності є важливим інструментом для розв'язку важливих практичних задач державного, регіонального та місцевого рівня, геопросторовою основою для прийняття відповідних рішень територіального управління (рис. 11.3) і використовуються безпосередньо як для виявлення певних об'єктів та явищ природного та штучного походження та їх аналізу, так і як інформаційні джерела для створення та оновлення інших геопросторових даних і як "підкладки" тематичних карт.

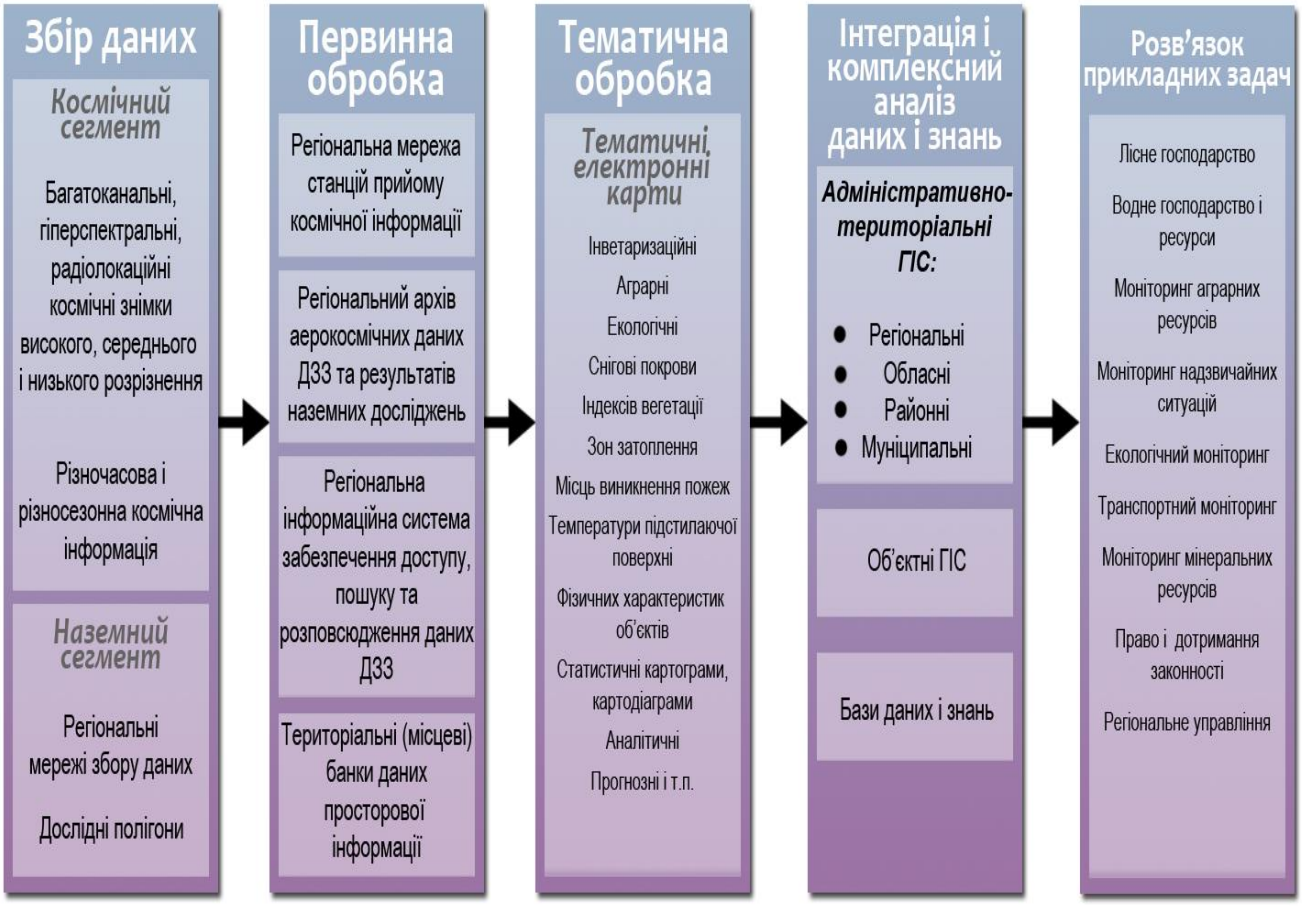


Рис. 11.3. *Схема застосування ДДЗ в ГІС*

Високий рівень автоматизації технологій ДЗЗ ґрунтується на застосуванні радіоелектронної і обчислювальної техніки. Вони не потребують встановлення взаємної видимості між пунктами спостереження і побудови зовнішніх знаків і дозволяють відмовитись від традиційних трудомістких технологій тріангуляції і полігонометрії, які потребують побудови високих

зовнішніх знаків, рубки просік й приводять до порушення екологічного стану тощо.

Отже, можна стверджувати, що дані ДЗЗ є найважливішим джерелом актуальних і точних даних для ГІС в управлінні територіями, оскільки вони володіють високим ступенем достовірності, наочності, при цьому витрати на одержання інформації про досліджувану територію нижче вартості проведення наземних робіт є ефективним інструментом як для швидкої актуалізації картографічних матеріалів і створення просторової основи для прив'язки матеріалів моніторингу, так і безпосередньо для розв'язку задач розвідки, охорони природи, екологічного моніторингу, виявлення й аналізу антропогенного впливу, аномальних явищ, оцінки стану земель і їх використання для земельного кадастру, землеустрою, контролю за використанням земель тощо.

Знімки є істотно інформативнішими, чим побудована на їх основі карта, яка за суттю є ”редукованою” версією (моделлю) вихідного матеріалу.
По-перше, знімки значно швидше ”зчитуються” непідготовленим користувачем, чим карти, містять цінну інформацію не тільки про статичні, а й динамічні характеристики об'єктів на місцевості, наприклад, про напруженість і характер руху транспорту на автомагістралях. Знімки надзвичайно корисні для використання в системах оперативного управління й реагування, при ліквідації наслідків стихій і техногенних катастроф, у військовій справі і логістиці.

Сучасні системи ДЗЗ дозволяють отримувати не тільки чорно-білі (панхроматичні) зображення, але й багатоспектральні та гіперспектральні знімки, що містять роздільні зображення у різних вузьких ділянках спектра, у тому числі й невидимих простим оком (Gergel & Turner, 2017; Jensen, 2015; Toth & Jozkow, 2015).

По-друге, розрізняють аеро- та космічні знімання. Основна відмінність між аеро- і космічним зніманням полягає у висоті, з якої відбувається знімання, що впливає на масштаб отримуваного зображення. Це призводить до відмінностей в розрізненності і в площині, що покривається одним кадром: на аерознімках можна побачити об’єкти розміром в одиниці сантиметрів, для космічних знімків – 0,51 м об’єкти – дуже добрий показник. Проте площі, що покриваються одним кадром космічного знімку, можуть бути надзвичайно великими: тисячі, десятки тисяч квадратних кілометрів і навіть більше. Дрібномасштабні знімання дозволяють охоплювати цілі регіони і виявляти такі узагальнені особливості, які при спробі відтворення їх за дрібними фрагментами дослідити неможливо (Slocum et al., 2022), мають високу просторову і радіометричну точність, оперативність і повторюваність знімання, відносно невисоку вартість даних.

Аерокосмічні знімки як інформаційні моделі місцевості характеризуються рядом властивостей, серед яких виділяють образотворчі, радіометричні (фотометричні) і геометричні. Образотворчі властивості характеризують здатність знімків відтворювати дрібні деталі, кольори і тонові градації об'єктів.

Радіометричні – свідчать про точність кількісної реєстрації знімком яскравостей об'єктів. Геометричні – характеризують можливість визначення за знімками розмірів, довжин і площ об'єктів і їх взаємного положення.

Надзвичайно інформативними є радіолокаційні знімки. Дані, отримані з радара, ще не зображення, його треба перетворювати за допомогою складної обробки, специфічної для кожного радара. Радар сам ”висвітлює” знімальну ділянку, тому час доби для радарних зйомок не є істотним.

Одночасно багато корисної інформації можна добути, аналізуючи спектральний склад випромінювання, що реєструється відповідною апаратурою ДЗЗ (Toth & Jozkow, 2015). Наприклад, у задачах космічного моніторингу геологічних структур (особливості будови гірських утворень, розламів, районів залягання корисних копалин тощо) не потрібна ні висока просторова розрізненність, ні висока оперативність проведення космічної знімання. Залежно від конкретної задачі використовуються різні сполучення зазначених характеристик.

Використання ДЗЗ дозволяє застосовувати стереопари (два сусідніх знімки, які зображують ділянку місцевості в смузі поздовжнього чи поперечного перекриття) для побудови цифрових моделей рельєфу (ЦМР).

Схема використанні даних ДЗЗ і ГІС у процесі управління територіями представлена на рисунку 11.4.

Рис. 11.4. *Схема використання даних ДЗЗ і ГІС в управлінні територіями*

Підсумовуючи вищезазначене, можна зробити висновок, що на сучасному етапі розвитку ГІС практично єдиним оперативним і достовірним джерелом одержання просторових даних і підтримки інформації для ГІС в управлінні територіями в актуальному стані є дані ДЗЗ. Однак для забезпечення ефективного використання даних ДЗЗ необхідно, щоб вони

володіли певними характеристиками просторової, спектральної і часової розрізненності.

Вимоги до просторового розрізнення і оперативності знімання для космічних систем ДЗЗ за групами задач представлені на рисунках 11.5 і 11.6 (Jensen, 2015).

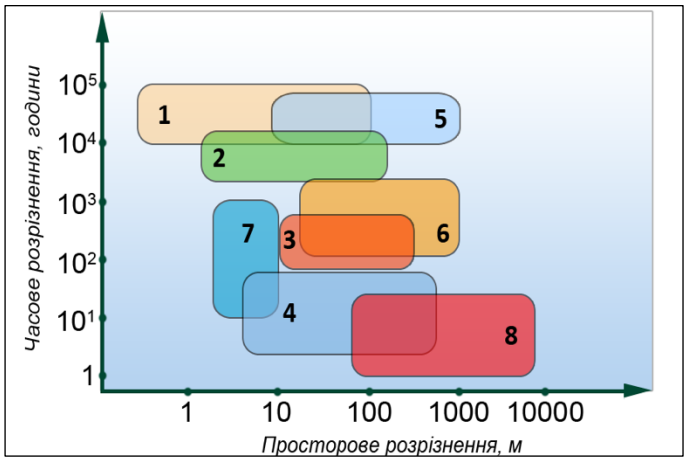


Рис. 11.5. *Вимоги до просторового розрізнення і оперативності знімання для космічних систем ДЗЗ за групами задач* (Jensen, 2015)*: 1 – картографування; 2 – оцінка стану лісів; 3 – сільське господарство; 4 – надзвичайні ситуації і катастрофи; 5 – геологія; 6 – океанологія; 7 – гідрологія (внутрішні басейни); 8 – метеорологія*

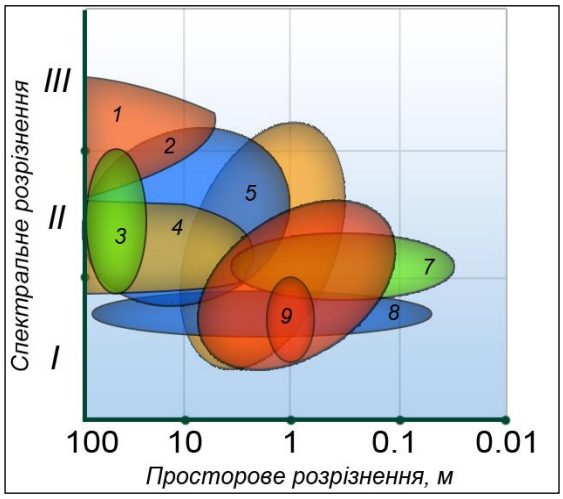


Рис. 11.6. *Групування задач космічного ДЗЗ природно-техногенної сфери за спектральним розрізненням в оптичному діапазоні спектра* (Jensen, 2015)*: (I – панхроматична зйомка; II – багатоспектральна; III – гіперспектральна): 1 –гідрологія; 2 – сільське господарство; 3 – природні ресурси; 4 – екологічний моніторинг; 5 – лісові екосистеми; 6 – задачі розвідки; 7 – урбанізовані території і техногенні об'єкти; 8 – топографія; 9 – транспортні задачі (які відповідають області 1 на рис. 11.5)*

Для управління територіями потрібні знімки великого охоплення і високого розрізнення. Однак задовольнити ці суперечливі вимоги в одному

знімку зазвичай не вдається, оскільки чим більше охоплення одержуваних знімків, тим нижче їх розрізнення.
Тому доводиться або йти на компромісні рішення, або виконувати одночасне знімання декількома системами з різними параметрами.

Таким чином, загальною проблемою створення ГІС в управлінні територіями є їх наповнення точними і актуальними даними.

11.3. Розробка технологій ДЗЗ для підвищення розрізненності первинних даних

Сучасні технології ДЗЗ і ГІС, їх ПЗ надає широкі можливості для обробки (дешифрування) аерокосмічних знімків різної картографічної і геофізичної інформації і дозволяє здійснювати оперативний моніторинг територій. Однією з головних невирішених проблем при використанні аерокосмічних зображень є проблема розробки нових, більш ефективних методів і програмних засобів автоматизованої інтерпретації таких даних.

11.3.1. Розробка технології субпіксельного дешифрування цифрових зображень об'єктів за методом віртуальної фотоприймальної матриці

Враховуючи обмежені можливості сучасних знімальних систем ДЗЗ щодо створення матриць зі зменшеними розмірами пікселів, слід вважати надзвичайно актуальною і перспективною розробку субпіксельної технології дистанційного знімання. Для розв'язання цієї задачі і усунення недоліків існуючих систем пропонуються різні способи одержання зображень субпіксельної розрізненості. Наприклад, у праці (Shiba, 2002) описаний спосіб та пристрій для реєстрації зображень, у якому забезпечується субпіксельної реєстрація країв зображення шляхом врахування відхилень розподілу яскравості від унімодального. Однак недоліком цього способу є відсутність можливості побудови і розподілу рівня за рядком або стовпцем.

У способі, що реалізується пристроєм для одержання зображень з реєстрацією субпіксельної інформації (Jackson et al., 1998), визначаються інтенсивності сигналів та центроїди місцерозташування сигналів у межах кожного пікселя. Проте недоліком цього пристрою є висока складність конструкції: до кожного фотоприймального елемента матриці приєднуються декілька додаткових вимірювальних електродів та попередніх підсилювачів сигналів.

Цікавим представляється спосіб, що реалізується пристроєм для одержання зображень із надрозрізненністю (Mendlovic et al., 2002), у якому субпіксельний сигнал формується за допомогою додаткових дифракційних

елементів з мікролінзами у кожному пікселі. Але до недоліків цього пристрою, як і попереднього, відноситься висока складність конструкції.

Заслуговує уваги оптико електронний пристрій (ОЕП) та спосіб його функціонування (Waslowski & Merettig, 2007), у якому здійснюється субпіксельний зсув зображення за рахунок додаткової оптичної системи. Проте до недоліків цього способу можна віднести як обмеження кількості субпікселів, що розрізнюються, так і кількість додаткових оптичних систем, оскільки це унеможливлює суттєве підвищення розрізненності знімальної системи.

Задачу підвищення розрізненності цифрової камери можна розв'язати за рахунок створення способу дистанційного знімання і дешифрування аерокосмічних знімків (рис. 11.7).

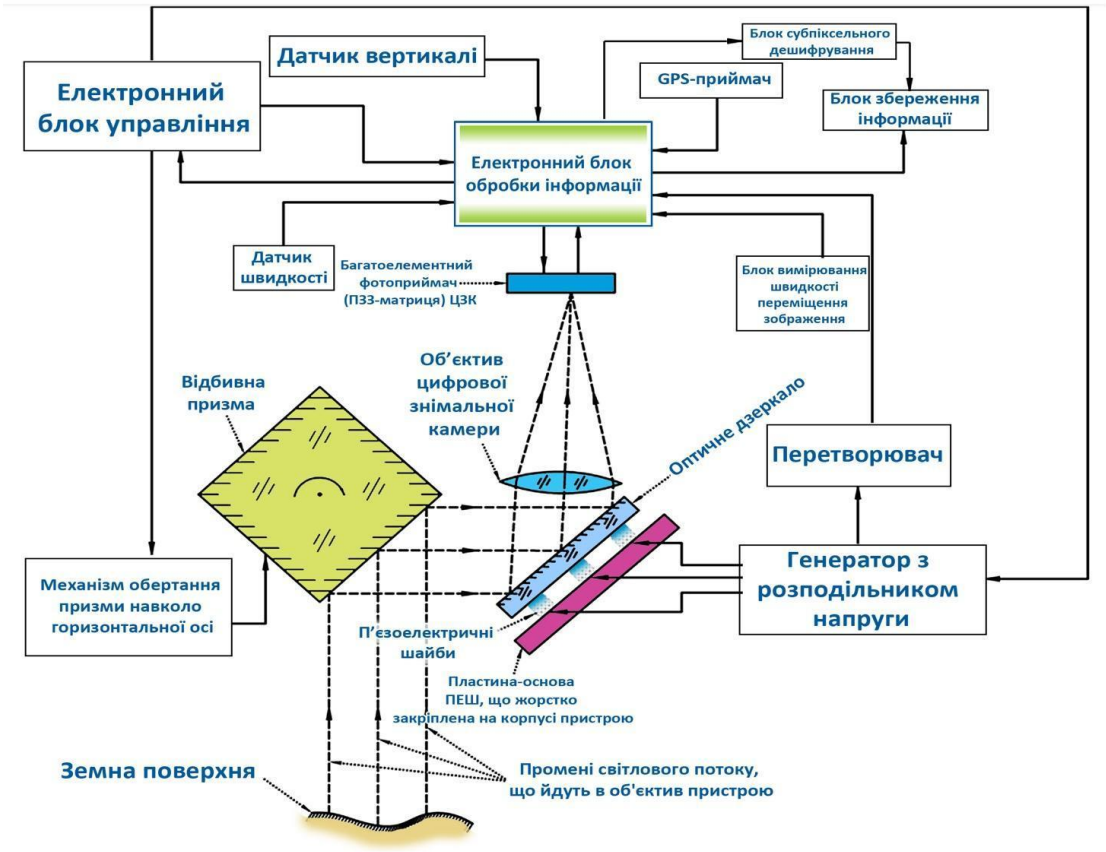


Рис.11.7. *Функціональна схема ОЕП для дистанційного знімання*

Він відрізняється тим, що при зніманні виконують кутове зміщення оптичної осі знімального приладу за напрямом рядків і стовпців фотоприймача матриці на n позицій з інтервалом $\frac{p_\rho}{f_n}$, де P – лінійний розмір сторони квадрата пікселя матриці; f – фокусна відстань об'єктива цифрової камери; $\rho = 206265''$– один радіан, виражений у кутових секундах.

При дешифруванні визначають рівень електричних сигналів від засвічування прямокутних ділянок $P\frac{P}{n}$ пікселів, де $\frac{P}{n}$ – коротка сторона прямокутної ділянки, відповідно за напрямами рядків і стовпців.

Базуючись на групи пікселів з однаковим рівнем сигналів від їх засвічування, переважно мінімального рівня, за даними сигналами від прямокутних ділянок визначають рівень електричного сигналу для кожної ділянки пікселя площиною $\frac{P^2}{n^2}$, що відповідає його засвічуванню, і таким чином поділяють кожний піксель ПЗЗ-матриці на n^2 субпікселів.

Технічним результатом є підвищення розрізненності аерокосмічних знімків за площею в n^2 разів за рахунок заміни пікселів субпікселями. Отже, при збереженні величини поля зору цифрової камери отримують підвищення розрізненності або при збереженні розрізненності отримують збільшення поля зору.

На рис. 11.8 представлена схема оптико-електронного пристрою (ОЕП) для реалізації запропонованого способу дистанційної зйомки.

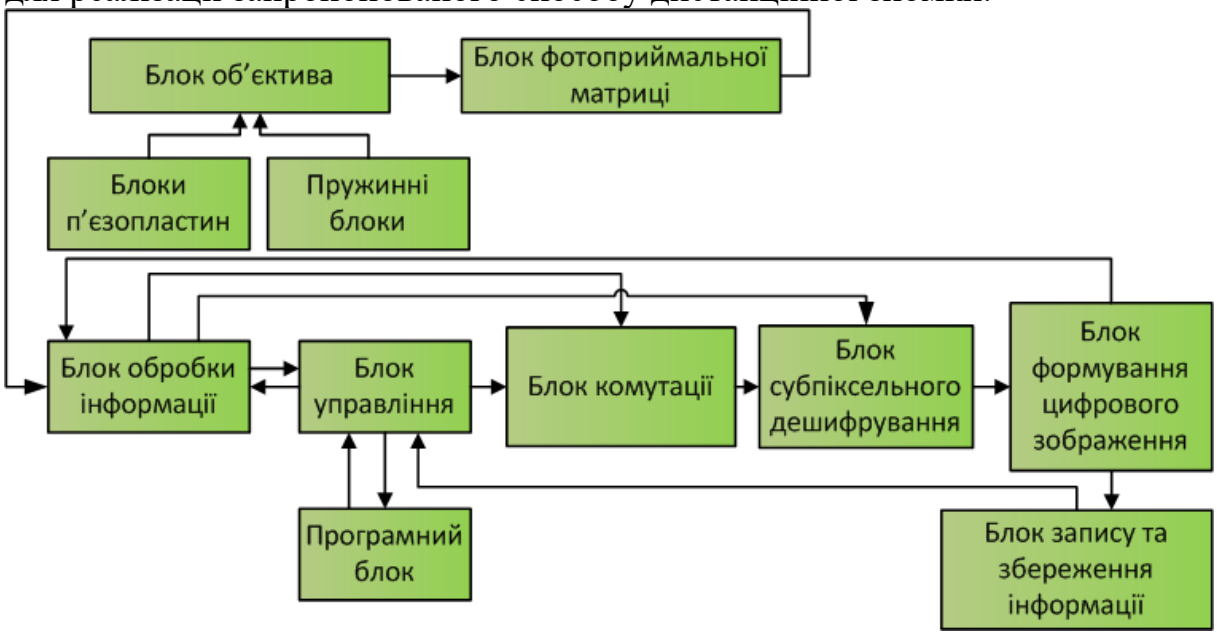


Рис.11.8. *Функціональна схема ОЕП для дистанційної зйомки*

Блок об'єктива, блок ФПМ, блоки п'єзопластин та пружинні блоки жорстко встановлені відносно один одного у спільному корпусі. Електронні блоки обробки інформації, управління, програмний, комутації, субпіксельного дешифрування, формування цифрового зображення, запису та збереження інформації можуть розташовуватись або в тому ж корпусі, або окремо.

Робота пристрою за розробленим способом реалізується таким чином: світлові промені від об'єкта знімання надходять до блока об'єктива і фокусуються останнім на мішені ФПМ.

Блок ФПМ перетворює інформацію на електричні сигнали і через блок обробки інформації спрямовує їх до блоку управління.

Блок управління включає програмний блок, сигнали від якого перетворюються блоком управління на керуючі команди і спрямовуються через блок комутації до блока п'єзопластин, де за заданою програмою послідовно із заданим блоком обробки інформації інтервалом часу у визначеному порядку подається напруга на пластини $y_1, y_2, \ldots y_n$. У результаті утворюється дискретний зсув оптичної осі пристрою у напряму однієї з осей матриці (рис. 11.9).

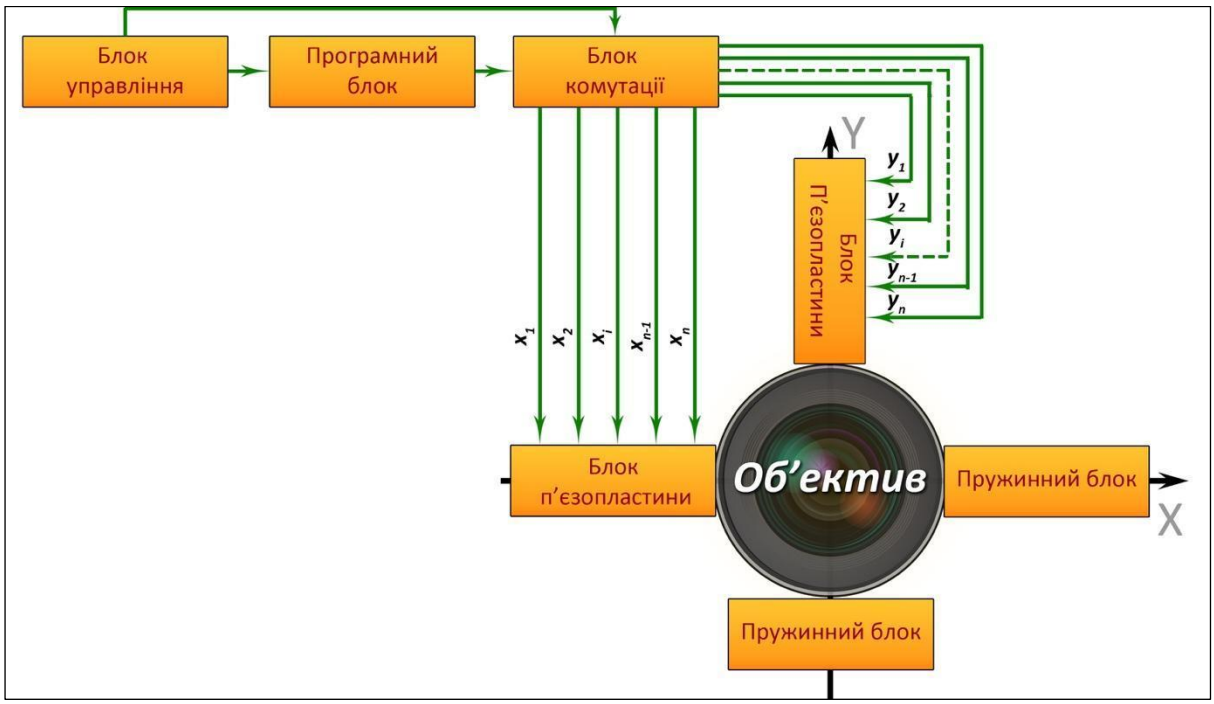


Рис. 11.9. *Дискретний зсув оптичної осі пристрою*

Аналогічно здійснюється зсув оптичної осі пристрою у напряму іншої осі матриці перпендикулярно першій.

Пружинні блоки забезпечують демпфування деформації пластин. Цикли зсуву оптичної осі на n позицій виконують послідовно у напряму взаємно перпендикулярних осей ФПМ. При кожному зсуві виконують експозицію, знімаючи об'єкт (через блоки об'єктива ФПМ, обробки інформації, управління та комутації).

Після виконання підключення n пластин електричну напругу знімають і оптична вісь пристрою встановлюється у первісне положення.

При зніманні повторюють цикл за циклом, виконуючи $2n$ експозицій (пакет) для кожної ділянки місцевості з субпіксельним перекриттям між пакетами кадрів об'єкта знімання.

В отриманому у співавторстві патенті (Беленок та ін., 2011) описаний інший варіант організації зсувів зображення місцевості на мішені ФПМ. Під час руху літального апарата вздовж осі X розгортку вздовж осі Y виконують оптичною системою сканування.

При цьому в полі зору ЦЗК для кожного блоку кадрів виконують n експозицій, де одна експозиція відповідає кадру блоку; щільність точок експозицій задається через блок управління залежно від необхідного поперечного та поздовжнього перекриттів.

Кожній з n експозицій у блоці кадрів відповідає певне положення дзеркальної призми, безперервне обертання якої забезпечує розширення кута поля зору системи (цьому відповідають саме n кадрів блоку, розміщених вздовж осі Y). При повороті дзеркальної призми на кут α крайній лівий і правий світлові промені, які обмежують пучок, що йде від земної поверхні та формує зображення, відхиляються на кут 2α, розширюючи таким чином поле зору.

На рис. 11.10, як приклад, зображено дві групи знімків, позначених символами ① і ②.

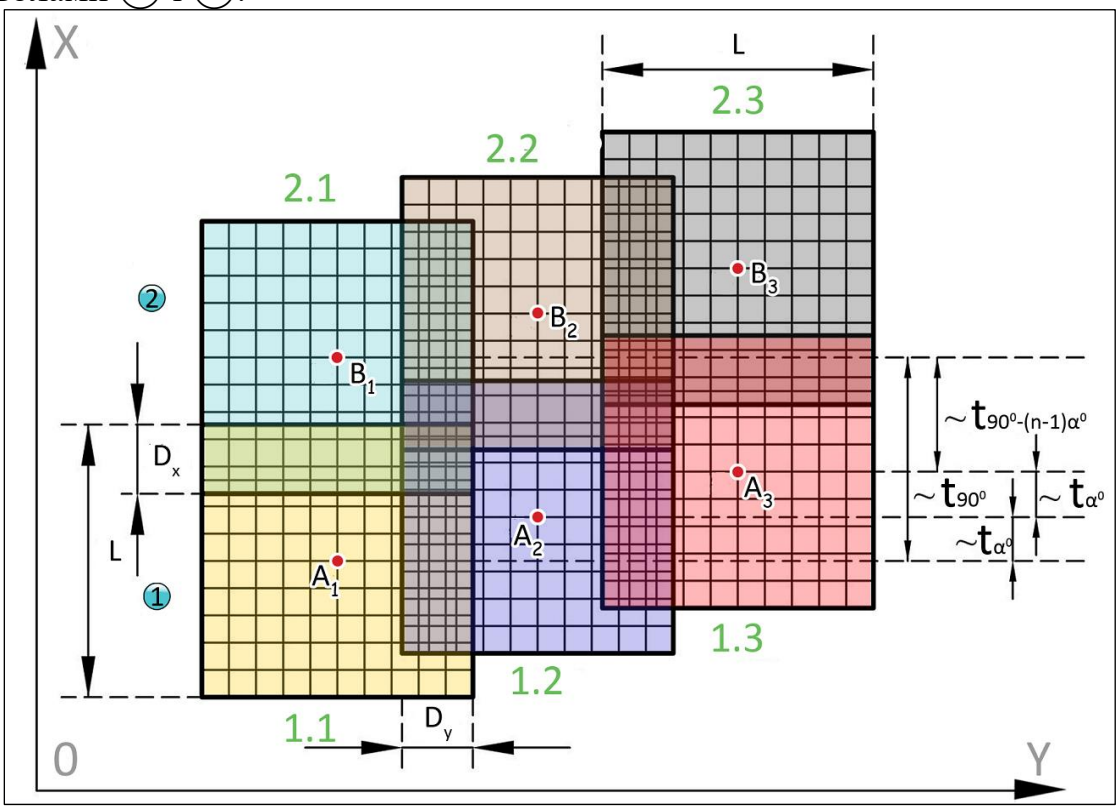


Рис. 11.10. *Приклад знімків, що містять три групи кадрів*

Кожна група містить три блоки кадрів 1.1, 1.2, 1.3 – у першій групі, 2.1, 2.2, 2.3 – у другій групі з кількістю експозицій n у кожному блоці кадрів, де

L – ширина кадру на місцевості;

D_x– величина поздовжнього перекриття на місцевості;

D_y – величина поперечного перекриття на місцевості;

A_1 , A_2 , A_3– центри блоків кадрів першої групи знімків;

B_1 , B_2 , B_3– – центри блоків кадрів другої групи знімків;

$\sim t_{90^\circ} - (n-1)\alpha^\circ$ – позначає час між експозиціями A_3 та B_3 (у загальному випадку – між останньою експозицією останнього блоку кадрів і-ої групи знімків та першою експозицією першого блоку кадрів наступної, $(\mathrm{i}+1)$ –ої

групи знімків), пропорційний лінійній відстані, яку проходить літальний засіб за цей час, тобто це є час паузи, протягом якого призма здійснює оберт на $90^\circ - (n-1)\alpha^\circ$, у розрахунках цю величину позначатимемо як t_i;

$\sim t_{\alpha^\circ}$– позначає час між послідовними експозиціями центрів сусідніх блоків кадрів у групі ($B_1 - B_2, B_2 - B_3, A_1 - A_2$ тощо), пропорційний лінійній відстані, яку проходить літальний засіб за цей час, тобто це є час повороту призми на кут α°.

Літальний засіб рухається вздовж додатного напряму осі X (рисунок 11.10) і виконує, наприклад, $n = 3$ експозицій у кожному з трьох блоків кадрів двох груп знімків (у загальному випадку, блоків і груп може бути багато). Експозиції у кожному блоці виконуються через інтервали часу, які відповідають повороту дзеркальної призми на кут α, що дозволяє зробити кадрову розгортку перпендикулярно курсу літального апарата.

Рух літального засобу зумовлює зміщення блоків кадрів між групами (поздовжнє перекриття D_x на місцевості).

Зміщення сусідніх блоків кадрів у кожній групі (поперечне перекриття D_yна місцевості) виникає внаслідок виконання розгортки при скануванні вздовж осі Y.

Інтервали між експозиціями вздовж осі Y задають через $(n + 0{,}5)p$, де n– деяке ціле число пікселів, що залежить від частоти виконання експозицій для даної ЦЗК, тактової частоти ФПМ (наприклад, ПЗЗ-матриці), швидкості обертання чотиригранної дзеркальної призми: p – лінійний розмір пікселя.

Положення центру другої експозиції задають відносно центру першої експозиції через інтервал $(n + 0{,}5)p$, відносно осі Y, а відносно осі X – таким чином, щоб центр другої експозиції опинився на одній лінії рядків пікселів (лінія поділу пікселів, паралельна осі Y) з центром першої експозиції.

Цього домагаються зміщенням другого кадру у полі зору ЦЗК при скануванні на кут α (точка A_2 на рисунку 11.10 після виконання першої експозиції на величину Δ_{x_i} (паралельно осі X) за допомогою акустико-оптичного дефлектора, що вбудований в оптичну систему камери навколо осі Z, яка є перпендикулярною площині XY.

Центр третьої експозиції задають відносно точки, що відповідала б центру другої експозиції без зміщення кадру акустико-оптичним рефлектором (точка 2 на рисунку 11.11) через інтервал $(n + 0{,}5)p$ відносно осі Y.

Таким чином, інтервал між фактичними центрами першої і третьої експозицій відносно осі Y складає ціле число пікселів, а відносно осі X – зміщенням кадру в полі зору ЦЗК за допомогою акустико-оптичного рефлектора на інтервал Δx_2 таким чином, щоб центр третьої експозиції був зміщений відносно фактичного центру другої експозиції (точка 2' на рисунку 11.11) вздовж осі X, а, отже, і центру першої експозиції на величину $\Delta x_3 = (m + 0{,}5)_p$, де m – певне ціле число.

На лінії 1-2-3 на рисунку 11.11 знаходились б центри другої і третьої експозицій без зміщення кадрів акустико-оптичним рефлектором. Точки експозицій 1', 2' і 3' отримують у кожному з блоків кадрів.

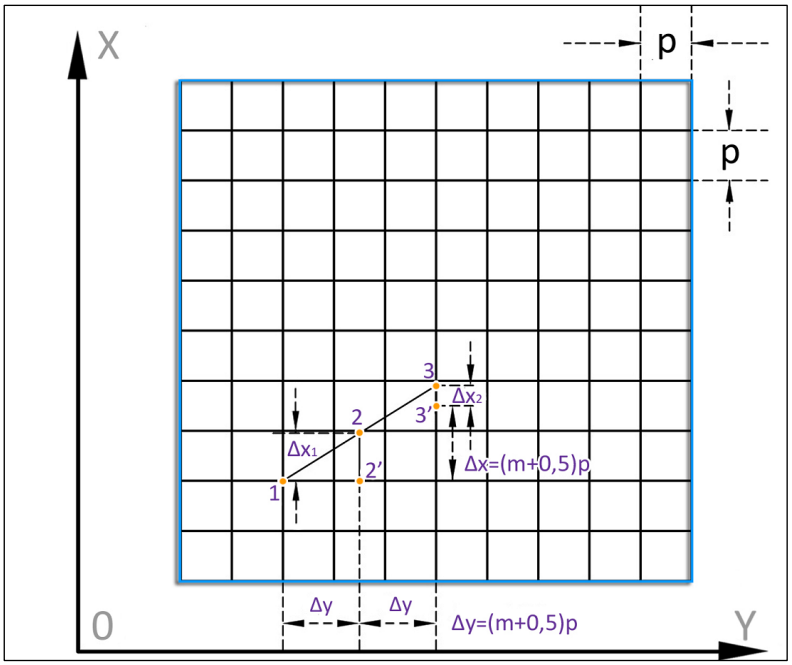


Рис. 11.11. *Розташування центрів експозицій*

Отже, після виконання першого зміщення кадрів відносно один одного акустико-оптичним рефлектором вздовж осі X на дробовий інтервал маємо зміщення засвічування в пікселях кадрів (зсув зображення відносно пікселів матриці) вздовж осі Y на $(n + 0{,}5)p$, де n– ціле число, а після другого зміщення кадрів – те ж на $(n + 0{,}5)p$ вздовж осі Y та на $(n + 0{,}5)p$, де m – ціле число. В результаті отримуємо субпікселі, зображені на рисунку 11.12.

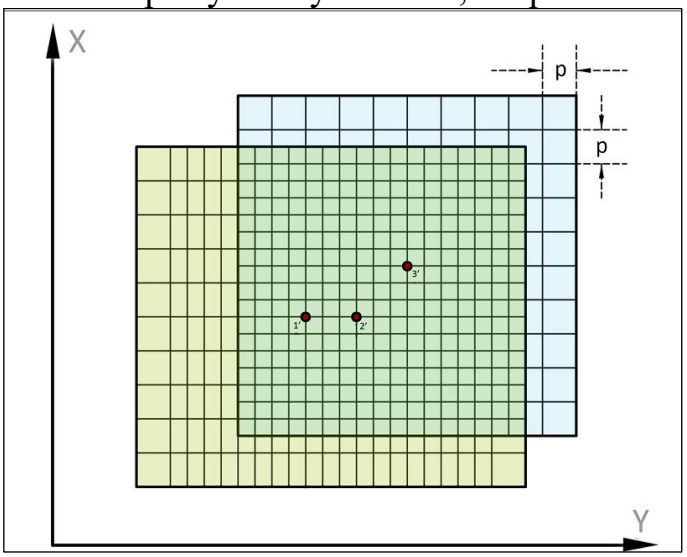


Рис. 11.12. *Приклад отримання субпікселів*

Зазначимо, що дробова частина, на яку виконують зміщення засвічування в пікселях кадрів вздовж осей X і Y, може бути і не $0{,}5\,p$. При

іншій величині дробового зміщення матимемо інше число експозицій для кожного блоку кадрів.

Інформація, що приймається від об'єкта, попередньо опрацьовується в електронному блоці обробки інформації.

Зауважимо, що в електронний блок обробки інформації з блока фотоприймача (ПЗЗ-матриці) ЦЗК надходять електричні сигнали від засвічування пікселів ПЗЗ-матриці. Від кожного пікселя в електронному блоці обробки інформації виконується ранжирування і кодування цих сигналів. Цю опрацьовану інформацію спрямовують до блока дешифрування. В блоці дешифрування аналізують відповідно сигнали за кожним рядком і кожним стовпцем для *n* експозицій.

11.3.2 Розробка теоретичних основ побудови віртуальної фотоприймальної матриці

Розглянемо порядок визначення рівня засвічування субпікселів у рядку в блоці дешифрування. При *n* зсувах отримують $n + 1$ субпікселів прямокутної форми. Припустимо, що $n = 1$. На рисунку 11.12 *а* показаний фрагмент рядка з 8 пікселів (№№ 1 ... 8). Доцільно виділити рівносигнальні зони, що складаються з декількох пікселів з однаковими рівнями засвічування, оскільки це в певному рівні характеризує об'єкт місцевості, як і рівномірно освітлені вздовж осі рядків або стовпців.

На рисунку 11.13 показані рівні сигналів, що заповнюють кожний піксель штрихуванням. У даному випадку сигнали від пікселів 3, 4, 5 мають рівну величину сигналу, яку можна визначити за шкалою більш темного тону.

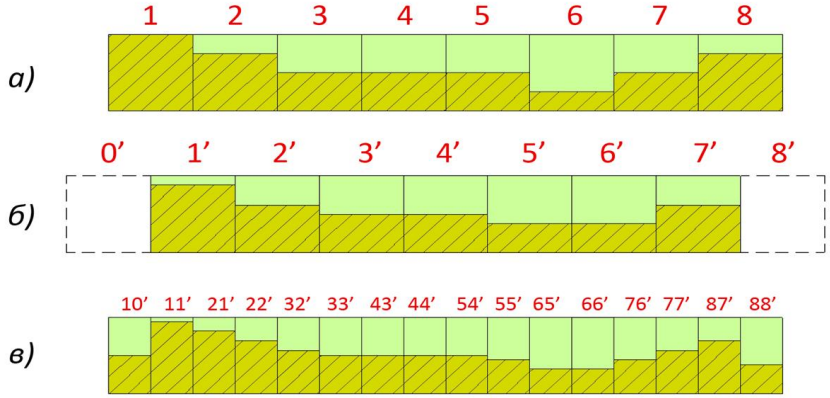


Рис. 11.13. *Схема отримання субпікселів*

У наведеному прикладі прийняті такі рівні сигналів від засвічування пікселів (у відсотках від максимальних рівнів): 1 – 100%, 2 – 75%, 3 – 50%, 4 – 50%, 5 – 50%, 6 – 25%, 7 – 50%, 8 – 75%.

Після зсуву оптичної осі пристрою маємо зсув зображення на ПЗЗ-матриці на величину $\frac{P}{n+1}$, де P – лінійний розмір квадратного пікселя.

Наприклад, при $n = 1$ отримують сигнали від засвічування тих же пікселів, але тепер вже зсунутих у напряму лінії рядків на величину $\frac{P}{2}$.

Представимо рівні цих сигналів як заповнені штрихуванням квадрати 0', 1', 2', …, 7' (рисунок 11.13 б) з приблизними значеннями рівнів відповідних двом суміжним пікселям у ряді 1, … , 8. Отримаємо у відсотках: 1'– 88%, 2' – 62%, 3' – 50%, 4' – 50%, 5' –38%, 6' – 38%, 7' – 62%.

За даними сигналів в квадратах пікселів на рисунках 11.12 *а*, 11.13 *б* аналогічно можна сформувати рівні сигналів у прямокутниках з короткою стороною $\frac{P}{2}$, позначені як 10', 11', 21', 22', 32', 33', 43', 44', 54', 55', 65' 66', 76', 77', 87', 88' (рисунок 11.13 в)

Звернемо увагу, що рівносигнальну границю (рисунок 11.13 *а*) утворюють сигнали в квадратах 3, 4, 5, (рисунок 11.12 б) – у квадратах 3', 4' і (рисунок 11.13 *в)* – у прямокутниках 33', 43', 44', 54', кожен з яких дорівнює 50% максимального рівня.

Треба відзначити, що в рівносигнальній групі 33', 43', 44', 54' отримані значення і еквівалентність рівнів сигналів є більш точними і достовірними у порівнянні з іншими «напівпікселями» ряду. При цьому, чим більше є пікселів у рівносигнальних границях (у рядку, стовпці) і більше таких границь, тим точніше результати визначення рівнів сигналів від усіх «напівпікселів».

Після цього, базуючись на рівносигнальну групу 33', 43', 44', 54', визначають у блоці субпіксельного дешифрування рівні сигналів у всіх прямокутниках рядка (тобто у відповідних напівпікселях). При цьому контролюють отримані значення за іншими рівносигнальними групами у даному рядку і при необхідності виконують обчислювальне зрівнювання сигналів.

За вищеописаною технологією в блоці субпіксельного дешифрування визначають (за сигналами у прямокутниках $P = \frac{P}{2}$) сигнали в прямокутниках $P = \frac{P}{4}, P = \frac{P}{16}, P = \frac{P}{32}$, тощо. Аналогічно виконують поділ рівня сигналу за стовпцями ФПМ і визначають сигнали від прямокутних напівпікселів. Таким чином, у блоці субпіксельного дешифрування будуть визначені сигнали в напівпікселях $P = \frac{P}{2}$ за рядками і стовпцями.

Розглянемо ситуацію в окремому пікселі. На рисунку 11.14 показаний квадрат пікселя з визначеними в блоці субпіксельного дешифрування сигналами в прямокутниках $u_1 = a + b$, $u_2 = c + d$, $u_3 = a + d$, $u_4 = b + c$.

Якщо розглядуваний квадрат (піксель) знаходиться в межах рівносигнальної групи (за рядками або стовпцями), наприклад, якщо $u_3 = u_4$, то очевидним є те, що $a = b = \frac{u_1}{2}$, $c = d = \frac{u_2}{2}$, то за даними алгоритмами визначають рівні сигналів від засвічування чверть пікселів a, b, c, d у пікселі рівносигнальної групи.

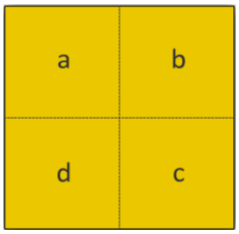


***Рис. 11.14**. Квадрат пікселя*

За межами цієї групи за виміряними і визначеними значеннями згаданих сигналів чверть пікселів визначають рівні сигналів від засвічування інших чверть пікселів у рядках і стовпцях.

Позначимо рівні електричних сигналів від пікселів U_i i $U_{i'}$ $i = \overline{1;\ 8}$, $i' = \overline{0';\ 8'}$, а від «напівпікселів» – $U_{ii'}$. Є очевидним, що (рис. 11.14):

$$U_3 + U_{3'} = U_{32'} + 2U_{33'} + U_{43'}.$$

Враховуючи, що $U_{33'} + U_{43'}$, отримаємо

$U_{32'} = U_3 + U_{3'} - 3U_{33'} = U_3 - 0{,}5U_{3'}$, оскільки $U_{33'} = 0{,}5U_{3'}$.

Аналогічно

$$U_{22'} = U_2 + U_{3'} - 2U_{32'} - U_{33'} = U_2 + U_3 - 2(U_3 - 0{,}5U_{3'}) = U_2 - U_3 + U_{3'}.$$

Таким же чином визначають $U_{21'}, U_{11}, U_{55'}, \ldots, U_{88'}$.

У варіанті з кадровим скануванням вздовж осі Y (Беленок та ін., 2012b), у зв'язку з коливаннями висоти знімання, крену, тангажу, рисканням, відхиленням курсу через різні явища в атмосфері, швидкість літального апарата може змінюватись, що буде викликати зміни в розмірах субпікселів і, відповідно, зміни у значеннях швидкостей переміщення зображення вздовж осей X і Y, а тому в цьому випадку блок оброки інформації через блок управління і механізм сканування регулює кутову швидкість сканування вздовж осі Y таким чином, щоб відношення швидкостей руху світлових променів за осями X і Y було постійним.

За цією ж аналогією у блоці субпіксельного дешифрування виконують розподіл сигналу пікселя від $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{16}$ від $\frac{1}{16}$ до $\frac{1}{32}$ і так далі на площах $\frac{P}{n^2}^2$ при значеннях n =16, 32 тощо.

Треба відзначити, що можна визначити сигнали субпікселів при непарному n. Після перетворень у блоці субпіксельного дешифрування сигналів пікселів у сигнали субпікселів останнім привласнюються відповідні новій (збільшеній) матриці номери і коди, передаються на вхід блока формування цифрового зображення, від якого спрямовують сигнали про формування зображення в блоці обробки інформації, а також зображення в блок запису і збереження.

В задачу перетворення пікселів у субпіксельні входить також контроль стикування субпікселів за величиною накопиченої похибки в обчислених рівнях "засвічування" субпікселів у проміжках між рівносигнальними зонами.

Для підвищення точності виконують зрівнювання нев'язок аналогічно зрівнюванню нівелірного ходу в геодезії. Для кожного інтервалу (границі субпікселів) між рівносигнальними зонами з рівнем засвічування відповідно R_i і R_{i+1} визначають суму різниць обчислених значень рівнів «засвічування» і визначають нев'язку в інтервалі $[R_i, R_{i+1}]$ із виразу

$$R_i + \sum_{R_i}^{R_{i+1}} \Delta r - R_{i+1} = u_{i,i+1},$$

де Δr – різниці рівнів «засвічування» в субпікселях в інтервалі $[R_i, R_{i+1}]$;

$u_{i,i+1}$ – нев'язки в інтервалі.

Поправки f для кожного субпікселя визначають як $f = \frac{u_{i,i+1}}{n}$,

де n – кількість субпікселів в інтервалі, вводять поправку в значення рівня засвічування в кожний субпіксель. Аналогічно обчислюють поправки у всіх інших субпікселях рядка або стовпця.

Отже, розроблений спосіб дистанційного знімання на основі методу віртуальної фотоприймальної матриці (Беленок та ін., 2012) дозволяє виконувати дистанційну зйомку і реєстрування аерокосмічних зображень з підвищеною розрізненністю в n^2 разів порівняно з існуючими матричними схемами.

Алгоритм управління дешифруванням цифрового зображення місцевості за методом віртуальної ФПМ представлений на рис. 11.15.

Узагальнена схема аерокосмічної знімальної системи з дешифруванням за методом віртуальної фотоматриці представлена на рис. 11.16.

11.4. Розробка способу високоточної аерокосмічної зйомки лінійних об'єктів

Однією з актуальних задач сучасних систем ДЗЗ є створення способу аерокосмічного знімання лінійних об'єктів, який би забезпечував підвищення точності дешифрування лінійних об'єктів та визначення їх розмірів.

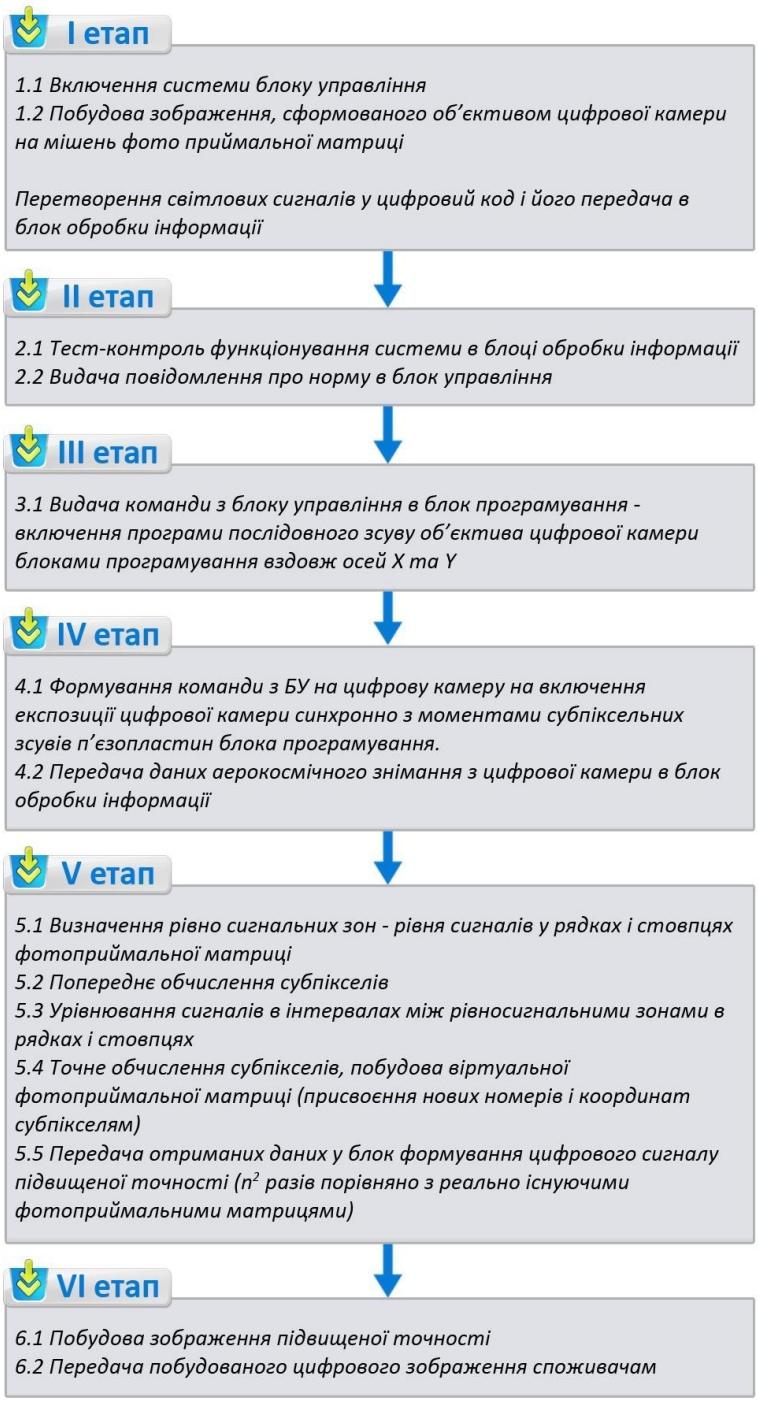


Рис. 11.15. *Алгоритм управління дешифруванням цифрового зображення місцевості за методом віртуальної фотоприймальної матриці*

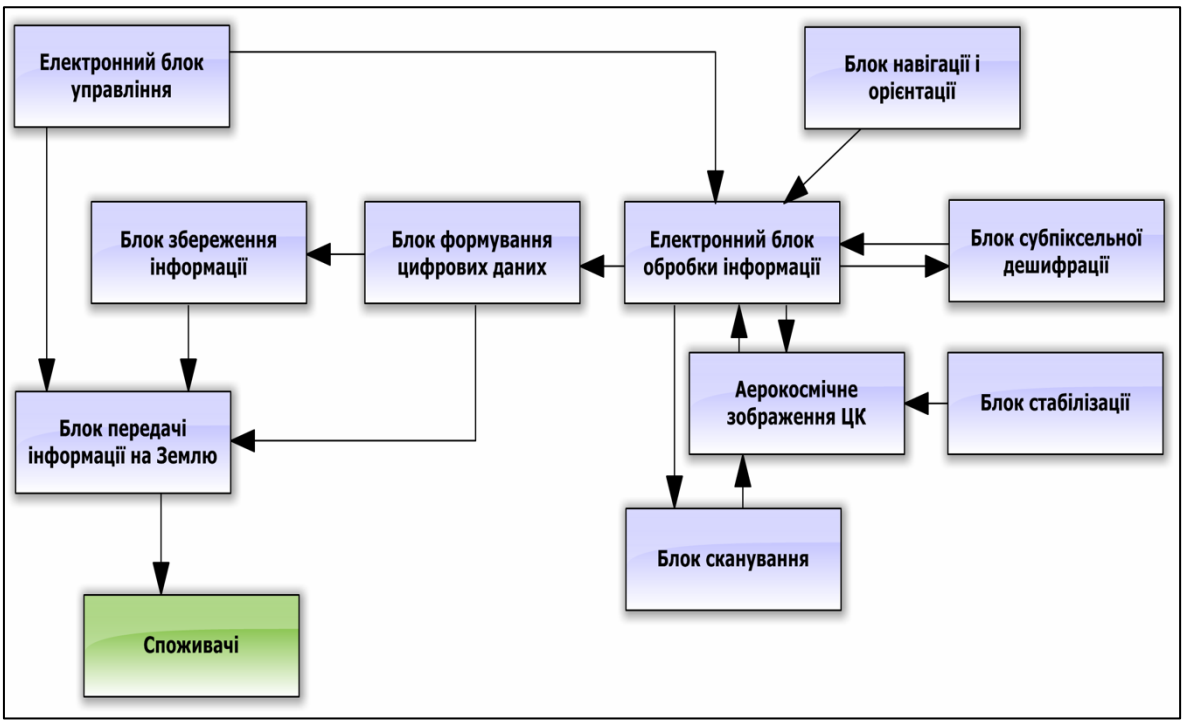


Рис. 11.16. *Блок-схема аерокосмічного знімальної системи з дешифруванням за методом віртуальної фотоприймальної матриці*

Поставлена задача може бути вирішена за рахунок створення способу аерокосмічного знімання лінійних об’єктів, згідно з яким ФПМ оптико-електронного знімального приладу повертають навколо оптичної осі приладу, при цьому вимірюють величину кута повороту, а при формуванні цифрового плану за величиною електричних сигналів від засвічування пікселів вздовж границь лінійного об’єкта визначають точні межі та ширину об’єкта і враховують виміряний кут повороту для переходу до системи координат осей носія.

Технічним результатом є підвищення точності дешифрування лінійних об'єктів, підвищення точності визначення їх розмірів (ширини). На рис. 11.17 представлена схема пристрою, за допомогою якого реалізується розроблений спосіб.

Стандартний навігаційний блок містить гіроазимут, гірогоризонт, датчики вертикалі, висоти, швидкості, приймач GPS та інші навігаційні прилади.

Електричні блоки управління, обробки інформації, формування цифрового плану, субпіксельного дешифрування, запису та зберігання інформації розташовуються на борту носія (наприклад, літака).

Цифрова камера встановлюється на жорсткій основі, наприклад, на гіростабілізуючій платформі.

Також може бути встановлений радіоканал для передачі результатів знімання. Блок приводу матриці закріплюють на основі цифрової камери. Він обертає матрицю на заданий блоком управління кут.

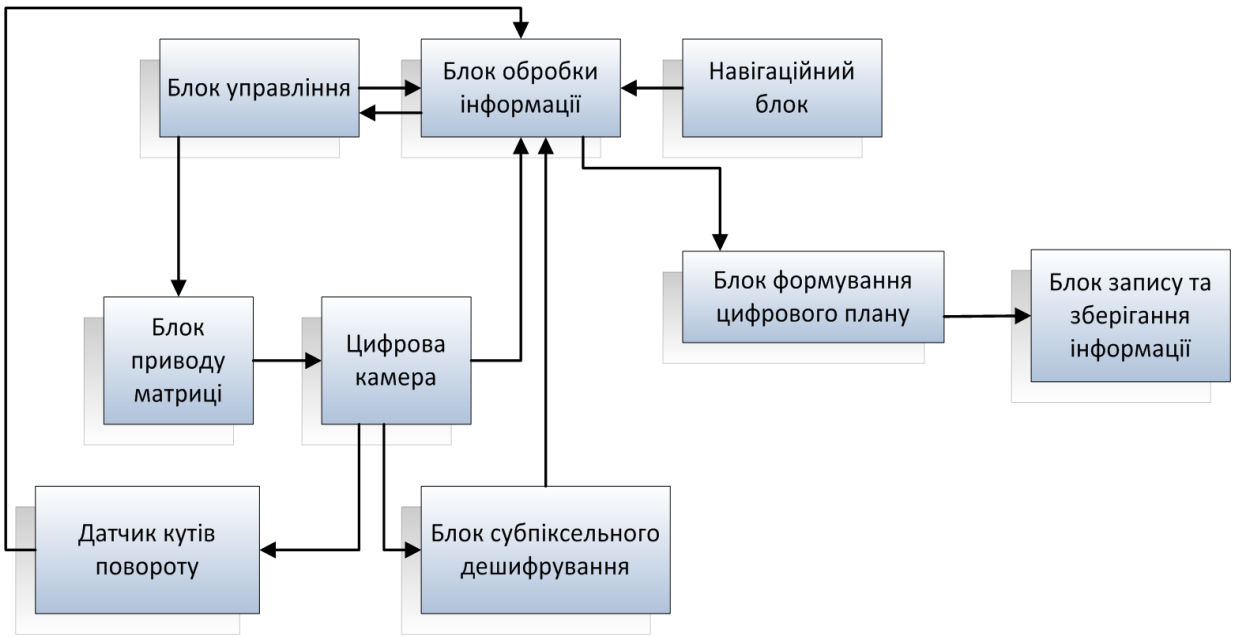


Рис. 11.17. *Функціональна схема пристрою знімання лінійних об'єктів: 1 – блок управління; 2 – блок обробки інформації; 3 – цифрова камера; 4 – блок приводу матриці; 5 – датчик кутів повороту; 6 – блок формування цифрового плану; 7 – блок субпіксельного дешифрування; 8 – навігаційний блок; 9 – блок запису та зберігання інформації*

Робота пристрою полягає в наступному. Блок управління включає інші блоки, формує сигнал повороту цифрової камери і передає його до блока приводу матриці та в блок обробки інформації. Блок приводу матриці забезпечує обертання ФПМ (ПЗЗ-матриці) і передає в електричному коді величину цього кута в блок обробки інформації.

У блоці обробки інформації формується і передається до блоку управління інформація для управління обертанням ПЗЗ-матриці блока цифрової камери. При цьому можливими є управління орієнтацією матриці (тобто кутом повороту) відносно осі лінійного об’єкта, та неперервні обертання ПЗЗ-матриці (разом із об’єктивом або окремо від нього) навколо вертикальної осі блока 3 з виконанням експозицій на заданих кутах повороту ПЗЗ-матриці.

Другий варіант застосовується для знімання лінійних об’єктів різної орієнтації в полі зору блока цифрової камери.

В результаті блок обробки інформації отримує інформацію про положення осі системи координат матриці відносно осей системи координат носія. Одночасно в блок обробки інформації надходить інформація з блока навігації (координати носія блока приводу матриці, отже, блока цифрової камери, курс носія, його швидкість, висота, положення відносно вертикалі тощо), що оцінює положення носія в системі геодезичних координат. У блоці обробки інформації виконується перерахунок зображення із системи координат ПЗЗ-матриці в геодезичну систему координат із побудовою нових

пікселів і їх нумерацією. Результат перетворення з блока обробки інформації передається в блок формування цифрового плану.

В блоці обробки інформації також виконується відбір ділянок пікселів, у зоні яких безпосередньо знаходиться зображення лінійних об’єктів. Ці піксельні ділянки, а точніше, рівні сигналів та їх номера, передаються до блока субпіксельного дешифрування, де виконують обробку субпіксельного вимірювання ширини зображення кожного лінійного об’єкта на знімку, а потім передають значення ширини зображень об’єктів з їх координатами в системі ПЗЗ-матриці в блок обробки інформації.

На рисунку 11.18 наведено зображення лінійного об’єкта на ПЗЗ-матриці. Введемо поняття лінії фронту – це контрастна лінія переходу від світлого зображення фону до темного зображення лінійного об’єкта на матриці (тобто це є границя лінійного об’єкта). При цьому, якщо рухатися зліва направо вздовж рядків матриці, то перша лінія границі об’єкта по напряму руху – це лінія переднього фронту (ПФ), друга лінія – лінія заднього фронту (ЗФ).

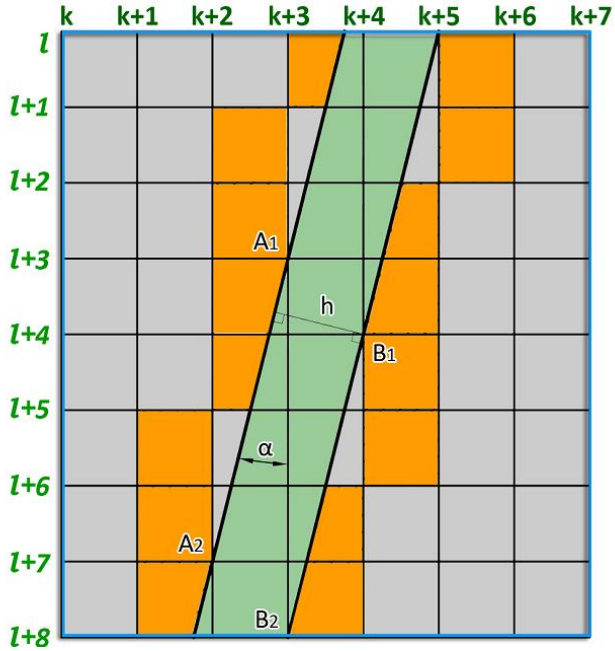


Рис. 11.18. *Зображення лінійного об’єкта на ПЗЗ-матриці*

Будемо розглядати такий варіант чутливості матриці, при якому піксель ініціює електричний сигнал у разі засвічування не менше, як половини його площі. У такому випадку піксель вважатимемо засвіченим (розглядаючи темне зображення лінійного об’єкта на світлому фоні).

Позначимо початкову лінію відліку рядків матриці як l, стовпців k. Оскільки лінійний розмір пікселя на матриці – нескінченно мала величина порівняно з лінійними розмірами зображення об’єкта знімання, то під час виконання зйомки при повороті матричного фотоприймача на кут α завжди знайдеться така точка A_1 (для лінії ПФ) – вершина пікселя (або середина лінії між сусідніми вершинами), через яку проходить границя об’єкта і, відповідно (з огляду на лінійність об’єкта знімання і однаковість розмірів пікселів), через деяку кількість рядків пікселів матимемо точку A_2, через яку також пройде

границя лінійного об'єкта (рис. 11.18), тощо. Аналогічні точки матимемо для лінії ЗФ – B_1, B_2 тощо. Такі точки визначає блок субпіксельного дешифрування.

Введемо поняття блока пікселів – це множина засвічених пікселів, які знаходяться в одному стовпці відразу перед лінією ПФ або за лінією ЗФ, тобто вони мають однаковий номер по осі рядків. При цьому, якщо кількість блоків є непарною, то точка A_i або B_i є вершиною пікселя і розташована на середній лінії середнього блока, якщо ж кількість блоків є парною, то точка A_i або B_i знаходиться на середній лінії між блоками і відсікає пів пікселя. Для рисунку 11.18 матимемо такі блоки:

- для лінії ПФ: $k+3, k+2, k+2, k+2, k+2, k+1, k+1, k+1$;
- для лінії ЗФ: $k+5, k+5, k+4, k+4, k+4, k+4, k+3, k+3$.

Отже, для ліній ПФ і ЗФ кількість блоків є непарною – три, тому для ПФ і ЗФ точки A_1 і B_1 знаходяться на середніх лініях середнього блока у вершині пікселя. Для ПФ – це лінія $(l+3)$, для ЗФ – лінія $(l+4)$.

На рис. 11.18 засвічені пікселі заштриховані нахиленими лініями, зображення лінійного об'єкта – горизонтальною штриховкою, α– кут повороту матриці. Ширина зображення лінійного об'єкта (лінія h на рисунку 11.11) визначається за формулою

$$h = p \cdot (n \cdot \cos\alpha + \sin\alpha),$$

де p – лінійний розмір пікселя;

n – ціле число пікселів між лініями ПФ та ЗФ.

Число n можна отримати як різницю номерів засвічених пікселів у рядку матриці для відповідних точок B_i іA_i, зменшену на 1. Тобто для рисунку 11.18 у точках A_1 і B_1 матимемо $n = (k+4) - (k+2) - 1 = 1$ або в точках A_2 і $B2 - n = (k+3) - (k+1) - 1 = 1$. Приймемо, що в положенні $\alpha = 0$ осі систем координат носія X_i і Y_i, та матричного фотоприймача X_i і Y_i є паралельними (при правій або лівій системі координат вісь Z спрямована вверх). При повороті матриці на кут α маємо зміщення осей системи координат матриці відносно системи координат носія, яка залишається нерухомою (завжди перебуває в положенні $\alpha = 0$). Перехід від системи $(X_i\,;\,Y_i)$ до системи $(X_i\,;\,Y_i)$ можна виконати за формулою

$$\begin{pmatrix} X_\imath \\ Y_\imath \end{pmatrix} = \dot{A}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix},$$

де$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix}$– координати точки зображення лінійного об'єкта в системі координат осей носія (положення при $\alpha = 0$);

А – матриця повороту, $\dot{\text{A}} = \begin{pmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{pmatrix}$;

$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \end{pmatrix}$– координати точки зображення лінійного об'єкта в системі координат осей матричного фотоприймача в положенні, яке він займає після повороту на кут α (момент експозиції).

Додатним кутам α може відповідати як обертання проти годинникової стрілки (у правій системі координат), так і за нею (у лівій системі координат).

Маючи координати точок лінійних об’єктів у системі координат носія, його орієнтування в геодезичній системі координат (ці дані дає навігаційний блок) та знаючи фокусну віддаль цифрової камери, можна обчислити координати точок лінійних об’єктів у геодезичній системі координат. У блоці обробки інформації виконують перетворення зображень об’єктів у геодезичну систему координат і вводять значення ширини об’єктів у цифровий план (блок формування цифрового плану) у вигляді умовного знаку або числа.

Сформований у блоці формування цифровий план для кожного знімку передається в блок запису та зберігання інформації. При використанні космічного носія застосовується додатковий блок для передачі інформації радіоканалом на Землю. Отже, розроблений спосіб аерокосмічного знімання лінійних об'єктів дозволяє підвищити точність дешифрування лінійних об'єктів та забезпечує підвищення точності визначення їх розмірів (ширини).

Запропоновані автором методи (Зацерковний 2013) спрямовані на задачі підвищення точності ЦАФЗ. Перевагою даного напряму дослідження є спроба вирішити задачу підвищення розрізненності знімків і точності їх прив’язки не за рахунок підвищення вимог до вузлів знімальної апаратури, а за рахунок вдосконалення програмного забезпечення.

11.5. Розробка конструктивних схем щодо підвищення точності прив’язки аерокосмічних знімків

Прив’язкою (підготовкою) знімків називають комплекс робіт, що складається з розпізнавання на місцевості та визначення координат обраних контурних точок знімків. Такими точками є перехрестя доріг, кути повороту, близькі до прямих, основи стовпів тощо (точки, чітко виражені на знімку і на місцевості). Ці точки носять назву опознаків (розпізнавальних знаків), опорних точок або розпізнавальних знаків. Якщо визначають планові координати точок, то така прив’язка носить назву планової, а точки – планових опознаків. Якщо визначають тільки висоти опознаків, то прив’язку називають висотною, а опознаки називають висотними. При визначенні на місцевості усіх координат прив’язка називається планово-висотною, а точки – планово-висотними опознаками.

Якщо в процесі вимірювань на місцевості визначають координати усіх необхідних опознаків для подальшої обробки кожного аерофотознімка (тобто не менше чотирьох опорних точок), то таку прив’язку називають суцільною. Розрідженою називають таку прив’язку, при якій опознаки визначаються не для кожного знімка, а через декілька стереопар у маршруті. У таких випадках при камеральній обробці аерофотознімків виконують фотограмметричне згущення мережі опорних точок методом фототріангуляції.

Прив’язку виконують польовими і камеральними методами. Щільність опознаків залежить від масштабу створюваної карти, перерізу рельєфу, масштабу знімків, способів прив’язки опознаків. Для виключення спотворення на знімку повинно бути не менше 4-х точок з відомими координатами (три необхідних і хоча б одна контрольна).

Розглянемо спосіб геодезичної прив’язки аерокосмічних знімків, описаний автором у (Зацерковний, 2011). Спосіб ґрунтується на дешифруванні зображень, отриманих за допомогою цифрових ОЕП, на базі субпіксельної технології і є перспективним. Спосіб полягає в тому, що виконують оптико-електронну цифрову зйомку поверхні об’єкта з багатосекторними опорними геодезичними знаками, після чого для кожного зображення знаків вибирають дві пари діаметрально протилежних секторних фігур, медіани яких утворюють якнайменші кути відхилення з лініями стовпців і рядків мішені матричного фотоприймача, та обчислюють координати центрів зображень опорних знаків на мішені матричного фотоприймача як середні значення координат центрів медіан вибраних пар секторних фігур за лініями стовпців та рядків, а також за рахунок створення пристрою. Спосіб реалізується пристроєм, схема якого зображена на рисунку 11.19.

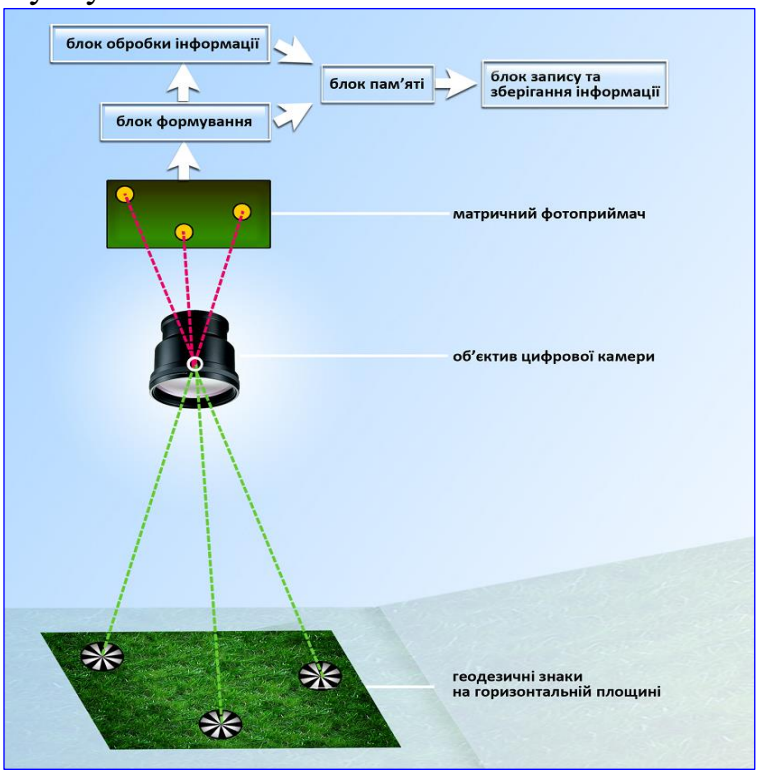


Рис. 11.19. *Схема пристрою для геодезичної прив’язки аерокосмічних знімків*

Розмір знака повинен задовольняти вимогам точності виконуваних робіт. При цьому, чим більший діаметр геодезичного знаку та менше кут між лініями діаметрів, тим вище розрізненність. Геодезичний знак (рисунок 11.20) складається з певної кількості контрастних секторних фігур, утворених лініями діаметрів та розташованих по колу (при цьому темні та світлі фігури чергуються).

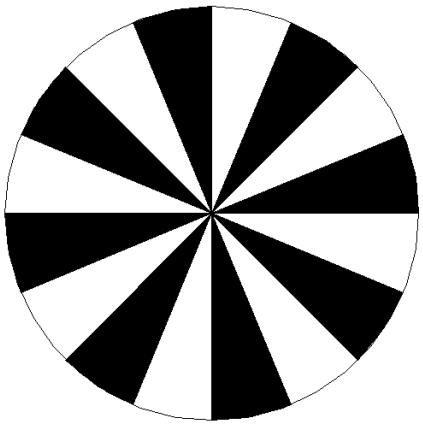


Рис. 11.20. *Геодезичний знак у вигляді гострокутних багатосекторних фігур*

Для здійснення прив'язки аерокосмічних знімків деяка кількість геодезичних знаків розміщується на місцевості на горизонтальній площині, наприклад, на даху будинку. Об'єктив цифрової камери, матричний фотоприймач, блоки формування сигналів, обробки інформації, пам'яті та запису та зберігання інформації (рис. 11.19) розташовуються на борту літального апарата, з якого виконується знімання.

При зніманні цифровою камерою (рис. 11.19) геодезичних знаків (рис. 11.20) у площині зображень камери на мішені фотоприймача отримують спроектоване зображення гострокутних секторних фігур. Будемо розглядати такий варіант чутливості матриці, при якому піксель ініціює електричний сигнал у разі засвічування не менше, ніж половини його площі. У цьому випадку піксель вважатимемо засвіченим (розглядаючи темну фігуру на світлому фоні). За аналогією з теорією інформації для бінарної системи, при кодуванні пікселів будемо вважати, що засвічений піксель має код 1, незасвічений – 0.

Позначимо: $A(X_A; Y_A)$ – центр знаку (вершина секторної фігури); h – висота фігури; b – основа (базис) фігури; $(X_\text{A} + h; Y_\text{A} - O,5b)$ – координати точки лівого кінця базису; $(X_\text{A} + h; Y_\text{A} + O,5b)$– координати точки правого кінця базису.

Лінія, що поєднує точку $\text{A}(X_a; Y_a)$ з точкою $(X_\text{A} + h; Y_\text{A} - O,5b)$, є переднім фронтом (ПФ) фігури і з точкою $(X_\text{A} + h; Y_\text{A} + O,5b)$ – заднім фронтом (ЗФ).

Лінія фронту – це контрастна лінія переходу від темної фігури до світлої та навпаки (тобто, це є радіус зображення геодезичного знаку). При цьому, якщо рухатися зліва направо вздовж осі рядків у випадку визначення координати Y (або у випадку руху зверху вниз вздовж осі стовпців при визначенні координати X), то перша лінія секторної радіальної фігури по напряму руху – це лінія переднього фронту, друга лінія – лінія заднього фронту фігури. Рахування пікселів на мішені матричного фотоприймача виконується зліва направо за віссю Y $(i = \overline{1; n})$ та зверху вниз за віссю X $(j = \overline{1; m})$.

На рисунку 11.19 пунктирними лініями зі стрілками показано оптичні промені, що йдуть від об'єкта зйомки (багатосекторних геодезичних знаків)

через об’єктив цифрової камери на матричний фотоприймач. Дані вимірювань – номера засвічених пікселів за рядками (стовпцями) матриці перед лінією переднього і за лінією заднього фронту (над лінією переднього і під лінією заднього фронту для визначення координати X_A) зображень вибраних пар діаметрально протилежних секторних фігур – потрапляють у блок формування сигналів, де виконується формування звітів за рядками та стовпцями.

Зображення геодезичного знаку з багатосекторними гострокутними фігурами розміщується на мішені матричного фотоприймача в момент фотографування цифровою камерою випадковим чином, а тому кути, які утворюються медіанами секторних фігур, лініями рядків та стовпців пікселів, є теж довільними та рівноймовірними.

Пара діаметрально протилежних секторних фігур приведена на рисунку 11.21.

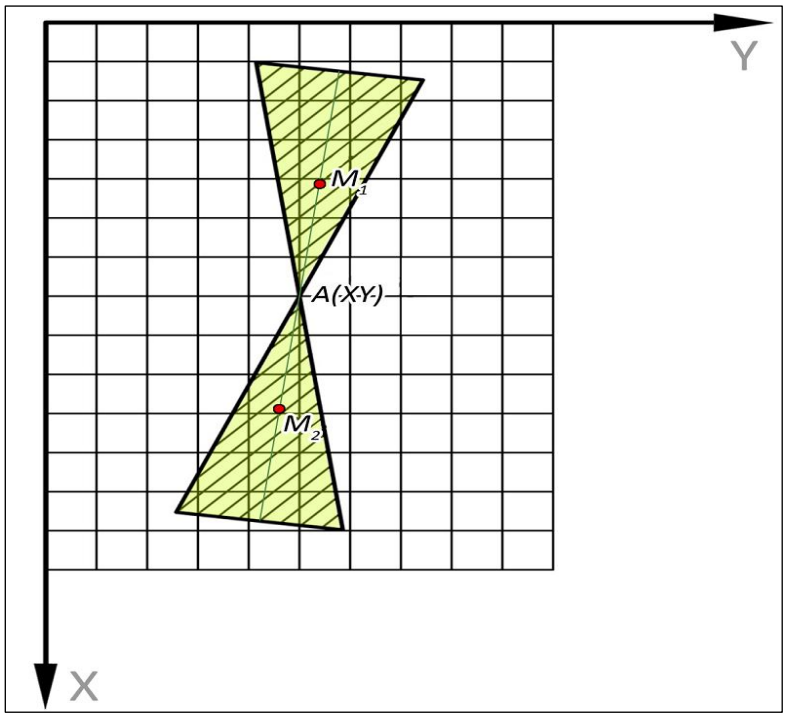


Рис. 11.21. *Пара діаметрально протилежних секторних фігур*

Якщо зображення геодезичного знаку розташувалось на мішені матричного фотоприймача в момент фотографування так, що лінія медіани певної пари діаметрально протилежних секторних фігур паралельна (перпендикулярна) лінії стовпців (рядків) матриці, то значення координат вершин для кожної фігури з цієї пари діаметрально протилежних секторних фігур буде однаковим і визначить однозначно координати центру зображення геодезичного знаку.

Якщо ж такі пари фігур будуть відсутні, то для того, щоб отримати максимальну точність дешифрування аерокосмічних знімків, обирають дві пари діаметрально протилежних секторних фігур, медіани яких утворюють найменші кути відхилення з лініями стовпців і рядків мішені матричного фотоприймача.

Для визначення положення центру зображення геодезичного знаку вздовж осі рядків Y розглядають пару діаметрально протилежних секторних фігур з найменшим кутом між медіанами цих фігур та лінією стовпців мішені матриці (мінімальність кутового відхилення визначають візуально). Відстань за віссю рядків між центрами медіан для фігур такої пари (точки M_1 та M_2 на рисунку 11.22) є мінімальною серед усіх пар, при цьому самі центри медіан є симетричними відносно лінії стовпців матриці (тобто містять похибки однакові за величиною та протилежні за знаком).

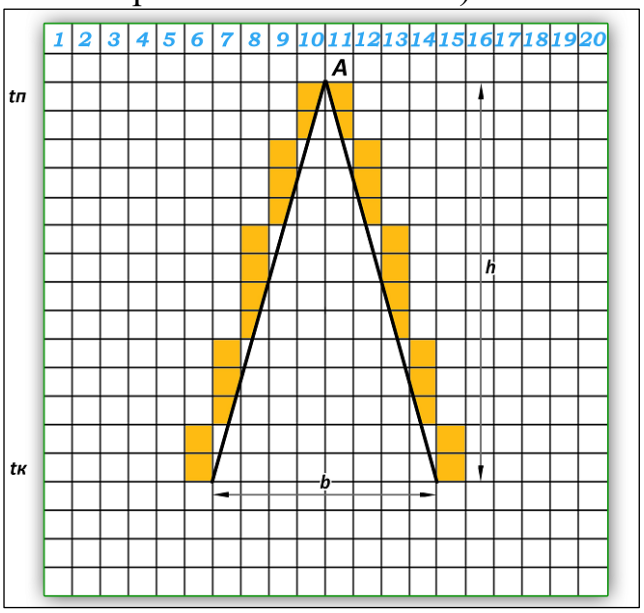


Рис. 11.22. *Визначення ординати вершини секторної фігури*

Тому відхилення координати вершини фігури за віссю рядків (тобто відхилення координати за віссю рядків центрів медіан M_1 та M_2), визначених з такої пари фігур від істинного значення, є теж мінімальним. У цьому випадку координати в пікселях за віссю рядків Y центрів медіан вибраних пар секторних фігур обчислюються за формулою

$$A_Y = \frac{1}{N_p}\sum_{t_n}^{t_k}(a_{iП} + a_{iЗ} - 1), \qquad (11.1)$$

де $a_{iП}$– номер засвіченого пікселя в рядку перед лінією переднього фронту фігури;

$a_{iЗ}$ – номер засвіченого пікселя в рядку за лінією заднього фронту фігури;

N_p – кількість робочих рядків пікселів (за якими проводиться підсумовування);

t_n – номер початкового рядка відліку пікселів;

t_k– номер кінцевого рядка відліку пікселів.

Далі остаточно визначають координату за віссю рядків центру зображення геодезичного знаку як середнє значення обчислених координат для кожної радіальної фігури з обраної пари діаметрально протилежних секторних фігур.

Для визначення положення центру зображення геодезичного знаку за віссю стовпців X розглядають пару діаметрально протилежних секторних фігур з найменшим кутом між медіанами цих фігур та лінією рядків мішені матриці. Відстань за віссю стовпців між центрами медіан такої пари фігур є мінімальною серед усіх пар. Координати в пікселях за віссю стовпців X центрів медіан діаметрально протилежних секторних фігур визначають за формулою

$$A_X = \frac{1}{N_{cm}} \sum_{S_n}^{S_k} (a_{jП} + a_{jЗ} - 1), \qquad (11.2)$$

де $a_{jП}$– номер засвіченого пікселя в стовпці над лінією переднього фронту фігури;

$a_{jЗ}$ – номер засвіченого пікселя у стовпці під лінією заднього фронту фігури;

N_{cm}– кількість робочих стовпців пікселів (за якими проводиться підсумовування);

S_n– номер початкового стовпця відліку пікселів; S_k– номер кінцевого стовпця відліку пікселів.

Далі остаточно визначають координату за віссю стовпців центру зображення геодезичного знаку як середнє значення обчислених координат для кожної радіальної фігури з обраної пари діаметрально протилежних секторних фігур. Якщо пару діаметрально протилежних радіальних фігур з найменшими кутами між медіанами та лініями рядків або стовпців матриці візуально однозначно визначити не вдається, то у цьому випадку проводять обчислення для різних пар фігур. Після чого вибирають пару діаметрально протилежних фігур з найменшими розбіжностями за визначуваними координатами центрів медіан і обчислюють середнє значення, отримуючи координати центру зображення геодезичного знаку по осі рядків або стовпців.

Отриманий результат із блоку формування сигналу (рис. 11.19) передають у блок обробки інформації. Одночасно із блоку формування сигналу в блок обробки інформації передають дані: код візирної цілі, відносне положення ліній переднього і заднього фронтів зображення візирної цілі. За цими даними пристрій пам’яті блока обробки інформації видає в блок пам’яті характеристики візирної цілі (координати геодезичного знаку). У блоці пам’яті виконується додавання відліків за переднім і заднім фронтами зображення секторних фігур і знаходження середнього за кожним рядком та стовпцем. Після цього виконується додавання середніх відліків за рядками і стовпцями та розподіл отриманої суми на кількість рядків та стовпців, за якими були отримані відліки ліній переднього і заднього фронтів зображення секторних фігур. При цьому обчислюють координати центрів медіан за віссю рядків та віссю стовпців для двох вибраних пар діаметрально протилежних секторних фігур за формулами (11.1) і (11.2), відповідно, а потім остаточно визначають координати центрів кожного з зображень геодезичних знаків як середні

значення координати центрів медіан вибраних пар діаметрально протилежних секторних фігур.

Розглянемо конкретний приклад визначення координати вершини секторної фігури (темна фігура на світлому фоні), обмежуючись визначенням ординати. Зазначимо, що точність визначення координати буде тим вища, чим меншим буде тангенс половини центрального кута (відношення півбази до висоти знака). На рисунку 11.23 наведено фрагмент фотоприймальної матриці цифрової знімальної камери, на якій зображена секторна фігура (фрагмент геодезичного знаку) зі значеннями $b = 8p$, $h = 14p$, лінії ПФ і ЗФ якої є симетричними відносно вертикальної осі. Номера пікселів, що зображені на рис. 11.23, представлені в таблиці 11.1.

Пікселі для ЛФ та ЗФ мають блоки кодів, які є симетричні й однакові за розміром. Отже, за $A_Y = \frac{280p}{28} = 10p$. Як видно з рисунку 11.23, отримане значення A_Y співпадає з дійсним.

Розглянемо визначення ординати центру багатосекторного геодезичного знаку при зміщенні центру відносно осі X на $0{,}25p$ та повороті відносно цієї ж осі на деякий кут, використовуючи пару діаметрально протилежних секторних фігур (рис. 11.23).

Номера пікселів для рис. 11.23 наведені в табл. 11.2.

На рисунку 11.23 заштриховано засвічені пікселі перед лінією ПФ і за лінією ЗФ, у першому рядку для зручності рахування пронумеровано стовпці пікселів. За формулою (11.1):$A_Y = \frac{553p}{2 \cdot 27} \approx 10{,}24p$. Очевидно, що істинне значення $A_Y = 10{,}25p$. Отже, отримане значення A_Y відрізняється від істинного на $0{,}01p$, що є дуже високим результатом. Використовуючи V-подібну фігуру, можна одержати високу чутливість матриці: не гірше $\pm 0{,}05\ \delta$, де δ – лінійний розмір пікселя.

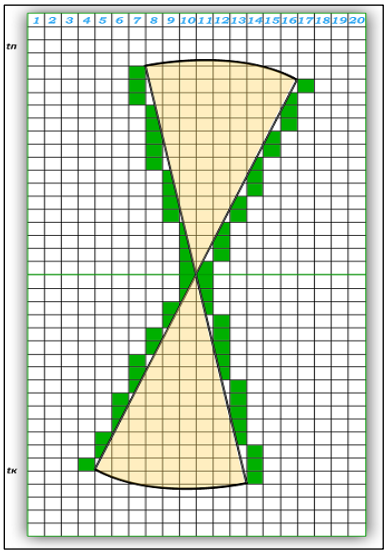


Рис. 11.23. *Визначення ординати центру геодезичного знаку при повороті на деякий кут і зміщенні на* $0{,}25\ p$

Таблиця 11.1

Визначення ординати вершини секторної фігури

$a_{iП}$	Номер пікселя	$a_{iП}$	Номер пікселя	$a_{iЗ}$	Номер пікселя	$a_{iЗ}$	Номер пікселя
$a_{1П}$	10	$a_{8П}$	8	$a_{1З}$	11	$a_{8З}$	13
$a_{2П}$	10	$a_{9П}$	8	$a_{2З}$	11	$a_{9З}$	13
$a_{3П}$	9	$a_{10П}$	7	$a_{3З}$	12	$a_{10З}$	14
$a_{4П}$	9	$a_{11П}$	7	$a_{4З}$	12	$a_{11З}$	14
$a_{5П}$	9	$a_{12П}$	7	$a_{5З}$	12	$a_{12З}$	14
$a_{6П}$	8	$a_{13П}$	6	$a_{6З}$	13	$a_{13З}$	15
$a_{7П}$	8	$a_{14П}$	6	$a_{7З}$	13	$a_{14З}$	15

Таблиця 11.2

Визначення ординати центру геодезичного знаку (при повороті на деякий кут і зміщенні на $0,25\delta$)

$a_{iП}$	Номер пікселя	$a_{iП}$	Номер пікселя	$a_{iЗ}$	Номер пікселя	$a_{iЗ}$	Номер пікселя
$a_{1П}$	8	$a_{15П}$	10	$a_{2З}$	17	$a_{16З}$	11
$a_{2П}$	8	$a_{16П}$	10	$a_{3З}$	16	$a_{17З}$	12
$a_{3П}$	9	$a_{17П}$	9	$a_{4З}$	16	$a_{18З}$	12
$a_{4П}$	9	$a_{18П}$	9	$a_{5З}$	15	$a_{19З}$	12
$a_{5П}$	9	$a_{19П}$	8	$a_{6З}$	15	$a_{20З}$	12
$a_{6П}$	9	$a_{20П}$	8	$a_{7З}$	15	$a_{21З}$	12
$a_{7П}$	9	$a_{21П}$	7	$a_{8З}$	14	$a_{22З}$	12
$a_{8П}$	9	$a_{22П}$	7	$a_{9З}$	14	$a_{23З}$	12
$a_{9П}$	9	$a_{23П}$	7	$a_{10З}$	13	$a_{24З}$	13
$a_{10П}$	10	$a_{24П}$	6	$a_{11З}$	13	$a_{25З}$	13
$a_{11П}$	10	$a_{25П}$	6	$a_{12З}$	12	$a_{26З}$	13
$a_{12П}$	10	$a_{26П}$	5	$a_{13З}$	12	$a_{27З}$	13
$a_{13П}$	10	$a_{27П}$	5	$a_{14З}$	11	$a_{28З}$	13
$a_{14П}$	10			$a_{15З}$	11		

Якщо вертикальна лінія, що проходить через вершину фігури A (рис. 11.22), ділить фігуру навпіл, то отримаємо відліки, наведені в таблиці 11.3,

де Δx – приріст сигналу від рядка до наступного рядка.

Розглянемо зміщення зображення візирної цілі на величину Δx:

– всі значення сигналів за рядками на лінії ПФ зміняться на величину $-\Delta xp^2$ (нехтуючи похибкою другого і вищого порядку), тобто на $-\frac{(2l-1)}{4}\frac{b}{h}p^2$;

– всі значення ЗФ збільшуються на Δxp^2, тобто на $-\frac{(2l-1)}{4}\frac{b}{h}p^2$.

Отже, при зміщенні центру знаку відносно вертикальної осі розрізу пікселів матимемо взаємне зміщення блоків кодів ліній ПФ та ЗФ. При дослідженні впливу нахилу зображення секторної фігури відносно осі координат фотоприймальної матриці матиме місце асиметрія, величина якої залежить від кута нахилу, та взаємне зміщення блоків кодів, які при цьому будуть мати різний розмір (але однаковий для ліній ПФ-ЗФ двох пар діаметрально протилежних секторних фігур).

Таблиця 11.3

Розрахунок зміщення зображення візирної цілі

№ P_j	Відлік P_i відносно $\grave{A}$	Δї	Для h=10 b=6 відносно $\grave{A}$	Округлюючи значення відносно $\grave{A}$
t	0	$-\frac{1}{2}\frac{b}{h}p^2$	0	0
t+1	$-\frac{1}{4}\frac{b}{h}p^2$		-0,15p^2	0
t+2	$-\frac{3}{4}\frac{b}{h}p^2$		-0,45p^2	-1
t+3	$-\frac{5}{4}\frac{b}{h}p^2$		-0,75p^2	-1
t+4	$-\frac{7}{4}\frac{b}{h}p^2$		-1,05p^2	-1
t+5	$-\frac{9}{4}\frac{b}{h}p^2$		-1,35p^2	-2
t+6	$-\frac{11}{4}\frac{b}{h}p^2$		-1,65p^2	-2
t+7	$-\frac{13}{4}\frac{b}{h}p^2$		-1,95p^2	-2
……			……	
t+l	$-\frac{(2l-1)}{4}\frac{b}{h}p^2$		$t+8 \to -2{,}25p^2$ $t+9 \to -2{,}55p^2$	-3
t+h	$-\frac{(2h-1)}{4}\frac{b}{h}p^2$		$t+10 \to -2{,}83p^2$	-3

Вправо від лінії $\grave{A}$ будуть ті ж значення, але із знаком (+). При цьому середнє значення за кожним рядком буде дорівнювати 0, тобто знаходиться на лінії $\grave{A}$.

Очевидно, що при n=100 втрата одного імпульсу (сигналу від одного пікселя) дає похибку $\sigma_p = \frac{p}{20} \pm 0{,}05p$.

Точність прив'язки та дешифрування можна значно збільшити, якщо кодування здійснювати не в бінарній системі, а використовуючи градацію кольору, поділяючи піксель за рівнями засвічування (теоретично використовуючи $2^{24} \approx 16$ млн кольорів).

Описаний спосіб та пристрій геодезичної прив'язки аерокосмічних знімків дозволяє підвищити точність дешифрування та прив'язки до рівня, необхідного для створення великомасштабних топографічних карт, які, в свою чергу, є джерелом інформації для ГІС, різноманітних кадастрів, проведення моніторингу, виконання інженерних робіт тощо. Тоді отримаємо значення, наведені в табл. 11.4.

Таблиця 11.4

Оцінка точності дешифрування та прив'язки знімків

	при Δx=0,1p					**при Δx=0,2p**				
NN рядків	**Зміна сигналів на ПФ лінії**		**Зміна сигналів на ЗФ лінії**		**Сер. знач. (ПФ+ЗФ)/2**	**Зміна сигналів на ПФ лінії**		**Зміна сигналів на ЗФ лінії**		**Сер. знач. (ПФ+ЗФ)/2**
t	+0,1p^2	0	+0,1 p^2	0	0	+0,2 p^2	0	+0,2 p^2	0	0
t+1	-0,05 p^2	0	+0,25 p^2	0	0	+0,05 p^2	0	+0,35 p^2	0	0
t+2	-0,35 p^2	0	+0,55 p^2	1	+0,5	-0,25 p^2	0	+0.65 p^2	1	+0,5
t+3	-0,65 p^2	-1	+0,85 p^2	1	0	-0,55 p^2	-1	+0,95 p^2	1	0
t+4	-0,95 p^2	-1	+1,15 p^2	1	0	-0,85 p^2	-1	+1,25 p^2	1	0
t+5	-1,25 p^2	-1	+1,45 p^2	1	0	-1,15 p^2	-1	+1,55 p^2	2	+0,5
t+6	-1,55 p^2	-2	+1,75 p^2	2	0	-1,45 p^2	-1	+1,85 p^2	2	+0,5
t+7	-1,85 p^2	-2	+2,05 p^2	2	0	-1,75 p^2	-2	+2,15 p^2	2	0
t+8	-2,15 p^2	-2	+2,35 p^2	2	0	-2,05 p^2	-2	+2,45 p^2	2	0
t+9	-2,45 p^2	-2	+2,65 p^2	3	+0,5	-2,35 p^2	-2	+2,75 p^2	3	+0,5
t+10	-2,75 p^2	-3	+2,95 p^2	3	0	-2,65 p^2	-3	+3,05 p^2	3	0
				Ср. +0,1					Ср. +0,2	

Підвищення точності дешифрування та прив'язки знімків здійснюється за рахунок використання субпіксельної технології для отримання точності, необхідної для створення великомасштабних топографічних карт.

В основі розробленого автором у співавторстві способу дешифрування і прив’язки аерокосмічних знімків лежить технологія використання V-подібних фігур.

Розроблена технологія може бути застосована при дешифруванні лінійних об’єктів для визначення їх геометричних розмірів, для підвищення точності візування зоровою трубою геодезичних приладів, при визначенні промірної вертикалі з судна тощо (Зацерковний, 2011).

12. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗКУ ЗАДАЧ ГЕОЕКОЛОГІЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

ГІС – це технологія, що має безліч практичних застосувань для адміністративно-господарських управлінців. ГІС дає можливість побачити, зробити запит, інтерпретувати та візуалізувати дані безліччю способів, які дозволяють виявити взаємозв'язки, образи і тенденції у вигляді карт, звітів і графіків. ГІС може використовуватись управлінцями для управління, візуалізації і планування простору, плануванню сценаріїв дій і їх прогнозуванню в надзвичайних ситуаціях, а також для багатьох інших застосувань.

12.1. Загальні відомості про геоекологічне прогнозування

В задачах управління розвитком територій важливе місце відводиться інформації, за допомогою якої ухвалюються проектно-планувальні рішення і оцінюються, наприклад, геоекологічні наслідки таких рішень. З цієї причини підготовка інформації, її оперативне опрацювання та подання результатів, зокрема в картографічному вигляді, стає невід'ємною умовою ефективності геоекологічно (або в іншій предметній площині) орієнтованого територіального управління від національного до регіонального і муніципального рівнів. Це відноситься до різних видів і форм діяльності і, особливо, до природокористування, яке відрізняється просторовим розподіленням заходів, що проводяться, необхідністю врахування місцевих географічних умов, екологічних і правових обмежень, які накладаються.

Управління територіями – складний динамічний процес. На будь-якому об'єкті управління певної території (регіону) з плином часу змінюються параметри і характеристики, які описують стан цієї системи. Для того щоб ефективно керувати територією, адміністрація повинна вміти перерозподіляти ресурси (природні, фінансові, матеріальні, трудові тощо), а головне, вміти прогнозувати результати цього перерозподілу. В процесі управління територіями результати не завжди з'являються відразу і зазвичай проявляються у вигляді певних процесів. Існує безліч економічних, фінансових, соціальних, політичних та інших показників станів, які безперервно змінюються.

Для управління процесами, що відбуваються на певній території, необхідно враховувати ці зміни, а також навчитися прогнозувати їх та приймати ефективні управлінські рішення за результатами їх аналізу. Крім того, зміна параметрів територіальної системи одного рівня ієрархії може проявитися (позначитися) через зміну зовсім інших характеристик територіальної системи другого рівня ієрархії.

На сьогодні формальна логіка зв'язку цих змін недостатньо вивчена. В практиці управління територіями відсутні формалізовані алгоритми, що зв’язують важелі управління з майбутніми процесами і станами, тобто відсутній коректний інструмент прогнозування ефективного управління територією.

Незважаючи на те, що проблема прогнозування через чисельність некерованих і слабо передбачуваних зовнішніх факторів у процесі управління територіями є доволі складною в геоінформатиці, застосування ГІТ (Pick, 2023; Світличний & Плотницький, 2006; Суховірський, 2000) дозволяє вирішити цю проблему.

Геоінформаційне прогнозування (ГП) як технологія інтегрує статистичні методи прогнозування, методи ділової графіки, методи геоінформаційного моделювання і представляє собою набір методів отримання й аналізу інформації про навколишнє середовище певної території і розробку прогнозних оцінок для підтримки прийняття рішень (Тимчук, 1986).

Відмінність ГП від класичних методів зумовлена розмаїттям типів даних (дво- і тривимірні растрові поля, векторні шари полігонів і ліній, точкові марковані шари і часові ряди з координатною прив’язкою тощо), які необхідно комплексно опрацьовувати, наприклад (Burrough et al., 2015):

– оцінювання зв’язків між властивостями геоінформації (аналіз взаємного розташування об’єктів, статистичне оцінювання економічних збитків від природних і техногенних катастроф, підрахунок запасів ресурсів);

– інтерпретація відношень між географічними об’єктами (визначення міри взаємозв'язку між природними процесами та об’єктами, оцінювання втрат від стихійних лих);

– виявлення та прогнозування цільових об’єктів (прогнозування магнітуд землетрусів за геоданими, пошук родовищ корисних копалин, розпізнавання провісників надзвичайних подій);

– моделювання просторово-часових процесів (розробка сценаріїв розвитку катастроф і стихійних лих).

Використання ГІТ дозволяє зняти гостроту з перерахованих вище проблем, оскільки в ГІС припустимий різний рівень картографічної генералізації залежно від ступеня агрегування вихідної соціально-економічної і екологічної (моніторингової) інформації. Різні ж за природою соціально-економічні параметри і параметри моніторингу інтерпретуються окремими шарами картографічних даних з різним ступенем детальності, який задається користувачем (дослідником).

ГІС дозволяє оперативно накопичувати інформацію, яка характеризує різноякісні аспекти територіального управління, що відносяться до територіальних систем різного рівня ієрархії і забезпечує її прив'язку до картографічного матеріалу. З ГІС ця інформація виходить в інтегрованому вигляді при різному рівні картографічної генералізації, що відповідає вимогам використовуваного апарата економіко-математичного і екологічно-прогнозного моделювання.

Метою ГП є зниження рівня невизначеності при прийнятті управлінських рішень. ГП вирішує дві основні задачі: оцінка тих або інших геоінформаційних параметрів для даного моменту часу і одержання прогнозних оцінок на перспективу. Будь-який прогноз – це, перед усім, екстраполяція, тобто поширення висновків, отриманих із спостережень за однією частиною явища (процесу) на іншу його частину. Носієм цих висновків слугують властивості географічної інформації, що відносяться до досліджуваних явищ (процесів). Самі висновки найчастіше виражаються у вигляді закономірності, яка пов’язує прогнозовану величину з властивостями досліджуваних сутностей. Ця залежність отримала назву *прогнозної функції*. У задачах з неповною інформацією (погано обумовленою задачею) прогнозна функція заздалегідь невідома. Вона визначається за наявними знаннями і даними у відповідності з певною моделлю, яка може корегуватись в процесі розв’язку задачі.

Оцінка параметрів прогнозу застосовується для оперативного аналізу існуючої ситуації, прогнозні оцінки використовуються при виборі і обґрунтуванні управлінських рішень, що приймаються при вивченні явищ та їх майбутніх наслідків. Після виконання верифікації прогнозу необхідно оцінити його якість. Для цієї цілі використовуються показники прогнозу: повнота, точність, достовірність, помилка, джерело помилки. При виборі методу прогнозування необхідно враховувати, для якого типу управління передбачається використовувати прогноз. Це пояснюється тим, що різні типи управління пред'являють різні вимоги до виду результатів і точності прогнозування.

Результатом ГП є не тільки статистичні дані (звичайний прогноз), але й тематичні карти, цифрові моделі динаміки явищ, тривимірні моделі об'єктів, векторні зображення полів або динаміки явищ, процесів тощо, які реалізуються в ГІС.

Прикладні задачі ГП у процесі управління територіями вирішуються на основі моделей, побудованих за таблицями експериментальних даних. При цьому проблему становить складність урахування усіх факторів, що впливають на ситуацію на конкретних територіях, складність збору територіально розподіленої інформації, невисока точність замінюваних параметрів і, як наслідок, погана обумовленість задачі. Проблема прогнозування через велику кількість некерованих і слабко передбачуваних зовнішніх факторів – найбільш складна в геоінформатиці (Тимчук, 1986).

12.2. Розв’язок задач геоекологічного прогнозування за допомогою комбінаторного алгоритму

Використання ГІТ у задачах прогнозування дозволяє оперативно отримувати інформацію за запитом і відображувати її на карті, оцінювати стан екосистеми та прогнозувати її розвиток. Дослідження під час ГП носять цільовий характер, обумовлений задачами прогнозу і виявленими проблемами, розв'язання яких потребує прогноз.

Моніторинг небезпечних природних явищ ускладнюється дефіцитом оперативної інформації про фактори, що безпосередньо впливають на них. Разом з тим, в останній час відзначається значне зростання сучасних ІТ, серед яких треба виділити ГІТ і технології ДЗЗ. Саме вони дають можливість наочно оцінити ситуацію навколо місця аварії, розрахувати зону підтоплення, просування фронту пожежі, поширення хімічного або радіоактивного забруднення тощо. За їх допомогою можна автоматично підрахувати площі постраждалих ділянок, оцінити обсяги хімічних і радіоактивних опадів, виділити населені пункти та інші об’єкти досліджуваної території, що потерпіли або можуть постраждати від надзвичайних ситуацій.

Можливість інтеграції ГІС, ДДЗ та спеціалізованих додатків істотно розширює діапазон їх застосування. Сьогодні за таким шляхом йде розробка моделей міграції забруднювачів у геологічному середовищі, атмосфері і гідросфері; паводкових ситуацій і розвитку екзогенних процесів тощо (Тимчук, 1986). Ці дослідження являють собою набір методів діагностування стану госистем (отримання інформації про об'єкти прогнозування і геоінформаційне середовище).

Одним з основних етапів роботи технології ГП є створення простору описів непорушеного (еталонного) стану просторових об’єктів, який прийнятий за еталонний, тобто сукупність картографічних шарів (ознак), які описують стан території і відображають ті або інші аспекти досліджуваного об’єкта (процесу або явища).

Складність розв’язання задач ГП істотно залежить від повноти наявної інформації. Задачі з повною інформацією зазвичай зустрічаються при дослідженні просторових об’єктів за комплексом усіх наявних даних. Аналіз у таких задачах зазвичай складається у виявленні якісних просторових або просторово-часових особливостей просторової інформації, в обчисленні нових властивостей цієї інформації за допомогою заздалегідь відомих перетворень і в оцінюванні стандартних статистичних характеристик векторних і растрових даних.

Виникаючі при практичному використанні ГІС задачі планування експерименту зазвичай виходять за рамки класичного підходу і вимагають спеціального узагальнення з урахуванням особливостей розглянутих проблем.

У реальних вимірах ресурси можуть бути істотно обмежені, а апріорна інформація недостатня для незміщеної оцінки функції регресії. У цих умовах доводиться враховувати не тільки випадкову похибку наближення, а й систематичну похибку, зумовлену неадекватністю прийнятої моделі.
Вибір простору, у якому здійснюється пошук оцінки, доводиться здійснювати спільно з планом експерименту і методом оцінювання. Крім того, при моделюванні і особливо при прогнозуванні стану об’єктів, явищ та процесів, варіаційних задач, задач інтерполяції, розв’язанні диференціальних рівнянь з частковими похідними, фотограмметричних вимірювань тощо доволі часто доводиться мати справу з некоректно поставленими задачами (Тимчук, 1986), розв’язування яких приводить до вирішення слабо і дуже слабо зумовлених систем лінійних рівнянь.

Для інтегральної оцінки невизначеності стану об'єкта в процесі моніторингу і управління можна застосувати ентропію стану об'єкта дослідження:

$$H_0(X,t,\tau) = H_{P.B}(X,t,\tau) + H_{П.В.}(X,t,\tau),$$

де $H_{P.B}(X,t,\tau)$– ентропія, зумовлена наявністю ймовірності раптових змін стану;

$H_{П.В.}(X,t,\tau)$ – ентропія, зумовлена наявністю ймовірності поступових змін стану.

Ентропію $H_{П.В.}(X,t,\tau)$ безперервного m-мірного диференціального закону розподілу ймовірностей вихідних параметрів можна визначити за формулою

$$H_{П.В.}(X,t,\tau) = -\int_{-\infty}^{\infty} \dots \int f(X,t,\tau)\, log_2 f\,(X,t,\tau) dX.$$

Якщо в цю формулу замість закону розподілу ймовірностей вихідних параметрів підставити закони розподілу динамічних характеристик об'єкта, то отримаємо відповідно кількісну інтегральну оцінку стану об’єкта моніторингу за його динамічними характеристиками.

При незалежних вихідних параметрах ентропія об'єкта визначається за формулами, що визначають ентропію динамічних характеристик з урахуванням їх незалежності.

Ентропію вихідних параметрів можна визначити за формулою

$$H_{П.В.}(x_1, x_2, \dots, x_m, t, \tau) = \sum_{i=1}^{m} H_{П.В.}(x_i, t, \tau).$$

Ентропію, зумовлену наявністю в об'єкті дослідження дискретних систем, можна визначити за формулою

$$H(p_1, p_2, \ldots, p_n, t, \tau) = -\sum_{i=1}^{m} p_i \, log_2 \, p_i \, .$$

Таким чином, ентропія об’єкта моніторингу, яка має незалежні вихідні параметри і динамічні характеристики різних систем, визначається простим арифметичним додаванням часткових ентропій, які зумовлені невизначеністю окремих вихідних параметрів і динамічних характеристик.

Ентропія $H_{P.B}(X, t, \tau)$ обумовлена багатьма непереважними один над одним незалежними процесами, які протікають у системах з різними швидкостями і викликають раптові відмови, випадково розподілені у часі.

Ентропію, зумовлену наявністю раптових відмов, можна визначити за формулою

$$H_{P.B}(X, t, \tau) = -\{P_{P.B}((X, t, \tau) \, log_2 \, P_{P.B} \, (X, t, \tau) + [1 - P_{P.B}(X, t, \tau)] \, log_2 [1 - P_{P.B}((X, t, \tau)]\},$$

де $P_{P.B}$– імовірність відсутності раптових відмов.

При експонентному законі розподілу ймовірності безвідмовної роботи досліджуваної системи ймовірність того, що в об'єкті не відбудеться раптового зміну стану, визначається за формулою

$$P_{P.B}(X, t, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \ldots \int f(Z, t, \tau) \, exp - \left\{ -\sum_{i=1}^{m} \lambda(x_i, t, \tau), t \right\} dZ$$
$$= \int_{-\infty}^{\infty} \ldots \int f(Z, t, \tau) \, exp - \{\Lambda(X, t, \tau)\} \, dZ,$$

де $\lambda(x_i, t, \tau)$ – інтенсивність відмов (зміну стану) i -ї системи;

$f(Z, t, \tau)$ – закон розподілу інтенсивностей зовнішніх збурень, які діють на системи об'єкта дослідження.

$$\Lambda(X, t, \tau) = \sum_{i=1}^{m} (x_i, t, \tau).$$

Імовірність відсутності раптових відмов (змін стану) об'єкта дослідження, що містить *m* систем, з урахуванням закону розподілу зовнішніх факторів збурення в процесі моніторингу і управління може бути визначена за формулою

$$P_{P.B}(X, t, \tau) = \int_{-\infty}^{\infty} \ldots \int f(Z, t, \tau) \, exp \left\{ -\sum_{i=1}^{m} \lambda(x_i, t, \tau) \right\} \prod_{i=1}^{B} P_{P.B}(\, x_j, t, \tau) dZ,$$

де $P_{P.B}(x_j, t, \tau)$ – імовірність відсутності раптових відмов (змін стану) *j*-ї системи.

Число зумовленості сильно пов’язане з коефіцієнтом збільшення помилок вхідних даних і найчастіше обчислюється як відношення найбільшого та найменшого сингулярних чисел матриці: $c = \sigma min_{max}$ (Golub & Van Loan, 2013).

Пошук оптимальних методів і алгоритмів розв’язання таких задач, визначення їх обчислювальної стійкості є надзвичайно актуальною задачею для ГІС.

Ефективність функціонування ГІС в управлінні територіями при розв’язанні задач прогнозування в значному ступені визначається її математичним забезпеченням, під яким розуміють математичні моделі досліджуваних просторових об'єктів, представлених у вигляді, придатному для обчислень у комп’ютері, та алгоритми прогнозування зміни станів цих об’єктів і якості пошарового тематичного наповнення бази метричних та атрибутивних даних. Це зумовлено тим, що при досліджуючи певний просторовий об’єкт або систему, необхідно сформувати адекватну модель просторового об’єкта дослідження; відхилення параметрів стану просторового об’єкта дослідження; визначити перехід об’єкта дослідження в ”несправний” стан; отримати управлінське (діагностичне) рішення.

Побудова цифрових моделей для цілей прогнозу відрізняється від побудови просто цифрової моделі бази даних ГІС. Головна відмінність полягає в тому, що модель повинна будуватись не автономно, а у зв'язку із зовнішнім середовищем, що взаємодіє з нею. За цією причиною процес побудови геоінформаційної моделі для прогнозування явищ на основі ГІТ включає такі етапи (Montgomery et al., 2021; Tikhonov & Arsenin, 1977):

– визначення цілей інтерпретації моделювання і наборів факторів, що приймають участь в інтерпретації;

– первинний аналіз досліджуваного явища і формалізація його генезису;

– параметризацію – вибір загального виду моделі, включаючи структуру і зв'язки;

– збір необхідної або можливої інформації;

– ідентифікацію моделі – статистичну оцінку її параметрів;

– верифікацію моделі – перевірку її адекватності і точності модельних даних.

Серед усього розмаїття задач, що вирішуються за допомогою ГІС, найбільш інтелектуальними є системи прогнозу та діагностики, які спроможні прогнозувати сценарій майбутнього, ґрунтуючись на подіях минулого і наявного стану, та володіють можливістю знаходити причини аномальності спостережуваних процесів та явищ. Для цього ГІС використовують динамічні параметричні моделі та набори даних, за допомогою яких виявляються відхилення від еталонної поведінки.

При використанні ГІС в управлінні та моніторингу територіями досить часто виникає необхідність відновлення (отримання) поліноміальних моделей за результатами, отриманими при дослідженнях просторових процесів, явищ і недостатній (малій) кількості експериментів. Наявність похибок виміру

контрольованих параметрів досліджуваних просторових явищ призводить до того, що задача відновлення зазвичай виявляється погано обумовленою.

Як відзначено в (Anderson, 2003), не існує загального математичного методу, який би дозволив ефективно вирішувати таку задачу. Кожний з відомих методів накладає певні обмеження, порушення яких виключає застосування даного методу. Прогнозне середовище характеризує зовнішні фактори за відношенням до об'єкта прогнозування. Розрізняють мікро- і макрозовнішнє прогнозні середовища.

Зовнішнє мікросередовище представлено параметрами, які безпосередньо відносяться до об'єкта прогнозування і можливостей їх зміни або управління ними. Це можуть бути, наприклад, фактори забруднення навколишнього середовища виробничими відходами, склад яких можна змінювати кількісно і якісно, чим впливати на середовище.

Під макрозовнішнім середовищем розуміють сукупність великих суспільних і природних факторів, які впливають на об'єкти прогнозування і регулювати їх або неможливо, або досить складно (політичні, правові, культурні, демографічні та природні фактори).

Для формування відхилень параметрів стану досліджуваного просторового об’єкта, як еталон, можна прийняти значення параметрів досліджуваного об’єкта, отриманих на його початковій стадії дослідження (експлуатації) у завідомо справному (непорушному) стані, перерахованих за формулами приведення; значення параметрів середньостатистичного досліджуваного просторового об’єкта при стандартних умовах, отриманих за експериментальними даними; індивідуальну ідентифіковану нелінійну математичну модель залежностей контрольованих параметрів просторового об’єкта від зовнішніх умов і режимних параметрів (параметрів управління), отриману за експериментальними даними у початковий період дослідження (експлуатації) тощо; середньостатистичну ідентифіковану нелінійну математичну модель досліджуваного об’єкта ГІС, отриману шляхом обробки експериментальних даних; багаторежимну квазінелінійну індивідуальну ідентифіковану математичну модель досліджуваного об’єкта; багаторежимну квазілінійну ідентифіковану середньостатистичну математичну модель досліджуваного об’єкта.

Як показано в праці (Зацерковний 2011), найбільш прийнятним для діагностики стану просторових об’єктів ГІС є математичні моделі, в яких матриця коефіцієнтів впливу розраховується в темпі "виходу" моделі на режим прийняття рішення (діагностування), тобто багаторежимні квазінелінійні середньостатистичні ідентифіковані математичні моделі. У цьому випадку діагностична модель менш піддається ”зашумленню” і більш пристосована для ефективної ідентифікації стосовно кожного об’єкта дослідження або середньостатистичного об’єкта дослідження.

В загальному випадку лінійну математичну модель об’єкта дослідження при наявності похибок вимірів можна представити матричними рівняннями двох типів (Björck, 1996):

$$\overline{Y_З} = A\overline{X} + \Delta\overline{Y_З} \qquad (12.1)$$

або

$$\overline{W_З} = A\overline{X} + \Delta\overline{W_З}; \quad \overline{W_З} = \overline{Y}_з - T\overline{S_З}; \quad \overline{W_З} = \Delta\overline{Y_З} - T\Delta\overline{S_З} \qquad (12.2)$$

де $\overline{Y_з}$ – вектор відносних відхилень параметрів режиму функціонування об'єкта дослідження розмірності $(m \times 1)$;

$\bar{X}$ – вектор відносних відхилень шуканих параметрів стану об'єкта дослідження, керуючих і впливів збурень розмірності $(n \times 1)$;

A – матриця коефіцієнтів впливу розмірності $(m \times n)$;

$\overline{S}$ – вектор відносних вимірюваних збурюючих і керуючих впливів, якщо вони не переведені у вектор $\overline{Y}$ шляхом перетворень для заданої структури системи рівнянь. Розмірність вектора $(\nu_з \times 1)$;

T – матриця коефіцієнтів впливу розмірності $(m \times \nu_з)$.

Діагностичну модель досліджуваного об'єкта виду (12.1) правомірно використовувати у випадку виконання таких умов: у діагностичній моделі врахована програма управління досліджуваного об'єкта на режимі діагностування. При цьому, якщо керуючі впливи вимірюються, то вони введені у вектор $Y_з$, якщо не вимірюються, то вони відсутні; відхилення параметрів управління дорівнюють нулю; відхилення впливів збурень на режимі діагностування відсутні; відсутні похибки вимірів впливів збурень; характеристики еталонних модулів відповідають номінальним характеристикам або здійснена ідентифікація математичної моделі до індивідуальних характеристик досліджуваного об'єкта (явища), тобто відсутній вплив на вектор $Y_з$ природного розсіювання характеристик модулів об'єкта (явища); відсутнє приведення вимірюваних параметрів до стандартних атмосферних умов. У протилежному випадку при приведенні до стандартних атмосферних умов компоненти вектора $Y_з$ стануть корельованими. У всіх інших випадках необхідно використовувати діагностичну модель (12.2).

У реальних умовах моделювання властивості об'єкта дослідження змінюються в широкому діапазоні, тому для забезпечення необхідної ефективності ГІС в управлінні територіями необхідно мати в наявності еталон контрольованих параметрів і матриці коефіцієнтів впливу на кожному режимі діагностування для кожного тематичного шару ГІС у відповідних умовах дослідження (діагностування). Однак сьогодні всережимну багатофункціональну математичну модель ГІС з усіма тематичними шарами закласти до пам'яті комп'ютера не представляється можливим через певні обмеження цих пристроїв.

У ситуації, що склалася, одним із компромісних виходів є подання ГІС в управлінні територіями у вигляді "згорнутої" математичної моделі окремих тематичних шарів просторового об'єкта дослідження – еталона контрольованих параметрів і коефіцієнтів впливу лінійних діагностичних

моделей в функції режимних параметрів і параметрів зовнішніх умов. При цьому ”згортання” необхідно провадити таким чином, щоб втрати інформації були мінімальними.

Отримання ”згорнутих” (поліноміальних) моделей об’єктів дослідження ГІС в управлінні територіями засновано на певному класі алгоритмів, тому, перед тим, як приступити до "згортання", доводиться відповідати на питання: який саме чисельний метод взяти за основу?

Існує ряд підходів, алгоритмів і програм, що дозволяють в тому або іншому ступені раціонально організувати обчислювальні процедури. До них відносяться (Bar-Yam, 2019; Draper & Smith, 1998; Hastie et al., 2009; Liang & Wang, 2019; Madala & Ivakhnenko, 1994; Seber & Lee, 2003; Зацерковний, 2011b): метод усіх можливих регресій; метод вибору ”найкращої підмножини” предикторів; метод виключення; покроковий регресійний метод; гребенева (”рідж”) регресія; ”ПРЕСС”-регресія; регресія на головних компонентах; регресія на ортогональні поліноми Чебишова; регресія на власних значеннях; східчастий регресійний метод; регресія на основі *G*-обернення; робастна регресія; регуляризація за Тихоновим; регресія з використанням сингулярних розкладань; схеми Холецького і Хаусхолдера; метод групового урахування аргументів (МГУА) тощо. На цій основі написана велика кількість прикладних пакетів програм на різних алгоритмічних мовах, наприклад, (Bar-Yam, 2019; Draper & Smith, 1998; Hastie et al., 2009; Liang & Wang, 2019; Madala & Ivakhnenko, 1994; Seber & Lee, 2003; Зацерковний, 2011b;). Однак частина з них мало відрізняється одна від одної, а іншими досить складно скористатися. Цей факт можна пояснити тим, що (Madala & Ivakhnenko, 1994) більшість пакетів програм розроблялися приблизно в один і той же час, незалежно один від одного, і ґрунтувалися на одному й тому ж фундаменті наявних на той час математичних методів. Відсутність, недостатність або наявність похибок у необхідній документації з використання розроблених пакетів програм призводять до того, що найчастіше простіше розробити нові програми, ніж розібратися у відомих. Неопрацьованою залишається поки що й проблема порівняння і вибору кращого алгоритму або програми; автоматизовані тільки лише розрахунки, а аналіз результатів і вибір найкращих варіантів, як і раніше, провадиться інтуїтивно, вимагаючи суттєвих витрат часу і коштів.

Використання традиційних та інших підходів для створення поліноміальних моделей тематичних шарів ГІС виявилося малоефективним через притаманних їм у тому або іншому ступені спільних недоліків: великої чутливості до похибок виміру відгуків; великих похибок в обчисленні коефіцієнтів поліномів при недостатній обумовленості матриці планування; неможливості розрахунку коефіцієнтів полінома у випадку недостатньої кількості експериментів; відсутності формалізованих методів вибору оптимальної структури поліноміальної моделі. Більше того, задача виявляється взагалі не розв'язною при достатньо великій кількості варійованих факторів.

При створенні поліноміальних математичних моделей окремих тематичних шарів ГІС в управлінні територіями степені поліномів моделі

зазвичай невеликі. Однак кількість параметрів може бути значною (більше 10...15). Чутливість контрольованих параметрів до більшості варійованих факторів мало відрізняється одна від одної. Крім того, контрольовані параметри, які отримуються зазвичай у результаті вимірів, містять похибки. Ці особливості призводять до того, що задача відновлення поліноміальних залежностей розглядуваних тематичних шарів просторових об’єктів ГІС в управлінні територіями є недостатньо обумовленою. Тому, незважаючи на те, що на даний час запропонований цілий ряд алгоритмів отримання поліноміальних моделей просторових об’єктів, цикл робіт у цьому напряму далекий від завершення як в частині удосконалення математичних методів, так і в частині охоплення класу задач.

У зв'язку з цим виникла необхідність випробувати ряд нових підходів, щоб при наступних комп’ютерних експериментах і порівняльній оцінці виявити комплекс алгоритмів, здатних автоматизувати вибір оптимальної структури поліноміальної моделі еталонних тематичних шарів ГІС в управлінні територіями в умовах недостатньої обумовленості задачі і вирішити тим самим задачу створення моделей просторових об’єктів ГІС.

Вихідна інформація для побудови поліноміальної моделі може бути отримана за результатами натурних досліджень або розрахунковим шляхом на базі математичних моделей об'єкта дослідження. При цьому передбачається, що фактори задаються без помилок.

У процесі відновлення моделей можуть зустрітися два випадки: структура математичної моделі відома апріорі і задача відновлення зводиться до визначення коефіцієнтів цієї моделі; структура математичної моделі заздалегідь невідома. У другому, більш загальному, випадку використовуються відрізки нескінченного ряду Тейлора (Draper & Smith, 1998) і задача відновлення полягає у визначенні як числа членів ряду, так і коефіцієнтів при цих членах.

Треба враховувати, що підвищення складності відновлюваного полінома дозволяє отримати кращий збіг відновлюваної залежності з експериментальними даними. Але збільшення ступеня полінома доцільно лише до тих пір, поки з експериментальної вибірки добувається надійна інформація (Draper & Smith, 1998). Тому актуальним є створення таких алгоритмів відновлення, де процес вибору оптимальної структури був би формалізованим при надійному отриманні значимих, незміщених і ефективних оцінок.

Комбінаторний алгоритм, заснований на методі повної математичної індукції (Зацерковний та ін., 2010d) (рис. 12.1), є багатоетапним і дозволяє не пропустити оптимальної структури відновлюваних поліномів.

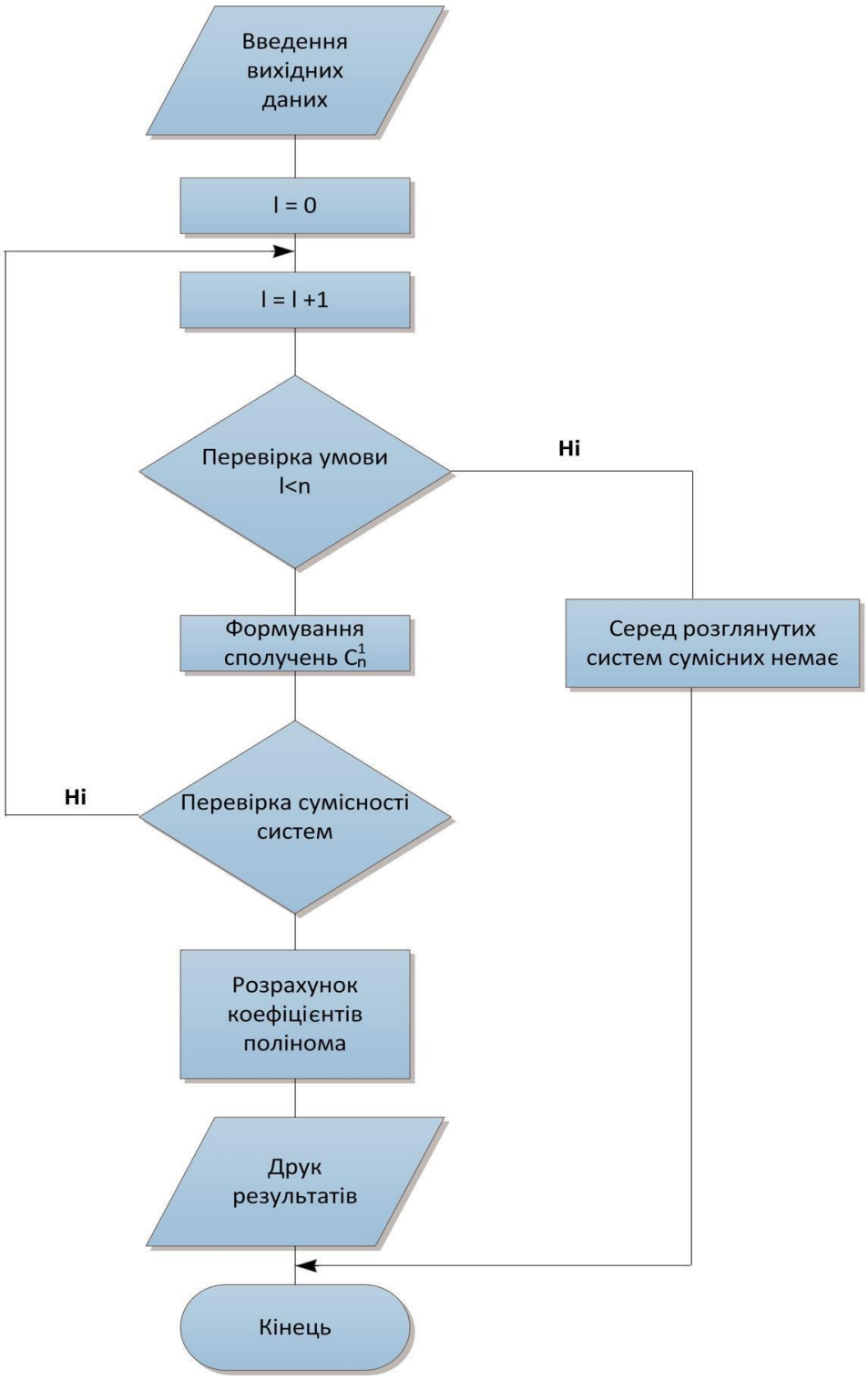


Рис. 12.1. *Блок-схема комбінаторного алгоритму*

На першому етапі здійснюється пошук тільки в класі одночленів, на другому етапі досліджуються можливі двочленні описи тощо.

Математично задача відновлення поліноміальної моделі формулюється таким чином. Є m експериментів, для кожного з яких відомий вихідний вектор W, розмірності $(m \times 1)$; матриця спостережень (планування) U незалежних змінних $u_1, u_2, \ldots u_k$, складена таким чином, щоб область факторного простору

була рівномірно заповнена, що дозволяє виявити характер вихідної функції навіть при достатньо складній її зміні.

Кожний з отриманих результатів розглядають як випадкову реалізацію вихідної функції. Розмірність матриці U становить $(m \times n)$.

Необхідно знайти аналітичний вираз залежності

$$W = F(U), \tag{12.3}$$

яка найкращим чином відтворює значення вихідної функції (функції відгуку) W, розкриває характер і ступінь впливу незалежних факторів u_i, $i = \overline{1,k}$.

У матричному вигляді можна записати:

$$W = UB + \Delta W, \tag{12.4}$$

де $W = \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ w_3 \\ . \\ . \\ w_m \end{bmatrix}$; $U = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{1.2} & . & . & u_{1k} & u_{1.1}^2 & . & . & u_{1n-1} & u_{1n-2} & . & . & u_{1.1} \\ u_{21} & u_{22} & . & . & u_{2k} & u_{2.1}^2 & . & . & u_{2n-1} & u_{2n-2} & . & . & u_{1.1} \\ u_{31} & u_{32} & . & . & u_{3k} & u_{31}^2 & . & . & u_{3n-1} & u_{3n-2} & . & . & u_{1.1} \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ u_{m.1} & u_{m2} & . & . & u_{mk} & u_{m1}^2 & . & . & u_{mn-1} & u_{mn-2} & . & . & u_{1.1} \end{bmatrix}$;

$B = [в_1, в_2, в_3, \ldots в_n]^T$ – вектор-стовпець відновлюваних коефіцієнтів розмірності $(n \times 1)$;

$\Delta W = [\Delta w_1, \Delta w_2, \ldots \Delta w_m]^T$ – вектор випадкових відхилень розмірності $(m \times 1)$.

Задача відновлення поліноміальної моделі полягає у пошуку вектора B, який мінімізує суму квадратів відхилень:

$$Q = \Delta W^T \Delta W = (W - UB)^T (W - UB). \tag{12.5}$$

Цей мінімум досягається для вектора B з рішення системи нормальних рівнянь (Зацерковний та ін., 2010d):

$$U^T UB = U^T W. \tag{12.6}$$

Звідки

$$B = (U^T U)^{-1} U^T W. \tag{12.7}$$

При цьому можуть виникнути особливості, які знижують ефективність даного алгоритму.

По-перше, при дослідженні на значимість точкових і інтервальних оцінок відновлюваного полінома корельованість сполучень параметрів U_j і U_{jk}, U_j і ${U_j}^2$ та інших між собою збільшує дисперсії їх оцінок, що ускладнює інтерпретацію отриманих результатів (Корн & Корн, 1973).

По-друге, з формули (12.7) випливає, що коефіцієнти регресії $в_j$ не можуть бути визначені незалежно один від одного. Якщо в силу певних міркувань опустити (додати) в рівняння (12.4) хоча б один член, то це призведе до необхідності перерахування всіх інших коефіцієнтів полінома.

По-третє, число коефіцієнтів $в_j$ в рівнянні (12.4) зростає дуже швидко при збільшенні числа аргументів. Так, наприклад, у рівнянні 3 ступеня з 3 аргументами міститься 20 доданків:

$$W = в_0 + в_1 u_1 + в_2 u_2 + \ldots + в_{19} u_1 u_2 u_3, \qquad .. \qquad (12.8)$$

а перебору підлягає 2^{19} = 524288 поліномів, що вимагає істотних витрат часу і об'єму оперативної пам'яті комп'ютера.

Крім того, при використанні МНК, коли параметри w_i заміряються з погрішністю σ_{w_i}, коваріаційна матриця відхилень коефіцієнтів відновлюваної залежності дорівнює

$$R = M[\Delta B \Delta B^T] = M[(U^T U)^{-1} U^T \Delta W \Delta W^T \{(U^T U)^{-1} U^T\}^T] =$$

$R = M[\Delta B \Delta B^T] = M[(U^T U)^{-1} U^T \Delta W \Delta W^T \{(U^T U)^{-1} U^T\}^T] =$

$$(U^T U)^{-1} U^T \begin{bmatrix} \sigma_{w_i}^2 & . & . & . & 0 \\ . & . & & & . \\ . & & . & & . \\ . & & & . & . \\ 0 & . & . & . & \sigma_{w_m}^2 \end{bmatrix} \{(U^T U)^{-1} U^T\}, \quad (12.9)$$

де ΔW – вектор похибок вимірів;

$\Delta B = (U^T U)^{-1} U^T \Delta W$ – вектор похибок коефіцієнтів полінома;

M – математичне очікування.

Для спрощення міркувань будемо вважати, що $\sigma_{w_1} = \sigma_{w_2} = \ldots = \sigma_{w_m}$. Тоді

$$R = (U^T U)^{-1} U^T \sigma_w^2 I_m \{(U^T U)^{-1} U^T\}^T = \sigma_w^2 (U^T U)^{-1} U^T U \{(U^T U)^T\}^{-1} =$$
$$= \sigma_w^2 (U^T U)^{-1} U^T U \{(U^T U)\}^{-1} = \sigma_w^2 (U^T U)^{-1},$$

(12.10)

де I_m – одинична матриця.

Погіршення обумовленості матриці $U^T U$ небезпечно для МНК тим, що дисперсії оцінок МНК стають надзвичайно великими. Якщо за критерій якості прийняти середньоквадратичну помилку, то рівняння (12.9) можна записати (Golub & Van Loan, 2013):

$$R = \sigma_w^2 (U^T U)^{-1} = \sigma_w^2 tr(U^T U)^{-1} = \sigma_w^2 \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\lambda_i},$$

(12.11)

де λ_i – власні числа матриці $(U^T U)$.

По мірі погіршення обумовленості матриці $(U^T U)$, λ_{min} зменшуються (Golub & Van Loan, 2013), а якість отриманого рішення погіршується. І при λ_{min}, яке прагне до 0, середньоквадратичне відхилення (СКВ) σ прямує до нескінченності.

Обчислювальні складності МНК можна перебороти, використовуючи замість МНК метод циклічної мінімізації квадратичного функціонала. Часові витрати в даному алгоритмі при пошуку оптимальної структури полінома зменшуються, тому що пошук рішення здійснюється тільки для тих підсистем, які з заданою ймовірністю (0,95) дозволяють інтерпретувати результати спостережень (Golub & Van Loan, 2013).

Розроблений алгоритм, реалізований автором у пакеті прикладних програм РКОМВ, може бути рекомендований для моделювання в ГІС в управлінні територіями при порівняно невеликому числі аргументів.

Для розширення можливостей даного алгоритму доцільно розробляти більш досконалі схеми перебору, які дозволяють зменшити час обчислення і збільшити число варійованих факторів. Зокрема, можуть бути рекомендовані алгоритми відновлення поліноміальних моделей за допомогою більш досконалих підходів – регуляризуючого і ортогоналізуючого функціоналів та ортогональних багаточленів, застосування яких потребує додаткових досліджень.

12.3. Розв'язок задач геоекологічного прогнозування за допомогою регуляризуючого функціоналу

Запишемо рівняння регресії в матричному вигляді:

$$W = UB, \qquad (12.12)$$

де W – вектор-стовпець вихідних параметрів розмірності $(m \times 1)$;

U – матриця спостережень розмірності $(m \times n)$;

B – вектор коефіцієнтів відновлюваного полінома розмірності $(n \times 1)$.

Розв'язок системи (12.12) шукається шляхом мінімізації квадратичного функціонала виду (Tikhonov & Arsenin, 1977):

$$F = (W - UB)^T (W - UB) + \alpha B^T B, 0 < \alpha << 1. \qquad (12.13)$$

Функціонал (12.13) відносно компонент B є невід'ємно визначеною квадратичною формою і за кожною компонентою b_j вектора B при

зафіксованих значеннях інших компонент має мінімум. Значення компоненти b_j, що відповідає локальному мінімуму функціонала F за цією компонентою, можна визначити з умови

$$\left(\frac{\partial F}{\partial b}\right) = 0. \qquad (12.14)$$

Позначимо j-й стовпець матриці U через U_j: $U = \left[u_1, \ldots, u_k, \ldots, u_j, \ldots u_n\right]^T$, а через B – вектор-стовпець, отриманий з вектора B шляхом обнуління у ньому j-ї компоненти: $B_j = \left[b_1 \ldots b_{j-1}, 0, b_{j+1} \ldots b_n\right]^T$.

Тоді, з урахуванням умови (12.14) і прийнятих позначень, j-а компонента вектора B, яка відповідає мінімуму функціонала F за цією компоненті, буде дорівнювати

$$b_j = \frac{\left(W - UB_j\right)^T U_j}{U_j^T U_j + \alpha}. \qquad (12.15)$$

Спрямовуючи параметр α до нуля (Tikhonov & Arsenin, 1977), можна наблизити рішення системи до нормального.

Блок-схема алгоритму відновлення поліноміальної моделі наведена на рис. 12.2.

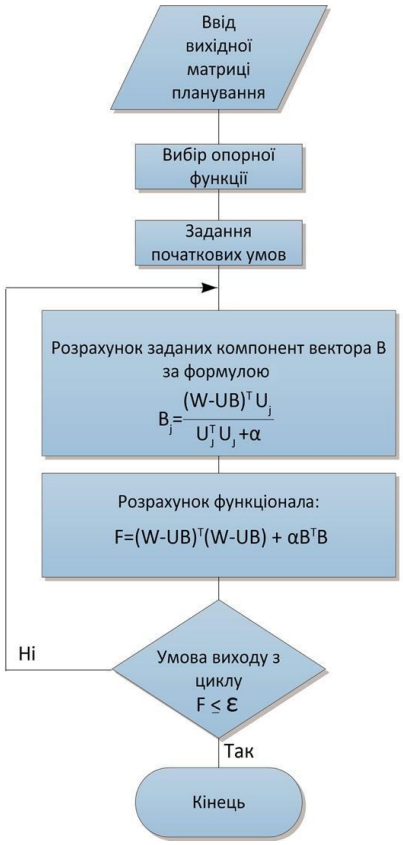


Рис. 12.2. *Блок-схема алгоритму відновлення поліноміальної моделі за допомогою регуляризуючого функціонала*

Послідовний циклічний перебір компонент вектора B_j триває до досягнення заданої величини зміни ΔF на декількох кроках або до моменту,

коли функціонал (12.13) почне зростати через накопичення похибок округлення.

Розглянутий обчислювальний процес є завжди стійким, збіжним і може слугувати основою для одержання рішень систем (12.12), які володіють заданими властивостями (Tikhonov & Arsenin, 1977).

Для оцінки якості відновлення багатомірної регресії вирішувалася тестова задача. Як опорна функція обраний поліном 3 ступеня:

$$w = b_1u_1 + b_2u_2 + b\ {}_3u_3 + b_4u_1^2 + b_5u_2^2 + b_6u_3^2 + b_7u_1^3 + b_8u_2^3 + \\ + b_9u_3^3 + b_{10}u_1u_2 + b_{11}u_1u_3 + b_{12}u_2u_3 + b_{13}u_1u_2u_3. \qquad (12.16)$$

У відповідності з рекомендаціями теорії планування експериментів була складена матриця планування (табл. 12.1).

У подальшому, ”забувши” вихідний поліном, відновлювалася його структура за допомогою МНК і регуляризуючого функціонала.

При відсутності помилок вимірів відгуків (w_i) як МНК, так і регуляризуючий функціонал дозволяють достатньо точно відновити структуру вихідного полінома – коефіцієнти відновлюваного полінома співпадають з вихідними коефіцієнтами (табл. 12.2, рис. 12.3).

Таблиця 12.1

Матриця планування

№	U_1	U_2	U_3	U_4
1	1.000	0.494	-0.368	7.8659
2	0.561	0.382	0.425	5.0625
3	-1.000	-0.220	-1.000	-5.126
4	0.705	-1.000	0.380	4.0704
5	-0.675	0.864	-0.098	-2.1412
6	0.113	0.344	0.120	1.019
7	0.325	0.692	1.000	2.2259
8	0.258	0.659	0.535	3.7693
9	-0.495	0.114	0.224	-1.804
10	-0.046	0.617	-0.414	-0.1212
11	0.396	1.000	-0.430	3.5319
12	0.750	0.125	0.034	5.3197
13	-0.059	0.806	0.394	1.6305
14	0.276	0.908	-0.790	1.6839
15	-0.088	0.862	0.147	1.0737

Однак при накладенні на вихідні дані похибок ($\sigma_i = 1\%$) ефективність розглянутих методів виявляється істотно різною.

Результати розрахунків коваріаційної матриці відхилень коефіцієнтів відновлюваного полінома (12.16) при використанні МНК наведені в табл. 12.2.

Таблиця 12.2

Результати розрахунків відновлення поліномів за допомогою регуляризуючого функціонала

Номер коефіцієнта полінома		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дійсні значення коефіцієнтів		4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
Коефіцієнти відн. полінома без урахування зашумлення	МНК	4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
	Регуляризуючий функціонал	4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
D% відн. Коефіцієнта з урахуванням зашумлення	МНК	18,1	11,0	14,8	5,3	19,0	6,9	79,4	22,7	7,2	7,6	93,1	30,0	160
	Регуляризуючий функціонал	1,8	1,35	1,68	2,05	1,37	2,21	1,67	1,31	1,75	2,20	1,84	2,03	5,15

Випадкова складова $\Delta B^{(i)}$, яка отримується при розв'язанні задачі за допомогою регуляризуючого функціонала, дорівнює (Tikhonov & Arsenin, 1977; Engl, et al., 1996).

$$\Delta B^{(i)} = Q^{-1}C^{(i)}C^{-1}Q^{T}U\Delta W. \qquad (12.17)$$

Позначивши $P = Q^{-1}C^{(i)}C^{-1}Q^{-1}U^{T}$, знайдемо коваріаційну матрицю для оцінок рішень:

$$\Gamma = M\left[\Delta B^{(i)}\left(\Delta B^{(i)}\right)^{T}\right] = M[(P\Delta W)(P\Delta W)^{T}] = PM[\Delta W\Delta W^{T}]P^{T}$$

Або

$$\Gamma = P\begin{bmatrix} \sigma_{w_i}^2 & . & . & . & cov(w_1 w_n) \\ . & & & & \\ . & & & & \\ . & & & & \\ cov(w_1 w_n) & . & . & . & \sigma_{w_n}^2 \end{bmatrix}P^{T} = PGP^{T}, \qquad (12.18)$$

де G – коваріаційна матриця ΔW.

Результати розрахунків представлені в табл.12.2 і на рис. 12.3, де видно що, СКВ коефіцієнтів полінома, відновлених за допомогою регуляризуючого функціонала, не перевищують 2...3%.

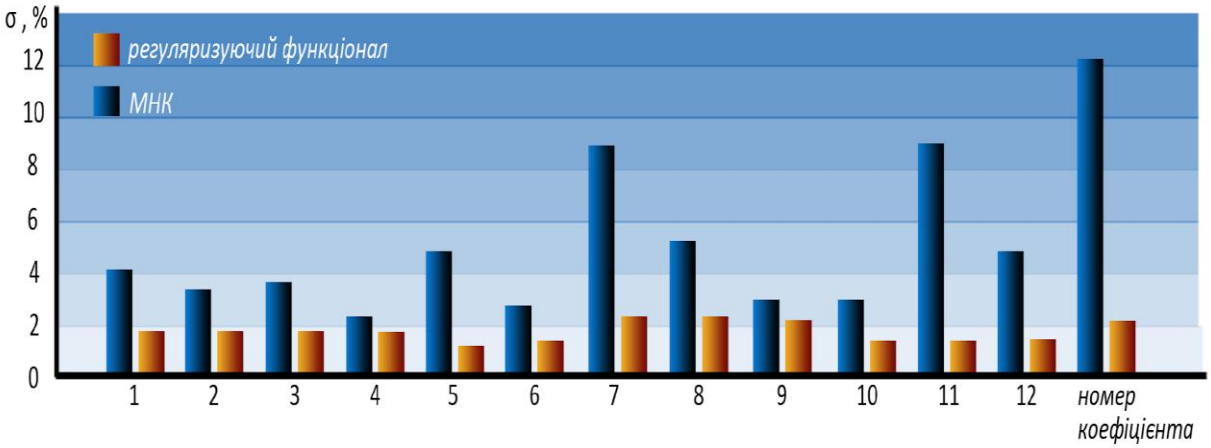


Рис.12.3. *Візуалізація результатів апроксимації поліноміальних залежностей із застосуванням регуляризуючого функціонала*

Наведений приклад ілюструє прийнятну обумовленість обчислювального процесу розробленого алгоритму.

Проте недоліки, відзначені в (Björck, 1996), даним алгоритмом повністю усунути не вдається. Для швидкої організації вибору оптимальної структури відновлюваних поліномів необхідно максимально використовувати результати попередніх обчислень. Це можна досягти, використовуючи ортогональні багаточлени.

Розроблені математична модель і пакет програм для відновлення поліноміальних моделей за допомогою регуляризуючого функціонала можуть бути рекомендовані для практичних задач геопросторового моделювання та геоекологічного прогнозування в умовах недостатньої обумовленості задачі.

12.4. Розв'язок задач геоекологічного прогнозування за допомогою ортогоналізуючого функціоналу

Запишемо рівняння регресії в матричному вигляді:

$$W = UB, \tag{12.19}$$

де W – вектор спостережень вихідної величини, розмірності $(m \times 1)$;

U – матриця спостережень варійованих факторів розмірності $(m \times n)$, $(m < n)$;

B – вектор коефіцієнтів, розмірності $(n \times 1)$.

Пошук рішення системи (12.19) будемо здійснювати шляхом мінімізації ортогоналізуючого функціонала (Tikhonov & Arsenin, 1977):

$$F = (W - UB)^T (W - UB) + B^T RB, \tag{12.20}$$

де R – квадратна симетрична матриця, яка дорівнює

$$R = \frac{1}{\Psi}\sum_{\nu=1}^{\Psi} B_\nu B_\nu^T. \qquad (12.21)$$

Якщо система рівнянь (12.19) має вектор рішення, ортогональний заданій системі векторів, то мінімум функціонала (12.20) буде наближеним до нуля. У протилежному випадку мінімум функціонала (12.20) буде істотно більше нуля.

При відповідному формуванні матриці R можна за допомогою функціонала (12.20) виявити рішення системи (12.19), вектор якого має мінімум значимих компонент. Позначимо це рішення через $B_Д$ і назвемо його діагностичним. Таке рішення може бути дуже корисним при відновленні поліноміальної моделі просторового об'єкта оптимальної складності.

Як перший крок для системи (12.19) знаходяться $B_1, B_2, \ldots B_n$ різних рішень шляхом мінімізації квадратичного функціонала нев'язки

$$F = (W - UB)^T (W - UB) \qquad (12.22)$$

при нульових початкових умовах.

Як доведено в праці (Tikhonov & Arsenin, 1977), в отриманих рішеннях відображаються значимі компоненти діагностичного рішення. Якщо їх виявити, то з'явиться можливість істотно зменшити час перебору варіантів. Для цього необхідно сформувати множину векторів B_ν, кожний з яких є різницею двох векторів рішень:

$$B_\nu = B_I - B_J,\ i = \overline{1,(n-1)};\ j = \overline{2,n};\ \nu = \overline{1,\psi};\ \Psi = \frac{n(n-1)}{2} \qquad (12.23)$$

і зажадати, щоб нове рішення системи (12.19) було ортогональним множині векторів B_ν. У отриманому рішенні забезпечиться "пригнічення" тих компонент вектора рішення, які не відносяться до рішення $B_Д$. Ортогоналізуючий функціонал, який відповідає поставленій умові, має вигляд

$$F = (W - UB)^T (W - UB) + B^T R B. \qquad (12.24)$$

Локальний мінімум функціонала (12.24) за j-ою компонентою векторів B буде відповідати b_j, яке дорівнює

$$b_j = \frac{U_j^T W - (U_j^T U + R_j^T) B_j}{U_j^T U_j + r_{jj}}, \qquad (12.25)$$

де r_{jj} – діагональний елемент матриці R;

R_j – j-й стовпець матриці R.

Якщо задана множина векторів є ядром матриці U, то рішення, отримане шляхом мінімізації функціоналу (12.24), буде нормальним рішенням.

Функціонал (12.24) забезпечує стійкий пошук значимих компонент вектора рішень $B_Д$. Однак в умовах сильної зашумленості вектора W можуть виявитися деякі недоліки:

– сильно пригнічуються ті компоненти вектора рішення, які є "великими" за абсолютною величиною в статистиці рішень $B_i, i = \overline{1,n}$ і мають істотний розкид;

– слабо пригнічуються ті компоненти вектора рішення, які хоч і мають великий розкид у статистиці рішень, але малі за абсолютною величиною.

Зазначені недоліки можна усунути нормуванням компонент різницевих векторів B_v шляхом ділення кожної компоненти $B_i^{(v)}$ векторів B_v на автокореляційну функцію, знайдену за статистикою рішень B_n (Зацерковний та ін., 2011b):

$$k = \frac{1}{\psi \sum_{q=1}^{n-1} \sum_{\lambda=q+1}^{n} b_q^{(i)} b_\lambda^{(i)}}, \quad \psi = \frac{n(n-1)}{2}. \tag{12.26}$$

Введемо діагональну матрицю K_R^{-1} розміру n:

$$K_R^{-1} = \begin{vmatrix} \frac{1}{k_1} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ \cdot & & & & & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{1}{k_n} \end{vmatrix} \tag{12.27}$$

Тоді нормований вектор B буде дорівнювати

$$B_v^{(H)} = K_R^{-1} B. \tag{12.28}$$

Вирази (12.21) та (12.24) з урахуванням виразів (12.27) і (12.28) приймуть вид:

$$F^{(H)} = (W - UB)^T (W - UB) + B^T R_H B, \tag{12.29}$$

$$R_H = \frac{1}{\psi} \sum_{v=1}^{\psi} K_R^{-1} B_v B_v^T K_R^{-1} = K_R^{-1} R K_R^{-1}. \tag{12.30}$$

Ортогоналізуючий функціонал (12.24) забезпечує відображення у векторі рішення тільки тих компонент, які в статистиці рішень мають невеликий розкид за абсолютною величиною, а ортогоналізуючий функціонал (12.29) виявляє й ті компоненти, які в статистиці рішень є "великими" за

абсолютною величиною, але малі за відносною величиною розкиду. Якість отриманого рішення оцінюється за допомогою функціонала

$$F = (Y - BX)^T (Y - BX). \quad (12.31)$$

Для оцінки якості відновлення вихідної структури полінома вирішувалася тестова задача. Як вихідні функції обраний поліном

$$w = 2.0u_1 + 1.4u_2 + 0.9u_3. \quad (12.32)$$

У відповідності з рекомендаціями теорії планування експериментів (Draper & Smith, 1998) була складена матриця планування $m<n$ (табл. 12.3).

Таблиця 12.3

Матриця планування

	U_1	U_2	U_3	W
1	1.0	0.494	-0.368	2.361
2	0.5613	0.382	0.425	2.0395
3	-1.0	-0.22	-1.0	-3.208
4	0.705	-1.0	0.38	0.352
5	-0.675	0.864	-0.098	-0.2286
6	0.396	1.0	-0.43	1.805
7	-0.325	0.692	1.0	1.219

У подальшому, ”забувши” рівняння (12.32) і обравши опорним свідомо переускладнений поліном 3 степеня

$$w = b_1u_1 + b_2u_2 + b\ {}_3u_3 + b_4u_1^2 + b_5u_2^2 + b_6u_3^2 + b_7u_1^3 + b_8u_2^3 + b_9u_3^3 + b_{10}u_1u_2 + b_{11}u_1u_3 + b_{12}u_2u_3 + b_{13}u_1u_2u_3,$$

за допомогою функціонала отримали рішення, ранжирувані компоненти якого представлені у табл. 12.4.

Пошук діагностичного рішення (табл. 12.4.) здійснюється шляхом послідовного виключення менш значимих компонент з наступною перевіркою якості отриманого рішення на основі ймовірнісної оцінки сумісності перерозширених підсистем (Anderson, 2003).

Таблиця 12.4

Ранжирувані компоненти

Номер коефіцієнта полінома	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Відновлення значення коеф. полінома	1,53	1,35	1,15	0,35	0,1	-0,47	0,34	0,046	-0,15	0,21	0,16	0,027	-0,17
Номер коефіцієнтів у ранжир. вигляді	1	2	3	5	11	4	6	12	10	7	9	13	8

Результати розрахунків, представлені в табл. 12.5, свідчать, що розроблений алгоритм може бути рекомендований для відновлення поліноміальних моделей просторових явищ, процесів, що досліджуються в ГІС, при відсутності апріорної інформації про значимість факторів і недостатньої кількості експериментальних даних і коли послідовний перебір усіх підсистем вимагає значних витрат машинного часу.

Таблиця 12.5

Пошук діагностичного рішення

Номер коефіцієнта полінома	1	2	3
Значення коефіцієнтів відновлення полінома	1,997	1,399	0,895
Середнє значення нев'язки	$0{,}1175 \cdot 10^{-4}$		

12.5. Розв’язок задач геоекологічного прогнозування за допомогою ортогональних багаточленів

Відновлення поліноміальних моделей об’єктів ортогональними багаточленами дозволяє, поряд з покращенням обумовленості задачі, істотно скоротити часові витрати на пошук оптимальної структури полінома, тому що додавання нового члена в рівнянні регресії

$$W = в_0 + в_1 u_1 + в_2 u_2 + \ldots + в_{19} u_1 u_2 u_3 \qquad (12.33)$$

не змінює раніше обчислених коефіцієнтів.

Задача вирішується в 2 етапи. На першому етапі визначається для заданої опорної функції нормальне рішення за допомогою регуляризуючого або ортогоналізуючого функціоналів (Isermann, 2011) з наступним ранжируванням компонент вектора рішення за абсолютною величиною. На другому – за допомогою ймовірнісної оцінки сумісності перерозширених підсистем здійснюється пошук сумісних підсистем з поступовим зменшенням кількості невідомих змінних.

При структурній ідентифікації використання оптимальних планів для відновлення поліноміальних моделей часто виявляється малоефективним. Це

зумовлено тим, що точні оптимальні плани (Draper & Smith, 1998), засновані на аналітичних виразах для інформаційної матриці Фішера і пов'язаних з нею величин, що характеризують той або інший критерій оптимальності, вдається теоретично дослідити на екстремум лише в окремих випадках. Тому навіть в лінійному випадку процедура побудови оптимального плану доволі громіздка. В математичній моделі залежність функції відгуку від варійованих параметрів зазвичай нелінійна, так що обчислювальні труднощі ще зростуть. Задачі такого типу можуть бути вирішені за допомогою методу статистичних випробувань (метод Монте-Карло) (Draper & Smith, 1998).

Перед тим, як приступити безпосередньо до ортогоналізації, доцільно натуральні фактори u_i перевести в кодовані $\bar{u}_i$. Перехід від натуральних змінних до кодованих здійснюється шляхом перенесення початку координат системи кодованих факторів $\bar{u}_i$в центр з координатами в натуральних змінних (Anderson, 2003):

$$u_{oi} = 0{,}5(uimin_{imax}) \quad . \tag{12.34}$$

Кодовані змінні обчислюються за формулою

$$\overline{u_i} = \frac{u_i - \frac{u_{imax}+u_{imin}}{2}}{\frac{u_{imax}-u_{imin}}{2}} \tag{12.35}$$

Повернення до натуральних змінних здійснюється за формулою

$$u_i = \overline{u_i} = \frac{u_{imax}-u_{imin}}{2} + \frac{u_{imax}+u_{imin}}{2} \quad . \tag{12.36}$$

Ортогональні багаточлени, отримані за допомогою ортогоналізації Грама-Шмідта, можна представити у вигляді

$$\overline{w_i} = \sum_{j=1}^{k} b_j^{(1)} L_j^{(1)} + \sum_{j=1}^{k} b_j^{(2)} L_j^{(2)} + \sum_{j=1}^{k} b_j^{(3)} L_j^{(3)} + \sum_{\psi=1}^{c_1} b_\psi^{(i,\psi)} L_\psi^{(i,\psi)} + \sum_{з=1}^{c_2} b_з^{(\nu,\phi,\mu)} L_з^{(\nu,\phi,\mu)},$$

де $j = \overline{1,k}$; $\psi = \overline{j+1,k}$; $i = \overline{1,k-1}$; $\nu = \overline{1,k-2}$; $\phi = \overline{\nu+1,k-1}$; $\mu = \overline{\phi+1,k}$;

$c_1 = \frac{(k-1)k}{2}$; $c_2 = \frac{k(k-2)(k-1)}{6}$;

$L_j^{(1)} = \overline{u_j}$ – для розрахунку лінійних членів розкладання;

$L_j^{(2)} = \overline{u_j^{(2)}} - 5\sum_{\nu=1}^{j-1} \frac{1}{9+5(\nu-1)} L_\nu^{(2)}$ – рекурентна формула для розрахунку квадратних членів розкладання.

Якщо $j = 1$, $L_1^{(2)} = \overline{u_1^2}$, то $L_j^{(3)} = \overline{u_j^{(3)}} - \frac{3}{5}\overline{u_j}$ – кубічні члени розкладання;

$L_\psi^{(i,\phi)} = \overline{u_i u_\psi}, i \neq \psi$ – члени парної взаємодії;

$L_з^{(\nu,\phi,\mu)} = \overline{u_\nu u_\phi u_\mu}, \nu \neq \phi \neq \mu$ – члени потрійної взаємодії.

Всі отримані багаточлени $L_j^{(1)}, L_j^{(2)}, L_j^{(3)}, L_\psi^{(i,\phi)}, L_з^{(\nu,\phi,\mu)}$ є взаємно ортогональними, в чому можна переконатися безпосередньою перевіркою:

$$(L_\nu^{(\rho)})(L_\omega^{(c)} = \int_{-1}^{1} \dots \int_{-1}^{1} f(\overline{x}_1, \dots, \overline{x}_n)\phi(\overline{x}_1, \dots, \overline{x}_n)dx_1, \dots dx_n = 0.$$

Для оцінки переваг пропонованого алгоритму вирішувалася тестова задача, описана в (Зацерковний, 2011b)1. Результати розрахунків представлені в табл.12.6 та на рис. 12.4.

Таблиця 12.6

Оцінка переваг розробленого алгоритму за допомогою ортогональних багаточленів

Номер коефіцієнта полінома		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Дійсні Значення коефіцієнтів		4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
Коефіцієнти відновлення полінома без врахування зашумлення	МНК	4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
	ортогональні багаточлени	4,8	0,2	1,3	1,8	0,9	1,0	1,03	0,8	0,9	1,1	0,4	0,4	1,6
D,% відновлення Коефіцієнта з врахуванням зашумлення	МНК	18,1	11,0	14,8	5,3	19,0	6,9	79,4	22,7	7,2	7,6	93,1	30,0	160
	ортогональні багаточлени	3,5	3,3	3,4	3,0	1,6	2,5	4,6	4,7	4,8	2,2	2,5	2,1	4,8

Як свідчить рис. 12.4, СКВ коефіцієнтів полінома, відновлених за допомогою ортогональних багаточленів, менше СКВ, відновлених за допомогою МНК, при зашумлених вихідних даних $\sigma = 1\%$ в 10...15 разів, що свідчить про високу ефективність розробленого алгоритму.

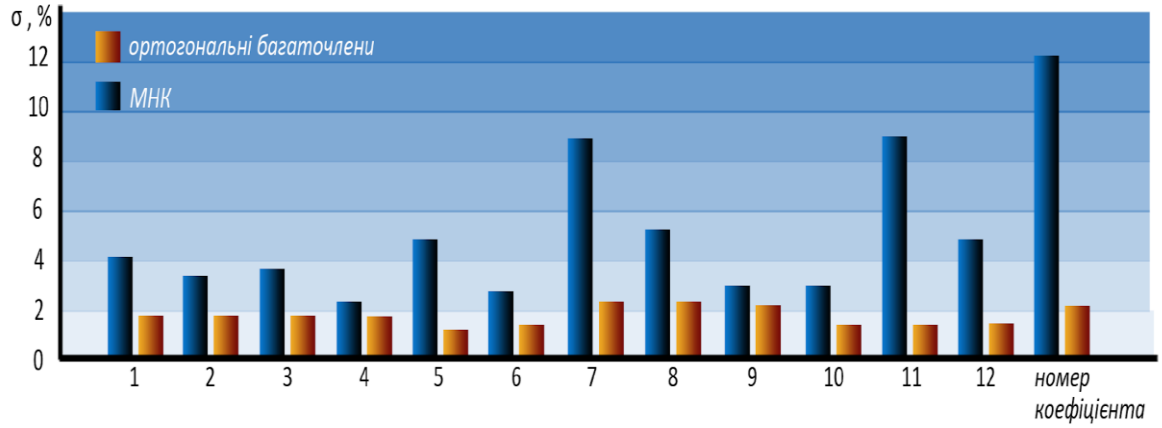


Рис. 12.4. *Візуалізація результатів розрахунків відновлення поліномів за допомогою ортогоналізуючого функціонала*

Запропонована методика створення еталонних моделей просторових об'єктів ГІС за допомогою ортогональних багаточленів дозволяє знайти

розв’язок в умовах недостатньо обумовленої задачі з прийнятним ступенем достовірності розрахунків для прогнозування в ГІС. Алгоритм може застосовуватись для розв’язання практичних задач геопросторового моделювання та геоекологічного прогнозування.

13. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ГІС У СИСТЕМУ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

13.1. Розробка моделі оцінки якості функціонування комплексу ГІС і системи управління територіями

Оскільки попередньо зазначалось про неможливість ізольованого експериментального дослідження ГІС поза функціонуванням у складі СУТ, то експериментальні дослідження ГІС доводиться виконувати при її експлуатації у складі СУТ. При цьому можна виділити чотири основних етапи експериментального дослідження ГІС:

– планування досліджень проведення випробувань;

– обробка даних випробувань;

– аналіз результатів випробувань;

– вироблення оцінки і рішень щодо удосконалення ГІС в управлінні територіями, її складових (підсистем і елементів).

Планування досліджень полягає у розробці дій у просторі й часі. Програма експериментальних досліджень повинна створюватися паралельно зі створенням ГІС в СУТ. Більше того, в структурі ГІС, в її компоновці повинні бути враховані вимоги, що висуваються до випробувань.

При реалізації програми випробувань можливі впливи збурень як у навколишньому середовищі, так і в ГІС в СУТ, через внутрішні і зовнішні чинники. Отже, необхідно бути готовим до вироблення оперативного рішення з координації програми випробувань або компенсації впливів збурення. Зазвичай оптимальність цих заходів у значному ступені визначається наявністю часових, людських і матеріальних резервів, які повинні бути передбачені на етапі планування випробувань.

Припустимо, що ГІС в СУТ відповідає заданим вимогам, при цьому ймовірність розв’язання задачі управління становить

$$P\{r[A_u x, A_p[c(t,z,k]x] > \Delta,\ k \in M,\ z \in M_z,\ t \in (t_H, t_H + T) \quad \} \le \varepsilon;$$
$$\phi_l\{A_p[c(t,z,k)]\} \le \Gamma_l \qquad l = \overline{1,\theta},$$

(13.1)

де $A_u x = y$ – заданий результат спостереження й оцінки об’єкта x в ГІС;

A_u – оператор гіпотетичної (запланованої) системи;

$A_p[c(t, z, k)]$ – оператор реальної системи.

При цьому критерій якості r (узгоджений з критерієм R)

$$r[A_u x,\ A_p[c(t,\ z,\ k)\ x]] = r\ (t,\ c,\ k), \qquad (13.2)$$

де $\Delta,\ T,\ \varepsilon,\ \Gamma_l$ – додатні числа;

$t_н$ – момент часу – початок роботи ГІС,

$\phi_l\{A_p[c(t,z,k)]\}$ – функціонали;

θ – додатне ціле число.

Будемо вважати, що задані умови експлуатації ГІС в СУТ (розподіл $p(z)$ впливу $z(t)$; характеристики точності засобів спостереження, вимірювань та оцінки (розподіл $p(k)$ значень фізичних моделей з множини G); властивості елементної бази апаратних засобів ГІС (розподіл $p[c(t,z)]$ їх параметрів c, що залежать від часу t та зовнішніх впливів $z(t)$.

Сформулюємо узагальнені вимоги до ГІС в СУТ. Імовірність того, що повна помилка $r(c,k,t)$ ГІС (рис. 13.1) перевищує задану величину Δ_g (припустима межа) у кожний момент часу t протягом інтервалу ($t_н,\ t_н+T$) її експлуатації в заданих умовах $z(t)$ не повинна перевищувати заданої величини ε (допуск на довговічність), а також система повинна задовольняти ряду додаткових вимог, обмежуючих певну кількість θ її показників – функціоналів $\phi_l\{A_p[c(t,z,k]\}$ (вартість, об'єм пам'яті програмних продуктів, час спостереження, вимірювання та обробки даних тощо) – значеннями A_l.

Задача оцінки якості системи – це задача оптимізації функціонування системи. Кількісний аспект цієї задачі – забезпечення мінімізації відхилення реального результату від запланованого (мінімізація помилки системи, отримання певної точності системи).

Таким чином, у зв'язку з імовірним характером усього процесу доцільно розглянути його як імовірнісну задачу. Якщо $\Delta>0$ – зона припустимих значень отриманого результату, а ε – ймовірність виходу результату за межі зони припустимих значень, то ймовірність:

$$P\ (r \le \Delta) = 1 - \varepsilon,\ \ r = r(y_o,\ y),$$

де r – розбіжність між заданим (y_o) та отриманим результатом (y).

Складність задачі оптимізації управління територіальним утворенням обумовлюється також обмеженням ресурсів для управління системою (Mitchell, 1999; Patrakieiev, 2011; Pontryagin et al., 1962; Power, 2002; Zadeh, 1996). Вважаємо, що в моделі задані:

– зовнішні та внутрішні умови реалізації задачі у вигляді ймовірності $P(z)$ збурень, що заважають системі управління територією функціонувати $Z(t)$;

– точність ("розрізненність") засобів ГІС в СУТ у вигляді ймовірності $P(k)$ значень оцінки результату;

– властивості інформаційних даних у вигляді ймовірності $P[c(t,z)]$ їх параметрів c, які залежать від часу t і зовнішніх збурень $z(t)$.

Характер обмежень визначається видом функціоналів $\phi_l\{A_p[c(t,z,k)]\}$ і кількістю функціоналів θ, а також величинами Γ_l, які обмежують значення функціоналів. Ці обмеження можна класифікувати таким чином:

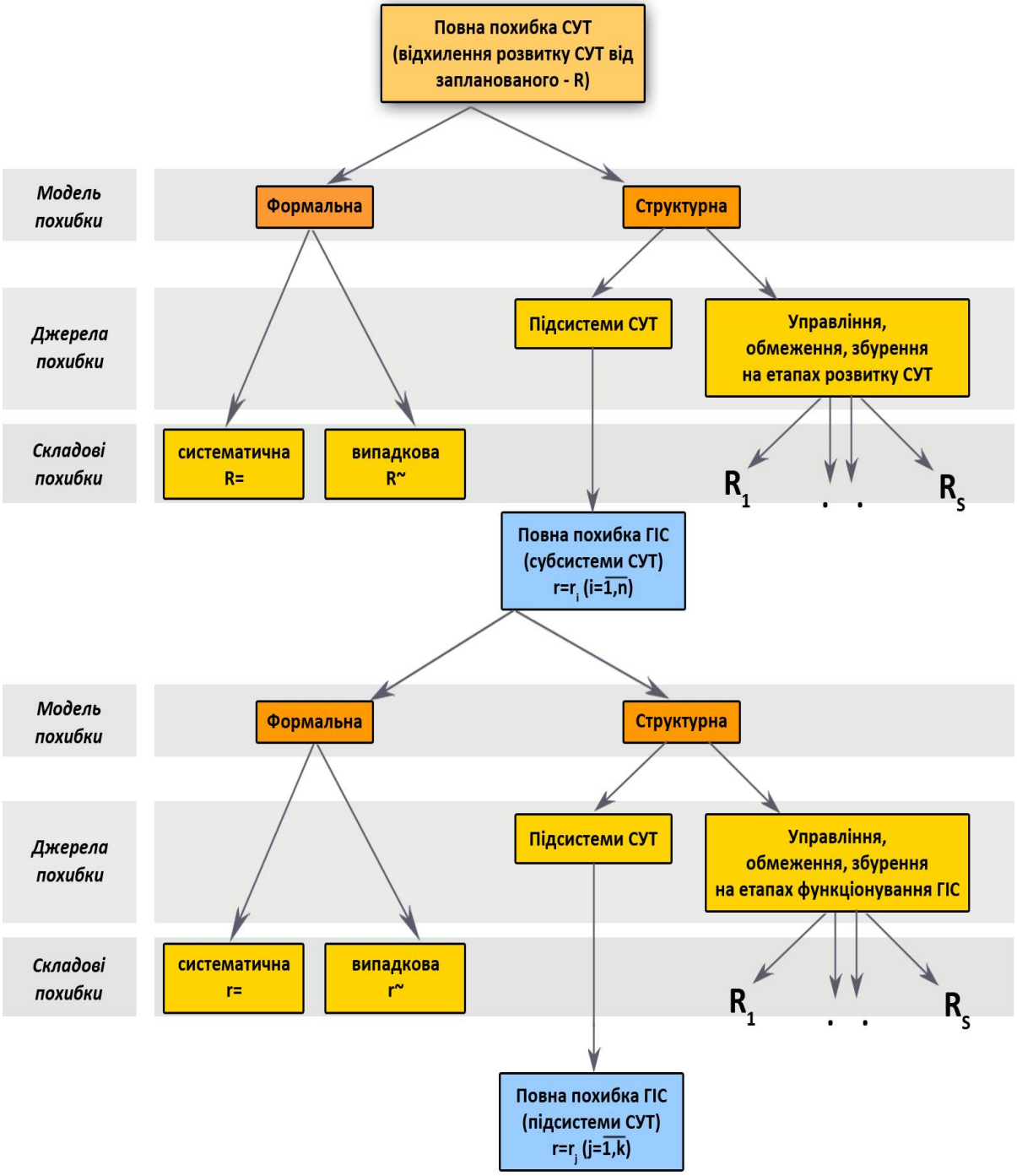


Рис. 13.1. *Схема складових повної помилки ГІС в управлінні територіями*

– політично-правові, пов'язані з недосконалістю законодавства, нормативної бази тощо;

– фінансові (або фінансово-економічні), пов'язані з нестачею коштів та складністю їх розподілу в СУТ;

– ресурсні (економічні), пов'язані зі складністю сучасного введення сировинних, промислових, інформаційних та інших ресурсів;

– технічні, пов'язані з недосконалістю технічних систем, їх недостатньою точністю, оперативністю вирішення задач спостереження та вимірювання;

– конструктивні (технологічні), пов'язані з прийнятою схемою побудови ГІС в СУТ, застосуванням конкретних обчислювальних ІС.

Нагадаємо, що показником якості управління будуть величини Δ, ε.

Щоб їх оцінити, необхідно дослідити потенційні можливості СУТ. Сформуємо вихідні дані.

1. Оператор $A_p\ (u,\ w,\ t)$ описує об'єкт управління – реальну ГІС в управлінні територіями, яка залежить від управління u, неконтрольованих збурень w та заданого часу t циклу "управління – контроль – корегуючий вплив".

2. Початковий стан: $A_u = A^{(0)}(u^{(0)}, u^{(0)}, t_н)$, де $A_u x = x \in M$, x– теоретична математична модель управління територією, A_u – оператор теоретичної СУТ, M – тезаурус.

3. Мета управління – досліджувана модель СУТ.

4. Множина припустимих коригуючих впливів (управлінь):

$$U = \{u: \phi_l(u) \le \Gamma_l, l = \overline{1,0}\},$$

де $\phi_l(u)$– функціонали обмежень.

Тут константи мають значення гранично допустимих значень вказаних ресурсів.

Критерій якості управління

$$r(y_u, y_p) = r[A_{ux}, A_p(u,w,t)x] \qquad (13.3)$$

має значення повного відхилення отриманого результату від заданого та представляє собою статистичний функціонал, який залежить від наявної інформації про критерій якості СУТ та про ймовірнісні характеристики неконтрольованих обурень. Очевидно, що задача оптимального управління якістю буде мати вид

$$U^*_{opt} = \arg\min r\left[y_u, y_p(u)\right] = \arg\min r\left[A_{ux}, A_p(u,w,t)x\right], \quad u \in U \qquad (13.4)$$

або

$$r[y_u, y_p(U^*_{opt})] \le r[y_u, y_p(u)], \quad \forall u \in U$$

Вираз можна встановити у вигляді

$$\begin{cases} P[r(u) > \Delta, t \in (0,T)] < \varepsilon \\ (u) \le C \end{cases}, \quad (13.5)$$

де C – вартість, яка характеризує витрати ресурсів.

Можливі різні розв'язки задачі оптимізації СУТ при варіюванні показниками, при цьому можна виявити такі критерії оптимальності.

Критерій імовірності виконання задачі ("P – критерій"):

$$\begin{cases} U^*_{Popt} = argmin\, P\,(u) \\ u \in U \\ \Delta, T, C = const \end{cases}. \quad (13.6)$$

Якщо $P\,(U^*_{opt}) \le \varepsilon$, то вимога (13.4) виконується.

Критерій точності ("Δ – критерій"):

$$\begin{cases} U_{\Delta opt} = argmin\, \Delta\,(u) \\ u \in U \\ \varepsilon, T, C = const \end{cases}. \quad (13.7)$$

Критерій довговічності ("Т – критерій") характеризує функціонування СУТ у заданому режимі протягом тривалого часу:

$$\begin{cases} U^*_{Topt} = argmin\, T\,(u) \\ u \in U \\ \varepsilon, \Delta, C = const \end{cases}. \quad (13.8)$$

Критерій вартості ("С – критерій"):

$$\begin{cases} U^*_{Copt} = argmin\, C\,(u) \\ u \in U \\ \varepsilon, \Delta, T = const \end{cases}. \quad (13.9)$$

З виразів (13.6, 13.7, 13.8, 13.9) видно, що всі оптимальні управління u^* неоднакові. Невизначеність у виборі критерію потребує додаткової інформації, що враховує зміст складових ГІС в СУТ та їх роль. При цьому існує сенс застосування критерію «зваженої комбінації»:

$$\sum_{i-1}^{k\Sigma} \lambda_i x_i(u) = max, \quad (13.10)$$

де $\lambda_i \ge 0, \sum_{i-1}^{k} \lambda_i = 1$ – "вага" функціоналів.

Ваги складових СУТ (і функціоналів, що їх виражають) будуть залежати від низки чинників, таких як важливість та ефективність заходів розвитку ГІС в СУТ, автоматизації функцій (для отримання заданого результату); вартості заходів; термінів здійснення заходів; охоплення заходів ГА; ступеня

інтелектуалізації системи; ступеня ймовірності здійснення заходів в умовах зміни економічної ситуації тощо.

Функціонали *P, Δ, T, C* є функціями великої кількості змінних, що робить задачу пошуку екстремуму функції досить складною і практично нерозв'язною. Тому для організації оптимального управління ГІС територіальними об'єктами доцільно виконати декомпозицію комплексної задачі на підсистеми, тобто поділити управління за галузями, напрямами та окремим тематичними проектами, підсистемами тощо, поєднуючи його з комплексним управлінням, яке враховує обмежену кількість компонентів (компонентно-вибірний принцип). Тоді вираз (13.5) можна представити у вигляді

$$\begin{cases} P\{r[A_0x, B(u,w,t)A_0x] > \Delta, t \in (0,T) \le \varepsilon \\ \phi[B(u,w,t)A_0x] \end{cases}. \qquad (13.11)$$

При цьому введемо позначення:

$B(u^*, w = B_s(u_s^*, w_s), \ldots, B_1(u_1^*, w_1)$ – оператор надсистеми (СУТ, ГІС);

$B_i(u_i^*, w_i)$ – оператор підсистем;

S – кількість підсистем;

u_i^*, w_i – керуючі впливи та неконтрольовані збурення для *i*-ої галузі, напряму: $u^* = (u_1^*, \ldots, u_s^*) \in U$– вектор керуючих впливів, U – множина керуючих впливів, яка обмежена існуючими ресурсами;

$w^* = (w, \ldots, ws) \in \Omega$, $w_i \in \Omega_i$, $i = \overline{1,s}$ – вектор неконтрольованих збурень, результат дії усіх імовірнісних механізмів, що діють у надсистемі;

Ω_i $i = \overline{1,s}$ – простір елементарних подій w_i;

$\Omega = \Omega_1 x, \ldots, \Omega_s x$ – повний простір елементарних подій.

Вираз (13.3) можна переписати у вигляді

$$\begin{cases} P\{r[A_0x, B_s(u_s, w_s, t), \ldots, B_1(u_1, w_1, t)A_0x] > \Delta t\} \\ t \in (0,T)\} \le \varepsilon \\ \phi[B_s(u_s, w_s, t), \ldots, B_s(u_s, w_s, t)A_0x \le C \end{cases}.$$

(13.12)

Стан ГІС в СУТ можна розглядати як результат керуючих впливів, що реалізуються на кожному етапі еволюції системи, що свідчить на користь спіральної моделі створення ГІС, тобто управління має багатокроковий характер

$$u = (u_1, u_2, \ldots, u_s) \in U. \qquad (13.13)$$

Оптимальне управління відносно прийнятого критерію має вигляд

$$U^*_{opt} = (U^*_{1opt}, U^*_{2opt}, ..., U^*_{Sopt}) \in U \quad . \qquad (13.14)$$

При цьому загальний ефект повинен представляти собою суму (добуток) ефектів на окремих етапах розвитку СУТ (у тому числі й ГІС).

У процесі експериментального відпрацьовування розвязуються такі задачі:

1) оцінка досконалості конструктивно-схемних рішень з метою визначення оптимального за експлуатаційно-технічними показниками варіанту системи, яка забезпечує виконання заданих вимог;

2) виявлення помилок, допущених при проектуванні системи, виробничих дефектів і конструктивних відмов, й доробка у відповідності з цим ГІС в СУТ з метою доведення її експлуатаційно-технічних показників до заданих значень;

3) оцінка істинних значень показників, досягнутих на певний момент відпрацювання і прогнозування змін цих показників у процесі експлуатації;

4) уточнення характеристик окремих апаратних і програмних блоків та агрегатів ГІС як об’єктів регулювання і зовнішніх впливів з метою корегування вихідних даних, проектної документації, а також технічного завдання на розробку системи;

5) розробка рекомендацій щодо експлуатації ГІС в СУТ.

При дослідженні якості будь-якої системи, у тому числі й ГІС в СУТ, розрізняють статичні і динамічні характеристики, тобто показники якості самої системи як об’єкта виробництва і показники якості процесу її функціонування, що характеризує ступінь пристосованості системи для розв’язку поставленої перед нею задачі, для досягнення мети операції, яка реалізується цією системою. Якість процесу функціонування системи (ПФС) й буде ефективністю.

Сформулюємо загальну задачу оцінки якості ГІС в СУТ.

Досліджувана ГІС володіє сукупністю (множиною) властивостей, які визначають її якість відповідно до її призначення. При цьому властивості об’єкта ГІС у СУТ, що не пов’язані з його призначенням, вважаються такими, що не впливають на його якість. Кожна з властивостей об’єкта ГІС може бути кількісно описана за допомогою певної змінної, значення якої і буде характеризувати його якість відносно цієї властивості (показник властивості об’єкта). Якість об’єкта відносно його призначення характеризується значеннями сукупності показників властивостей, необхідних для досягнення задачі, що стоїть перед ним (показник якості об’єкта), тобто у загальному випадку показник якості об’єкта – це вектор, компонентами якого є показники його властивостей.

У випадку, коли істотною щодо призначення об’єкта є лише одна його властивість, показник якості містить лише одну компоненту, тобто є скаляром. Кожна з властивостей об’єкта визначається множиною інших його властивостей, і, отже, кожний показник властивості, а, значить, і показник якості, може бути представлений у вигляді функції інших показників

властивостей (узагальнений показник). У загальному випадку досліджуваний об’єкт може мати декілька призначень і за усіма володіти різними рівнями якості.

Функціональні показники характеризують властивості об’єкта, які є корисними з точки зору його прямого призначення, тобто його функцій.

Економічні показники характеризують, з одного боку, витрати, необхідні для придання об’єкту потрібних якостей, а, з іншого, – економічний ефект від його застосування. Залежно від призначення об’єкта показники його якості можуть відноситись до будь-якого з цих класів.

Бажана якість об’єкта задається умовами, що задовольняють значенням показників його якості (критеріями оцінки якості об’єкта), а перевірка можливості їх виконання – оцінюванням якості об’єкта.

Набір показників якості, що підлягає оцінюванню, повинен відображувати лише сукупність властивостей об’єкта, істотних при визначенні ступеня його відповідності призначенню, і визначається умовами його функціонування.

Множина критеріїв оцінки якості об’єктів може бути розбита на три класи:

– критерії придатності;

– критерії оптимальності;

– критерії переваги.

Нехай $yij[i = 1(1)m;\ j = 1(1)n]$ – символ *i-ї* властивості *j*-го об’єкта, тобто показник якості *j*-го об’єкта є вектор $Y^{j}_{<m>} = [y_{1j}, y_{2j}, \ldots, y_{mj}]$; $y^{д}_{ij}$– множина припустимих значень показника y_{ij}. Тоді критерії перерахованих класів мають такі вигляди.

Критерій придатності:

$$G: \bigcap_{i=1}^{m}(y_{ij} \in \left|y^{д}_{ij}\right|),\ \ [j = 1(1)n]. \qquad (13.15)$$

За визначенням, об’єкти, для яких виконуються умови (13.6), володіють однаковою якістю.

Критерій оптимальності:

$$0: \bigcap_{i=1}^{m}(y_{ij} \in \left|y^{д}_{ij}\right|) \bigcap_{k\in\{k\}_{m_0}} \bigcap(y_{kj} = y^{opt}_{ij}), \qquad [j = 1(1)n; m_0 = 1(1)m]], \qquad (13.16)$$

де y^{opt}_{ij}– оптимальне значення показника k *-ї* властивості j -го об’єкта;

m_0– об’єм множини $\{k\}_{m_0}$ номерів властивостей, які оптимізуються.

Об’єкт, для якого виконуються умови (13.16), називається оптимальним за m_0 властивостями.

Критерій переваги для досліджуваної ГІС в СУТ не має практичного значення, оскільки пов'язаний з порівнянням об’єктів.

Можна помітити, що критерії оптимальності являють собою окремі випадки критерію придатності, оскільки (13.16) означає, що $\{y_{kj}^{д}\} = \{y_{kj}^{д}\}$, $1 \leq k \leq m$.

Таким чином, $O \subset G$ і при оцінці якості об'єкта критерій придатності повинен бути домінуючим. За визначенням, якість об'єкта характеризується сукупністю його властивостей і, в свою чергу, представляє собою ступені її відповідності призначенню. Для цієї мети слугують показники якості та критерії її оцінки.

Процес оцінювання якості об'єкта складається з самостійних етапів, які реалізуються зазвичай за схемою: визначення (виявлення) сукупності істотних властивостей об'єкта; визначення (вибір) критерію оцінки якості об'єкта; оцінювання якості об'єкта.

Для забезпечення потрібної достовірності й об'єктивності отримуваних оцінок випробування повинні проводитися в умовах, максимально наближених до тих, у яких буде функціонувати об'єкт, і при цьому критерій оцінки його якості повинен пред'являти до об'єкта вимоги, задоволення яких забезпечить виконання поставленої перед ним задачі.

Достовірність отримуваних у результаті випробувань оцінок якості об'єкта залежить не тільки від об'єму спостережень над ними, а й від схеми випробувань. У зв'язку з цим виникає проблема оптимального планування випробувань (у значенні вибору їх найкращої схеми, тобто схеми, яка забезпечує при усіх інших умовах найбільшу надійність оцінок якості об'єкта).

На етапі планування випробувань, крім перерахованих, вирішується велика кількість інших науково-технічних, науково-організаційних проблем і задач, до числа яких можна віднести: збір апріорної інформації і обґрунтування методів її обліку в процесі проведення випробувань і обробки їх результатів, визначення форм звітної документації, попередній вибір методів обробки інформації, отриманої при випробуваннях, підготовка варіантів прийняття рішень при типових ситуаціях.

На етапі аналізу і виробки рішень першочерговими є розробка показників і критеріїв оцінки результатів випробувань, розробка методів прогнозування технічного стану об'єкта.

Для перевірки критерію якості зручно використовувати методи перевірки статистичних гіпотез, які є окремим випадком задачі вибору статистичних рішень. Дійсно, у відповідності з критеріями оцінки якості (критеріями придатності), значення показників якості повинні дорівнюватись заданим величинам або ж повинні перебувати у заданих межах. Гіпотеза, висунута про виконання цих умов, перевіряється відносно оцінок показників якості. У зв'язку з цим критерій ефективності випробувань можна формулювати за аналогією з критеріями перевірки статистичних гіпотез.

Класичні методи обробки результатів спостережень, які розвинені у математичній статистиці (Hastie et al., 2009; Seber & Lee, 2003 Tikhonov & Arsenin, 1977), ґрунтуються на тому, що до випробувань нічого невідомо відносно досліджуваного випадкового об'єкта. Тому для отримання достатньо

надійних відомостей про ймовірні властивості досліджуваного випадкового об'єкта необхідно провести велику кількість випробувань, при цьому випадковості, що проявили у кожному випробуванні, взаємно гасяться і оцінки параметрів розподілів наближаються до параметрів оцінювання. Однак ще до випробувань можна мати певне уявлення щодо властивості випадкового об'єкта. Так до випробувань системи вже є певні апріорні відомості про його імовірні властивості за результатами випробувань прототипів, окремих елементів і вузлів виробу або за будь-якими іншими джерелами.

Розглянемо два можливих способи урахування апріорної інформації. Перший спосіб ґрунтується на застосуванні так званого коефіцієнта значимості (важливості) апріорної інформації, який характеризує вагу апріорної інформації.

Визначення коефіцієнта значимості апріорної інформації є складною задачею, оскільки можна висловити тільки певні припущення, використовуючи які можна вибрати значення цього коефіцієнта. Величина коефіцієнта значимості апріорної інформації залежить від багатьох чинників, серед яких ступінь наближення прототипів до випробуваного виробу, кількість випробуваних прототипів, надійність даних, отриманих при випробуваннях прототипів, окремих елементів і вузлів досліджуваної системи. Чим більш достовірною є апріорна інформація, чим вона більш правильно характеризує роботу системи в умовах її експлуатації, тим більшим є значення цього коефіцієнта.

Коефіцієнт значимості апріорної інформації λ може змінюватися від 0 до 1 ($0 \leq \lambda \leq 1$). При однаковій вазі апріорної інформації та інформації, отримуваної при випробуваннях, приймемо λ=0,5. Наприклад, імовірність розв'язання задачі ГІС з урахуванням апріорної інформації

$$P_1 = \lambda_{Pa} + (1 - \lambda)P_a^*,$$

де P_a – апріорна імовірність,

P_a^* – статистична ймовірність,

λ – коефіцієнт значимості апріорної інформації.

Другий спосіб урахування апріорної інформації ґрунтується на застосуванні формули Байєса (теореми гіпотез). Нехай система оцінюється за певним вхідним параметром *y*. Цей параметр є випадковою величиною і, отже, до випробувань не можна вказати його конкретне значення. Використовуючи апріорну інформацію, можна визначити так званий гіпотетичний розподіл цього параметра $\phi_{\hat{y}}(y)$. Як відомо, при випробуваннях визначається не сам параметр *y*, а його оцінка y^*, яка є випадковою величиною. За результатами випробувань можна побудувати умовний закон розподілу $\phi_{\frac{\hat{y}^*}{\hat{y}}}(y)$ залежно від істинного значення параметра і числа випробувань *n*. Позначимо $\phi_{\frac{\hat{y}}{\hat{y}^*}}(y)$ – умовна щільність розподілу параметра $\hat{y}$, тобто щільність розподілу параметра

y при умові, що його оцінка $\hat{y}^*$прийняла певне значення y. Це буде щільність розподілу вихідного параметра системи, обчислена з урахуванням апріорної інформації. Для її визначення скористаємося теоремою гіпотез Байєса (Smith et al., 2018):

$$\phi_{\frac{\hat{y}}{\hat{y}^*}}(y) = \frac{\phi_{\hat{y}}(y)\phi_{\frac{\hat{y}^*}{\hat{y}}}(y)}{\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{y}}\phi_{\frac{\hat{y}^*}{\hat{y}}}(y)dy}. \quad (13.17)$$

Знаючи щільність розподілу вихідного параметра системи, обчислену з урахуванням апріорної інформації, можна визначити усі характеристики вихідного параметра: математичне очікування, дисперсію, ймовірність того, що його значення буде не нижче значення, заданого тактико-технічними вимогами.

Якщо вихідний параметр системи $\hat{y}$ представляє собою дискретну випадкову величину, то система гіпотез буде мати такий вигляд:

$$p(y_i/z_i) = \frac{p(y_i)p(z_j/y_i)}{\sum_{i=1}^{n}p(y_i)p(z_j/y_i)}, \quad [i = 1(1)n], \quad (13.18)$$

де $p(y_i)$ – апостеріорна ймовірність події, яка полягає у тому, що випадкова величина $\hat{y}$ приймає значення y_i;

$p(z_j/y_i)$ – імовірність результату z_j для істинного значення y_i;

$p(y_i/z_i)$– умовна ймовірність події $\hat{y} = y_i$ для результату z_j.

Байєсівський підхід можна застосувати для урахування апріорної інформації у процесі першого етапу експлуатації ГІС в СУТ, поєднавши цей етап з експериментальним дослідженням ГІС.

Нехай виникла необхідність використати інформацію в процесі експериментальних досліджень на k -му етапі (рівні) як апріорну інформацію на $(k+1)$ етапі (рівні). Тоді формули (13.17) і (13.18) приймуть такий вигляд:

$$\phi_{\frac{\hat{x}}{\hat{z}}}^{(k+1)}(x) = \frac{\phi_{\hat{x}}^{(k)}(x)\phi_{\frac{\hat{z}}{\hat{x}}}^{(k)}(z)}{\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{x}}^{(k)}\phi_{\frac{\hat{z}}{\hat{x}}}^{(k)}(z)dx}. \quad (13.19)$$

$$p^{(k)}(x_i/z_j) = \frac{p^{(k)}(x_i)p^k(z_j/x_i)}{\sum_{i=1}^{n}p^{(k)}(x_i)p^{(k)}(z_j/x_i)}. \quad (13.20)$$

Безпосередньо формули (13.19) і (13.20) використовувати не можна внаслідок статистичної неоднорідності інформації k -му і $k+1$ етапах (рівнях).

Для знаходження шляхів корегування формул Байєса при спадковості різних етапів експерименту припустимо, що в кінці кожного етапу здійснюється доробка ГІС в СУТ, при цьому відомий закон цієї доробки:

$$\hat{x}_{k+1} = f(\hat{x}_k),\ k=1,2,\ldots \tag{13.21}$$

В окремому випадку закон доробки на всіх етапах може бути однаковим:

$$\hat{x}_{k+1} = f(\hat{x}_k). \tag{13.22}$$

З урахуванням цього, формули (13.20) і (13.21) перепишемо у вигляді

$$\phi_{\hat{x}_{k+1/\hat{z}}}(x_{k+1}) = \frac{\phi_{\hat{x}_{k+1}}(x_{k+1})\phi_{\hat{z}/\hat{x}_{k+1}}(z)}{\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{x}_{k+1}}(x_{k+1})\phi_{\hat{z}/\hat{x}_{k+1}}(z)dx_{k+1}},$$

$$p(x_{i,k+1}/z_j) = \frac{p(x_{i,k+1})p(z_j/x_{i,k+1})}{\sum_{i=1}^{n}p(x_{i,k+1})p(z_j/x_{i,k+1})}.$$

За результатами експерименту на попередньому етапі відомими є розподілення $\phi_{\hat{x}_k}(x_k)$, $\phi_{\hat{z}/\hat{x}_k}(z)$ і ймовірності $p(x_{ik})$, $p(z_j/x_{ik})$. Наявність зв'язків виду (13.21) і (13.22) дозволяє від цих розподілів перейти до розподілів $\phi_{\hat{x}_{k+1}}, \phi_{\hat{z}/\hat{x}_{k+1}}(z), p(x_{i,k+1})$ і $p(z_j/x_{i,k+1})$. Для цього необхідно скористатися співвідношеннями, які пов'язують закони розподілу функцій випадкових аргументів із законами розподілу аргументів. Так, для щільності розподілів маємо

$$\phi_{\hat{x}_{k+1}}(x_{k+1}) = \int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{x}_k}(x_k)\delta(x_{k+1} - f_k(x_k))dx_k;\ \ \phi_{\hat{z}/\hat{x}_{k+1}}(z) = \phi_{\hat{z}/f_{k(\hat{x}_k)}}(z),$$

де *δ(x)* – дельта-функція.

Якщо функціонал f_k є монотонним, то $\phi_{\hat{x}_{k+1}}(x_{k+1}) = \phi_{\hat{x}_k}[\psi_k(x_{k+1})]|\psi_k'(x_{k+1})|$. Таким чином, формула Байєса, яка дозволяє врахувати статистично неоднорідну інформацію у випадку безперервної випадкової величини $\hat{x}$, приймає остаточний вигляд:

$$\phi_{\hat{x}_{k+1/\hat{z}}}(x_{k+1}) = \frac{\phi_{\hat{z}/f_k(\hat{x}_k)}(z)\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{x}_k}(x_k)\delta[x_{k+1}-f_k(x_k)dx_k}{\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{z}/f_k(\hat{x}_k)}(z)dx_{k+1}[\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{x}_k}(x_k)\delta[x_{k+1}-f_k(x_k)]dx_k}, \tag{13.23}$$

або, якщо f_k – монотонна функція,

$$\phi_{\hat{x}_{k+1/\hat{z}}}(x_{k+1}) = \frac{\phi_{\hat{z}/f_k(\hat{x}_k)}(z)\phi_{\hat{x}_k}[\psi_k(x_{k+1})]|\psi_k'(x_{k+1})|}{\int_{-\infty}^{\infty}\phi_{\hat{z}/f_k(\hat{x}_k)}(z)\phi_{\hat{x}_k}[\psi_k(x_{k+1})]|\psi_k'(x_{k+1})|dx_{k+1}}. \tag{13.24}$$

Аналогічним чином можна отримати розрахункові формули для дискретної випадкової величини. Вирази (13.23) і (13.24) узагальнюють і дискретний випадок, якщо ввести щільність розподілу дискретної величини за формулою

$$\phi_{\hat{x}}(x) = \sum_{i=1}^{n} p_i \delta(x - x_i).$$

Успіх застосування викладеного підходу в значному ступені може бути визначений наявністю у розробників інформації про вигляд залежності (13.23) і (13.24).

Якщо ГІС в СУТ дорабляється після кожного етапу експерименту, то для показника $\hat{x}$ у відповідності з виразом (13.23) маємо

$$x_{k+1} = c + (x_0 - c)x_k, \quad k=1,2,\ldots,$$

де x_0 – граничне значення показника *x*.

Отримане співвідношення є однорідним лінійним рівнянням у кінцевих різницях і характеризує динаміку відпрацьовування в процесі експериментального дослідження. Безперервним аналогом цього рівняння є диференційне рівняння

$$\frac{dx}{dN} = a(x_0 - x), \qquad x(0) = x_0^*,$$

розв'язком якого є експонента вигляду $x(N) = x_0 - (x_0 - x_0^*)e^{-aN}$.

Для нормального закону розподілу лінійний зв'язок не змінює закону, а змінює тільки параметри розподілу

$$\phi_{\hat{x}_k}(x_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\hat{x}_k}} exp[- \frac{(x_k - \overline{x}_k)^2}{2\sigma_{\hat{x}_k}} \text{ і нехай } \hat{x}_{k+1} = a_0 + a_1\hat{x}_k.$$

Тоді показник $\hat{x}_{k+1}$ має також нормальний розподіл:

$$\phi_{\hat{x}_{k+1}}(x_{k+1}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2_{\hat{x}_{k+1}}}} exp[- \frac{(x_{k+1} - \overline{x}_{k+1})^2}{2\sigma^2_{\hat{x}_{k+1}}},$$

де $\sigma_{\hat{x}_{k+1}} = |a_1|\sigma_{\hat{x}_k};\ \overline{x}_{k+1} = a_1\overline{x_k} + a_0$.

Маючи на певному етапі експерименту апріорні щільності розподілу показника $\hat{x}$, можна визначити його необхідні числові характеристики (математичне очікування, СКВ тощо).

Основною проблемою при реалізації вищеописаного підходу є відсутність достатньо точних моделей, які пов'язують сусідні рівні ієрархії та відображують зміну стану ГІС в СУТ.

13.2. Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ за критерієм інформативності

Ефективність впровадження системи ГІС в СУТ можна оцінити шляхом порівняння ефективності дії реальної та ідеальної систем. Тоді критерій ефективності СУТ при впровадженні ГІС можна записати у вигляді:

$$E_1(t,\tau) = \frac{K_I(t,\tau)}{K_{IO}(t,\tau)}, \qquad (13.25)$$

де $K_I(t,\tau) = \frac{I_p(t,\tau)}{C_P(t,\tau)}$ – узагальнена статистична характеристика реального процесу управління або моніторингу за допомогою ГІС в СУТ;

$I_p(t,\tau) = \sum_{i=1}^{n} I_{Pi}(t,\tau)$ – кількість інформації, яку можна отримати від реальної СУТ при управлінні (моніторингу) від параметрів n_i об'єкта управління;

$C_P(t,\tau)$ – математичне очікування вартості реального процесу управління (моніторингу);

$K_{IO}(t,\tau) = \frac{I_u(t,\tau)}{C_u(t,\tau)}$ – узагальнена статистична характеристика ідеального процесу управління (моніторингу);

$I_u(t,\tau)$ – кількість інформації, що отримується ідеальною системою ГІС в СУТ при управлінні (моніторингу) n_1 параметрів об'єкта;

$C_u(t,\tau)$ – математичне очікування вартості ідеального процесу управління (моніторингу).

В загальному випадку припускається, що $C_P(t,\tau) > C_u(t,\tau)$, а $n \geq n_1$, тобто реальна система управління (моніторингу) охоплює не усі параметри об'єкта управління (моніторингу). Ефективність системи ГІС в СУТ можна виразити через ентропії об'єкта управління (моніторингу), використовуваного без системи ГІС і з системою ГІС в СУТ:

$$E_1(t,\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n_1}[H_{0i}(t,\tau) - H_i(t,\tau)]}{\sum_{i=1}^{n} H_{0i}(t,\tau)} \frac{C_u(t,\tau)}{C_P(t,\tau)}, \qquad (13.26)$$

де $H_{0i}(t,\tau)$ – ентропія за i-м параметром об'єкта управління (моніторингу) без системи ГІС в СУТ;

$H_i(t,\tau)$ – ентропія за i-м параметром об'єкта управління (моніторингу) з ГІС в СУТ.

Для практичних розрахунків виявляється більш зручним застосовувати інформаційний критерій у декілька іншому вигляді. Іноді потрібно виконувати тільки інформаційну оцінку, без урахування вартості. Інформаційний критерій ефективності системи ГІС в СУТ для цього випадку приймає вигляд

$$E_2(t,\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n_1}[H_{0i}(t,\tau) - H_i(t,\tau)]}{\sum_{i=1}^{n} H_{0i}}. \quad (13.27)$$

Цей критерій змінюється в межах від 0 до 1. При максимально ефективній системі ГІС в СУТ $E_2(t,\tau) = 1$. При неефективній системі ГІС в СУТ $E_2(t,\tau) = 0$.

З урахуванням економічних факторів інформаційний критерій ефективності використовують у вигляді

$$E_3(t,\tau) = K_E E_2(t,\tau), \quad (13.28)$$

де $E_3(t,\tau)$ – значення критерію, що визначається формулою (13.26);

$K_E = \frac{C_{C.K}}{C_{C.K}+C_E}$ – коефіцієнт, що враховує вартість експлуатації в гривнях;

$C_{C.K}$ – вартість створення системи ГІС для системи управління територіями;

$C_E = \alpha_E T_K$ – вартість експлуатації системи ГІС в управлінні територіями;

$\alpha_E = \frac{C_{обсл.}+C_{ЗП}}{t_{рес.}}$ – коефіцієнт;

T_K – час управління (моніторингу);

$t_{рес.}$ – ресурс ГІС в управлінні територіями;

$C_{обсл.}$ – вартість утримання обслуговуючого персоналу;

$C_{ЗП}$ – вартість ЗІП.

Вартість системи ГІС в СУТ можна врахувати за відношенням до вартості об'єкта управління (моніторингу). Тоді критерій ефективності буде мати вигляд

$$E_3(t,\tau) = K_0 E_2(t,\tau), \quad (13.29)$$

$K_0 = \frac{C_{обсл.}}{C_{обсл.}+C_{C.K}+C_E}$ – коефіцієнт, що враховує спільну вартість розробки $C_{с.к}$ і експлуатації C_E системи контролю відносно вартості об'єкта $C_{обсл.}$.

Ентропії об'єкта визначаються за такими формулами:

$$H_{0i}(t,\tau) = -\{P_{0i}(t,\tau)\, log_2\, P_{0i}\,(t,\tau) + [1 - P_{0i}(t,\tau)]\, log_2[1 - P_{0i}(t,\tau)]\},$$

де $P_{0i}(t,\tau)$ – імовірність працездатності об'єкта управління (моніторингу) без системи ГІС за *i*-м параметром до моменту кінця управління (моніторингу) і відновлення працездатності;

$$H_{0i}(t,\tau) = -\{P_i(t,\tau)\, log_2\, P_i\,(t,\tau) + [1 - P_i(t,\tau)]\, log_2[1 - P_i(t,\tau)]\},$$

де $P_i(t,\tau)$ – імовірність працездатності об'єкта з ГІС за i-м параметром до моменту кінця управління (контролю) τ.

Якщо час підготовки об'єкта управління ГІС в СУТ до використання також впливає на ефективність роботи об'єкта, то критерій ефективності системи ГІС в СУТ без урахування вартості можна записати у вигляді

$$E_5 = \frac{H_{0Г} - H_Г + \sum_{i=1}^{n_1} H_{0i}(t,\tau) - H_i(t,\tau)}{H_{0Г} \sum_{i=1}^{n} H_{0i}}, \qquad (13.30)$$

$$H_{0Г} = -\{K_{0Г}\, log_2\, K_{0Г} + (1 - K_{0Г})\, log_2(1 - K_{0Г})\},$$

$$H_Г = -\{K_Г\, log_2\, K_Г + (1 - K_Г)\, log_2(1 - K_Г)\},$$

де $K_{0Г}$і $K_Г$ – коефіцієнти готовності об'єкта управління (моніторингу) без системи ГІС в СУТ і з цією системою.

Розроблена модель дозволяє здійснювати оцінку ефективності системи ГІС в СУТ через ентропію системи шляхом порівняння ефективності дії реальної і ідеальної систем як з урахуванням економічних факторів, так і без них.

Для кількісної оцінки працездатності комплексу СУТ і ГІС за інформаційним критерієм, що не враховує вартості, необхідно визначити ймовірності працездатності, знайти відповідні ентропії і, використовуючи формулу (13.26), підрахувати ефективність системи управління (моніторингу).

З урахуванням вартості, оцінку ефективності ГІС за інформаційним критерієм можна виконати за формулою (13.30). Для спрощення розрахунків ентропії можна використовувати табл.13.1.

Таблиця 13.1

Розрахунок ентропії

P_i	H_i	P_i	H_i	P_i	H_i
0,01	0,0808	0,25	0,8113	0,85	0,6099
0,02	0,1415	0,3	0,8814	0,9	0,4691
0,03	0,1949	0,35	0,9341	0,91	0,4366
0,04	0,2422	0,4	0,9709	0,92	0,4021
0,05	0,2864	0,45	0,9927	0,93	0,3659
0,06	0,3274	0,5	1,0	0,94	0,3274
0,07	0,3659	0,55	0,9927	0,95	0,2864
0,08	0,4021	0,6	0,9709	0,96	0,2422
0,09	0,4366	0,65	0,9341	0,97	0,1949
0,1	0,4691	0,7	0,8814	0,98	0,1415
0,15	0,6099	0,75	0,8113	0,99	0,0808
0,2	0,7219	0,8	0,7219	1,0	0,0000

Приклад 1. Потрібно оцінити ефективність застосування ГІС в СУТ за критерієм інформативності без урахування вартості. Достовірність управління і настроювання визначається невиявленими відмовами.

Дано:

– кількість параметрів, що визначають працездатність об'єкта, n=10;

– кількість контрольованих параметрів, n_1 =8;

– незалежні параметри;

– інтервали робочого часу до моменту початку управління (моніторингу) за усіма параметрами однакові й дорівнюють t_{pi}=*100 годин*;

– інтервали неробочого часу до моменту початку управління (моніторингу) за усіма параметрами дорівнюють t_{xi}=*0*;

– інтенсивності відмов у робочому стані за усіма параметрами однакові й дорівнюють $\Lambda_{pi} = 1 \cdot 10^{-3}$*годин*$^{-1}$;

– середньоквадратичні відхилення контрольованих параметрів однакові й дорівнюють σ_i = *1*;

– середньоквадратична погрішність вимірів усіх каналів системи управління (моніторингу) однакова й дорівнює $\sigma_{ci} = 1/3$;

– інтервали часу роботи за усіма параметрами після управління (моніторингу) однакові й дорівнюють τ_{pi}=*1 %;*

– допуски на параметри симетричні й дорівнюють Δ_i=2;

– інтервали неробочого часу за усіма параметрами після управління (моніторингу) дорівнюють τ_{xi}=*0*;

– контрольні допуски дорівнюють допускам, встановленим в об'єкті.

Визначимо ймовірність безвідмовної роботи за кожним параметром (Birolini, 2017). Для цього скористаємося таблицею 13.1:

$$P_{0i} = exp\{-\Lambda_{pi} t_{pi}\} = exp\{-1 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{2}\} = 0{,}9048.$$

Визначимо ентропію за кожним параметром: H_{01}=*0,4366*. Визначимо сумарну ентропію за усіма параметрами, що визначають працездатність об'єкта без ГІС: $\sum_{i=1}^{n} H_{0i} = 4{,}366$. Визначимо сумарну ентропію СУТ за контрольованими параметрами об'єкта без ГІС: $\sum_{i=1}^{n} H_{0i} = 3{,}4928$.

Для визначення ентропії об'єкта з ГІС в СУТ попередньо знаходимо величини $r_i = \frac{\Delta_i}{\sigma_i} = 2$, $Z_i = \frac{\delta_i}{\Delta_i} = \frac{3\sigma_{ci}}{\Delta_i} = \frac{1}{6} \approx 0{,}16$. За розрахованими величинами r_i і Z_i визначаємо з номограм (рис. 13.2) імовірність появи невиявленої відмови: P_{Hi}=0,004. Звідси достовірність контролю і настройки і-*го* параметра дорівнює

$$D_i = 1 – P_{Hi} = 0{,}996.$$

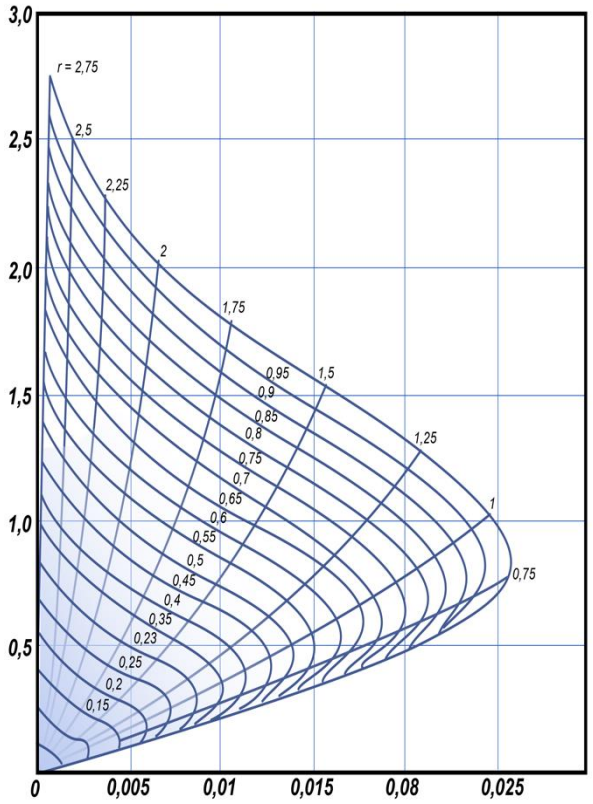


Рис. 13.2. *Номограма ймовірностей виявлених відмов*

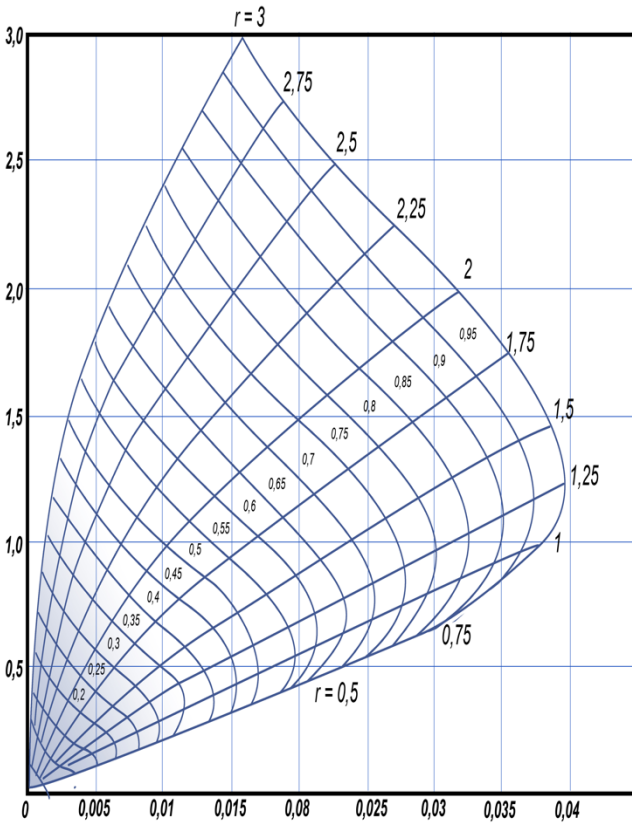


Рис. 13.3. *Номограма ймовірностей хибних відмов*

Імовірність працездатності з контрольованим ГІС параметром дорівнює

$$P_i = D_i P_{\delta i} = (1 - P_{Hi})\, exp\{-\Lambda_{pi}\tau_{pi}\} = 0{,}996\, exp\{-1 \cdot 10^{-3} \cdot 1\} = 0{,}996.$$

Визначимо ентропію за кожним контрольованим параметром з ГІС в СУТ: $H_i = 0{,}03232$.

Знайдемо сумарну ентропію за усіма контрольованими параметрами з ГІС: $\sum_{i=1}^{n_1} H_i = 0{,}2586$.

Визначимо ефективність системи ГІС в СУТ:

$$E_2(t,\tau) = \frac{\sum_{i=1}^{n_1}[H_{0i}(t,\tau) - H_i(t,\tau)]}{\sum_{i=1}^{n} H_{0i}} = \frac{3{,}4928 - 0{,}2586}{4{,}366} \approx 0{,}65.$$

Оскільки E_2>0, то можна стверджувати, що застосування ГІС в СУТ може збільшити ефективність управління на 65%. Якщо потрібно визначити ймовірність хибних відмов, то можна використати номограму, представлену на рис. 13.3.

Приклад 2. Потрібно зробити оцінку ефективності ГІС в СУТ за критерієм інформативності з урахуванням її вартості. До даних прикладу 1 додаються такі дані: коефіцієнт *α=500 грн/хв.*, вартість виготовлення ГІС в управлінні територіями $C_{с.у}$*=800 000 грн.*, час моніторингу $T_к$ *= 480 хв.*

$$K_{ЕФ} = \frac{C_{с.у.}}{C_{с.у.}+C_{ЕФ}} = \frac{800000}{800000+240000} = 0{,}769.$$

Визначимо коефіцієнт $K_{еф}$. Знаходимо критерій ефективності за формулою 13.28:

$$E_3 = K_E E_2 = 0{,}769 \cdot 0{,}65 \approx 0{,}4998.$$

Таким чином, ефективність системи управління територіями, з урахуванням вартості на створення ГІС і витрат на процес управління (моніторингу), за наведеними розрахунками зросте щонайменше на 50%.

13.3 Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ як складної системи

ГІС в СУТ відносяться до складних систем, які характеризуються не тільки великою кількістю елементів, але й складністю внутрішньої структури – зворотними зв'язками, різного роду надлишковостями тощо (Astrom & Murray, 2008; Klir, 2001; Зацерковний, 2011; Зацерковний, 2011b). Для кількісної оцінки якості складних систем використовують критерії ефективності функціонування (Batty, 2005; Birolini, 2017; Fu, 2022), які можна застосовувати для систем управління (моніторингу).

Для оцінки ефективності складні системи поділяють на системи тривалої та короткочасної дії. Якщо ймовірність зміни стану системи протягом часу операції t близька до одиниці, то системи відносять до систем тривалої дії. Системи короткочасної дії протягом оперативного часу t зберігають початковий стан з імовірністю, близькою до одиниці.

Сукупність станів елементів складної системи у певний момент часу однозначно визначає стан системи. Складна система короткочасної дії повністю характеризується сукупністю станів у момент виконання завдання.

Протягом часу складна система може через зміну станів тих або інших елементів переходити з одного стану в інший. Процес переходу станів складної системи у часі називають еволюцією, а послідовність таких станів у часі – траєкторією еволюції складної системи. Ефективність складної системи тривалої дії залежить від конкретної траєкторії еволюції її станів у процесі виконання операції.

Припустимо, що складна система короткочасної дії складається з n елементів з двома станами: «працездатний» і «відмовив (непрацездатний)». Ця система має кінцеву кількість несумісних станів

$$S_0, S_i, S_{ij}, \ldots, S_{i,j\ldots,m}, S_{1,2,\ldots,n},$$

де S_0 – стан складної системи, коли усі елементи працездатні;

S_i – стан складної системи, коли непрацездатний тільки i-й елемент (i може приймати значення $1,2,\ldots, n$);

S_{ij} – стан складної системи, коли непрацездатні тільки i-й і j-й елементи ($i < j$; $i, j = 1, 2, \ldots, n$);

$S_{ji,\ldots,m}$ – стан складної системи, коли непрацездатна сукупність тільки $i, j, \ldots, m$ елементів ($i<j<\ldots<m$; $i, j, \ldots, m = 1,2,\ldots, n$);

$S_{1,2,\ldots,n}$ – стан складної системи, коли відмовили усі елементи.

Імовірності станів $S_0, S_i, S_{ij}, \ldots, S_{ij,\ldots,m}, S_{1,2,\ldots,n}$ складної системи відповідно дорівнює $H_0, H_i, H_{ij}, H_{ji}, \ldots, H_m, H_{1,2}, \ldots, H_n$.

Оскільки усі можливі стани складної системи складають повну групу подій, то $H_0 + \sum_{i=1}^{n} H_i + \sum_{\substack{i,j \\ i<j}}^{n} H_{i,j} + \ldots + \sum_{\substack{i,j,\ldots,m=1 \\ i<j<\ldots<m}}^{n} H_{i,j\ldots m} + \ldots + H_{1,2,\ldots,n} = 1.$

Показники технічної ефективності станів S_0, S_i, $S_{ij,\ldots,m}$, $S_{1,2,\ldots,n}$ ГІС в СУТ як складної системи відповідно дорівнюють Φ_i, Φ_{ij}, $\Phi_{ij,\ldots,m}, \ldots \Phi_{1,2,\ldots,n}$.

Ефективність функціонування ГІС в СУТ як складної системи визначається як математичне очікування показника технічної ефективності за формулою $E = \Phi_0 H_0 + \sum_{i=1}^{n} \Phi_i H_i +$
$\sum_{\substack{i,j=1 \\ i<j}}^{n} \Phi_{ij} H_{ij} + \ldots + \sum_{\substack{i,j,\ldots,m=1 \\ i<j<\ldots<m}}^{n} \Phi_{i,j\ldots m} H_{i,j\ldots m} + \ldots + \Phi_{1,2\ldots n} H_{1,2,\ldots,n}.$

Якщо величини Φ_i – умовні ймовірності, то E є повною ймовірністю.

У випадку незалежності відмов окремих елементів використовують вираз $E = \Phi_0 H_0 (1 + \sum_{i=1}^{n} \gamma_i \Phi_i^* +$
$\sum_{i,j=1}^{n} \gamma_i \gamma_j \Phi_{ij}^* + \ldots + \sum_{i,j,\ldots,m=1}^{n} \gamma_i \gamma_{j\ldots} \gamma_m \Phi_{i,j\ldots m}^* + \ldots + \prod_{k=1}^{n} \gamma_k \Phi_{1,2\ldots n}^*,$

де $\gamma_i = \frac{q_i}{p_i}$; p_i – імовірність того, що i-й елемент перебуває в стані працездатності;

q_i – імовірність того, що i-й елемент перебуває в стані відмови (непрацездатності);

$\Phi_S^* = \frac{\Phi_S}{\Phi_0}$ – нормоване значення.

Якщо $q_i << \frac{1}{n}$, то можна використовувати наближену формулу

$$E \approx \Phi_0 H_0 (1 + \sum_{i=1}^{n} \gamma_i \Phi_i^*) \approx \Phi_0 \{1 - \sum_{i=1}^{n} q_i (1 - \Phi_i^*\}. \quad (13.31)$$

Реальні ГІС в СУТ не завжди можна звести до спрощеної математичної моделі, що складається з елементів з двома станами. Для строгого опису складної системи, що складається з n елементів з безперервною множиною станів, необхідно враховувати множину станів у n-мірному просторі.

Нехай складна система короткочасної дії складається з двох елементів a і b, кожний з яких характеризується безперервним вихідним параметром I_a і I_b відповідно. В цьому випадку стан S_0 розпадається на безперервну множину

станів S_{IaIb}, кожний з яких характеризується показником технічної ефективності $\Phi_0(I_a,I_b)$ і умовною щільністю ймовірності того, що буде реалізований стан S_{IaIb} при умові одночасної роботи обох елементів $h_0(I_a,I_b)$. Якщо параметри I_a і I_b змінюються незалежно, можна записати

$$h_0(I_a,I_b)= h(I_a)\ h\ (I_b).$$

Стан S_a містить безперервну множину станів з відповідними значеннями показника технічної ефективності $\Phi_a(I_b)$ й умовної щільності ймовірності $h_a(I_b)$. Для стану S_b маємо значення показника ефективності $\Phi_b(I_a)$ й умовну щільність імовірності $h_b(I_a)$. Ефективність такої системи дорівнює

$$E = H_0 \int_{G_a} \int_{G_b} h_0(I_a, I_b)\Phi_0(\ I_a I_b)dI_a dI_b + H_a \int_{G_b} h_a(I_b)\Phi_a\ (I_b)dI_b + H_b \int_{G_a} h_b(I_a)\Phi_b\ (I_a)dI_a,$$

де G_a і G_b – області існування параметрів I_a і I_b відповідно.

Під показником технічної ефективності складної системи тривалої дії, при реалізації нею даної траєкторії еволюції, розуміють значення її вихідного ефекту при умові, що система, яка виконує свої функції, проходить саме дану послідовність станів і саме в дані моменти часу. Якщо вихідний ефект для певної траєкторії еволюції складної системи змінюється від однієї реалізації даної траєкторії до іншої реалізації тієї ж траєкторії, то як показник технічної ефективності даного виду траєкторії приймають математичне очікування цього вихідного ефекту.

Нехай система тривалої дії складається з двох незалежних елементів a і b та елементи, що відмовили, не відновлюються в межах інтервалу її роботи. Ефективність функціонування дорівнює

$$E = \Phi_0 p_a(t)p_b(t) + p_b(t)\int_0^t f_a(t_a)\Phi_a(t_a)dt_a + p_a(t)\int_0^t f(t_b)\Phi_b(t_b)dt_b + \\ + \int_0^t f_a(t_a)dt_a \int_0^t f_b(t_b)\Phi_{ab}(t_a,t_b)dt_b,$$

де $f_a(t_a)$ – щільність імовірності відмови елемента a;
$f_b(t_b)$ – щільність імовірності відмови елемента b;
$\Phi_a(t_a)$ – ефект системи при відмові елемента a;
$\Phi_b(t_b)$ – ефект системи при відмові елемента b;
$\Phi_{ab}\ (t_a,t_b)$ – ефект системи при відмові елементів a і b;
Φo – ефект системи при відсутності відмов елементів;
p_a і p_b – імовірності відсутності відмов відповідно елементів a і b.

Для складних систем тривалої дії, що складаються з великої кількості елементів, аналітичне рішення виходить громіздким і рекомендується

використовувати метод статистичних випробувань. Цей же метод доцільно застосовувати для оцінки ефективності функціонування складних систем короткочасної дії, що складаються з великої кількості елементів з безперервною множиною станів.

Декілька критеріїв оцінки ефективності різного роду систем розглянуті в працях (Birolini, 2017; Dunn, 2018). Зокрема, розглянута оцінка загальної ефективності використання системи при необхідності спільного урахування динаміки підготовки і динаміки застосування системи. При цьому для оцінки ступеня впливу надійності й технічної готовності на загальну ефективність системи введено поняття експлуатаційної придатності системи, яку визначають за формулою

$$p_{Екс.прид.}(t) = \frac{\Phi(t)}{\Phi_0(t)},$$

де $\Phi(t)$ – ефективність використання реальної системи з урахуванням підготовки системи до застосування;

$\Phi_0(t)$ – ефективність ідеальної (у значенні надійності та технічної готовності) системи, тобто такої, яка не відмовляє і не потребує виконання операцій з технічної підготовки (час виконання відповідних операцій дорівнює нулю).

Проте вони є доволі складними і їх важко використати для поставленої задачі. Оцінку ефективності СУТ при впровадженні ГІС за критерієм функціонування складних систем можна, наприклад, виконати шляхом визначення ефективності функціонування об'єкта, який контролюється даною системою.

Для цього необхідно знати можливі стани об'єкта S, імовірності цих станів H і показники технічної ефективності цих станів Φ.

При оцінці працездатності системи управління (моніторингу) розуміють: під можливими станами – стан працездатності вихідних параметрів об'єкта, під імовірностями цих станів – імовірність працездатності P_i, під показниками технічної ефективності станів – імовірність виконання задачі об'єктом у цьому стані $P_{iф}$.

Приклад 3. Задані дані, аналогічно прикладу 1, тобто достовірність управління (моніторингу) і настроювання системи ГІС в СУТ визначаються невиявленими відмовами: $\Lambda_{pi} = 1 \cdot 10^{-3}$год.$^{-1}$; $\Lambda_i = 2$; $\sigma_{ci} = 1/3$; параметри незалежні, контрольні допуски дорівнюють допускам, що встановлені в об'єкті. Нехай імовірність того, що за i-м вихідним параметром об'єкта спостерігається відмова, що підкоряється нерівності $q_i << \frac{1}{n}$. Нехай також задані відповідні ймовірності виконання задачі об'єктом: $P_{Ф0}=1$ – при відсутності відмов за усіма вихідними параметрами об'єкта; $P_{Ф1}= P_{Ф2} =…= P_{Ф10}=0$ – при виникненні відмови за будь-яким з вихідних параметрів об'єкта. Оцінку ефективності можна зробити за формулою

$$E \approx \Phi_0 \left\{ 1 - \sum_{i=1}^{n} q_i (1 - \Phi_i^*) \right\} = P_{\Phi 0} \left(1 - \sum_{i=1}^{n} q_i \right) = P_{\Phi 0} \prod_{i=1}^{n} P_i = \prod_{i=1}^{8} P_i \prod_{i=1}^{2} P_{0i}.$$

Використавши дані для ймовірності працездатності об'єкта ГІС в СУТ за контрольованими і неконтрольованими параметрами з прикладу 1, отримаємо $E = (0{,}996)^8 (0{,}9048)^2 \approx 0{,}8$. Отже, ефективність впровадження ГІС в СУТ за критерієм функціонування складних систем за розрахунками становить не менше 80%.

13.4 Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ за допомогою теорії статистичних рішень

Процес управління (моніторингу) територіями за допомогою ГІС в СУТ можна розглядати як процес виявлення подій (відмов) в об'єкті дослідження (діагностування) (Berger, 1985; Machol, 1965; Бистряков & Олексюк, 2002; Щепилов, 2001). Тоді задача управління (моніторингу) може розглядатися як статистична задача виявлення подій за викривленими або неповними даними (рис. 13.4).

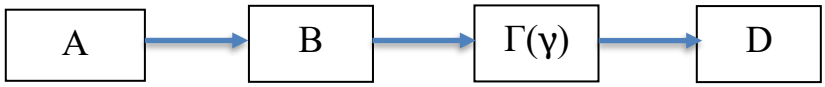


Рис. 13.4. *Схема процесу управління в термінах теорії статистичних рішень*

Якщо вздовж осей *n*-мірного простору *A* відкладати значення параметрів, що характеризують стан об'єкта управління (моніторингу), то кожній події, яка відбувається в об'єкті, буде відповідати у просторі *A* певна сукупність точок A_i. Нехай результати виміру відкладені за осями *n*-мірного простору *B*. Оскільки процес виміру параметрів супроводжується випадковими похибками, то між точками простору *A* і точками простору *B* відсутня взаємно однозначна відповідність. Звідси з'являється невизначеність, що виникає при виявленні контрольованих подій у просторі спостережень *B*. Крім того, частина параметрів об'єкта буває не охоплена управлінням (моніторингом), що також приводить до невизначеності.

Виявлення подій у просторі *B* пов'язане з наявністю хибних і невиявлених відмов. Тому необхідно вибрати оптимальний алгоритм виявлення *Г(γ)*, який став би правилом перетворення простору спостережень у просторі рішень *D,* елементи якого – можливі рішення γ, тобто контрольовані події.

Величина помилок виявлення, а, отже, й величина матеріальних втрат, пов'язаних з ними, залежать як від алгоритму виявлення, так і від якості (в значенні достовірності) і кількості використовуваних для виявлення джерел інформації, що визначають, в свою чергу, матеріальні витрати на засоби управління (моніторингу) об’єкта дослідження. Отже, необхідно вибрати базис підпростору B' простору спостережень B для забезпечення оптимального розподілу між витратами на засоби виявлення й величиною помилок управління (моніторингу), що визначає матеріальні витрати.

Для з’ясування питання, чи знаходиться об'єкт у працездатному стані, розглянемо ГІС в СУТ, яка здійснює двійкове виявлення станів.

Позначимо через A_1 сукупність точок у просторі A, що відповідає стану об'єкта управління, коли має місце подія, яка підлягає управлінню (моніторингу), а через A_0 – сукупність точок, що відповідає стану об'єкта, коли ця подія не має місця. Визначимо матеріальні збитки від помилок управління (моніторингу), що залежать від об’єкта управління (моніторингу), системи і алгоритму управління (моніторингу), в грошових одиницях в одиницю часу, тобто приведені втрати.

Витрати на ГІС в СУТ і вартість її обслуговування можна також представити у грошових одиницях в одиницю часу, якщо урахувати прийнятий термін служби апаратури (програмного забезпечення і актуальності картографічного матеріалу, бази даних тощо). Це будуть приведені витрати. Тоді кожній комбінації з рішення і події можна поставити у відповідність певну ціну C_{ij}, яка є сумою приведених витрат і витрат для відповідної ситуації. Представимо ціну C_{ij} такою матрицею:

$$\begin{Vmatrix} C_{00} & C_{01} \\ C_{10} & C_{11} \end{Vmatrix},$$

де індекси в елементі C_{ij} означають:

$i=1$ – подія має місце;

$i=0$ – подія не має місця;

$j=1$ – відповідь системи управління (моніторингу): подія має місце;

$j=0$ – відповідь системи управління (моніторингу): подія не має місця.

У розглянутій задачі

$$C_{00} = C_{11} = C \qquad (13.32)$$

представляють приведені витрати

$$C_{01} = C_{00} + C'_{01}; \qquad (13.33)$$

$$C_{10} = C_{11} + C'_{10}; \qquad (13.34)$$

де C'_{01} і C'_{10} – приведені втрати від неправильного виявлення (діагностування).

За критерій ефективності системи управління (моніторингу) можна прийняти середню ціну – математичне очікування функції $C(\gamma)$, яка враховує можливі види поведінки системи і частоту їх появи. Така оцінка в теорії статистичних рішень називається функцією ризику. Оптимальною буде така система управління (моніторингу), яка забезпечує мінімум функції ризику.

Розглянемо байєсові системи двійкового виявлення подій, коли A_1 визначене на числовій осі. Це широко поширений на практиці випадок, коли контрольована подія стосується поведінки однієї певної величини, яка характеризує стан об'єкта.

Нехай, наприклад, подія, що підлягає управлінню (моніторингу), має місце, коли величина X вийшла за задану нижню норму a або верхню норму b. Вважаємо, що помилка ГІС або «шуми» приймаються адитивними і незалежними від вимірюваної величини, систематична погрішність дорівнює нулю. Байєсове правило виявлення контрольованої події формулюється таким чином.

Рішення γ_1, що відповідає твердженню $X \in A_1$, приймається, якщо $\Lambda \geq L$. Рішення γ_0, що відповідає твердженню $X \in A_0$, приймається, якщо $\Lambda \geq L$, де L – узагальнене відношення правдоподібності:

$$\Lambda = \int_{A_1} f(X) f\,(Z/X)dX / \int_{A_0} f(X) f(Z/X)dX,$$

де $f(X)$– щільність розподілу вимірюваної величини X;

(Z/X)– щільність розподілу результату вимірювання при умові виміру величини X;

L – поріг;

$$L = (C_{01} - C_{00})/(C_{10} - C_{11}).$$

Враховуючи вирази (13.32) і (13.33), отримаємо $L = C_{01}^{'}/C_{10}^{'}$.

Середню ціну виявлення, або ризик можна визначити за формулою

$$R = R_0 + q\alpha(C_{01} - C_{00}) + p\beta(C_{10} - C_{11}),$$

де $R_o = qC_{oo} + pC_{11}$;

p – апріорна ймовірність появи події;

q – апріорна ймовірність непояви події ($p+q=1$);

α – усереднена умовна імовірність появи похибки першого роду (хибна відмова):

$$\alpha = \frac{1}{q}\int_{B'}\int_{A_0} f(X) f(Z/X)\Gamma(\gamma_1)dZdX;$$

β – усереднена умовна ймовірність похибки другого роду (невиявлена відмова):

$$\beta = \frac{1}{p}\int_{B'}\int_{A_1} f(X)f(Z/X)\Gamma(\gamma_0)dZdX;$$

Враховуючи вираз (2.91), отримаємо R_o=C. Тоді

$$R = C + \alpha' C'_{01} + \beta' C'_{10},$$

де α' і β' – безумовні усереднені ймовірності помилок першого і другого роду, тобто відповідно ймовірності хибних і невиявлених відмов.

Розроблена модель дозволяє обґрунтовано вибрати характеристики ГІС в СУТ на підставі теорії статистичних рішень в умовах невизначеності. Однак труднощі складання матриці C_{ij} іноді обмежують практичне використання цього критерію.

13.5. Розроблення моделі оцінки ефективності функціонування комплексу ГІС і СУТ за вартісним критерієм

Часто виникає задача оцінки ГІС в СУТ як системи, що забезпечує одночасне управління (моніторинг) багатьма об'єктами територіального утворення (Щепилов, 2001). Припустимо, що є N типів об'єктів. ГІС в управлінні територіями надає керуючі впливи групі з M_j – об'єктів одного типу, де j – тип об'єкта. Загальна кількість об'єктів кожного типу дорівнює L_j. Потрібно визначити кількість різновидів підсистем m_0 ГІС в СУТ і раціонально сформулювати вимоги до їх основних характеристик. Для цієї цілі можна використовувати вартісний критерій виду $\overline{C} = \overline{C_з} + \overline{C_П}$, де $\overline{C_з}$ – середні витрати на використання системи управління (моніторингу); $\overline{C_П}$ – середні втрати від неефективного використання системи управління (моніторингу) (Щепилов, 2001):

$$\overline{C} = \overline{C_з} + \overline{C_П}(\overline{T}) + \overline{C_П}(\overline{P}) + \overline{C_П}(\{V\}) =,$$

$$= \frac{1}{N}\left[\sum_{j=1}^{N} C_{1kj} + \frac{L_j}{M_j} C_{2kj}) + \sum_{j=1}^{N} \overline{C}_{nkj}(\overline{T}) + \sum_{j=1}^{N} \overline{C}_{nkj}(P) + \sum_{j=1}^{N} \overline{C}_{nkj}(\{V\})\right],$$

де C_{1kj} – вартість розробки k-го різновиду підсистеми управління (моніторингу) ГІС в СУТ для j -го типу об'єкта;

C_{2kj} – вартість створення й експлуатації k-го різновиду підсистеми управління (моніторингу) ГІС в СУТ для j-го типа об'єкта;

$\overline{C}_{nkj}(\overline{T})$ – середні втрати, пов'язані з часом управління (моніторингом) і регулювання j-го типу об'єкта при використанні k-го різновиду підсистеми управління (моніторингом);

$\overline{C}_{nkj}(P)$ – середні втрати, пов'язані з імовірністю працездатності j-го типу об'єкта при використанні k-го різновиду підсистеми управління (моніторингом);

$\overline{C}_{nkj}(\{V\})$ – середні втрати, пов'язані з використанням для j-го об'єкта k-го різновиду підсистеми управління (моніторингу), яка володіє певною множиною характеристик типу маси, габаритів, умов експлуатації.

Система управління (моніторингом) буде тим ефективніше, чим менше $\overline{C}$.

Через проблеми розрахунку втрат може виявитися, що скористатися вартісним критерієм загального виду доволі складно. У цьому випадку з тактичних міркувань, з аналізу існуючих ситуацій і прогнозування формулюються вимоги до припустимих величин:

$\overline{T}_{прип.j}$ – припустимий середній час управління (моніторингу) і регулювання j-го типу об'єкта;

$P_{прип.j}$ – нижній припустимий рівень імовірності працездатності j-го типу об'єкта;

$\{V_{прип.j}\}$ – припустимі значення характеристик підсистеми управління (моніторингу) типу маси, габаритів, умов експлуатації.

Замість характеристик $\overline{T}_{\text{прип.}j}$ і $P_{\text{прип.}j}$ може бути заданий, коли є сенс, нижній припустимий рівень імовірності нормального функціонування $P_{ф.прип.j}$ j-го типу об'єкта

$$P_{фj} = P_j \frac{\overline{T}_{0j}}{\overline{T}_{0j}+\overline{T}_{bj}} = P_j K_{Гj},$$

де $K_{Гj}$ – коефіцієнт готовності j-го типу об'єкта.

При періодичному управлінні (моніторингу)

$$K_{Гj} = \frac{T_j}{T_{nj}},$$

де T_j – середній час регулювання і управління (моніторингу) j-го об'єкта;

T_{nj} – час між перевірками j-го об'єкта.

При безперервному управлінні (моніторингу)

$$K_{Гj} = \frac{T_{0j}}{T_{0j}+T_{bj}}.$$

де T_{0j} – середній час безвідмовної роботи *j*-го об'єкта;

T_{bj} – середній час простою *j*-го об'єкта.

Система управління територією буде тим ефективніше, чим менше вартість витрат $\overline{C_з}$ на використання системи управління (моніторингу) при виконанні нерівностей

$$\overline{T_j} \le \overline{T}_{прип.j},$$
$$P_j \ge P_{\text{прип}.j} \text{ (або } P_{Фj} \ge P_{Фприп.j}),$$
$$\{V_j\} >< \{V_{прип.j}\}.$$

Таким чином, розроблені критерії оцінки ефективності дозволяють оцінити ефективність впровадження ГІС в СУТ і оцінити втрати від неефективного використання цієї системи.

Для оцінки працездатності ГІС в СУТ за вартісним критерієм потрібно знати витрати на розробку, створення й експлуатацію ГІС в СУТ $C_З$ і втрати, пов'язані з часом управлінням (моніторингом) і настроюванням $\mathrm{C}_П(\overline{T})$, імовірністю працездатності об'єкта $\mathrm{C}_П(P)$, з характеристиками ГІС в СУТ типу маси, габаритів, умов експлуатації $C_П(\{V\})$.

Приклад 4. Втрати $\mathrm{C}_П(\overline{T})$ і $\mathrm{C}_П(P)$ підпорядковуються лінійному закону $\mathrm{C}_П(\overline{T}) = \alpha\overline{T}$; $\mathrm{C}_П(P) = b(1-P)$; крім того, $C_П(\{V\}) = 0$. Потрібно оцінити дві СУТ (без ГІС і з ГІС), які забезпечують відповідно такі характеристики процесу управління (моніторингу):

$$\mathrm{C}_{E1} = 1 \cdot 10^3 \text{грн}; \overline{T}_1 = \textit{1 хв.}; P = \textit{0,9};$$
$$\mathrm{C}_{E2} = 1 \cdot 10^4 \text{грн}; \overline{T}_1 = \textit{0,1 хв.}; P = \textit{0,95}.$$

При цьому $\alpha = 1 \cdot 10^4$ грн./хв.; $b = 10^5$ *грн*.

Сумарна вартість витрат і втрат при використанні СУТ без ГІС дорівнює

$$C_1 = C_{E1} + C_{П1}(\overline{T}) + C_{P1}(P) = 1 \cdot 10^3 + 1 \cdot 10^4 + 1 \cdot 10^4 = 21000 \textit{грн}.$$

Для СУТ з ГІС маємо $C_2 = 1 \cdot 10^4 + 1 \cdot 10^3 + 5 \cdot 10^3 = 16000 \textit{грн}$.

Отже, СУТ з ГІС є більш ефективною. Якщо втрати важко підрахувати, то оцінюється вартість витрат при виконанні вимог за часом управління (моніторингу) і регулювання, ймовірністю працездатності і характеристиками типу маси, габаритів, умов експлуатації. У цьому випадку вважається, що $\mathrm{C}_П(\overline{T}) = 0$, $\mathrm{C}_П(P) = 0$, $\mathrm{C}_П(\{V\}) = 0$ при дотриманні нерівностей $\overline{T} < \overline{T}_Д$; $P > P_Д$; $\{V\} \lessgtr \{V_Д\}$, де $\overline{T}_Д$ – припустимий середній час управління (моніторингу) і регулювання об'єкта; $P_Д$ – нижній припустимий рівень імовірності

працездатності об'єкта; $\{V_Д\}$ – припустимі значення характеристик управління (моніторингу) типу маси, габаритів, умов експлуатації.

Таким чином, впровадження геоінформаційної підтримки прийняття рішень у СУТ дозволить (за розрахунками авторів):

1. Скоротити витрати на створення і експлуатацію в області тематичних державних і галузевих кадастрових систем у 2–4 рази (оцінка економії засобів обласного бюджету при створенні інформаційної системи державного містобудівного кадастру – 1 млн дол. США).

2. Заощадити за рахунок використання геоінформаційних технологій:

– при створенні опорної планово-геодезичної мережі – 0,5 млн дол. США (при цьому мережа покриє всю територію області, а не тільки населенні пункти);

– при оновленні (актуалізації) планів міст і центрів муніципальних утворень – близько 7,5 млн дол. США.

3. Знизити вартість робіт з інвентаризації об’єктів нерухомості і межування земель на 30–50%.

4. Підвищити ефективність обліку бази оподаткування, збільшити доходи бюджетів усіх рівнів бюджетної системи України в частині податків і зборів з майна і платежів за землю у 2–3 рази.

5. Вдосконалити облік державної і муніципальної власності, земельних ділянок і об’єктів нерухомості (площ в них) на них, що здаються в оренду. Вдосконалити й обґрунтувати схеми і методики розрахунку розміру орендної плати, підвищити її збір. Збільшити доходи бюджетів усіх рівнів бюджетної системи України в частині орендних платежів у 2–3 рази (оцінка зростання по м. Чернігову з 2,5 до 8 млн дол. США).

6. Підвищити ефективність використання природних ресурсів, що перебувають у державній і муніципальній власності, на у 1,5–2 рази.

7. Виявляти невикористовувані і неефективно використовувані землі с/г призначення.

8. Замінити паперові карти і плани 70–80-х років XX ст. системою постійно актуалізованих цифрових просторових даних (передбачувана економія тільки за рахунок усунення необхідності друку паперових карт – 0,3–0,4 млн дол. США).

9. Створити інформаційну базу для організації надання послуг за технологією ”одного вікна”.

10. Скоротити терміни оформлення дозвільної документації на будівництво в 3–4 рази.

11. Підвищити інвестиційну привабливість областей.

12. Організувати інформаційне обслуговування ОДВ і місцевого самоврядування, надати додаткові довідково-інформаційні послуги населенню і організаціям, які здійснюють свою діяльність на території області.

13. Підвищити інформаційну відкритість діяльності органів державної влади.

14. ГЕОПОРТАЛ, ЯК ЗАСІБ ЕФЕКТИВНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ

14.1. Загальні відомості про геопортали

Управління територіями в українських реаліях – річ надзвичайно складна.

Управління територіями – це інформаційний процес, який полягає у переробці потоку вхідної інформації про стан об'єкта управління у вихідний потік інформації при керуючому впливі. Без інформації управління неможливе. Тому найважливішою задачею управління територіями є організація інформаційно-аналітичного забезпечення системи управління.

В процесі управління територіями доводиться приймати нелогічні і неприйнятні з точки зору пересічних громадян і фахівців рішення, вислуховувати різку, а часом й обґрунтовану критику. В значному ступені ця зовнішня нелогічність пов'язана (в математичних термінах) з унікальною постановкою задачі: необхідно знайти не оптимальну стратегію, а квазіоптимальну – з урахуванням великої кількості обмежень. Образно кажучи, замість змагань з бігу доводиться проводити змагання з "бігу в мішках". Перерахуємо найважливіші з обмежень і проблем організаційного характеру.

1. *Облік*. Відсутність єдиної системи обліку територіальних ресурсів (земля, нерухомість, інженерні мережі тощо), що призводять до зменшення податкових надходжень, орендних платежів, затягуванню термінів основних технологічних процесів оперативного управління.

2. *Контроль*. Недостатній контроль за міськими або регіональними процесами (будівництво об'єктів, проведення заходів з благоустрою тощо), наявність сумнозвісного "людського фактора".

3. *Взаємодія*. Недостатня інформаційна взаємодія між органами влади, наявність власних інтересів у кожного учасника процесу.

4. *Інформування*. Недостатня відкритість органів влади, неефективний зворотний зв'язок з населенням і бізнесом, що спричиняє різке несприйняття тих або інших заходів.

5. *Аналіз і прийняття рішень*. Необхідність прийняття рішень в умовах невизначеності з опорою тільки на власну суб'єктивну думку, яка найчастіше сформована при відсутності повних і достовірних знань про територію.

Традиційні ГІС дають можливість декілька виправити ситуацію за рахунок забезпечення інтеграційних переваг, точної прив'язки і наочності подання просторових даних, особливо при наявності геопорталів.

Геопортал *(від англ. geoportal – гео – земля + портал, portal – ворота)* ***– веб-портал, що відбиває і надає доступ до просторової інформації за допомогою веб-сервісів.***

Сучасна класифікація геопорталів базується на функціональному призначенні та інтеграційних можливостях:

- За галузевою спрямованістю: тематичні (вузькоспеціалізовані, наприклад, для моніторингу лісів чи агромоніторингу) та універсальні (мультидоменні інфраструктури).
- За масштабом охоплення: глобальні (геопросторові сервіси світового рівня, як-от Sentinel Hub чи Google Earth Engine), національні та локальні (портали територіальних громад чи адміністративних районів).
- За рівнем доступу та призначенням: публічні (відкриті сервіси для широкого загалу) та корпоративні (закриті або гібридні платформи для управління ресурсами підприємств чи органів влади).

Нині корпоративні геопортали, що інтегрують дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), стали ключовим інструментом Decision Support Systems (DSS) — систем підтримки прийняття рішень при управлінні територіями. Еволюція цих систем зумовлена переходом від статичних каталогів метаданих до динамічних Cloud GIS-платформ, що забезпечують безшовну інтеграцію даних через стандартизовані API (OGC, REST[12]) та дозволяють проводити просторовий аналіз у режимі реального часу.

Сучасні цифрові екосистеми базуються на архітектурі мікросервісів та мікрофронтендів, що забезпечує гнучкість модульної структури без обмежень застарілих стандартів портлетів. Централізована автентифікація реалізується за допомогою протоколів OIDC (OpenID Connect) та SAML 2.0, що дозволяє користувачу безперешкодно працювати в рамках єдиного цифрового простору. Сучасні рішення орієнтовані на персоналізацію контенту на базі даних (Data-driven personalization) та підтримку Headless-архітектури, що дозволяє доставляти інформацію на будь-які кінцеві пристрої, включаючи мобільні застосунки та зовнішні API

Логічна структура геопорталу базується на принципах побудови просторових інфраструктур даних (Rajabifard & Williamson, 2001), де взаємодія між рівнями даних та інтерфейсом користувача забезпечується через стандартизовані API (OGC, 2023), що дозволяє інтегрувати геопросторові ресурси в єдиний цифровий простір (Fu & Sun, 2010). Орієнтовна структура геопорталу представлена на рис. 14.1.

[12] Передача репрезентативного стану - це архітектура побудови веб-сервісів, що базується на протоколі HTTP. Він є стандартом де-факто для сучасних інтернет-додатків через свою простоту та масштабованість. REST-сервіси використовують стандартні методи (GET, POST, PUT, DELETE) для маніпуляції ресурсами (наприклад, запиту даних про координати об'єкта).

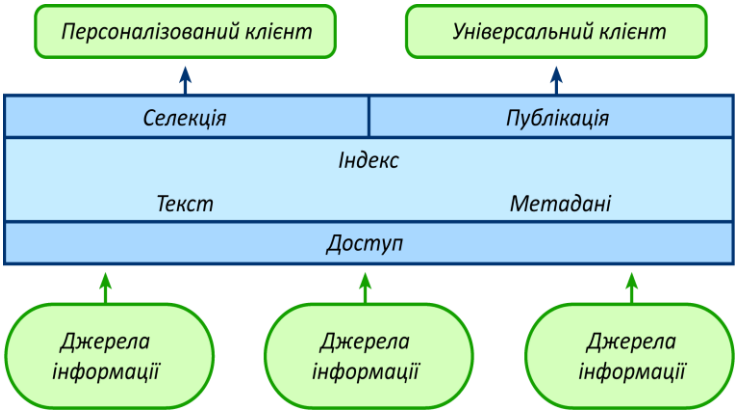


Рис. 14.1. *Логічна структура геопорталу*

Функціональна архітектура сучасних державних порталів (на відміну від монолітних корпоративних рішень минулого) базується на сервіс-орієнтованому підході. Замість простого накопичення метаданих, портал виступає як інтеграційна платформа, що забезпечує безшовний доступ до державних реєстрів та електронних сервісів. Взаємодія за моделями G2B, G2C, G2G[13], реалізується через API-шлюзи, що гарантує високу швидкість обміну даними, безпеку та відповідність стандартам сумісності (interoperability).

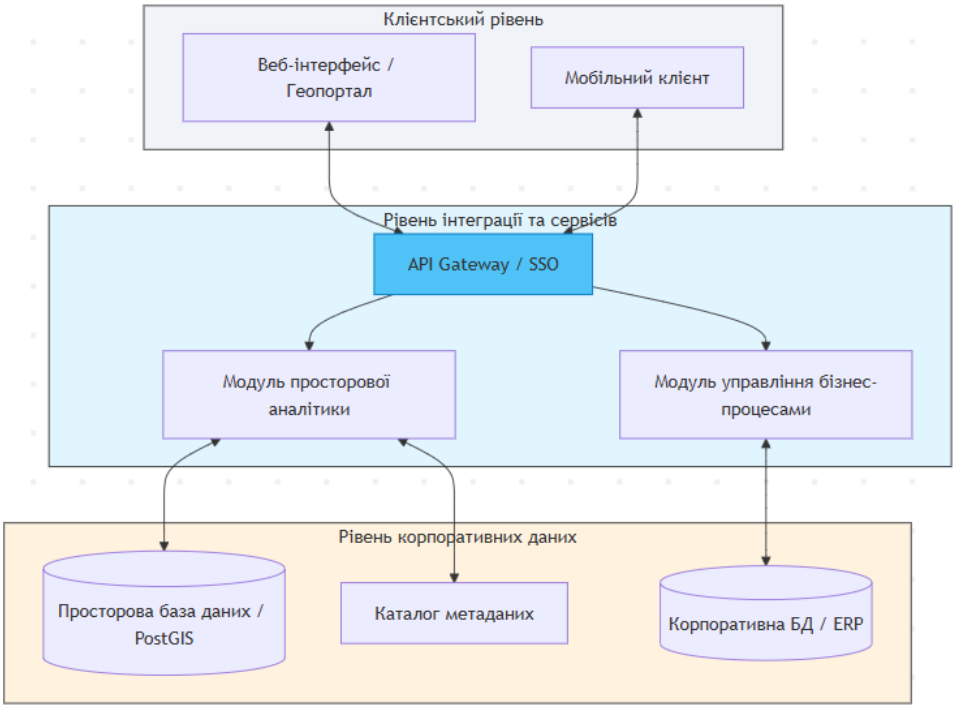


Рис. 14.2. *Функціональна архітектура корпоративного геопорталу*

[13] G2B (Government to Business) Держава — Бізнес. G2C (Government to Citizen) Держава — Громадянин. G2G (Government to Government) Уряд — Уряд).

14.2. Еволюція програмного забезпечення для геопорталів

Еволюція програмного забезпечення для геопорталів і їх можливостей представлена на рис. 14.3.

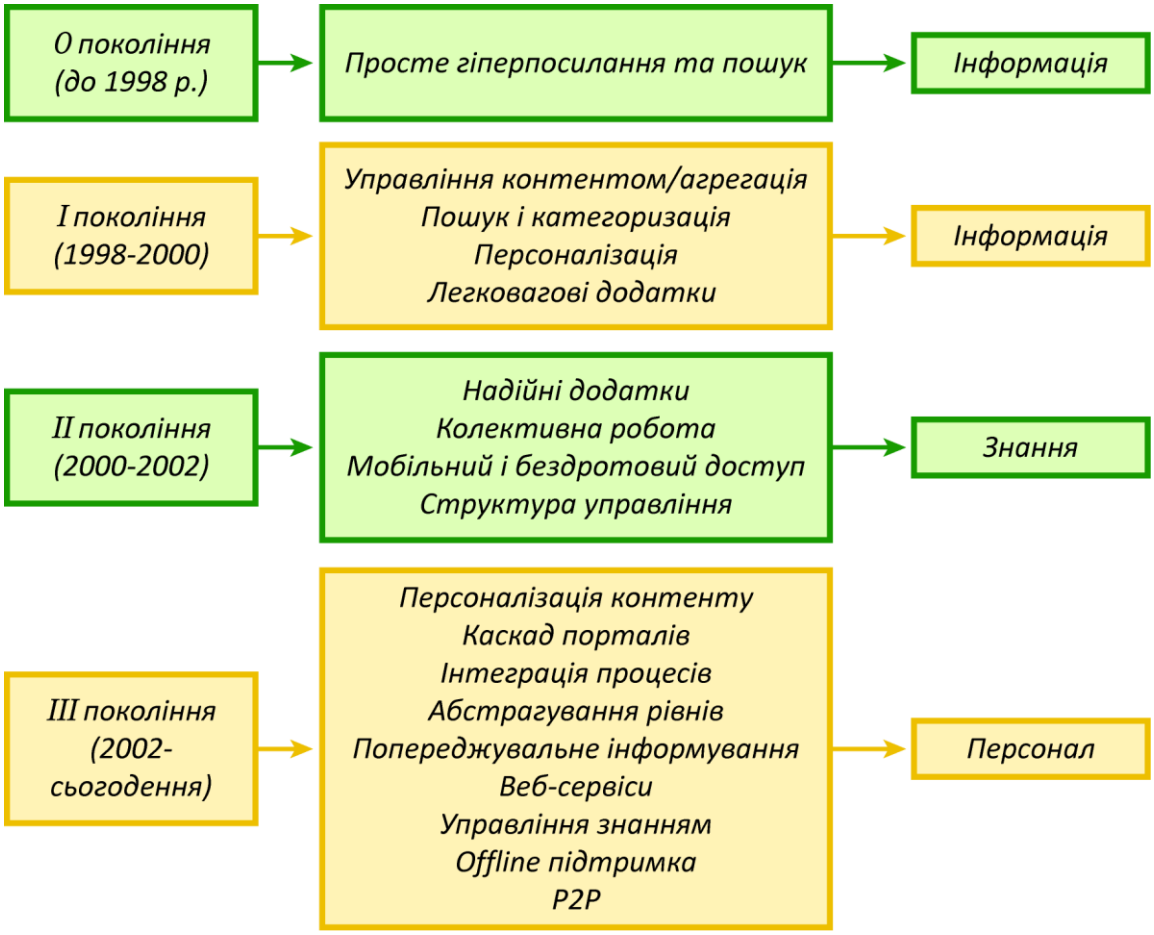


Рис. 14.3. *Покоління програмного забезпечення для геопорталів*

Геопортали використовуються постачальниками геоданих комерційними і державними організаціями для розміщення опису метаданих розроблених картографічних й інших геопросторових продуктів. У свою чергу, споживачі цих продуктів – професіонали і представники широкого загалу громадськості, використовують геопортали для пошуку й одержання необхідної їм геопросторової інформації.

По мірі розвитку інформатизації суспільства геопортали виконують все більш зростаючу роль у широкому розповсюдженні геопросторової інформації і продуктів на їх основі, усуваючи дублювання зусиль і непродуктивні витрати часу і ресурсів.

У США і Європі фахівці і галузі ГІС і ІПД розглядають геопортал як ”точку входу в інтернет або інтранет с інструментами перегляду метаданих,

пошуку геоінформації, її візуалізації, завантаження, розповсюдження і, по можливості, замовлення послуг геосервісів".

Європейська ініціатива INSPIRE – Infrastructure for Spatial Information in the European) Community пропонує використовувати геопортал з метою інтеграції ІПД європейських держав; він визначається як сайт, перелік функцій якого, реалізованих у вигляді веб-сервісів геосервісів), включає пошук наборів даних, їх візуалізацію геовізуалізацію), завантаження і трансформування, а також виклик інших сервисів (Directive 2007/2/EC jf the European Parlament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community INSPIRE).

Перший великий геопортал у "класичному" його розумінні почав створюватись у США наприкінці 90-х рр. XX ст. під керівництвом федерального комітету по геоданих Federal Geospatial Data Committee – FGDC) в рамках розвитку національної інфраструктури просторових даних НІПД – NSDI) Clearinghouse Network.

У 2003 р. в США стартував геопортал Geospatial One-Stop GOS), створений в рамках ініціативи "електронний уряд" і побудований навколо централізованої бази каталогів метаданих, які пов'язують клієнтів з постачальниками геоданих і геопродуктів. Користувач геопорталу GOS може використовувати стандартну програму-браузер або "переглядач" "тонкий клієнт") або зв'язуватись через ГІС "товстий клієнт").

Практична реалізація положень Закону України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних» втілена у функціонуванні національного геопорталу НІГД (Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», 2020). Він створює необхідне технологічне підґрунтя для виконання міжнародних зобов'язань України в межах Орхуської конвенції (Конвенція про доступ до інформації..., 1998), оскільки дозволяє оперативно оприлюднювати верифіковані екологічні дані у формі інтерактивних карт, доступних для громадського контролю та аналізу.

Тонкий клієнт – пристрій уведення та відображення інформації (термінал). Фізично тонкий клієнт – це компактний і безшумний комп'ютер без жорсткого диска (часто з пасивним охолоджнням), завантаження основної операційної системи якого відбувається на сервері. Всі призначені для користувача програми виконуються на термінальному сервері (сервері додатків). Оскільки все обчислювальне навантаження лягає на сервер, то тонкий клієнт має мінімальну апаратну конфігурацію, без шкоди продуктивності. Тонкі клієнти застосовуються в організаціях, де більшість користувачів використовують комп'ютери для виконання однотипних завдань: робота з базами даних, інформаційні каталоги, робота з веб-браузерами (магазини, аптеки, бібліотеки, лікарні, готелі тощо), робота банківських терміналів тощо. Найпростіша схема організації мережі подана на рис. 14.4.

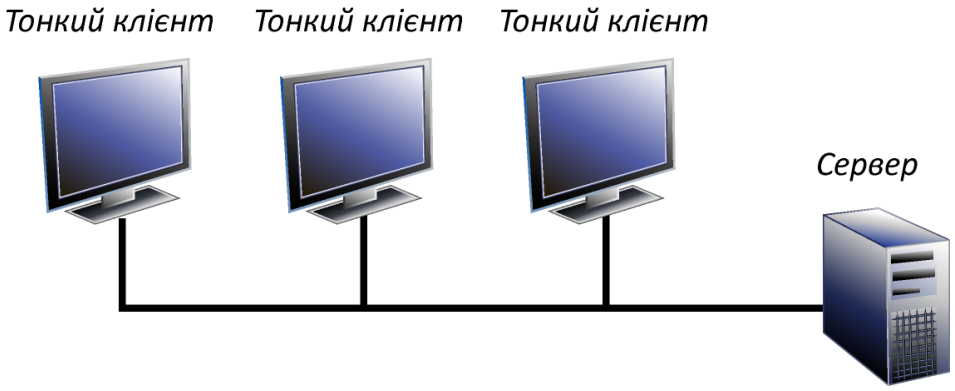


Рис. 14.4. *Уведення та відображення інформації за схемою "тонкий клієнт"*

Товстий клієнт в архітектурі клієнт-сервер – це застосунок, що забезпечує (на противагу тонкому клієнту) розширену функціональність незалежно від центрального сервера. Часто сервер в цьому випадку є лише сховищем даних, а вся робота з обробки і подання цих даних переноситься на комп'ютер клієнта.

Сьогодні концепція геопорталів еволюціонувала від статичних каталогів геопросторових даних до складних інтегрованих цифрових екосистем. Провідні світові ініціативи, такі як INSPIRE (ЄС) та UN-GGIM (глобальна ініціатива ООН), зосереджені не лише на публікації метаданих, а й на створенні федеративних просторових даних, доступних через API у режимі реального часу.

Сучасні геопортали (наприклад, Copernicus Data Space Ecosystem для моніторингу довкілля чи Esri ArcGIS Living Atlas) стали фундаментальним інструментом підтримки прийняття управлінських рішень. Вони інтегрують дані дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), сенсорні мережі інтернету речей (IoT) та результати просторового моделювання. Національні інфраструктури геопросторових даних (ІПД) тепер базуються на архітектурі хмарних ГІС (Cloud GIS), що дозволяє реалізувати концепцію «цифрових двійників» територій для ефективного управління в умовах глобальних кліматичних змін та урбаністичних викликів.

14.3. Функції геопорталів

Перший і найважливіший блок функцій геопорталів – це надання просторової інформації (вьюер геоданих у середовищі інтернет). Не менш важливою функцією є можливість оверлею (накладання даних різних шарів), отриманих з різних серверів (наприклад, карти з відкритого джерела OpenStreetMap, космічного знімку зі спеціалізованого ресурсу і публічної кадастрової карти). Серверів, що надають доступ до карт, тематичних ресурсів, може бути дуже багато. Тому, по-перше, розробляються бази метаданих для під'єднання до них, реєстрації власних наборів просторових даних і їх пошуку,

а по-друге, існують загальні ”мови” спілкування між серверами – протоколи WMS,WFS,WCS тощо. Замість простого накладання векторів, сучасні портали використовують технологію 3D Tiles та Digital Twin Rendering. Геопортал сьогодні — це не «картографічний в’юер», а інтерактивна 3D-сцена, де дані з різних джерел об'єднуються на льоту (Client-side rendering).

Другий блок функцій – введення і редагування користувачами власних тематичних шарів і об’єктів з можливостями текстового опису і прикріплення фотографій та інших зовнішніх файлів.

У більшості геопорталів реалізовані робота з простими точковими, лінійними і полігональними об’єктами і завантаження треків із навігаційних приладів. Основна мета – задати область інтересу або розмістити свій набір об’єктів на карті (список заправок, відділень банку тощо).

Третій блок функцій – пошук і просторовий аналіз за різними параметрами. Включає зазвичай пошук за адресами, найменуваннями, іншими критеріями, просторовий пошук усередині заданої області, пошук найближчих об’єктів, обчислення площ, відстаней, периметрів, найкоротшого шляху тощо. Також підтримуються стандартні для ГІС запити: ”що це?” (видача інформації по об’єкту на карті) і ”де це?” (позиціонування на карті об’єкту з деякого списку). Нині геопортал не просто «шукає заправку», він аналізує трафік та прогнозні дані, щоб запропонувати оптимальне місце рішення.

Наступна важлива можливість – інтеграція з іншими інформаційними ресурсами в середовищі інтернет. Карти більше не "вбудовуються", вони підключаються як сервіси через сучасні API до будь-якої бізнес-системи (ERP, CRM, BI-панелі). Геотаргетинг став основою Location Intelligence — аналітики, що базується на поведінці користувачів у реальному часі.

Окремо варто згадати додаткові сервіси – надання інформації про рухомі об’єкти, (які обладнані системами навігації), розсилка новин залежно від місця розташування клієнтського пристрою (мобільні телефони, комунікатори тощо), геотаргірована реклама.

З точки зору користувача, геопортал – красива непрофесійна ГІС у середовищі інтернет. Однак за його допомогою можна отримати доступ до величезного переліку відомостей і надати можливість користуватися вашими ресурсами широкому загалу споживачів інформації. Реалізувавши рішення про розміщення своїх даних в інтернет, можна відразу відчути його ефект.

Прикладами геопортальних розв’язків можуть слугувати широко відомі – GoogleMaps, OpenStreetMap. Крім того, є безліч ресурсів такого роду регіонального і муніципального рівнів.

14.4. Геопортал, як засіб інформування населення і бізнесу про реалізацію муніципальних і державних послуг та функцій

Через геопортал дуже зручно і просто інформувати населення про дорожні затори і зміни руху транспорту, межі зон відповідальності за прибирання території, земельних ділянок, особливо охоронюваних природних територій, містобудівних зон тощо. При цьому можна використовувати "чужу" картографічну основу (наприклад, OpenStreetMap) або космічні знімки, що розміщені на зовнішніх сервісах, і зосередитися виключно на розміщенні тематичної інформації. Користувач у свою чергу може конфігурувати отримуваний інформаційний потік, обравши відповідні тематичні шари, розділи і сферу інтересів, і до нього будуть потрапляти, наприклад, тільки дані по його мікрорайону або кварталу.

Населенню геопортал надає чудову можливість більше дізнатись про певну територію, місто або регіон, отримати доступ до маси державних послуг інформаційно-довідкового типу. Наприклад, можна ввести зупинки, де ви знаходитесь (або нічого не вводити, якщо працюєте з комунікатором), і в зворотному повідомленні отримати орієнтовний час прибуття громадського транспорту з урахуванням пробок, часу в дорозі і опис оптимального маршруту до місця призначення.

Для бізнесу геопортал виступає інструментом планування. Потенційний інвестор вказує на карті передбачуване місце відкриття торгівельної точки і зону обслуговування, отримуючи у відповідь відомості про кількість населення в адміністративній області, вартість землі, найближчі вільні площі під оренду і торгові точки конкурентів.

Інформування населення і бізнесу – справа безумовно важлива, проте за значимістю їй не поступається отримання зворотного відгуку на основі геоприв'язаних звернень, тобто користувачі вводять власні об'єкти, залишають коментарі, вказують на недоліки або помилки. По-перше, це доволі простий і елегантний спосіб суспільного контролю діяльності органів влади – чи вивезли сміття сьогодні, чи дійсно відремонтували дорожнє полотно, де з'явились несанкціоновані сміттєзвалища, рекламні щити[14], торгові точки або відбулось самовільне захоплення території. Наприклад, як перевірити законність розміщення усіх кіосків (об'єктів малих архітектурних форм, МАФ) у місті? Перший варіант – наняти спеціальну організацію, яка проведе виїзну інвентаризацію, за результатам якої МАФи будуть прибрані (але тут же з'являться знову). Другий варіант – розмістити відомості про всі офіційно дозволені кіоски на геопорталі і дати можливість користувачам наносити місце розташування інших виявлений кіосків (МАФів) з прикріпленням фотоматеріалів, за якими вже й здійснювати виїзні перевірки. Ефективність

[14] спеціальна конструкція - рекламний засіб (зазвичай стандартного розміру 3 на 6 метрів)

муніципального земельного контролю зросте на порядок, місто отримає додаткові доходи від штрафів і орендних платежів. При правильній організації виникає соціальний ефект – формується майданчик для спілкування, користувачі створюють власні шари, діляться ними, обговорюють ті або інші управлінські рішення.

Третій приклад – прибирання снігу в місті. На геопорталі розміщується інформація комунальних служб про прибрану територію, а населення інформує органи самоврядування про дійсно прибрану територію і якість цього прибирання.

Гарний ефект дає попередня публікація на геопорталі перед громадськими слуханнями схем міськобудівного зонування, матеріалів генерального плану з підкладкою із космознімків і обговорення громадянами і професійними об'єднаннями цих публікацій для формування зведеного списку зауважень.

14.5. Інформаційний обмін між органами влади

Проблема інформаційного обміну є надзвичайно актуальною. Сторонньої інформації зазвичай не хватає, свою віддати в повному обсязі страшнувато, виникають питання актуальності даних, сумісності використовуваних ГІС, захисту даних від несанкціонованого копіювання тощо.

Можливим вирішенням цієї проблеми є використання технології надання сервісів замість надання даних. Наприклад, у корпоративній мережі органів влади розміщуються вебсервіси, що надають доступ до обраних (обмежених) наборів даних кожного з учасників інформаційного обміну за загальними стандартами. Користувач на екрані браузера або своєї ГІС бачить, наприклад, шари меж лісів, межі сільгоспугідь, межі земельних ділянок, положення дорожньої мережі і на підставі цієї інформації проектує і наносить межі територіальних зон, не турбуючись про сумісність даних.

Ілюстрацією подібної взаємодії із зовнішніми користувачами слугує організація робіт по закріпленню території за різними керуючими компаніями. Традиційна схема передбачала б виїзди на місця, складання паперових схем, їх зведення, введення в комп'ютер, повторне узгодження загальної карти з усіма учасниками процесу. На відміну від цього, через геопортал кожній організації надається санкціонований доступ до тематичного шару, керуючі компанії вводять по підкладці межі зон обслуговування, які потім затверджуються модератором.

Таким чином, проблема відсутності системи обліку територіальних ресурсів вирішується шляхом створення єдиної просторової бази даних з підключенням зовнішніх джерел і спільної роботи у середовищі інтранет/інтернет по оперативному чергуванню інформаційних шарів.

Проблема ефективного контролю за об’єктами і процесами вирішується шляхом обов’язкового інформування про стан об’єкта або процесу з прив’язкою до місцевості і наступного включення механізмів громадського і вибіркового адміністративного контролю за знайденими невідповідностями.

Проблема недостатньої інформованості населення і бізнесу і зворотного зв’язку з ними розв’язується уведенням відповідних функцій в міський або регіональний геопортал.

14.6. Еволюція корпоративних геопорталів. Технологія сервера додатків Oracle WebLogic

Еволюція корпоративних геопорталів пройшла шлях від централізованих серверів додатків (зокрема, на базі *Oracle WebLogic* або *IBM WebSphere*), що забезпечували надійність у Java EE середовищі, до сучасних хмарно-орієнтованих (Cloud-native) архітектур. Перехід від монолітних J2EE-рішень до мікросервісної архітектури дозволив досягти вищої гнучкості, масштабованості та швидкої інтеграції з потоками даних дистанційного зондування Землі

Сама по собі задача створення геопортала виглядає начебто дуже простою: потрібно просто забезпечити публікацію підмножини просторових и атрибутивних даних, якими оперує муніципальна або регіональна ГІС, в мережах інтернет/інтранет для робочих місць, обладнаних лише веб-браузером. Але ця задача є простою лише в першому наближенні, оскільки:

– по-перше, потрібно забезпечити пряму публікацію цієї підмножини, обминаючи будь-які проміжні перетворення (інакше актуальності і одноманітності інформації навряд чи вдасться спромогтись);

– по-друге, необхідно передбачити можливість публікації не тільки векторних, але й растрових даних, включаючи крупні масиви ДДЗ, без висування серйозних вимог до апаратного забезпечення таких робочих місць;

– геопортал повинен бути працездатним на всіх типах операційних систем, включаючи мобільні пристрої. Це не тільки відображення явного тренда в розвитку інформаційних технологій, але й передумови розв’язку нагальних задач інформаційного забезпечення мобільних бригад різного призначення;

– геопортал повинен максимально мінімізувати трафік даних для забезпечення можливості використання зазвичай наявних у розпорядженні в нашого українського замовника каналів зв’язку з відносно невисокою пропускною здатністю.

Усі ці вимоги можна успішно реалізувати наприклад, шляхом розробки спеціалізованого програмного компонента CS Urban View, що функціонує в середовищі сервера додатків Oracle WebLogic.

CS UrbanView є портальним рішенням, яке дозволяє публікувати в мережах інтернет/інтранет без будь-якого проміжного перетворення просторові і описові дані, що зберігаються в СКБД Oracle з використанням опцій Oracle Locator/Spatial. Це сучасний геоінформаційний продукт, побудований за трирівневою архітектурою з тонким клієнтом, призначений для розв'язання задач, пов'язаних з пошуком, аналізом і відображенням просторових і атрибутивних даних як муніципального, так і регіонального рівнів, і який забезпечує підтримку всіх відомих систем координат і картографічних проекцій

CS UrbanView може з успіхом застосовуватись в рамках комплексних проектів зі створення муніципальних ГІС, інформаційних систем забезпечення містобудівної діяльності (ІСЗМД) і геоінформаційного моніторингу інженерних комунікацій, у тому числі – як інструмента інформаційного забезпечення мобільних бригад. Використання принципу єдиного сховища просторових і описових даних на основі СКБД Oracle забезпечує можливість оперування необмеженими об'ємами даних для довільної кількості користувачів з організацією регламентованого доступу засобами адміністрування СКБД (рис. 14.5).

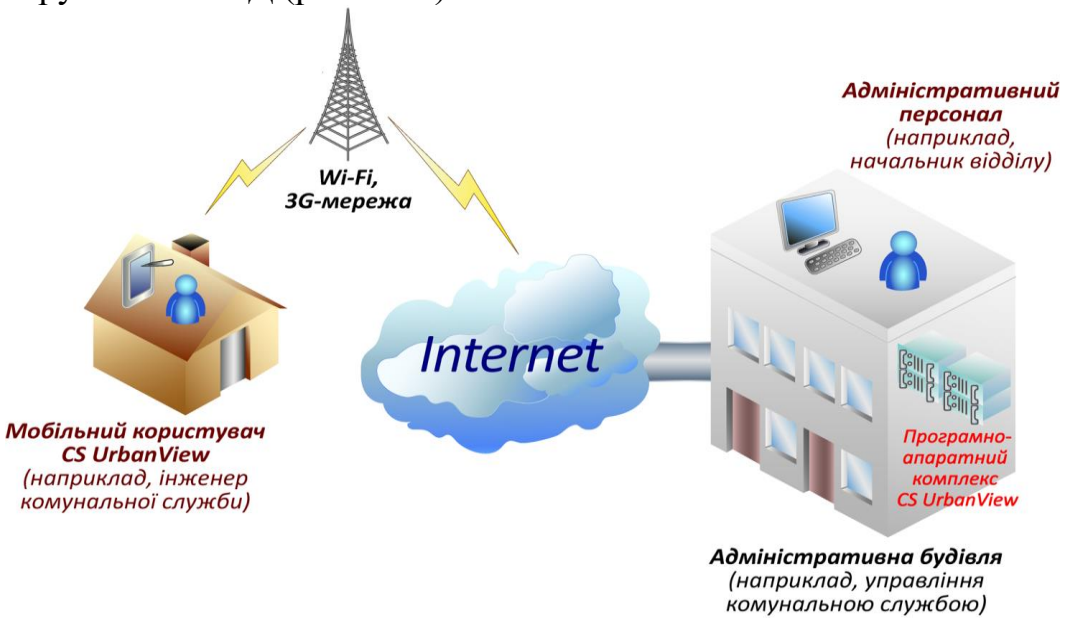


Рис. 14.5. *Мережева архітектура CS UrbanView* (Довгий та ін., 2010)

До підмножини просторових і описових даних, призначених адміністратором геопорталу для публікації, зазвичай відносяться:

– містобудівна документація муніципального і регіонального рівнів, у тому числі функціональне і територіальне зонування і правовстановлюючі документи;

– адресні реєстри рівнів муніципалітетів і суб'єкта держави;

– дані по об'єктах капітального будівництва і земельних, кадастрових ділянках;

– дані по інженерній інфраструктурі (водопостачання і каналізація, газо і теплопостачання, повітряні і кабельні мережі енергопостачання, телекомунікаційні мережі).

Побудований у відповідності з концепцією трирівневої архітектури на базі продуктів і технологій компанії Oracle, комплекс CS UrbanView складається з трьох основних компонентів (рис. 14.6) (Довгий та ін., 2010):

1) сервер додатків на базі продукту Oracle WebLogic Server;

2) сервер бази даних на базі СКБД Oracle Database;

3) тонкий клієнт (веб-клієнт), яким виступає практично будь-який настільний або мобільний веб-браузер (MS Internet Explorer, Google Chrome, Mozilla Firefox тощо).

Сервер додатків Oracle WebLogic Server – це продукт лінійки проміжного програмного забезпечення Oracle Fusion Middleware, який є повноцінною Java платформою для реалізації бізнес бізнес логики и бізнес процесів обробки, статистичного аналізу даних ІСЗМД. Використовувана основа Oracle Application Development Framework (Oracle ADF) і розгорнутий на сервері додатків компонент Oracle MapViewer дозволяють оперативно обробляти і відображувати дані, здійснювати тематичне картографування і просторовий аналіз.

Сервер бази даних побудований на базі продукту Oracle Database з опцією Oracle Spatial або Oracle Locator, що забезпечує збереження просторових даних.

Усі перераховані компоненти можуть бути успішно інстальовані і розгорнуті в будь-яких операційних системах, таких як Microsoft Windows, Linux, Solaris (32-бітна і 64-бітна архітектура). Це дозволяє досягти додаткової гнучкості в конфігуруванні системи і повній крос-платформності проекту.

Архітектура комплексу CS UrbanView забезпечує гарну масштабованість, конфігурованість, надійність і безпеку системи, а головне – низькі вимоги до продуктивності і характеристик клієнтських робочих місць, що дозволяє його використовувати не тільки в настільних і переносних комп’ютерах, але й в мобільних телефонах, смартфонах, планшетних ПК тощо.

Мобільні веб-клієнти надають можливість організовувати оперативну роботу користувачів з сервісом CS UrbanView. Використання мобільних пристроїв і безпровідних мереж (Wi-Fi і 3G-мережі) для організації доступу до CS UrbanView є оптимальним для працівників комунальних служб, що здійснюють оперативне введення даних, і для адміністративного персоналу, що потребує цілісної інформаційної картини в тій або іншій сфері інженерних комунікацій. Наприклад, інженери кабельних електромереж, що обслуговують технологічне обладнання, можуть за допомогою смартфонів або планшетних ПК вносити службову атрибутивну інформацію, яка миттєво відображується на клієнтських комп’ютерах у персоналу, що знаходиться в адміністративній будівлі.

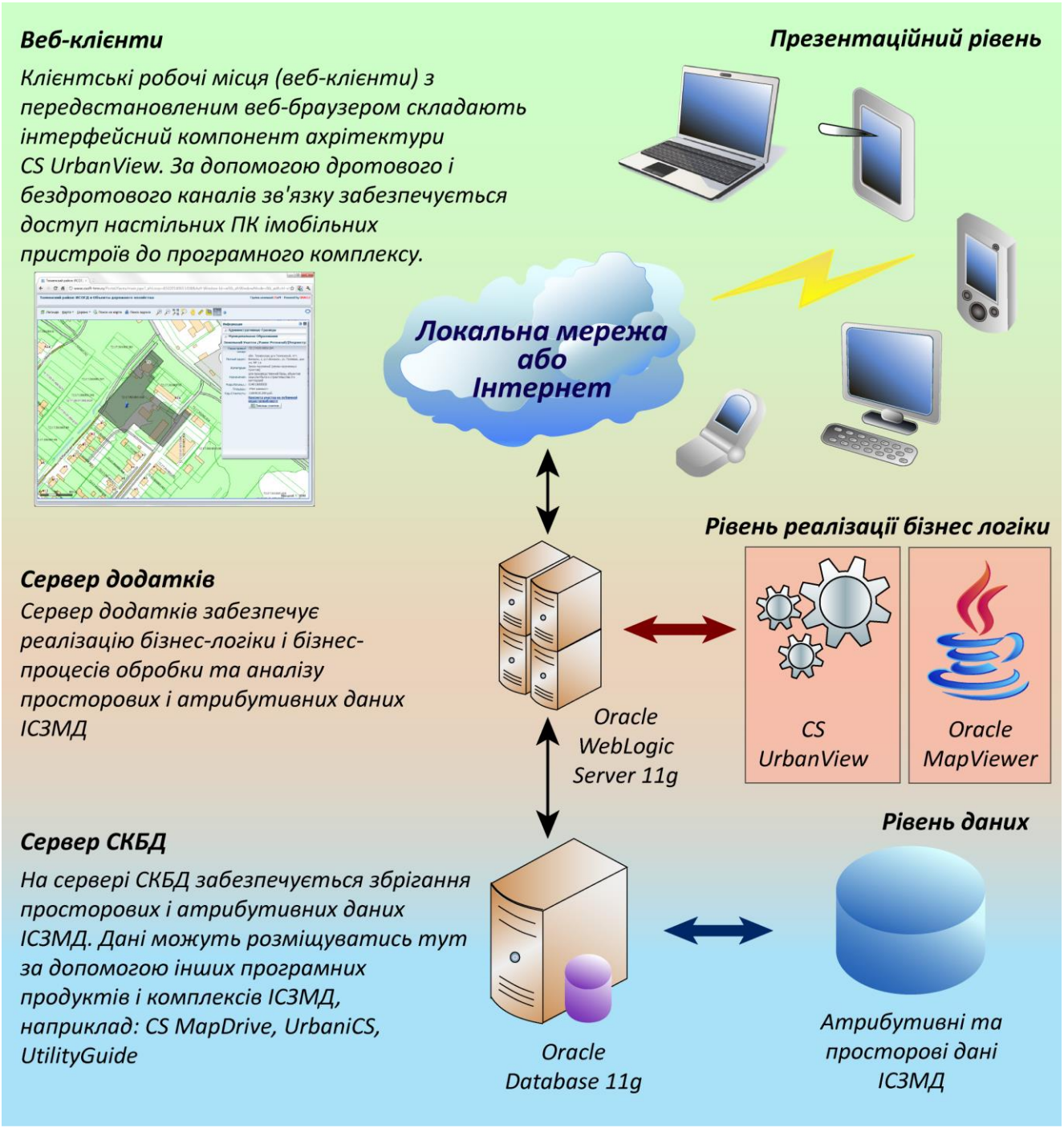


Рис. 14.6. *Трирівнева архітектура CS UrbanView.* (Довгий та ін., 2010)

Для підвищення продуктивності, масштабованості і надійності роботи програмно-апаратного комплексу CS UrbanView при його розгортанні можливе використання технологій Oracle Real Application Cluster, Oracle WebLogic Cluster, а також організація grid-обчислень. У найпростішому випадку сервер додатків і сервер бази даних можуть знаходитись на одному фізичному сервері.

CS UrbanView обладает широкими можливостями щодо інтеграції зі сторонніми картографічними сервісами. Так, інтеграція з сервісами Google

Maps і Google Earth дозволяє поєднувати просторові дані, що зберігаються на локальному сервері БД ІСЗМД, з публічними картами, що надаються Google Maps. А взаємодія с Google Earth забезпечує можливість відображення додаткової інформації про тривимірні об'єкти (Довгий та ін., 2010).

Функціональність геопорталів може бути суттєво розширена за рахунок використання CS UrbanView і засобів сервісно-орієнтованої архітектури (SOA) для інтеграції з зовнішніми джерелами просторових або атрибутивних даних (рис. 14.7) (Довгий та ін., 2010).

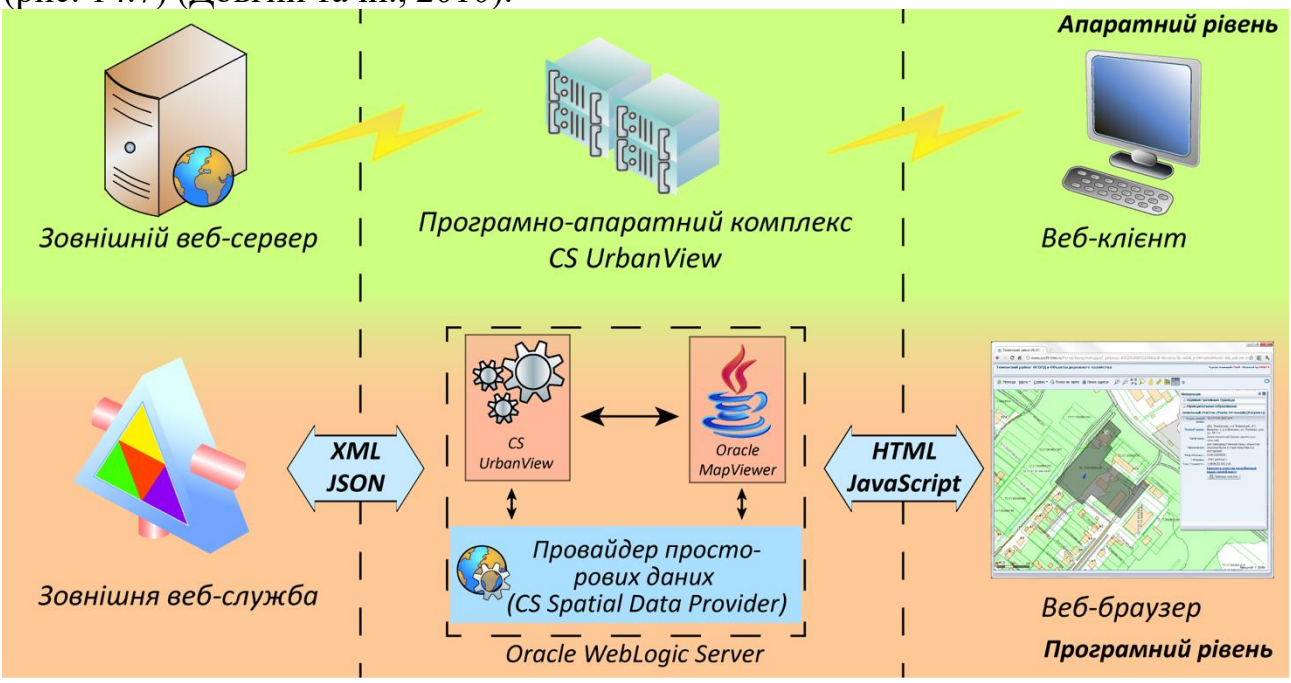


Рис. 14.7. *Сервісно-орієнтована інтеграція CS UrbanView*

Можливості тематичного картографування, що застосовуються в CS UrbanView, дозволяють виділити або позначити на карті об'єкти, у яких значення атрибутів, що цікавлять користувача, потрапляють у зазначений інтервал або співпадають з заданим значенням. Наприклад, можна позначити колірним градієнтом містобудівні зони, площа яких потрапляє в заданий діапазон значень (рис. 14.8) або, наприклад, позначити кабельні мережі низької напруги з кабелями марок, що цікавлять користувача (рис. 14.9) (Довгий та ін., 2010).

В CS UrbanView реалізовані широкі можливості просторового аналізу і пошуку:

– пошук об'єктів в зоні окружності – дозволяє шукати на карті об'єкти, які містяться в зоні, що визначається окружністю із заданими центром і радіусом;

– пошук об'єктів в зоні довільного прямокутника – дозволяє, позначивши на карті територію, що цікавить користувача, і вказавши, яким чином буде аналізуватись зміст, шукати в інформаційній базі і на карті об'єкти (будівлі, дороги, проекти планування і межування, комунікації тощо);

– пошук об’єктів у буферній зоні – дозволяє, обравши об’єкт, тематичний шар і ширину буферної зони, здійснювати аналіз вмісту територій, що прилягають до об’єкта;

– пошук усередині об’єкта – дозволяє, позначивши на карті об’єкт, що цікавить користувача, одержати всю інформацію про об’єкти, що міститься цьому об’єкті. Наприклад, знайти всі будівлі, споруди і комунікації, що знаходяться всередині заданої ділянки межування або планування.

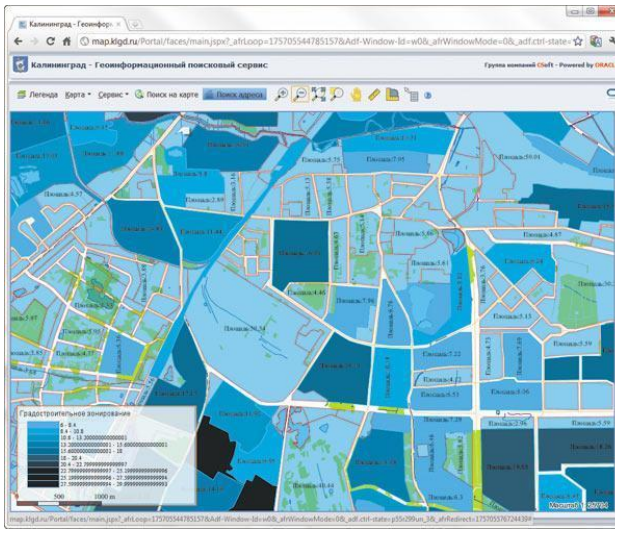


Рис. 14.8. *Приклад тематичного картографування містобудівних зон в CS UrbanView*

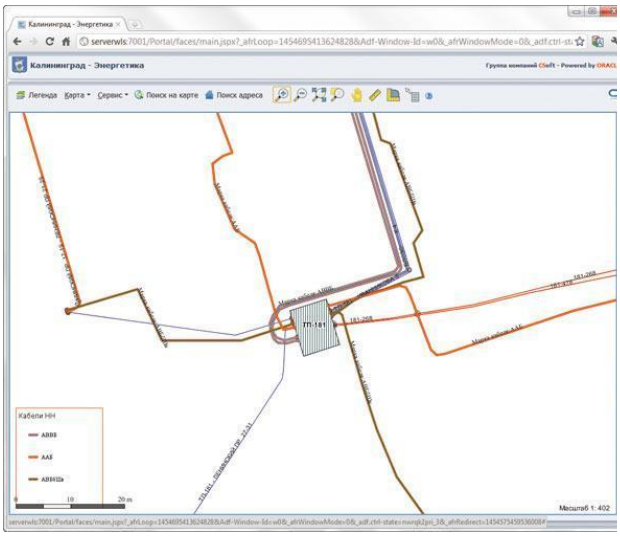


Рис. 14.9. *Приклад тематичного картографування кабелів низької напруги для потреб служби кабельних мереж в CS UrbanView*

Користувач може оперативно отримати технічну і правову інформацію про будь-який обраний на карті об’єкт, що міститься в ІСЗМД, переглянути і завантажити на свій комп’ютер актуальні правовстановлюючі документи, що його стосуються.

Консоль адміністрування CS Urban View (рис. 14.10) дозволяє системному адміністратору довільно змінювати кількість, номенклатуру, стилі і послідовність відображення різних класів просторових об’єктів, що зберігаються в СКБД Oracle Database (Довгий та ін., 2010).

Для відображення геоприв’язаних растрових даних може використовуватись технологія Oracle GeoRaster.

Крім того, CS UrbanView дозволяє здійснювати OLAP-аналіз (Online Analytical Processing) даних ІСЗМД, формуючи зведені таблиці, а також наочно ілюструючи результати аналізу і агрегування даних за допомогою широкого спектра графіків і діаграм.

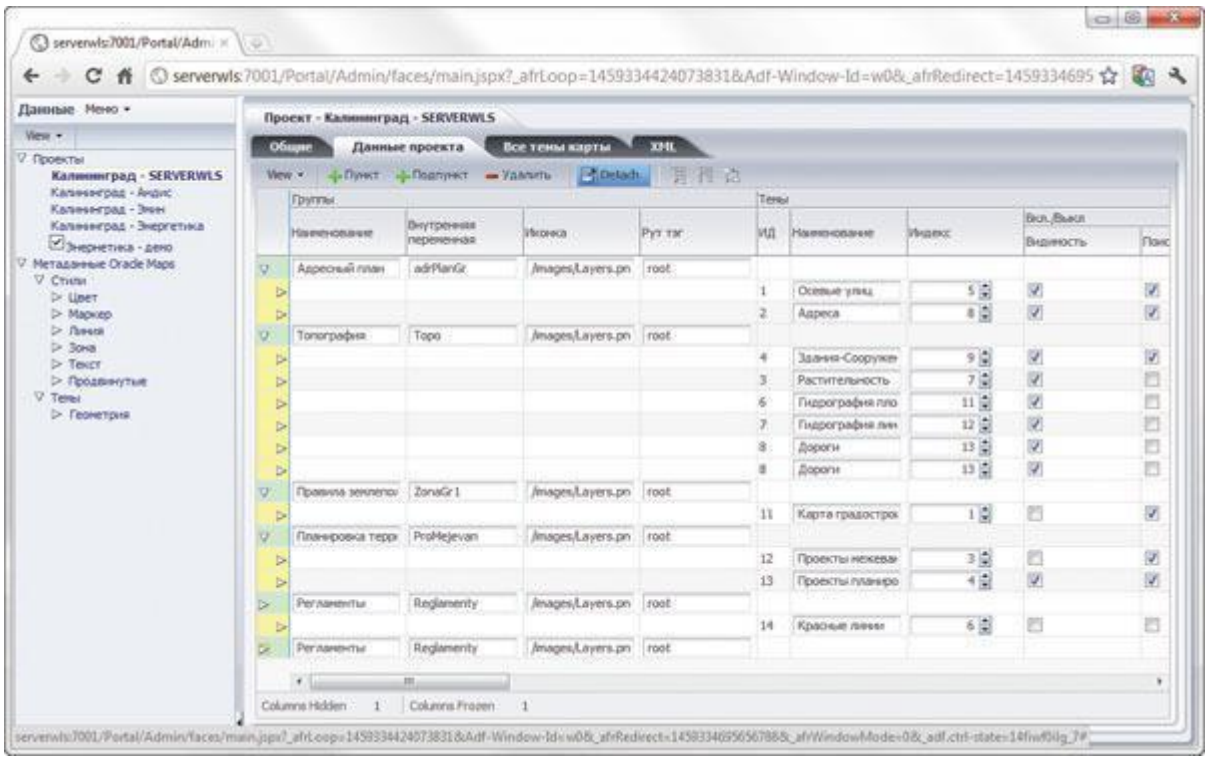


Рис. 14.10. *Консоль адміністрування CS UrbanView*

Підсумовуючи, слід зазначити, що архітектурні рішення, побудовані на базі серверів додатків рівня Enterprise (як-от *Oracle WebLogic*) та спеціалізованих клієнт-серверних комплексів (наприклад, *CS UrbanView*), заклали основу для інтеграції геопросторових даних з корпоративними базами даних та системами OLAP-аналізу. Проте, незважаючи на високу надійність, ці технологічні стеки характеризуються значною складністю адміністрування, монолітною структурою та обмеженими можливостями для масштабування в хмарних середовищах.

Сучасний етап розвитку вебтехнологій вимагає переходу до Cloud-native архітектур та мікросервісних рішень, що забезпечують вищу гнучкість, швидкість опрацювання великих обсягів даних дистанційного зондування та можливість динамічного впровадження інтелектуальних методів аналізу — зокрема, статистичних методів оптимізації .

Cloud-native (хмарно-орієнтована) архітектура — це підхід до проектування та створення програмних систем, які розробляються спеціально для роботи в середовищах хмарних обчислень.

На відміну від традиційних систем (як, наприклад, згаданий раніше WebLogic), які просто «переносять» дані на віртуальний сервер, Cloud-native додатки створюються як набір автономних компонентів, що максимально ефективно використовують переваги хмари: масштабованість, швидкість оновлення та стійкість до відмов.

Станом на 2026 рік хмарні обчислення стали не просто опцією, а фундаментом для більшості бізнес-процесів та дослідницької діяльності.

Основні переваги роботи у хмарних середовищах цього року можна згрупувати за ключовими напрямками.

1. Висока масштабованість та гнучкість хмарних середовищ полягає у тому, що працюють за принципом «миттєвого відгуку». Автоматичне масштабування (autoscaling) дозволяє системі розширюватися або звужуватися залежно від навантаження в режимі реального часу, що усуває потребу в надмірному резервуванні обладнання.

2. Економічна ефективність полягає у використанні моделі оплати за фактом використання (pay-as-you-go).

3. Відсутність капітальних витрат (на придбання, модернізацію або підтримку фізичних активів (основних засобів), що приноситимуть користь протягом тривалого часу (зазвичай понад один рік). Немає необхідності інвестувати у власні центри обробки даних (ЦОД).

4.Оптимізація ресурсів полягає у тому що провайдери хмарних середовищ[15] використовують алгоритми, які автоматично зупиняють невикористовувані ресурси, суттєво зменшуючи рахунки.

5. Глобальна доступність та низька часова затримка, що реалізується завдяки розвитку мереж 5G/6G та технологій Edge Computing (периферійних обчислень), обробка даних відбувається максимально близько до користувача, що критично важливо для додатків, які вимагають роботи в режимі реального часу (автономний транспорт).

6. Розширені можливості ШІ та аналітики даних, які полягають у можливості тренувати великі мовні моделі (LLM) або складні нейромережі на потужних GPU/TPU-кластерах провайдера та інтегрувати готові AI-сервіси (API) у власні продукти без створення моделей «з нуля».

7. Посилена безпека, зокрема, автоматизоване шифрування та відповідність міжнародним стандартам безпеки (GDPR, ISO), що спрощує роботу в правовому полі.

8. Можливість налагодження співпраці та віддаленої роботи з великими масивами даних (Big Data) з будь-якої точки світу для компаній, дослідницьких та творчих колективів.

До основних ознак Cloud-native архітектури відносяться такі:

Мікросервіси (Microservices) коли система розбивається на десятки маленьких, незалежних сервісів. Кожен з них відповідає лише за свою функцію (наприклад, один сервіс для авторизації, інший — для обробки геометрії, третій — для рендерингу карти). Якщо один «впаде», весь геопортал продовжить працювати.

Контейнеризація (Containerization) полягає у використанні Docker та Kubernetes які дозволяють «пакувати» програму разом з усім необхідним

[15] компанії, що пропонують повний спектр послуг — від інфраструктури (IaaS) до складних інструментів штучного інтелекту: Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, Google Cloud Platform (GCP)

середовищем (бібліотеками, налаштуваннями) у контейнер. Це гарантує, що код працюватиме однаково і на комп'ютері розробника, і на сервері в хмарі.

Динамічне управління (Orchestration) за допомогою Kubernetes який автоматично відстежує стан системи. Якщо навантаження зростає (наприклад, багато користувачів одночасно відкрили карту), система сама «піднімає» додаткові копії сервісів. Коли навантаження падає — вимикає їх для економії ресурсів.

Безперервна інтеграція та доставка (DevOps та CI/CD) означає автоматизацію процесу оновлення. Нові функції (наприклад, покращений алгоритм) можна випускати кілька разів на день без зупинки роботи геопорталу.

Такий підхід є критично важливим для геопорталів Геопросторові обчислення (особливо з ДЗЗ) потребують величезного обсягу оперативної пам’яті та CPU. Cloud-native архітектура дозволяє виділити «потужні» ресурси лише для модуля просторової аналітики в момент виконання запиту, а не тримати потужний сервер увімкненим 24/7.

Також важливим є незалежність від технологій коли можна писати аналітичний модуль на Python (бо це краще для математики), а систему каталогізації — на Java (бо це швидше для мережевих запитів). Вони просто «спілкуються» між собою через API.

Отже Cloud-native підхід є стандартом для сучасних інфраструктур геопросторових даних, оскільки він дозволяє обробляти великі дані (Big Data) у режимі, максимально наближеному до реального часу (таблиця 14.1).

Таблиця 14.1

Порівняння традиційного і Cloud-native підходів до архітектури геопорталів

Характеристика	Традиційний підхід (Legacy)	Cloud-native підхід
Розгортання	Ручне налаштування серверів	Автоматизоване (Kubernetes)
Оновлення	Релізи раз на пів року	Неперервний процес (CI/CD)
Структура	Моноліт (все в одному)	Мікросервіси
Масштабування	Вертикальне (купити потужніший сервер)	Горизонтальне (додати більше контейнерів)

Розробка функціоналу геопорталів базується не лише на технічних стандартах OGC, а й на **біхевіористичних методах** (Kahneman, 2011), які дозволяють враховувати когнітивні особливості сприйняття просторової інформації користувачами. Це сприяє підвищенню ефективності інтуїтивного інтерфейсу та кращому залученню цільової аудиторії у процеси G2C-взаємодії.

14.7. Геопортал ”ГІС інвестор” як інструмент підтримки прийняття інвестиційного рішення

В сучасних умовах зростання конкуренції територіальних утворень важко знайти регіон (адміністративну область), яка б не шукала інвесторів, не була зацікавлена в надходженні капіталу, в зв’язку з чим потрібно забезпечити потенційних інвесторів максимально повною інформацією про інвестиційні проекти і території регіону загалом.

Стратегія підвищення інвестиційної привабливості покликана забезпечити зростання рівня життя і добробуту громадян, і є однією з найважливіших завдань органів державної влади та місцевого самоврядування.

Враховуючи динамічність сучасних інвестиційних процесів, активне використання новітніх інформаційно-комунікаційних технологій є важливою складовою розвитку інвестиційного комплексу, особливо з точки зору забезпечення ефективної взаємодії учасників інвестиційного процесу та залучення широкої громадськості українських та зарубіжних підприємств, установ та організацій у процес інвестиційної та інноваційної діяльності в Україні. Враховуючи це, перед потенційними інвесторами постає проблема формування відповідної інформаційної бази, необхідної в процесі прийняття інвестиційних рішень. З іншого боку, органи державної влади та територіального управління також потребують достовірної інформації про інвестиційні процеси, як на державному рівні, так і на рівні конкретної області, району чи міста.

Інвесторам ж, у свою чергу, потрібна вичерпна інформація про землю (регіон, район, населений пункт), інфраструктуру, бо перед тим як вкласти капітал, їм необхідно оцінити привабливість території – з географічних, соціальних, політичних і деяких інших позицій, а для цього необхідно зіставити між собою безліч даних, які часто не мають очевидних зв'язків.

Для цього потрібно інформаційне джерело (інформаційний портал, геоінформаційна система, геопортал тощо), яке б давало можливість здійснювати геопросторовий і геосистемний аналіз територій. Це б дозволило потенційним інвесторам, як вітчизняним, так і іноземним, не виходячи з власного кабінету оцінювати інвестиційну привабливість територій, які їх зацікавили, і приймати рішення щодо інвестування капіталу.

Все розмаїття інноваційних проектів можна розділити на 3 основні класи:

1. відбувається значне зростання вкладу інноваційних процесів у світовій валовий продукт. Особливо це характерно для розвинених країн;

2. відчутна віддача буде забезпечена, якщо інноваційна діяльність не обмежується одним-двома виробами, одним-двома напрямками;

3. основним носієм і виразом інновацій, основним середовищем і механізмом вироблення і використання інновацій, є нова економіка, економіка,

заснована на знаннях (knowledge-based economy). Результатом діяльності такої економіки (і одночасно – її товаром) є знання, особливо – нові знання.

Для України вкрай актуальним є перехід на стратегії інноваційного розвитку, на будівництво своєї економіки знань. Інформаційне забезпечення інвестиційної діяльності вимагає створення інвестиційного порталу.

Метою створення офіційного інвестиційного порталу, затребуваного як вітчизняними, так і іноземними інвесторами, є, насамперед, максимальне інформування потенційного інвестора про умови відкриття та ведення бізнесу в Україні, надання вичерпної інформації про інвестиційні процеси, що відбуваються на ринку регіону та потенціал території регіону тощо (рис. 14.11).

Необхідно володіти достовірними відомостями про власників фірми-інвестора і його керівництво, історії діяльності підприємства, структурі управління виробництвом і збутом, наявність та рівень самостійності структурних підрозділів як у регіонах країни, так і за її межами тощо. Щоб уникнути ризику, необхідно використовувати інформацію, яку містять такі джерела:

– фондові біржі, члени яких в силу специфіки діяльності володіють інформацією про ділові відносини і зв'язках підприємств, їх фінансове становище та репутації;

– торгово-промислові палати країн або окремих регіонів, які ведуть інформаційно-комерційну діяльність, підключаються до різних інформаційних мереж;

– закордонні кредитні бюро, які займаються підготовкою конкретної інформації про діяльність підприємницьких структур. Провідними кредитними бюро в світі є: у Франції – ДАФСА, Австрії – ”Кредітшутцфербанд”, Італії – ”Космос”, Великій Британії – ”Дейтастрім”, США – ”Дан енд Бредстріт” (Довгий та ін., 2010).

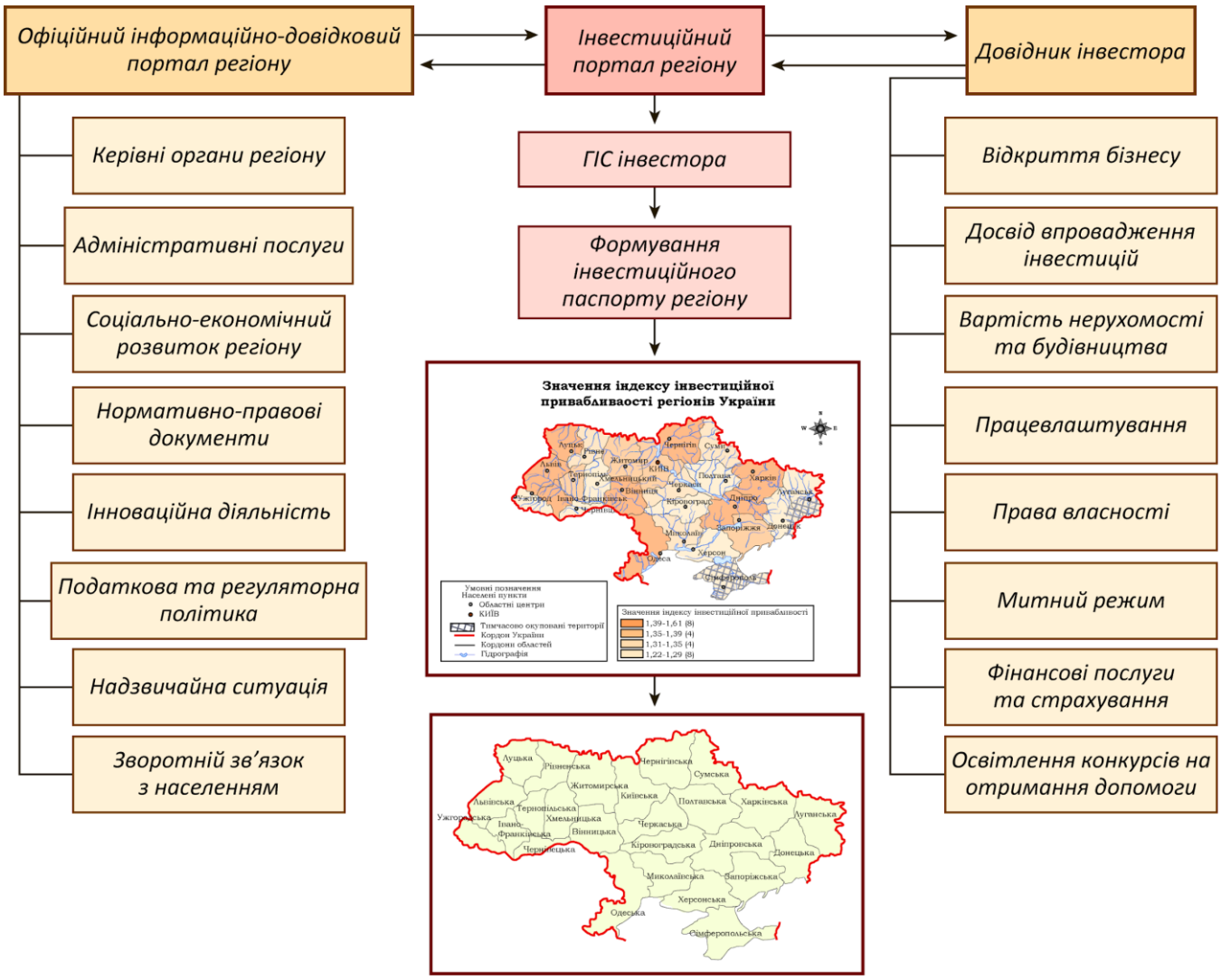


Рис. 14.11. *Завдання інвестиційного порталу*

Необхідно вивчити і проаналізувати показники, що характеризують діяльність потенційної фірми-інвестора.

Показники, які можуть бути корисними для потенційного реципієнта інвестицій можна розділити на наступні групи:

– показники, що характеризують інвестиційний потенціал господарства;

– показники ефективності діяльності фірми – як абсолютні, так і відносні, що підтверджені аудиторськими висновками;

– показники фінансово-економічної якості проекту;

– неформальні показники ділового статусу інвестора;

– показники обґрунтованості інвестування;

– показники розподілу ризику (рис. 14.12).

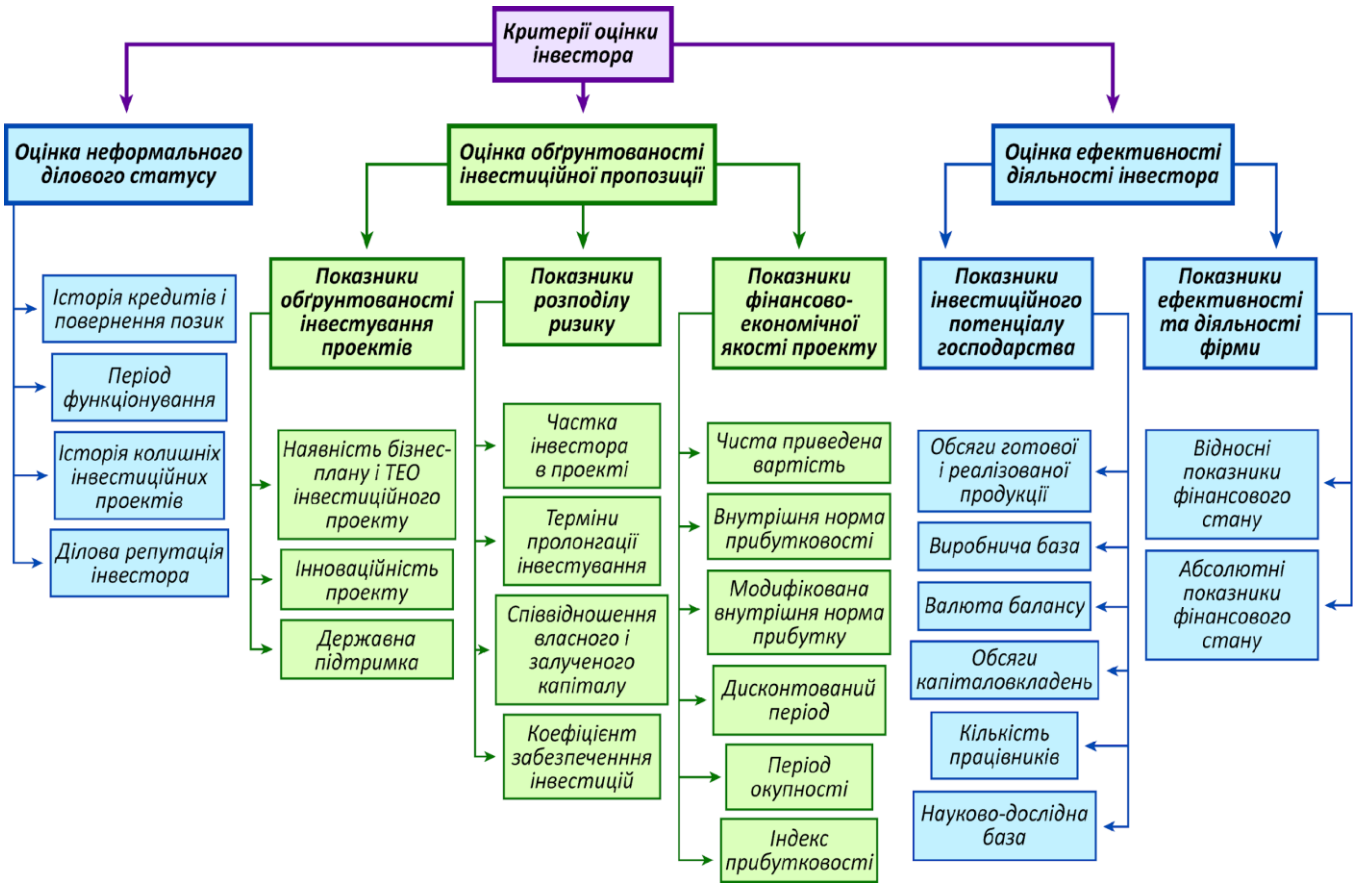


Рис. 14.12. *Критерії оцінки потенційного інвестора реципієнтом інвестицій*

Однак реципієнтам, які планують свій бізнес з участю капіталу вітчизняних або зарубіжних інвесторів, також необхідно мати уявлення про наміри потенційного інвестора, його діяльність, що в свою чергу може суттєво вплинути на результати прийняття інвестиційних рішень у майбутньому.

ГІС інвестора – це професійний інформаційно-аналітичний ресурс по залученню інвестицій в регіон, який дозволяє інтегрувати дані безлічі державних установ (з нерухомості, землі, соціально-економічний та екологічний стан, інвестицій тощо) та візуалізувати їх в одному місці, що дозволить потенційним інвесторам визначати найбільш привабливі об'єкти для інвестицій.

Метою створення ГІС інвестора є надання якісної систематизованої інформації на ринку нерухомості і землі, створенню інформаційного поля регіонального ринку, залучення коштів вітчизняних та іноземних інвесторів.

Проект орієнтований на операторів і учасників ринків нерухомості, будівництва, фінансової та інвестиційної діяльності, торгівлі і виробництва, підприємства та підприємців, розвиваючих бізнес у регіонах, і ґрунтується на професійному підході учасників, відкритості обсязі матеріалів, збираються з різних джерел: адміністрації регіону, будівельних, інвестиційних, консалтингових і керуючих компаній; власників, менеджерів та агентів з нерухомості.

Проект передбачає використання однієї з основних переваг ГІС – поєднання графічного зображення інвестиційних об'єктів (об'єктів, виставлених на аукціон, підготовлювані до аукціону і результатами торгів) і семантичної інформації, пов'язаної з ними.

Шари ГІС умовно розбиті на чотири групи:

– загальна інформація про регіон, його адміністративний поділ на райони, міста, селища міського типу, села, чисельність населення, забруднення ґрунтів, повітря, водних об'єктів, природоохоронні території тощо;

– ”містобудівна інформація”, яка містить шари, що дозволяють спрогнозувати розвиток території на період дії Генерального плану розвитку регіону, будівельні квартали, земельні ділянки, кадастрові квартали;

– ”об'єкти інвестицій”, які включають регулярно обновлювані дані про об'єкти інвестицій (муніципальні торги та аукціони, проекти, пропоновані до реалізації, вільні індустріальні майданчики, території підприємницької активності, забудовані території, будівлі тощо);

– ”інфраструктура”, що містить шари інженерної, транспортної та соціальної інфраструктури, які дозволяють здійснювати комплексний аналіз об'єктів інвестицій і територій.

Кінцевим результатом створення інвестиційного порталу буде створення інтегрованої інформаційної системи, яка буде відрізняти ряд переваг, а саме:

– інвестиційний портал, ядром якого виступає ГІС, інтегрує різнорідні дані, що надходять з галузевих структур, структурних підрозділів адміністрації регіону та підвідомчих їй муніципальних установ, що беруть участь в інвестиційному проекті регіону, що дозволить інвесторам використовувати офіційні та актуальні дані;

– потенційні інвестори отримають можливість планувати свою діяльність з урахуванням планів розвитку територій регіону (муніципалітету);

– доступність офіційної інформації в режимі on-line істотно сприяє зниженню адміністративних бар'єрів;

– безкоштовне отримання інформації, що розміщується на інвестиційному порталі для користувачів.

Як приклад, на рис. 14.13 наведені фрагменти інвестиційного паспорту Чернігівської області.

Конкретизуючи зміст регіональної інвестиційної політики можна сформулювати такі основні напрямки державної інвестиційної політики:

– розвиток інвестиційного потенціалу;

– створення сприятливого інвестиційного клімату;

– підвищення інвестиційної привабливості регіонів.

Елементами, що складають ці напрямки, виступають:

– підвищення ефективності використання наявних економічних ресурсів;

– стимулювання розвитку виробництва і відповідно збільшення валового регіонального продукту регіону;

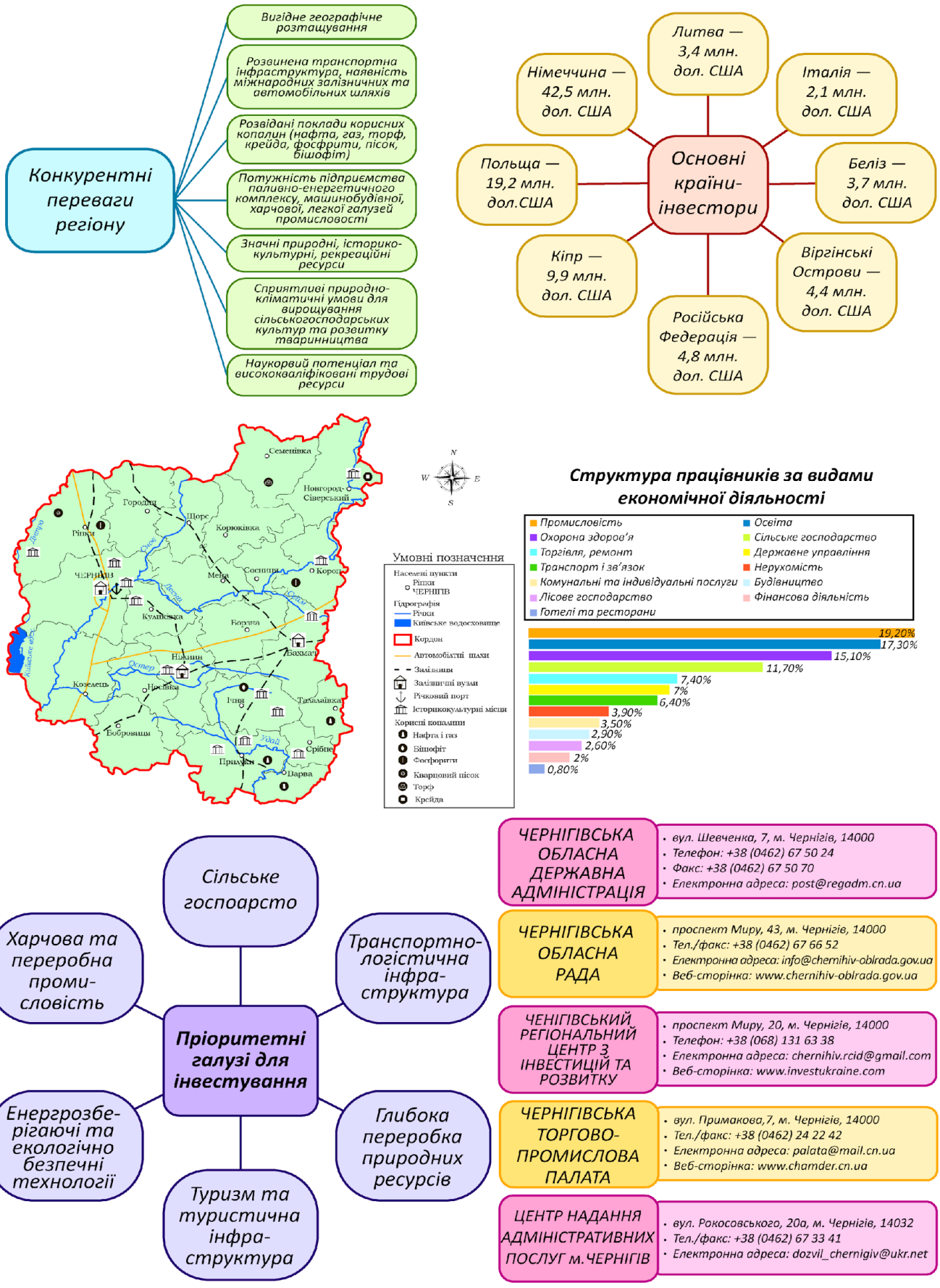


Рис. 14.3. *Фрагменти інвестиційного паспорту для геопрталу*

– стимулювання інноваційної діяльності;

– побудова раціональної моделі використання наявного потенціалу регіону;
– активізація участі України в загальносвітових економічних і соціальних процесах з метою створення позитивного світового іміджу держави.

15. МОДЕЛЮВАННЯ ПІДСИСТЕМ ГІСУ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ТЕРИТОРІЯМИ (НА ПРИКЛАДІ ЧЕРНІГІВСЬКОЇ ОБЛАСТІ)

15.1. Загальна характеристика екологічного стану України

Україна — одна з найбільших за територією (603,7 тис. км²) та стратегічним ресурсним потенціалом країн Європи, член Організації Об'єднаних Націй та ключовий суб’єкт європейської безпекової архітектури. Після здобуття статусу кандидата та впровадження стандартів Європейського Союзу, держава продовжує долати комплекс викликів існуванню країни, спричинених як глобальною нестабільністю, так і безпрецедентною військовою агресією.

Становлення України як суверенної, демократичної та цифрової держави відбувається в умовах найбільш радикальної трансформації світового порядку з часів Другої світової війни. Якщо наприкінці XX століття панувала ілюзія зменшення військового протистояння, то нині світ зіткнувся з поверненням масштабних конвенційних воєн та ядерного шантажу. Україна опинилася на передньому краї цього глобального розлому, де зовнішня збройна агресія стала чинником, що визначає всі сфери суспільного буття.

Глобальний розвиток цивілізації, окрім технологічного прогресу, актуалізував критичні загрози критично важливим інтересам людини, суспільства та держави. Унікальною та трагічною особливістю сучасної України є синергія техногенних, природних та воєнних небезпек. Війна спричинила істотне посилення ризиків: від руйнування критичної інфраструктури та екоциду до загроз радіаційній безпеці. Питання екологічної та техногенної безпеки нині не просто пов’язані між собою — вони стали невід’ємним і пріоритетним фундаментом національної безпеки України.

Останні роки характеризуються крайньою непередбачуваністю та високою інтенсивністю кризових процесів. На відміну від попередніх десятиліть, сучасна ситуація і найближча перспектива визначається домінуванням зовнішньої воєнної загрози, яка спровокувала масштабну деформацію господарства, масову міграцію населення та необхідність повної перебудови систем управління територіями на основі геоінформаційних технологій та інтелектуального аналізу даних.

Україні у спадок залишилися екологічні проблеми радянського періоду адже її територія була однією з найбільш господарсько освоєних. Україна маючи площу у 3% території колишнього Радянського Союзу, виробляла близько 22-24% вартості товарів і послуг, що в цілому призвело до деградації ландшафтів, зміни водного режиму річок (ставки і водосховища), змін літосфери (видобуток корисних копалин) та суттєвого погіршення якості середовища для проживання населення (Довгий та ін., 2010).

Окремі території в межах України внаслідок нераціонального природокористування зазнали екологічної кризи. Це є наслідком перед усім:

– концентрації промислових підприємств, зокрема, в районах видобутку корисних копалин;

– інтенсивного сільськогосподарського виробництва зокрема на землях в межах степової зони;

– споживацької політики керівництва СРСР і УРСР;

– екстенсивного використання природних ресурсів (підземних вод, лісів, корисних копалин) яке не враховувало допустимих екологічних навантажень та здатності екосистем до самовідтворення й самоочищення;

– адміністративно-командного стилю управління та будівництва потужних хімічних, металургійних, нафтопереробних промислових підприємств без урахування ландшафтних умов;

– інтенсивної хімізації сільськогосподарського виробництва

– не виправданою меліорацією ґрунтів без належного обґрунтування;

– використанням застарілих технологій через низьку мотивацію працівників;

– відсутністю громадського контролю за дотриманням норм і відшкодуванням збитків за шкоду, заподіяну довкіллю;

– відсутністю доступу до інформації про екологічний стан природного середовища (можна згадати Чорнобильську аварію коли населення не було повідомлено вчасно про існування загрози);

– недостатнім рівнем екологічної освіти;

– відсутністю економічних стимулів для ресурсо- та енергозбереження (часто підприємства не були зацікавлені щоб знизити енергозатрати та матеріалоємність продукції.

Причинами виникнення надзвичайних ситуацій, що призводили до погіршення здоров’я населення, отримання травм на виробництві та інших медико-санітарних наслідків, були такі обставини:

– фізично і морально зношені виробничі фонди;

– наявність на території України з часів СРСР значних складів боєприпасів і вибухових речовин які зберігалися неналежним чином;

– недостатня увага до попередження загроз гідрометеорологічного характеру, що призводило до підтоплень та затоплень внаслідок паводків;

– загрози медико-біологічного характеру (поширення тварин, що є переносниками збудників небезпечних інфекційних хвороб).

Надзвичайні ситуації техногенного і природного характеру визначаються як «порушення нормальних умов життя і діяльності людей на окремій території чи об'єкті, або на водному об'єкті, що викликане аварією, катастрофою, стихійним явищем або іншою небезпечною подією, в т. ч. епідемією, епізоотією, пожежею, яке призвело (або може призвести) до неможливості проживання населення на території чи об'єкті, ведення там господарської діяльності, загибелі людей та / або значних матеріальних збитків» (Держстандарт України, 2002).

Вже в 1990 р. у Декларації про державний суверенітет України (Декларація № 55-XII, 1990) проголошено *право України самостійно встановлювати порядок організації охорони природи на її території та порядок використання природних ресурсів*

Закон "Про охорону навколишнього природного середовища" (Закон № 1264-XII, 1991) визначив правові, економічні і соціальні основи організації охорони і збереження природи.

Він передбачав проведення екологічної політики, спрямованої на формування безпечного для життя довкілля, захист населення від негативної дії забруднення, гармонізації існування суспільства і природи, збереження біорізноманіття та природних ресурсів.

Закон України (Закон № 1264-XII, 1991) є рамковим[16]. На його основі розроблялися закони і норми охорони та раціонального використання земель, поверхневих та підземних вод, лісів, надр, рослинного та тваринного світу, атмосферного повітря, законодавство про природні території і об'єкти особливої охорони та екологічну безпеку (Закон № 1264-XII, 1991).

Екологічні норми закріплені в Конституції України (Конституція України, 1996), а саме 3, 13, 14, 16, 49, 50, 66, 85, 92, 106, 116, 119, 132, 138, 142 статті мають стосунок до охорони природи, екологічної безпеки і природокористування.

Законодавство України в екологічній сфері є ієрархічним (Міжнародні конвенції і угоди, прийняті Верховною Радою України; Закони України, Підзаконні акти Верховної Ради України, Укази Президента України, Нормативно-правові акти Кабінету Міністрів України, Загальнообов'язкові акти Міністерства екології та природних ресурсів, інших міністерств і відомств, Відомчі акти органів державного управління (Островерх & Ковалевська, 2011).

Мають стосунок до екології інші види законодавства: цивільного, адміністративного, кримінального. Вони допомагають встановити обставини та притягнути винних у вчиненні екологічних правопорушень до відповідальності. Екологічне законодавство є одночасно продуктом і основною формою закріплення державної екологічної політики.

[16] Рамкова угода – це двостороння угода контрагентів, яка наділяє сторони взаємними правами та обов'язками. Її особливістю є можливість коригування деяких умов у майбутньому.

Нині в Україні надмірно забруднені площі складають понад 61 тис. км^2, дуже забруднені – майже 116 тис. км^2, забруднені – 121 тис. км^2. Крім того, під звалища відходів вилучено з господарського обігу понад 6 тис. км^2 земельних ресурсів (з урахуванням Зони відчуження ЧАЕС), що становить 1% території України (Островерх & Ковалевська, 2011). Постійне зростання обсягу відходів в Україні свідчить про нераціональне використання сировинних ресурсів. Зазначені показники (Зацерковний, 2014) відображають системну кризу накопичення відходів, яка ускладнена додатковим техногенним навантаженням внаслідок воєнних дій.

Таким чином, національна екологічна політика є недостатньо ефективною, не забезпечує охорони навколишнього природного середовища від забруднення, раціонального використання природних ресурсів, що становить загрозу національній безпеці України (Мягченко, 2010).

Важливим засобом подолання сучасних екологічних викликів постає системне інформування представників державної влади, бізнес-спільнот та широких верств громадянського суспільства про актуальний стан природного середовища та потенційні антропогенні загрози. Такий підхід безпосередньо корелює з положеннями Конвенції про доступ до інформації, участь громадськості у процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля, яка була ратифікована Україною у 1999 році та відома як Орхуська конвенція (Конвенція про доступ до інформації..., 1998). Цей міжнародно-правовий документ визначає прозорість екологічних даних не лише як обов’язок держави, а й як фундаментальне право людини на безпечне довкілля.

Отже складовою процесу освіти, просвіти та управління виступає розповсюдження екологічних відомостей у максимально наочній і доступній формі. У сучасних умовах цифровізації цей процес стає невіддільним від широкого впровадження геоінформаційних систем та розгалужених баз просторових даних. Використання інтерактивних цифрових карт, тематичних атласів та інших видів геозображень дозволяє трансформувати складні статистичні показники у зрозумілі візуальні моделі. Це забезпечує можливість не лише фіксувати поточні зміни в екосистемах, а й здійснювати прогнозне моделювання екологічних ризиків, що значно підвищує ефективність прийняття управлінських рішень на регіональному та державному рівнях.

15.2. Головні екологічні проблеми України

За сучасних умов, коли екологічні загрози в Україні набули глобального масштабу внаслідок безпрецедентного воєнного впливу та техногенних катастроф, держава потребує критичного переосмислення стратегії природокористування. Пріоритетним стає аналіз масштабів екологічної кризи, спричиненої не лише антропогенною діяльністю минулих років, а й прямим

нищенням екосистем, що зумовлює тривалі економічні ефекти та трансформацію біогенних процесів у регіоні.

Перед суспільством постає стратегічне завдання — реорганізація системи використання природних ресурсів за принципом «відновлення кращого, ніж було» (Build Back Better). Метою є не лише припинення деградації довкілля, а й досягнення його динамічного самовідновлення.

Реалізація цієї мети можлива виключно через впровадження:

-Інтелектуального екологічного моніторингу що передбачає перехід від епізодичних спостережень до безперервного дистанційного та наземного контролю територій у режимі реального часу з використанням ГІС.

-Розширення мережі територій та об'єктів природно-заповідного фонду (ПЗФ), зокрема, створення нових природоохоронних територій як "ядер" екологічної стабільності, що здатні протидіяти кліматичним змінам та антропогенному тиску.

Цифровізації управління, яке передбачає створення єдиного інформаційного простору для прийняття управлінських рішень, що базуються на високоточних просторових даних та екстраполяційному моделюванні.

Таким чином, екологічна стійкість територій стає невід’ємною складовою національної безпеки, а ефективний геомоніторинг — головним інструментом її забезпечення та фундаментом для реалізації стратегії сталого розвитку України (Білявський та ін., 2005; Громадське лобіювання..., 2007).

Серед головних екологічних проблем України виділять:

1. Проблема забруднення водних ресурсів. Стандарти питної води, якими зараз користується Україна, були розроблені у 80-х рр. ХХ ст. За цей період з’явилась маса речовин, що не контролюються державними стандартами. Вода, якою користується населення, нині очищується за застарілими стандартами. Нині, Україна з 120 країн за забрудненням води займає 105-е місце в світі**.** Здебільшого, чисту воду можна знайти тільки в сільських криницях, та й то, не в усіх.

У документі, виданому в Києві в рамках проекту ПРООН[17] та Глобального Екологічного Фонду ”Оцінка національного потенціалу в сфері глобального екологічного управління в Україні” (2007), стверджується, що ”*особливістю України є наявність значної кількості депресивних регіональних територій зі значною екологічною деградацією*”. ”*В країні сформувалося стабільне тло хімічних мутагенних і канцерогенних забруднень атмосферного повітря, водойм, ґрунтів, що значно перевищує встановлені гігієнічні нормативи*”. ”*Значна частина населення України одержує питну воду з істотними відхиленнями від нормативів*”.

2. Скорочення середньої тривалості життя жителів України. Цю проблему також можна сміливо віднести до екологічної, оскільки українці

[17] Програма розвитку ООН (ПРООН) – організація при ООН, створена на підставі резолюції Генеральної Асамблеї від 22 листопада 1965 року шляхом об'єднання Розширеної програми технічної допомоги ООН і Спеціального фонду. Ціллю Програми є надання допомоги країнам, що розвиваються, у справі їхнього національного розвитку

живуть у забрудненому НПС, використовують забруднену воду, дихають забрудненим повітрям, а це скорочує тривалість життя. Для порівняння: в Україні середня тривалість життя людини становить приблизно 65 років, у Польщі – 75 років, у Швеції – 80 років, а в Японії – 85.

3. Забруднення повітря. Ще 20 років тому Київ вважався одним з найчистіших крупних міст Європи. Зараз ситуація кардинально змінилась і столиця України вже очолює рейтинги найбрудніших міст.

Характерним прикладом може слугувати пожежа на нафтобазі у Васильківському районі (Київська обл., 2015 р.), яку вже назвали однією з наймасштабніших катастроф за часи незалежності країни. Вчені констатують серйозні екологічні наслідки від згоряння значної маси нафтопродуктів, фігурує цифра в 15 тисяч тон, що свідчить про величезні масштаби аварії. В атмосферу виділились у великій кількості оксиди сірки, що призводить до формування кислотних опадів, оксид азоту, оксид вуглецю, сполуки ванадію.

Дим являє собою велику кількість частинок незгорілих речовин, що накопичується в повітрі. Він викликає інтенсивне подразнення органів дихання та слизової оболонки. Дим – високотоксична суміш, яка становить загрозу довкіллю та людині. Це забруднення атмосфери, перенос повітряних мас на далекі відстані, і зовсім невідомо, в якому обсязі токсичні речовини потрапили на рослини, на будівлі, на людей. Територія і рослинність поблизу пожежі покрилось маслянистою плівкою з нафти. Крім того, витрати на гасіння пожежі, оцінили в 50 мільйонів гривень.

4. Скорочення біорізноманіття. Рослинний та тваринний світ України в недалекому минулому були багатими та різноманітними. Флора країни нараховувала понад 25 тис. видів, фауна – близько 45 тис. видів. Проте, недосконала екологічна політика і нормативно-правова база України спричинила різке скорочення багатьох видів тварин і рослин, багато з них уже давно занесені в Червону книгу або зовсім зникли з території України.

Основною загрозою для біорізноманіття є діяльність людини та знищення природного середовища існування флори і фауни. Спостерігається катастрофічне зменшення площі територій водно-болотних угідь, степових екосистем, природних лісів. Знищення навколишнього природного середовища відбувається внаслідок розорювання земель, вирубування лісів з подальшою зміною цільового призначення земель, осушення або обводнення територій промислового, житлового та дачного будівництва тощо

Однією з форм скорочення видів є браконьєрство. Браконьєрство – це незаконне добування тварин, у тому числі риби. Форми браконьєрства можуть бути різними, найчастіше це добування риби забороненими засобами і знаряддями виловлювання. Формами браконьєрства є виловлювання риби в заборонених місцях, виловлювання нестатевозрілої риби та під час її розмноження (нересту); добування тварин, що занесені до Червоної книги України.

5. Проблема сміття і побутових відходів. Поступово наша країна перетворюється на смітник Європи. Щороку накопичується близько 10 млн.

тонн сміття, близько 160 тисяч гектарів землі в Україні зайнято під смітники (це близько 700 смітників, що існують в кожному місті або селі). Найтоксичнішими серед них є відходи, що містять важкі метали, нафтопродукти, непридатні для застосування отрутохімікати (пестициди).

Замість того, щоб приносити прибуток і без того небагатій країні, мільйони тонн відходів отруюють землю, воду, повітря. За прогнозами як закордонних, так і вітчизняних фахівців, екологічна ситуація в Україні, без перебільшення, наближається до критичної, адже переробкою відходів у нас займаються на дуже низькому рівні.

Кількість сміття в Україні має тенденцію до зростання. Це пояснюється тим, що сміття у нас не переробляють, а просто складують або спалюють. Якщо в Європі переробляється 95 % сміття, то у нас тільки приблизно 10%. Тому, природно, все те що залишилось, викидається на смітники.

Згідно з останніми даними екологів, Україна лідирує в Європі за кількістю відходів. Показники утворення й нагромадження відходів в Україні свідчать про загрозливу екологічну ситуацію в державі.

За даними Міністерство екології та природних ресурсів України в нашій державі нагромаджено близько 35-36 млрд. тонн відходів, під сховищами відходів перебуває близько 7% території, а це більш як 50 тис. т/км^2 заваленні сміттям (Українські новини, 2012).

З цих 35 млрд. тонн близько 2,6 млрд. тонн є високотоксичними відходами. Варто відзначити, що площа звалищ в нашій країні перевищує площу природних заповідників (7% проти 4,5%). Щороку в країні створюється 12 тисяч незаконних сміттєзвалищ, оскільки полігонів для сміття недостатньо (Вибір, n.d.) Більшість існуючих полігонів уже вичерпали свій ресурс, а сміттєві звалища стали фактором антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

На кожного Українця зараз припадає більш як 750 тонн відходів. Щорічно ”ми утворюємо” від 670 до 770 млн. тонн, або 15-17 тонн відходів на душу населення (Українські новини, 2012). За даними міністерства охорони навколишнього середовища, щорічно в Україні загальний обсяг побутових відходів збільшується на близько 50 млн. м^3, а промислових – на 175 млн.м^3 (Винода, n.d.).

6. Проблема незаконної забудови берегів річок, озер і морів. Водний кодекс України забороняє зведення в прибережно-захисній смузі водойм будь-чого, крім гідроелектростанцій, пірсів, дамб, водозливів, автомобільних і залізничних доріг, маяків та інших споруд державного призначення. Ширина цієї смуги становить від 25 до 150 метрів.

Закон забороняє будуватися вздовж берега. Але! Історично склалося так, що більшість населених пунктів в Україні виникали вздовж водойм. Зрозуміло, що зносити їх ніхто не стане, навіть заради порятунку екосистеми річок. Тому розробники Водного кодексу ще у 1994 р. уточнили, що ширина берегової захисної смуги залежить від розміру річок, а в межах населених пунктів враховує вже існуючі забудови. Тобто, якщо вздовж русла річки вже стоять

житлові будинки, то ширина прибережної захисної смуги визначається окремо в кожному конкретному випадку.

Самочинна забудова перетворилася на національну проблему. Відсутність планово-картографічних матеріалів і невизначеність на місцевості меж водоохоронних зон та прибережних захисних смуг призводять до порушень земельного і водного законодавства при їх використанні. Так, наприклад, створюються умови для незаконного ведення господарської діяльності у водоохоронній зоні та прибережній захисній смузі, самовільного заняття водного фонду, використання земель не за цільовим призначенням, а у деяких випадках і на акваторії водного об'єкта. В межах населених пунктів прибережні території забудовуються і згодом переводяться у земля житлової забудови з подальшою приватизацією. Внаслідок цього, діяльність суб'єктів господарювання і громадян завдає значні збитки довкіллю, створює умови й сприяє забрудненню поверхневих вод і земель у межах зазначених територій, де проводяться природоохоронні заходи.

7. Наслідки Чорнобильської катастрофи. 26 квітня 1986 р., сталася одна з найбільших трагедій в історії українського народу – аварія на Чорнобильській атомній електростанції. У цей день людство побачило справжню силу "мирного атому". Здавалося б: було зруйновано всього один реактор, лише 5% радіоактивних речовин потрапило за межі енергоблоку. Та навіть цих 5% вистачило, щоб знищити цілий етнокультурний регіон, зробити малопридатними для життя десятки тисяч квадратних кілометрів територій, вбити тисячі людей та зруйнувати життя мільйонів людей.

Ця проблема на роки. Територія буде забрудненою тисячоліттями: радіація випала і період розпаду багатьох частинок і елементів становить сотні тисяч років. Проблему Чорнобиля на жаль, вирішити неможливо.

8. Екологічні наслідки повномасштабної війни.

24 лютого 2022 року розпочалася нова, не менш масштабна трагедія в історії України та всієї Європи — повномасштабна військова агресія, що спричинила безпрецедентний в історії людства екоцид. Якщо Чорнобиль був точковим вибухом «мирного атому», то війна стала розтягнутим у часі та просторі руйнуванням усіх компонентів довкілля.

Нині Україна стала найбільш замінованою країною світу. Вибухонебезпечними предметами та залишками боєприпасів забруднено сотні тисяч квадратних кілометрів, що фактично вилучає ці території з безпечного користування на десятиліття. Хімічне отруєння ґрунтів важкими металами (свинцем, ртуттю, сурмою), руйнування унікальних екосистем заповідних зон та катастрофічне забруднення водних артерій (зокрема, після підриву Каховської ГЕС) — це виклики, що за своєю глибиною не поступаються радіаційному забрудненню.

Ця проблема також на роки. Токсичні речовини, що потрапили в землю та підземні води внаслідок детонацій та пожеж на промислових об'єктах, мають здатність до біоакумуляції та отруюватимуть довкілля впродовж поколінь. На жаль, повернути природу України до довоєнного стану в найближчі століття

неможливо — ми зіткнулися з новою реальністю, яка потребує докорінно нових підходів до моніторингу, очищення та стратегії виживання нації.

Наведене свідчить, що ситуація є критичною, а виправити її можна лише за рахунок організації ефективного моніторингу екологічного стану територій та розширеного розвитку територій що особливо охороняються. Проблеми і кроки, які необхідно зробити у цьому напряму щодо ведення єдиної системи моніторингу довкілля, наведені автором у праці (Зацерковний та ін., 2010). З огляду на необхідність формування тематичної складової розв'язку потребують декілька проблемних питань.

По-перше, доцільно виділити проблему розосередження різноманітних екологічних та природоохоронних даних у галузевих відомствах, установах, організаціях. Необхідним є формування єдиних вимог та стандартів до створення та збереження екологічних даних, поступове переведення їх на спільну геоінформаційну основу в залежності від форматів та технологій, які будуть застосовуватися для базових геопросторових даних (Карпінський & Лященко, 2001).

По-друге, у процесі розробки єдиних вимог і стандартів необхідно сформувати перелік основних тематичних блоків у загальному банку даних екологічної інформації та визначити державні органи влади, організації, відомства, відповідальні за наповнення і ведення даних блоків . До цього процесу необхідно залучити провідні наукові та освітні установи країни, що займаються екологічними дослідженнями.

По-третє, вимоги до екологічних даних у національній інфраструктурі геоданих (Закон України «Про національну інфраструктуру геопросторових даних», 2020) необхідно поширити на звітну документацію за результатами науково-дослідних робіт, зокрема, таких, що виконуються за державний кошт. Це дозволить оперативно впроваджувати дані в інфраструктуру геоданих та забезпечити доступ до даних зацікавленим особам (Карпінський та ін., 2001), з дотриманням авторських прав виконавців науково-дослідних робіт.

Задачі геомоделювання природокористування відносяться до слабоформалізованих галузей знань, оскільки зв'язок між явищами досить проблематично перевести на строгу математичну мову.

15.3. Рівні постановки задач при створенні екологічних ГІС

В Україні вже сформувалася традиція еколого-географічного картографування: розроблено еколого-географічний атлас. (Барановський, 2006), розділ екологічна ситуація в Національному атласі України (Національний атлас, 2007), розроблено та впроваджено «Атлас природних, техногенних, соціальних небезпек і ризиків виникнення надзвичайних

ситуацій в Україні» (Руденко та ін., 2010), розроблені підходи до геоінформаційного забезпечення радіоекологічного моніторингу (Тітова, 2012); виконані роботи з обґрунтування структури і змісту ГІС ПЗФ (Кирилюк, 2021) більшість цих робіт стосується загальнодержавного рівня тому надзвичайно важливо обґрунтування структури та створення екологічної ГІС на рівні області.

Слабка формалізованість знань, неповнота, недостатня порівнянність і мінливість даних про стан НПС та екологічні ситуації приводять до того, що екологічні ГІС при своєму формуванні часом не проходять класичного (наукового) шляху постановки і розв'язку інформаційних задач. Постановка задач може бути різною в залежності від прийнятого дослідниками рівня пізнання території.

Природо-історичний, або фактологічний рівень. На цьому рівні досліджуються властивості окремих компонентів території і їх взаємодія без спеціального визначення соціальної функції і значимості. Виділяються й оцінюються різнорангові природно-територіальні комплекси і відбувається накопичення даних конкретних досліджень з вивчення найрізноманітніших компонентів і загальних властивостей геосистем різних рангів. Відмітною ознакою робіт цього рівня є формування наукових понять на основі тільки властивостей досліджуваних об'єктів. Певною мірою це ”об'єктний рівень” пізнання території різними природно-науковими дисциплінами.

Природно-ресурсний, або геотехнологічний рівень. На цьому рівні відбувається перша оцінка соціальної функції ”речовини природи” шляхом введення такого поняття, як *ресурси*. Це має принципове значення для аналізу регіональних проблем природокористування.

Пропоноване виділення рівнів дослідження території допомагає представити комплекс регіональних геоінформаційних досліджень території у вигляді поліструктурної системи. З аналізу літератури і реальних систем можна виокремити два підходи (схеми) до постановки і розв'язку задач в такій системі.

За першою схемою постановка йде від екологічних проблем через дані, що їх характеризують, до розв'язку інформаційних задач:

– виявлення та класифікація екологічних проблем і ситуацій на досліджуваній території;

– пошук і збір вихідних даних, що характеризують виділені проблеми;

– побудова моделі процесів і явищ, що обумовлюють виділені екологічні проблеми;

– постановка інформаційної задачі з вироблення розв'язку екологічної проблеми;

– розв'язок інформаційної задачі;

– оформлення отриманих результатів у відповідності з вимогами конкретного замовника.

За другою схемою постановка виконується від наявності усіх доступних вихідних даних по території до аналізу компонентів НПС за допомогою цих даних:

– пошук і збір доступних вихідних даних;

– характеристика екологічних проблем на підставі зібраних даних;

– побудова простих і комплексних карт, що характеризують компоненти НПС і які дозволяють зіставити наявні екологічні проблеми і задачі управління природоохоронною діяльністю;

– типологічне районування території на основі наявних елементарних і комплексних карт з використанням тематичних даних, обраних як критеріальні;

– вироблення рекомендацій з розв'язку управлінських задач;

– оформлення отриманих результатів у відповідності з вимогами конкретного замовника.

Можна використовуватись також й інша (змішана) схема, більш гнучка і перспективна в умовах складних систем з неповним і перемінним характером даних. За цією схемою дані, необхідні для проведення конкретного аналізу, поділяються на базові (об'єкт дослідження), проблемні (виділені у порядку пріоритетів) і керуючі (потреби користувачів у конкретній ситуації). Схема виглядає так:

– формулювання загальної інформаційної задачі ГІС (мета, об'єкти аналізу, очікувані результати);

– визначення конкретних споживачів інформаційної продукції;

– аналіз наявності вихідних даних і способів їх одержання;

– побудова логічної інформаційної моделі об'єкта дослідження, спроектованої за допомогою логічних побудов на основі необхідного складу даних;

– побудова дескриптивної базової статичної інформаційної моделі на підставі наявних вихідних даних, які розкривають специфіку конкретної території, що склалась на певний період часу;

– формування статичних баз даних (картографічних і семантичних), сталих протягом певного часу;

– виявлення і формулювання конкретних проблем, створення динамічних інформаційних моделей під проблеми як множини базової моделі;

– формування динамічних тематичних баз даних, включаючи дані разового або несистематичного користування;

– формулювання і розв'язок конкретних інформаційних задач для осіб, що приймають управлінські рішення;

– порівняння статичної і динамічної моделей і баз даних, перетворення статичної моделі для нового вихідного терміну на основі результатів обробки динамічних баз даних.

Загальна постановка задачі. Реалізація схеми починається з чіткого формулювання цілей і загальної постановки інформаційної задачі. Практично всі створювані екологічні ГІС у природоохоронній діяльності повинні

розв’язувати дві головні задачі: забезпечення Єдиної державної системи екологічного моніторингу (ЄДСЕМ) і ведення комплексного територіального кадастру природних ресурсів (КТКПР). Усі інші формулювання відносяться до підмножини цих задач.

Моніторингові і кадастрові ІС за низкою своїх функціональних блоків перетинаються. Такі аспекти системи моніторингу, як природно-ресурсний, соціально-економічний, територіальний, є складовими автоматизованих кадастрових систем. У свою чергу, кадастрові системи включають блок моніторингу стану природних ресурсів як один зі своїх структурних елементів.

Розглядаючи комплексну систему обробки інформації, що охоплює усі етапи природокористування від збору даних до прийняття рішень з захисту НПС, можна виділити три рівня (структурних блока) інформаційного забезпечення:

– ІС спостережень і оцінки стану біосфери за об'єктами і компонентами НПС, тобто моніторинг у традиційному вузькому змісті – виконання функцій нагромадження даних ДЗЗ, експедиційних і відомчих даних, їх первинну обробку, аналіз й оцінку (блок стану);

– ГІС екологічного моніторингу, яка здійснює синтез тематичних пооб'єктних потоків інформації в єдину систему просторових даних про території, комплексну оцінку і прогноз екологічного стану об'єктів на конкретній території (блок оцінки і прогнозування);

– автоматизована система управління (АСУ) “природокористування”, яка забезпечує розробку планів і заходів природоохоронної і природно-відновлюваної діяльності на території для досягнення екологічної безпеки природи, господарства і населення (блок управління).

Особливістю побудови такої складної організаційно-інформаційної системи є розгляд єдиного територіального господарського комплексу одночасно з трьох точок зору: як об'єкта екологічного спостереження, як керованого об'єкта, як керуючого об'єкта. Інформаційний фонд такої системи розподіляється за трьома рівнями ієрархії. ГІС, агрегуючи моніторингові дані, доповнює їх даними про територіальні умови і розміщенні об'єкти спостереження, АСУ доповнює цю інформацію даними соціально-економічного характеру.

При розв'язанні організаційних і технологічних питань збору й обробки даних у такій комплексній ІС передбачається наявність трьох рівнів володіння, управління і деталізації даних:

а) постачальники даних: низові служби контролю і спостереження (станції, пункти і пости спостережень, лабораторії аналізу тощо);

б) відомчі вузлові служби;

в) територіальні органи державного управління (міські, районні, обласні управління з охорони навколишнього середовища, інформаційно-аналітичні служби адміністративних органів управління).

В комплексній ІС природокористування вся інформація зберігається у своїх власників і обробляється ними у відповідності зі своїми цілями і

задачами. З нижнього на верхній рівень управління надходять лише агреговані дані, що пройшли попередній аналіз і обробку. При цьому рух інформації як між рівнями, так і між організаціями одного рівня управління, може здійснюватися в двох режимах:

а) за регламентом – із заданими складом даних і періодичністю їх руху;

б) за запитом – по мірі необхідності одержання й обробки оригінальних відомчих даних, необхідних для розв’язання задач аналізу й узагальнення інформації в запитуваній організації.

У зв'язку з фінансовими, організаційними і технічними труднощами, створення комплексної розподіленої ІС природокористування можна розпочати її розробку і впровадження з моменту відпрацьовування угод між відомствами і поетапної програмної реалізації. Доцільно розпочати роботу “зверху-вниз”, тобто зі створення баз даних на верхньому територіальному рівні державного управління. Відпрацьовуючи паралельно технологію руху потоків даних між взаємодіючими організаціями з використанням різного роду носіїв, на наступних етапах з встановленням обчислювальної мережі можна значно простіше реалізувати технологію експлуатації системи в автоматизованому режимі актуалізації баз даних.

Простеживши ланцюг взаємозв'язків елементів структурних, функціональних, організаційних і технологічних блоків комплексної ІС природокористування, можна уточнити загальну постановку задачі для її практичної реалізації . Так, для Чернігівської області задача була сформульована як створення ГІС моніторингу екологічного стану і використання природних ресурсів (лісових, водних, земельних, атмосферних тощо) на основі відомчих даних для цілей інформаційної підтримки рішень фахівців регіонального рівня управління природоохоронною діяльністю.

15.4. ГІС природно-заповідного фонду Чернігівської області

Сучасна технологія створення тематичних карт, геозображень та геопортальних рішень для досліджуваних територій базується на створенні геоінформаційних моделей території і передбачає: формування інтегрованих сховищ просторових даних (Spatial Data Warehouses) на основі мультисенсорної інформації (Holst & Lomheim, 2011); автоматизоване вилучення семантики за допомогою методів машинного навчання (Deep Learning) та об’єктно-орієнтованого аналізу зображень (OBIA); динамічну обробку геопросторових запитів у реальному часі та візуалізацію даних через кросплатформні веб-інтерфейси, мобільні додатки та системи доповненої реальності (AR) (Longley et al., 2015).

Нині функціональні можливості ГІС значні (Shekhar et al., 2017):

1. Інтелектуальна обробка первинних даних: пріоритет надається прямій обробці супутникових даних високої розрізненості, хмар точок LiDAR та матеріалів безпілотних літальних апаратів (БПЛА) (Крельштейн, 2008). Корекція та зшивання фрагментів виконуються автоматично в хмарних середовищах (наприклад, Google Earth Engine).

Автоматизована генерація цифрових моделей передбачає сегментацію наборів сирих даних на основі нейронних мереж (наприклад, архітектури U-Net або Mask R-CNN) для автоматичного виділення контурів будівель, дорожньої мережі та типів рослинності.

Інтеграція різнорідної інформації (ArcGIS, QGIS із підтримкою PostGIS, ENVI, ERDAS IMAGINE та спеціалізовані бібліотеки аналізу даних на мовах Python (біблиотеки ArcPy, Rasterio) та R, що замінили застарілі засоби об'єктно-орієнтованого програмування 90-х років.

Системи інтерактивної бізнес-аналітики (BI) підтримують динамічні дашборди (ArcGIS Dashboards, Tableau, Power BI), які забезпечують багатовимірний аналіз та візуалізацію часових серій даних у реальному часі.

2. Аналіз екологічного стану НПС з використанням існуючих програм математичного моделювання для аналізу просторового розповсюдження забруднень по досліджуваній території, виявлення зон підвищеної екологічної небезпеки, створення геопросторових моделей аналізу й оцінки ситуацій в природоохоронній діяльності.

3. Розробка власних моделюючих програм для аналізу нестандартних екологічних ситуацій (короткочасний залповий викид забруднювача, розкид джерел забруднення, комплексний вплив забруднювачів, моделювання підтоплень тощо). Особливість даних систем – використання об'єктно-орієнтованих мов програмування з широкими можливостями побудови інтерфейсу користувача, графікою, роботи з базами даних.

При ухваленні рішень у сфері екологічного моніторингу НПС особливу роль відіграє забезпечення вибору раціонального розв'язку на основі автоматизації аналізу цифрової аерокосмічної інформації. В основі сучасного програмного забезпечення для обробки даних ДЗЗ (ERDAS Imagine, Earth Resource Mapping, PCI, IDRISI Project тощо) використовуються або евристичні методи покращання зображень для наступного виділення природних об'єктів, або традиційні методи дискримінантного і кластерного аналізу для незалежної класифікації сигналів в елементах растра (Зацерковний 2017).

Характеристика об’єкта моделювання представлена у працях автора (Зацерковний та ін., 2010; Зацерковний та ін., 2013). Екологічний стан Чернігівської області має ряд особливостей, які не притаманні іншим областям України. Перш за все, це відносно невисокий рівень концентрації промисловості і порівняно висока лісистість території, а також значна забезпеченість водними ресурсами, що певною мірою сприяє формуванню екомережі та здатності ландшафтів до самоочищення від забруднень і самовідновлення.

Екомережа (Закон України «Про екологічну мережу України», 2004) являє собою «…єдину територіальну систему, яка утворюється з метою поліпшення умов для формування та відновлення довкілля, підвищення природно-ресурсного потенціалу території України, збереження ландшафтного та біорізноманіття, місць оселення та зростання цінних видів тваринного і рослинного світу, генетичного фонду, шляхів міграції тварин через поєднання територій та об'єктів природно-заповідного фонду, а також інших територій, які мають особливу цінність для охорони навколишнього природного середовища і відповідно до законів та міжнародних зобов'язань України підлягають особливій охороні».

«Структурними елементами екомережі є, як відомо, природні ядра, або біоцентри, екокоридори, буферні зони і території відновлення. З природних та напівприродних ділянок вони утворюють територіально і функціонально цілісну структуру, забезпечують стабілізацію екологічних умов збереження біорізноманіття та формують необхідний еволюційний простір.» (Шеляг-Сосонко та ін., 2005)

Території об'єктів ПЗФ створюються на лісових, болотних і лучних ділянках. Однак площа існуючих особливо охоронюваних природних територій (ядер мережі) не є достатньою для підтримки екологічного балансу території.

Станом на 01.12.2016 р. природно–заповідний фонд Чернігівської області налічував 663 об'єкти загальною площею 260727,12 га, що становить 7,8% від загальної площі області, з них 23 об'єкти мають загальнодержавний статус (Регіональна схема..., 2017).

Основними комунікаційними елементами національної екологічної мережі є широтні природні коридори, які забезпечують природні зв'язки зонального характеру, Поліський (лісовий), Галицько-Слобожанський (лісостеповий), Південноукраїнський (степовий).

На основі даних (Регіональна схема..., 2017) розроблено карти екологічного стану Чернігівської області (додаток А.1), території ПЗФ (додаток А.2), екологічної мережі (додаток А.3), широтних коридорів екологічної мережі України (додаток А.4), меридіональних коридорів екологічної мережі (додаток А.5).

В ході робіт для визначення перспектив розвитку регіональної екологічної мережі було використано топографічну карту Чернігівської області, масштаб 1:100000 спільно з даними про категорії земель і типи землекористувань на території області.

Це засвідчило, що територія області недостатньо сприятлива для розбудови просторових елементів екомережі через високий ступінь господарського, в першу чергу, сільськогосподарського використання. Про це свідчить і аналіз даних земельного кадастру Чернігівської області.

Розширення регіональної екомережі, на нашу думку, передбачає:

1) створення нових об'єктів ПЗФ на територіях, придатних для охорони природи, зокрема шляхом включення до складу природно-заповідного фонду

від 20 до 25% загальної площі лісових масивів області (бажаний відсоток ПЗФ в загальній структурі земель 2–2,5%);

2) збереження природних ландшафтів на ділянках, що мають історико-культурну цінність, промисловості, транспорту, зв'язку, оборони;

3) екологічне оздоровлення басейнів річок Дніпра, Десни, Сожу, Судості, Сейму, Снову, Остеру, Трубіжу, Супою, Удаю та інших 1560 малих річок заходів щодо створення і впорядкування водоохоронних зон і прибережних захисних смуг водних об'єктів, запровадження особливого режиму використання земель на ділянках витоку річок;

4) створення захисних лісових насаджень та полезахисних лісових смуг, залуження земель, ренатуралізації земель, виведених з сільськогосподарського обороту;

5) консервації деградованих і забруднених земель з наступним їх частковим заліснення.

Обґрунтування таких заходів неможливо без вичерпної інформації про території. Саме ГІС ПЗФ дозволяє приймати ефективні рішення в регулюванні питань з техногенної безпеки на основі багатоаспектного доступу до спільних ресурсів користувачами адміністративних утворень на основі інтегрованої бази даних.

Інформація про кожен об’єкт за місцем збирання від кожного адміністративного центру попадає на сервер екомережі. Об’єкти описуються за допомогою атрибутів та представляються у базі даних як інформаційні об’єкти (рис. 15.1).

Код	Nomer_reestracii	Nazva_ob'ekta	Znachennya_objekta	Kategoriy	
1	1/10-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Максимовий"	місцеве	Зк	Держкомітет лісового
1	1/11-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Митченківський"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/12-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Обмачівський"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/13-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Стрільницький"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/14-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Тиницько-Курінський"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/15-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Халімоновий"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
1	1/1-578	Лісовий заказник місцевого значення "Дубина"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
1	1/16-578	Гідрологічна памятка природи місцевого значення "Парасючка"	місцеве	Пп	Міністерство АПК, рад
1	1/17-578	Парк-памятка садово-паркового мистецтва місцевого значення "Кочубеївський"	місцеве	Ппспм	Міністерство АПК, ксп
1	1/18-578	Парк-памятка садово-паркового мистецтва місцевого значення "Тиницький"	місцеве	Ппспм	Міністерство освіти, Т
1	1/19-578	Заповідне урочище місцевого значення "Лозовиця"	місцеве	Зу	Державний комітет ліс
1	1/20-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Біловежівський"	місцеве	Зк	
1	1/21-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Білинний"	місцеве	Зк	
1	1/22-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Ступник"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/23-578	Ботанічний заказник місцевого значення "Березняк"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/24-578	Ботанічний заказник місцевого значення "Государщина"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, ксп
1	1/25-578	Ландшафтний заказник місцевого значення "Нечай"	місцеве	Зк	Міністертво АПК, ксп
1	1/2-578	Ботанічний заказник місцевого значення "Лозки"	місцеве	Зк	Держкомітет лісового
1	1/26-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Острів"	місцеве	Зк	
1	1/27-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Гайворонський"	місцеве	Зк	
1	1/3-578	Лісовий заказник місцевого значення "Піски"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
1	1/4-578	Ботанічний заказник місцевого значення "Семиліски"	місцеве	Зк	Державний комітет лі
1	1/5-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Веселий"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
1	1/6-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Довгий"	місцеве	Зк	Держкомітет лісового
1	1/7-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Кропивний"	місцеве	Зк	Міністерство АПК, Сіл
1	1/8-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Кучугурський"	місцеве	Зк	Держкомітет лісового
1	1/9-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Левищина"	місцеве	Зк	Держкомітет лісового
10	10/10-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Ожинський"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
10	10/11-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Пригаришиний-1"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
10	10/12-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Пригаришиний-2"	місцеве	Зк	Державний комітет ліс
10	10/13-578	Гідрологічний заказник місцевого значення "Річка Смолянка"	місцеве	Зк	Міністерство АПК
10	10/14-578	Ботанічна памятка природи місцевого значення "Будянська"	місцеве	Пп	Державний комітет ліс
10	10/15-578	Ботанічна памятка природи місцевого значення "Гульбище-1"	місцеве	Пп	Державний комітет ліс

Запись: 1 из 655

Рис. 15.1. ***Фрагмент бази даних об’єктів ПЗФ Чернігівської області***

На етапі проектування необхідно передбачити усі можливі дії, які можуть виникнути на різних етапах життєвого циклу БД, проаналізувати запити користувачів, вибрати інформаційні об'єкти та їх характеристики і на основі аналізу структурувати предметну область.

Аналіз предметної області доцільно розбити на три фази: аналіз концептуальних вимог і інформаційних потреб; виявлення інформаційних об'єктів і зв'язків між ними; побудова концептуальної моделі предметної області і проектування концептуальної схеми БД. У БД ПЗФ виконуються запити за кожним об'єктом або адміністративним районом Чернігівської області (рис. 15.2). У запиті можна отримати інформацію про загальну характеристику по забрудненню підприємствами адміністративних районів області, кількість об'єктів ПЗФ, які існують в адміністративних районах і на території області, яку площу займає об'єкт, яке значення об'єкта, підпорядкування об'єкта та його адміністративне розташування.

Для зручного використання БД розроблені форми, наближені до стандартних бланків введення даних (рис. 15.3).

Робота з ГІС ПЗФ Чернігівської області зазвичай не викликає проблем. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс (рис. 15.3) дозволяє користувачеві при запуску ГІС (кнопка «Пуск», рис. 15.4 *а*) перейти до адміністративної карти Чернігівської області (рис. 15.4 *б*) та вибрати адміністративний район.

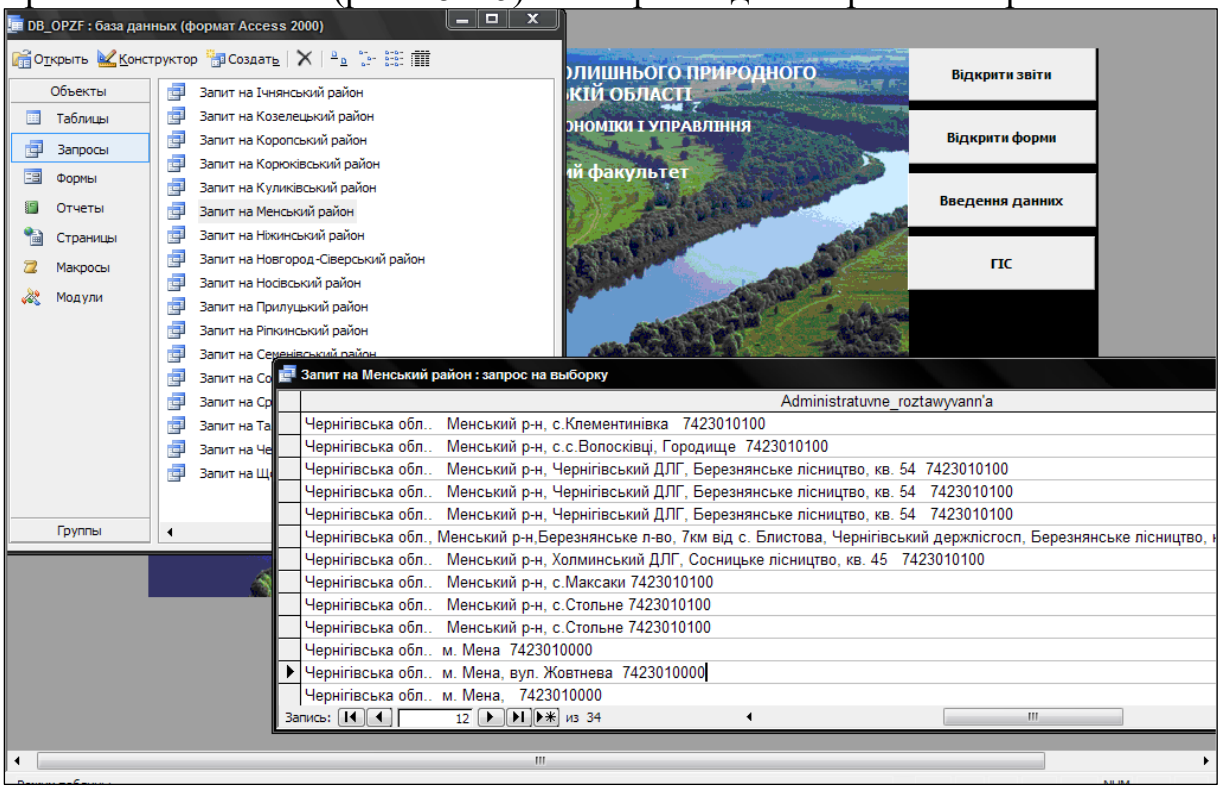
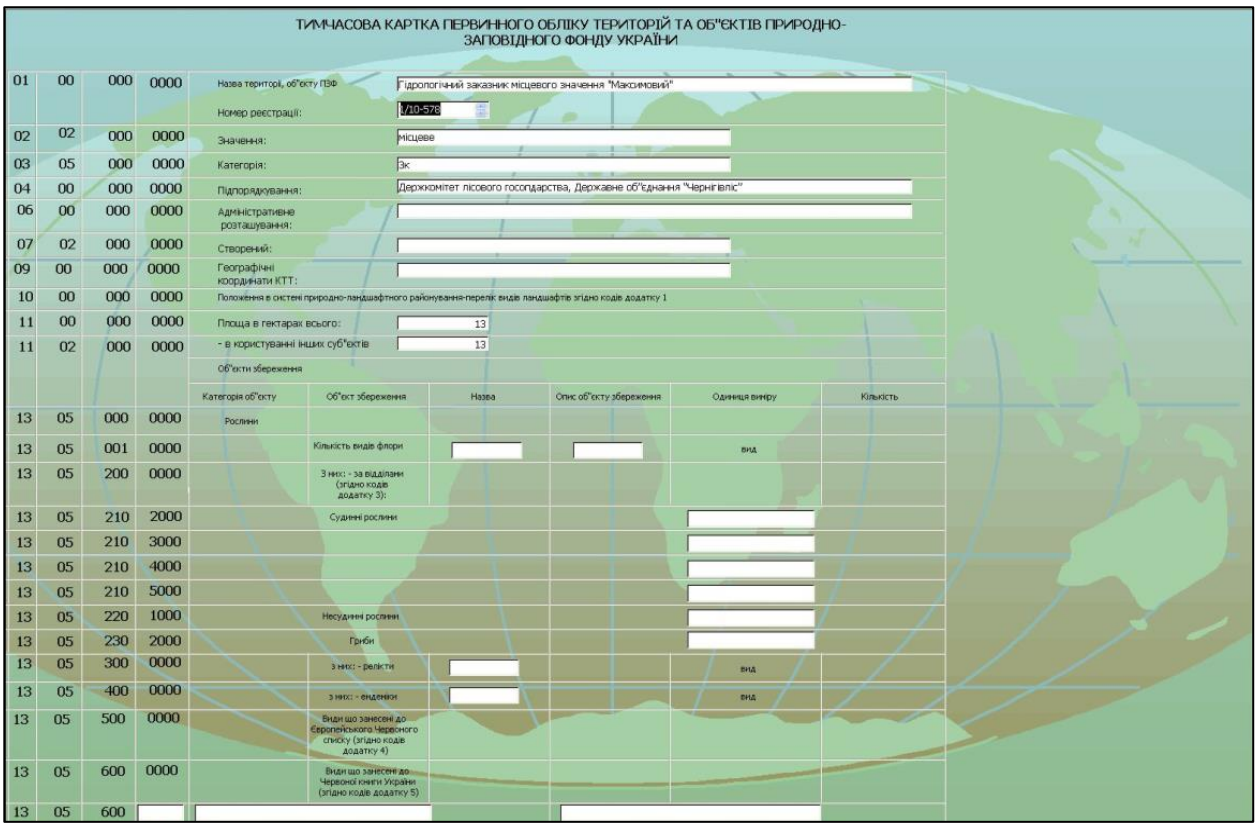


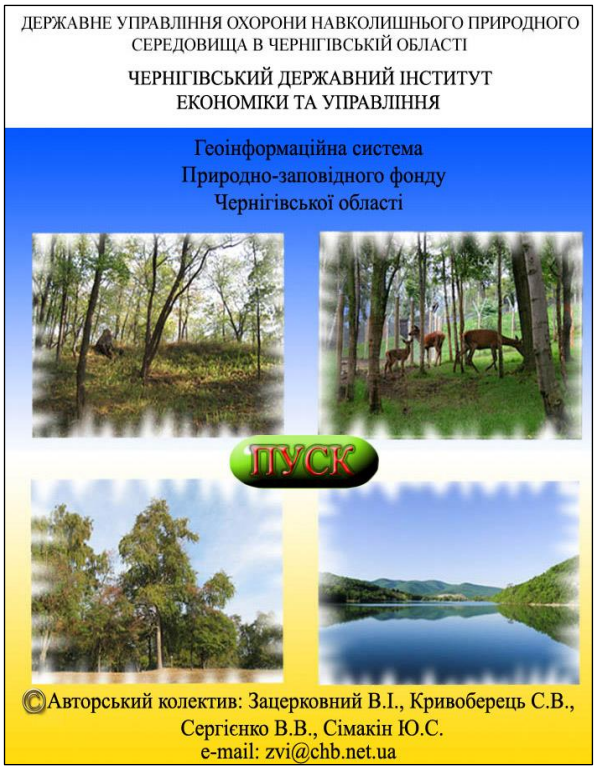
Рис. 15.2. *Приклад створення запиту за об'єктами Менського району Чернігівської області*



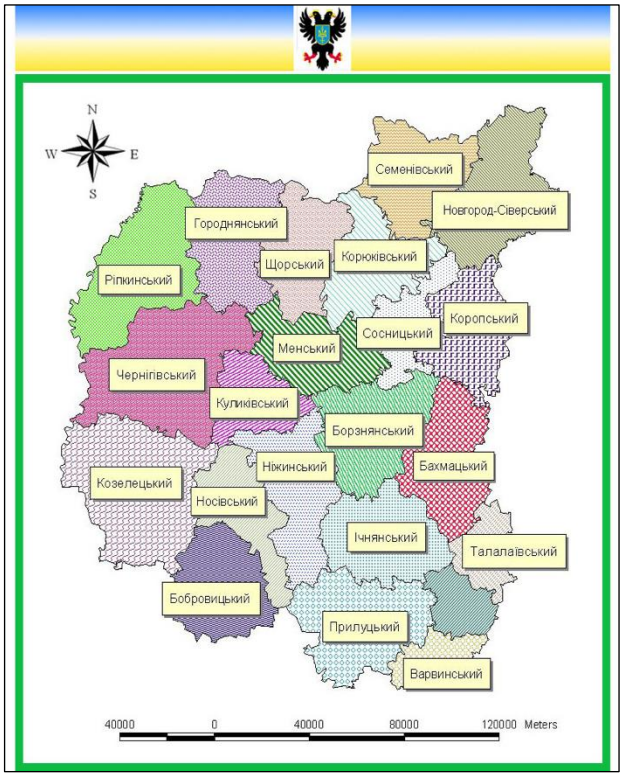
ТИМЧАСОВА КАРТКА ПЕРВИННОГО ОБЛІКУ ТЕРИТОРІЙ ТА ОБ"ЄКТІВ ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНОГО ФОНДУ УКРАЇНИ

01	00	000	0000	Назва території, об"єкту ПЗФ	Гідрологічний заказник місцевого значення "Максимовий"				
				Номер реєстрації:	710-578				
02	02	000	0000	Значення:	місцеве				
03	05	000	0000	Категорія:	Зк				
04	00	000	0000	Підпорядкування:	Держкомітет лісового господарства, Державне об"єднання "Чернігвліс"				
06	00	000	0000	Адміністративне розташування:					
07	02	000	0000	Створений:					
09	00	000	0000	Географічні координати КТТ:					
10	00	000	0000	Положення в системі природно-ландшафтного районування-перелік видів ландшафтів згідно коду додатку 1					
11	00	000	0000	Площа в гектарах всього:	13				
11	02	000	0000	- в користуванні інших суб"єктів	13				
				Об"єкти збереження					
				Категорія об"єкту	Об"єкт збереження	Назва	Опис об"єкту збереження	Одиниця виміру	Кількість
13	05	000	0000	Рослини					
13	05	001	0000		Кількість видів флори			вид	
13	05	200	0000		З них: - за відділами (згідно коду додатку 3):				
13	05	210	2000		Судинні рослини				
13	05	210	3000						
13	05	210	4000						
13	05	210	5000						
13	05	220	1000		Несудинні рослини				
13	05	230	2000		Гриби				
13	05	300	0000		з них: - релікти			вид	
13	05	400	0000		з них: - ендеміки			вид	
13	05	500	0000		Види що занесені до Європейського Червоного списку (згідно коду додатку 4)				
13	05	600	0000		Види що занесені до Червоної книги України (згідно коду додатку 5)				
13	05	600							

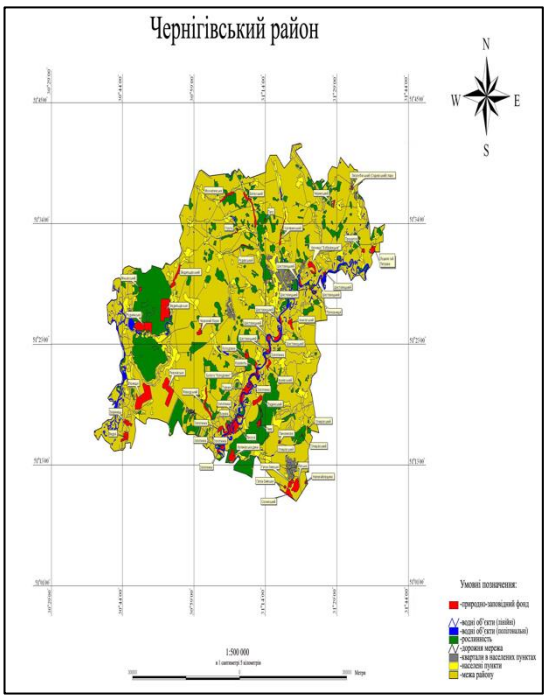
Рис. 15.3. *Загальний вигляд форми введення даних*



а)



б)



в)

№ області	№ реєстрації	Назва	Площа, га	Значення	Категорія	Підстава	Розташування	У віданні перебу
22	22 / 7 - 578	Борки	16	місцеве	гідрологічний заказник	Оголошений рішенням Чернігівського облвиконкому від 27.12.1984 р. №454	кв. 11, 12 Єлінського лісництва ДП "Корюківське лісове господарство"	Корюківськ держлісгос
22	22 / 24 - 578	Мостки	7,2	місцеве	ботанічна пам'ятка природи	Оголошений рішенням Чернігівського облвиконкому від 28.08.1989 р. №164	с. Єліне , Щорський між – колгоспний лісгосп, кв 8	Єлінської с ради
22	22 / 1 - 578	Болото "Мох"	98	загальнодержавне	гідрологічний заказник	Оголошений рішенням Ради Міністрів УРСР від 28.10.1974 р. №500	кв. 19, 20, 25, 26 Новоборовицького лісництва ДП "Корюківське лісове господарство"	Корюківськ держлісгос
22	22 / 20 - 578	Стариця	12	місцеве	гідрологічний заказник	Оголошений рішенням Чернігівського облвиконкому від 27.12.1984 р. №454	кв. 40 Тихоновицького лісництва ДП "Корюківське лісове господарство"	Корюківськ держлісгос
22	22 / 9 - 578	Борсук	26	місцеве	гідрологічний заказник	Оголошений рішенням Чернігівського облвиконкому від 27.12.1984 р. №454	кв. 37, 38 Тихоновицького лісництва ДП "Корюківське лісове господарство"	Корюківськ держлісгос
22	22 / 26 - 578	Єлінський ліс	100	місцеве	заповідне урочище	Оголошений рішенням Чернігівського облвиконкому від 08.09.1958 №861	кв. 53, 54 Єлінського лісництва ДП "Корюківське лісове господарство"	Корюківськ держлісгос
22	22 / 23 - 578	Ступак	13	місцеве	гідрологічний заказник	Оголошений рішенням Чернігівського облвиконкому від 27.12.1984 р. №454	с. Челелів, Іванівка Щорського району	Корюківськ держлісгос

г)

Рис. 15.4. *Фрагменти інтерфейсу ГІС ПЗФ Чернігівської області*

При натисканні на кнопку адміністративного району з'являється цифрова векторна карта ((рис. 15.4 *в*), де можна обрати необхідний територіальний об'єкт та отримати по ньому необхідну інформацію (рис. 15.4*г*).

Створена ГІС ПЗФ Чернігівської області дозволяє цілісно зберігати, вносити зміни, аналізувати і контролювати його стан. Розроблене ПЗ надає широкі можливості для ведення розподіленої бази даних ПЗФ, підвищення ефективності функціонування системи ведення моніторингу НПС за допомогою ГІТ.

ГІС ПЗФ використовується як фахівцями державного управління НПС в Чернігівській області, так і для надання інформації широким верствам населення.

15.5. ГІС моніторингу водних ресурсів та прогнозування підтоплень

Актуальність моніторингу водних ресурсів (ВР) та впровадження автоматизованих систем контролю детально висвітлена автором у працях (Зацерковний та ін., 2017b; Зацерковний та ін., 2017c). В сучасних умовах стан гідросфери регіону визначається не лише антропогенним навантаженням минулих десятиліть, а й новими критичними чинниками воєнного та характеру.

Чернігівська область, володіючи значним фондом поверхневих вод, стикається з деградацією річкових екосистем через:

Забруднення стічними водами (значні обсяги недостатньо очищених стоків продовжують скидатися в басейни Десни та Дніпра через зношеність комунальних та промислових очисних споруд).

Втрату малих річок (антропогенна трансформація русел, замулення та порушення гідробалансу призводять до втрати здатності водойм до самоочищення).

Воєнно-техногенні ризики (руйнування гідротехнічних споруд, дамб та забруднення водотоків внаслідок бойових дій (хімічне забруднення, паливно-мастильні матеріали, залишки боєприпасів).

Ефективне покращення екологічної ситуації можливе лише за умови впровадження інтегрованого моніторингу, що базується на басейновому принципі управління. Це вимагає наявності детальної, просторово-прив'язаної інформації про кожен водний об’єкт, а також створення динамічного реєстру потенційних та реальних джерел забруднення (промислові підприємства, ТЕС, агрокомплекси, місця руйнацій).

Сучасна геоінформаційна підтримка моніторингу дозволяє не лише локалізувати кожне джерело впливу, а й інтегрувати його кількісні та якісні характеристики в єдину модель. Це забезпечує можливість:

-Прогнозування екологічного стану річкових басейнів у реальному часі.

-Моделювання масштабів надзвичайних ситуацій (паводків, підтоплень або залпових викидів).

- Оцінки транскордонного перенесення забруднень, що є критичним для забезпечення екологічної безпеки прикордонних територій.

Управління ВР в Україні здійснюється на трьох організаційних рівнях: державному, басейновому та територіальному.

Проведений аналіз основних функцій, задач у галузі управління ВР країни, діючих ІС управління ВР, літературних джерел свідчить: інформаційні потоки в трирівневій системі управління ВР спрямовані як на вирішення задач на кожному організаційному рівні, так і на забезпеченні необхідною інформацією вищого організаційного рівня (така передача інформації з необхідним ступенем узагальнення з одного організаційного рівня на більш високий ієрархічний рівень в системі управління ВР отримала назву генералізації інформації).

Використовувана при розв'язанні задач управління ВР інформація носить переважно просторовий характер, вона є різнорідною і розподілена територіально між організаційними рівнями, однак системи комплексної обробки розподіленої просторової інформації про ВР у системі управління ВР України відсутні. При цьому відбувається дублювання даних у різних, функціонуючих автономно, ІС ВР. Тобто, для формування єдиного цілісного уявлення про ВР, розв’язку задачі генералізації просторової інформації необхідний єдиний формальний опис різнорідної просторово-розподіленої

інформації, яка присутня на усіх трьох рівнях управління, для здійснення якого добре зарекомендував себе підхід, заснований на багатомірних моделях даних. Важливу роль відіграє створення моделі організації системи інформаційного забезпечення ВГК, функціональна схема якої наведена на рис. 15.5.

Рис. 15.5. *Функціональна схема організації інформаційного забезпечення водогосподарського комплексу*

Характерною особливістю наведеної моделі є той факт, що інформаційні потоки, які виникають у процесі отримання і передачі у встановленому порядку даних державного статистичного спостереження за водокористуванням, даних державного моніторингу водних об'єктів і об'єктів водного господарства, інших державних систем моніторингу стану НПС, складають основу формування державних інформаційних ресурсів (Карпінський & Лященко, 2001).

Для детального вивчення проблем забруднення поверхневих вод може бути використана ***Спеціалізована ГІС Моніторингу Водних Об'єктів.*** Така система дозволить реалізувати комплексну оцінку потенційного та фактичного впливу на якість поверхневих та підземних вод всіх відомих на даний час джерел забруднення (стічні води підприємств, розміщення відходів, забруднення повітря тощо). Важливим елементом системи може бути виявлення найбільш небезпечних забруднювачів (з урахуванням нормативів гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин). Така ГІС опрацьовуватиме великі масиви даних, здійснюватиме: 1) збір даних (Data Acquisition) з датчиків (IoT), соціальних мереж, логів серверів, державних реєстрів або супутникових знімків; 2) їхнє очищення та підготовку (Data Cleaning & Preprocessing); 3) зберігання (Data Storage) у хмарних сховищах;
4) оброблння та аналіз (Data Processing & Analytics) де до даних застосовуються алгоритми (від статистичного аналізу до машинного

навчання); 5) Візуалізація та інтерпретація (Visualization & Interpretation) стану і динаміки водних об’єктів за допомогою зручних для сприйняття графіків, інтерактивних карт або дашбордах, що дозволяють людям приймати обґрунтовані рішення.

Набір інформаційних шарів ГІС ВР може вміщувати:

– статистичні дані про обсяги скидів забруднювальних речовин у водні об’єкти;

– дані про особливості геохімічного фону та моніторингу сольового складу, трофосапробіологічних[18] та показників токсичної і радіаційної дії ;

– дані щодо забруднення підземних вод;

– дані моніторингу донних відкладів;

– дані про забруднюючі речовини, які накопичуються на сміттєзвалищах, розташованих поблизу водного об’єкта;

– дані про водокористувачів.

Вікно введення даних щодо водних ресурсів представлено на рис. 15.6.

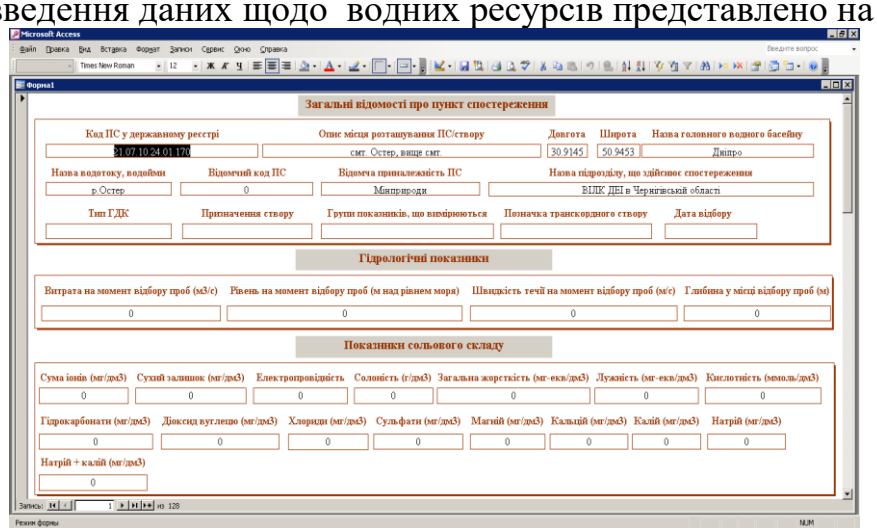


Рис. 15.6. *Вікно введення даних про стан водних ресурсів*

Форма підключення тематичних шарів представлена на рис.15.7.

[18] Трофічність (трофність) рівень насиченості водойми біогенними елементами (азот, фосфор), що визначає інтенсивність «цвітіння» води; сапробність - ступінь забруднення органічними речовинами. визначається за індикаторними організмами (фіто- та зоопланктон, бентос). Значення: дозволяє оцінити «самоочисну» здатність екосистеми.

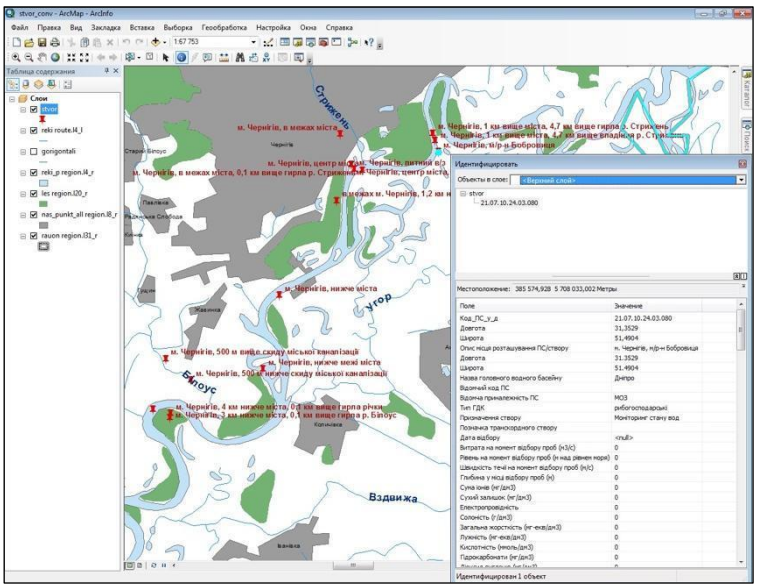


Рис. 15.7. *Форма підключення тематичних шарів (1:150 000 подано зі зменшенням)*

Таким чином, можна виокремити задачі, які можуть бути розв'язані за допомогою ГІС:

– аналіз діяльності користувачів ВР;

– нормування екологічного навантаження на водні об'єкти;

– оцінка якості води;

– моделювання поширення забруднювальних речовин;

– формування документації за запитом користувача;

– моделювання надзвичайних ситуацій (наприклад ризику потрапляння токсичних речовин до систем питного водопостачання).

Використання такої системи управління дозволить інтегрувати дані різних держателів геопросторових даних, уникнути дублювання спостережень різними службами та досягти інтероперабельності системи. В дослідженнях поверхневих вод велика роль приділяється цифровій моделі місцевості – поданню просторових базових наборів просторових даних.

Розробка пілотного проекту ***ГІС моніторингу та прогнозування стану ВР Чернігівської області*** почалась зі створення цифрової моделі території, за даними топографічної карти масштабу 1:200 000. За допомогою програмного забезпечення ArcGIS були створені набори даних, які містять рельєф, гідрологію, населені пункти, рослинність (рис. 15.8).

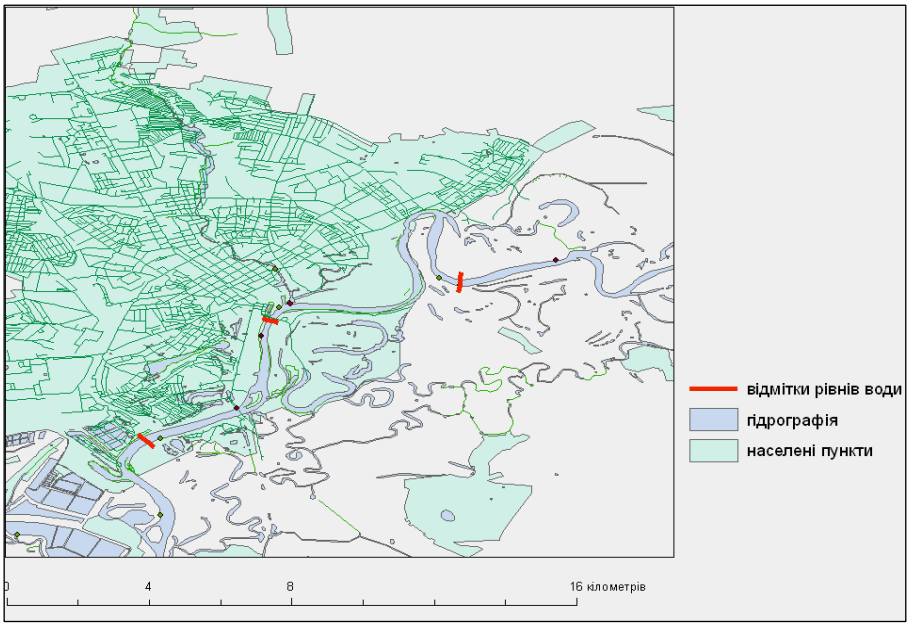


Рис. 15.8. *Форма підключення тематичних шарів (1:100 000 подано зі зменшенням)*

Водойми і водотоки, області, формування стоку і пункти гідрологічних спостережень представлені у цифровій моделі трьома основними типами просторових об'єктів, а саме: точковими (гідрометричні створи, пункти відбору проб), лінійними (річки) та полігональними (озера, великі річки і водозбори). Повний набір однотипних об'єктів одного класу в межах даної території утворює шар. На рис. 15.8 представлене моделювання підтоплень р. Десна в межах м. Чернігова весняним водопіллям.

Використання ГІС-технологій дозволяє візуалізувати зони потенційного затоплення річкою Десною в межах міста Чернігова шляхом картографування ліній розрахункових рівнів води різної забезпеченості (від 1% до 50%). Це моделювання базується на суміщенні гідрологічних даних (кривих забезпеченості) із цифровою моделлю рельєфу (ЦМР), що дає змогу оцінити територіальні ризики надзвичайних ситуацій та забезпечити належне просторове планування в умовах паводків

Дані про рельєф зберігаються й у вигляді нерегулярної сітки висотних позначок і горизонталей. Цифрова модель використовується для отримання ряду похідних морфометричних показників (кутів нахилу і експозиції схилів, профілів поперечного перетину, генерацію ліній тальвегів та вододілів тощо). При побудові TIN-моделі точки з’єднуються ребрами, які утворюють трикутники, в з яких поверхня подається площиною (рис. 15.9).

Оскільки поверхня кожного трикутника задається висотами трьох його вершин, застосування трикутників забезпечує кожній ділянці поверхні точне прилягання до суміжних ділянок. Це забезпечує безперервність поверхонь при нерегулярному розміщенні точок (Longley et al., 2015) і визначає повні топологічні зв’язки для точок, а для побудови трикутників потребує лише локального пошуку в околі.

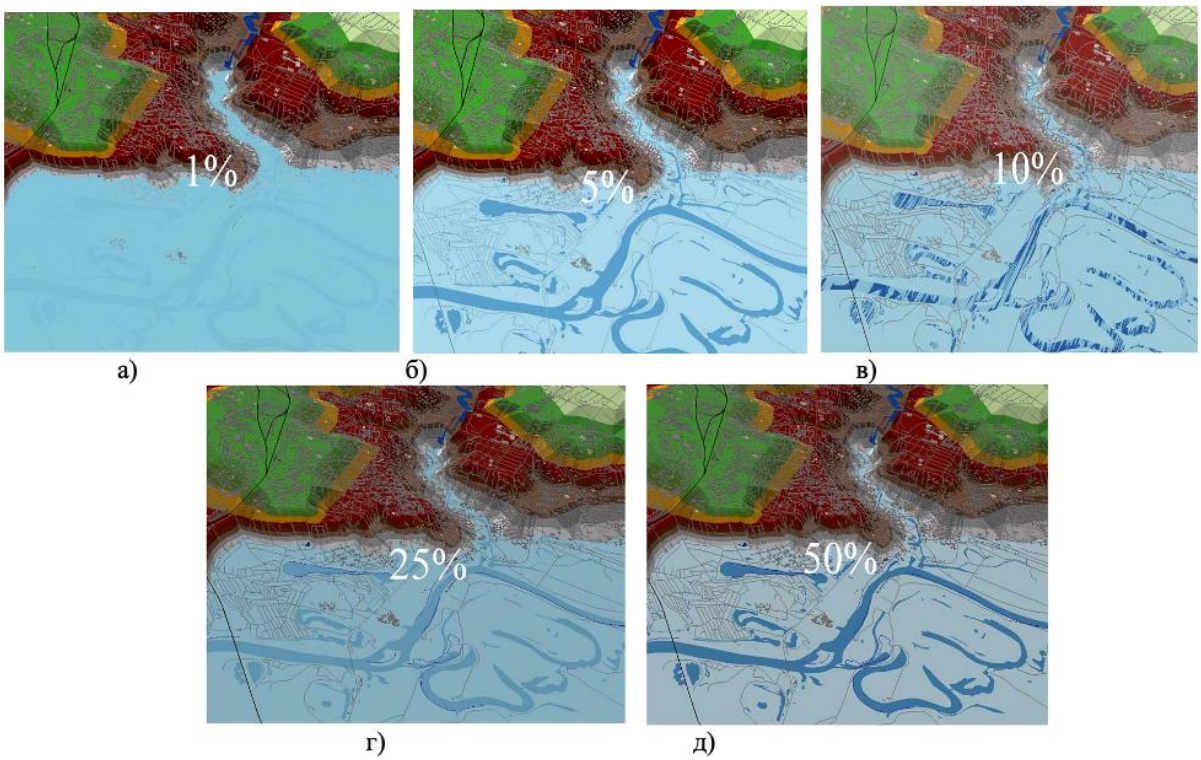


Рис. 15.9. Розрахунковий рівень підтоплення заплави р. Десна в межах м. Чернігова весняним водопіллям а) 1 раз у 100 років; б) 1 раз у 20 років; в) 1 раз у10 років; г) 1 раз на 4 роки; д) 1 раз на рік

На рис. 15.10 подана цифрова модель рельєфу (ЦМР) регіону дослідження.

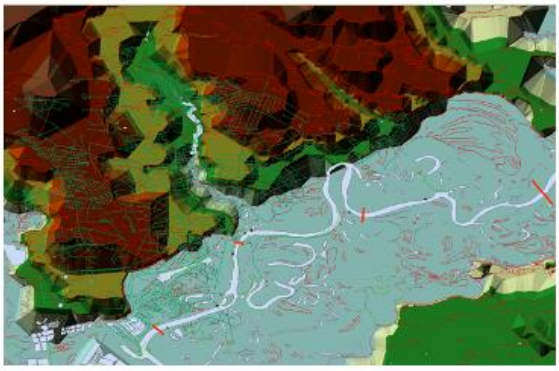


Рис. 15.9. *Побудова тривимірної TIN-моделі об'єкта дослідження*

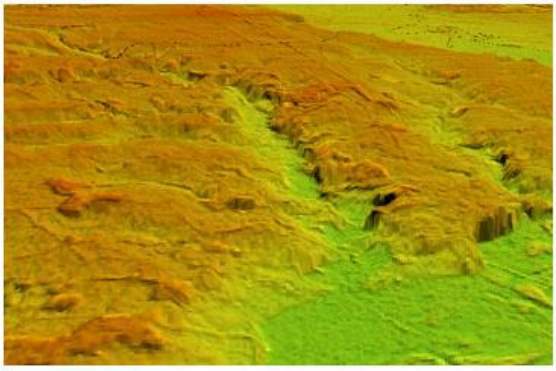


Рис. 15.10. *Цифрова модель рельєфу дослідження*

TIN містить масив координат і вказівний файл, у якому для кожної точки фіксуються усі вихідні з неї сторони. Таким чином, кожна сторона записується двічі. Для оглядового геозображення поєднано цифрову модель рельєфу (ЦМР) із супутниковим знімком високої розрізненості (рис. 15.11).

На підставі тривимірної моделі рельєфу можна здійснювати оцінку, прогнозування і моніторинг водних ресурсів, досліджувати зміну берегової лінії за рахунок підйому рівня води.

Рис. 15.11. *Цифрова модель рельєфу об'єкта дослідження у поєднанні із супутниковим знімком*

Для розрахунку інтегрального показника стану водних ресурсів була використана методика (Керівництво щодо..., 2007):

$$П_{вод} = 100 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4,$$

де $П_{вод}$ – інтегральний критерій стану водних ресурсів;

K_1 – коефіцієнт, що визначає співвідношення водоспоживання із наявністю водних ресурсів;

K_2 – коефіцієнт, що визначає співвідношення об'єму неочищених стічних вод до використання свіжої води на регіональні потреби;

K_3 – коефіцієнт, що характеризує витрати питної води на одну особу в регіоні;

K_4 – коефіцієнт, що характеризує частку забруднюючих речовин з перевищенням ГДС (гранично допустимого скидання) у загальному обсязі скинутих забруднюючих речовин.

$$K_1 = W_{спож}/W_{забір},$$

де $W_{спож}$– обсяг спожитої свіжої води (включаючи морську), млн м^3; $W_{забір}$– обсяг забраної води з природних водних об'єктів, млн м^3.

$$K_2 = W_{нос}/(W_{побут} + W_{пром} + W_{с-г}),$$

де $W_{нос}$– об'єм неочищених стічних вод, які скинуті в водні об'єкти, млн. м^3;

$W_{побут}$, $W_{пром}$, $W_{с-г}$– розподіл використання свіжої води за напрямами використання, млн м^3.

$$K_3 = W_{пит}/\overline{W}_{пит},$$

де $W_{пит}$ – використання свіжої води на побутово-питні цілі на 1 особу в регіоні, м^3/особу;

$\overline{W}_{пит}$ – показник питомого водоспоживання на особу в середньому по Україні, м^3/особу.

$$\overline{W}_{пит} = W_{річ,Укр}/Q_{річ,Укр}$$

де $Q_{річ,Укр}$ – кількість населення в Україні, осіб.

$$K_4 = W_{забруд}/W_{норм.чист},$$

де $W_{норм.чист}$ – загальний обсяг скидання очищених до нормативів ГДС та нормативно чистих без очистки зворотних вод (млн м^3);

$W_{забруд}$ – обсяг скидання забруднених зворотних вод (млн м^3).

Оцінка ВР, здійснена за методикою (Керівництво щодо..., 2007), свідчить, що інтегральний екологічний показник стану ВР ($П_{вод}$) у Чернігівській області у 2016 р. становив 2,724 (інтегральний бальний показник дорівнює 3), що свідчить про напружену ситуацію з якістю води в регіоні.

Для отримання оперативної інформації на випадок надзвичайної ситуації доцільно використовувати дані ДЗЗ. Схема застосування ДДЗ для моніторингу ВР представлена на рис. 15.12.

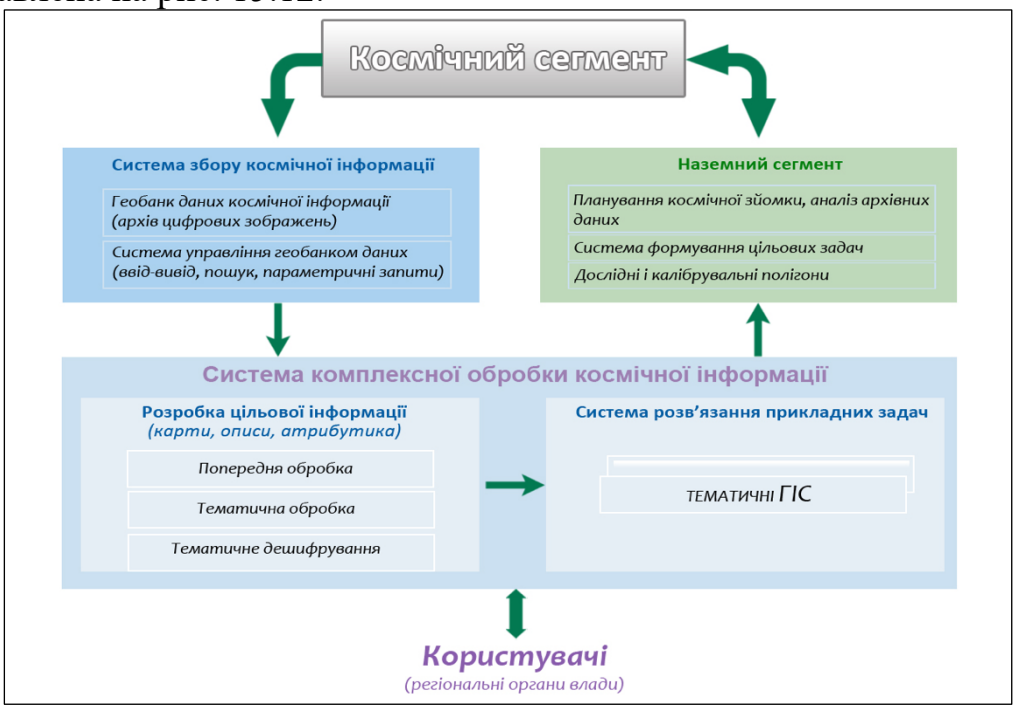


***Рис. 15.12**. Схема застосування ДДЗ для моніторингу водних ресурсів*

Алгоритм застосування ДЗЗ для прогнозування підтоплень представлений на рис. 15.13.

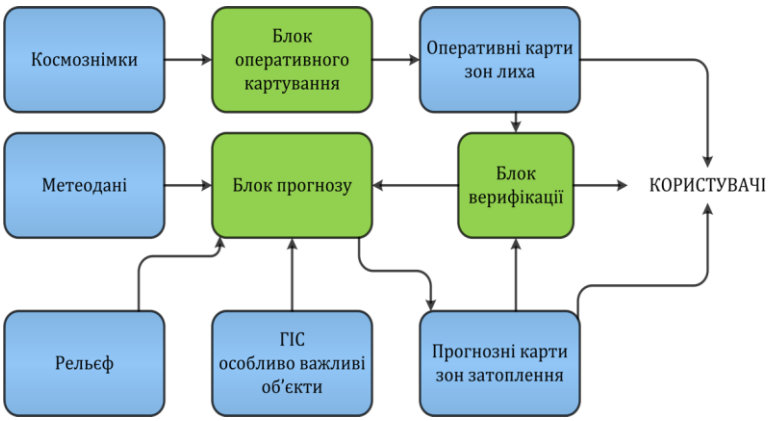


Рис. 15.13. *Алгоритм застосування ДЗЗ для прогнозування підтоплень*

Дані ДЗЗ використовуються на всіх етапах моніторингу підтоплень і забезпечують розв'язок таких задач:

– оцінка ступеня затоплення заплав річок (у відсотках);

– оцінка рівнів затоплення;

– одержання карт-схем затоплення заплав річок;

– оцінка площ в заплавах річок, що постраждали від підтоплень.

Забезпечення системи моніторингу ВР регіону просторовими даними треба розглядати як базовий елемент побудови СППР у галузі ВГК, оскільки інформація, як міра зменшення невизначеності, є підґрунтям прийняття управлінських рішень (зменшення витрат часу на прийняття ефективного рішення з можливих альтернатив).

ГІС ВР є складовою інтегрованої ГІС Чернігівської області. Комплексний аналіз факторів формування поверхневих вод і гідрологічного режиму (клімат, рельєф, ґрунти, рослинний покрив тощо) за допомогою ЦМР дає можливість здійснити детальну оцінку річкового стоку і ВР у межах водозборів у різні за водністю періоди.

Це дозволяє будувати детальні гідрологічні карти і розробляти моделі для оцінки якості води при різних сценаріях водогосподарчої діяльності і надзвичайних ситуаціях. Дана ГІС може використовуватися і як інформаційно-довідкова система, надаючи користувачам в наочному вигляді потрібну інформацію.

Розроблена ГІС ВР впроваджена в Державному управлінні охорони НПС у Чернігівській області, розміщена на сайті управління і використовується для моделювання підтоплень у Чернігівській області.

15.6. ГІС моніторингу атмосферного повітря

Серед низки критичних викликів, що потребують негайного вирішення для забезпечення сталого розвитку пріоритетним є встановлення граничних техногенних навантажень на навколишнє природне середовище (НПС), зокрема, комплексний моніторинг атмосферного повітря (АП).

У сучасних реаліях він охоплює не лише контроль традиційних викидів промисловості та транспорту, а й ідентифікацію специфічних забруднюючих речовин, що виникають внаслідок військових дій (продукти детонації, пожежі на нафтобазах, руйнування хімічних об'єктів). Завданням моніторингу є: фіксація перевищень фонових концентрацій фізичних, хімічних та біологічних агентів; дистанційний та автоматизований контроль за станом стаціонарних і пересувних джерел викидів; просторове моделювання поширення забруднюючих речовин на основі метеоданих та геопросторового аналізу.

Розробка управлінських рішень нині базується на повній інформації про стан атмосфери регіонів, що дозволяє не лише констатувати стан НПС, а й оперативно прогнозувати сценарії розвитку екологічних ситуацій. Впровадження таких автоматизованих систем є ключовим етапом переходу до «розумного» екологічного управління, що мінімізує ризики для здоров’я населення та сприяє відновленню екосистем.

Щорічно в АП викидається близько 7 млн т (понад 10 т на км^2 території) різних речовин, кожна з яких небезпечна для людей і живих організмів та завдає шкоди матеріальним цінностям, що призводить до значних економічних збитків. Актуальність і невідкладність вирішення проблеми моніторингових досліджень стану АП автором розглянута в працях (Зацерковний та ін., 2011c; Зацерковний та ін., 2011d).

Оскільки інформація для моніторингу АП має просторово-розподілений характер, то при розробці технологій введення, збереження, переробки, аналізу і візуалізації цієї важливої інформації доцільно застосовувати ДЗЗ, ГІС і реляційні бази даних, які спроможні внести значний вклад у вдосконалення моніторингу НПС взагалі, а АП, зокрема. Застосування ГІТ у моніторингу АП дозволяє відслідковувати стан НПС, прогнозувати виникнення надзвичайних екологічних ситуацій та інформувати населення про поточний екологічний стан НПС, динаміку його змін, джерела забруднення, розміщення відходів, характер впливу екологічних факторів на здоров’я людей через забезпечення вільного доступу до екологічної інформації.

На основі ГІТ і ГІС можуть створюватись підсистеми для підтримки задач управління і прийняття рішень, розробки заходів з попередження викидів в АП, а також геоінформаційних модулів, які будуть доступні пересічним громадянам через Internet. Програмне забезпечення ArcView/ArcGIS дає можливість інтегрувати ці дані і забезпечити їх спільну роботу в єдиній оболонці. Функціональна схема ГІС моніторингу АП повинна складатись з чотирьох основних підсистем (рис. 15.14 (Зацерковний та ін., 2011c; Зацерковний та ін., 2011d):

1. *Підсистема ДЗЗ*. У рамках цієї підсистеми здійснюється збір, обробка та аналіз даних ДЗЗ (радіолокаційне випромінювання, температура поверхні, хмарний покрив, вітер, опади тощо).

2. *Підсистема збору підсупутникових даних.* Тут відбувається збір даних і супутньої інформації (вітер, *виміри* забруднювальних речовин на «зрізі» джерела (Source Testing) параметри повітря в містах тощо). На основі

отриманої інформації будуються реляційні бази даних, які місять оперативні і ретроспективні дані про стан АП.

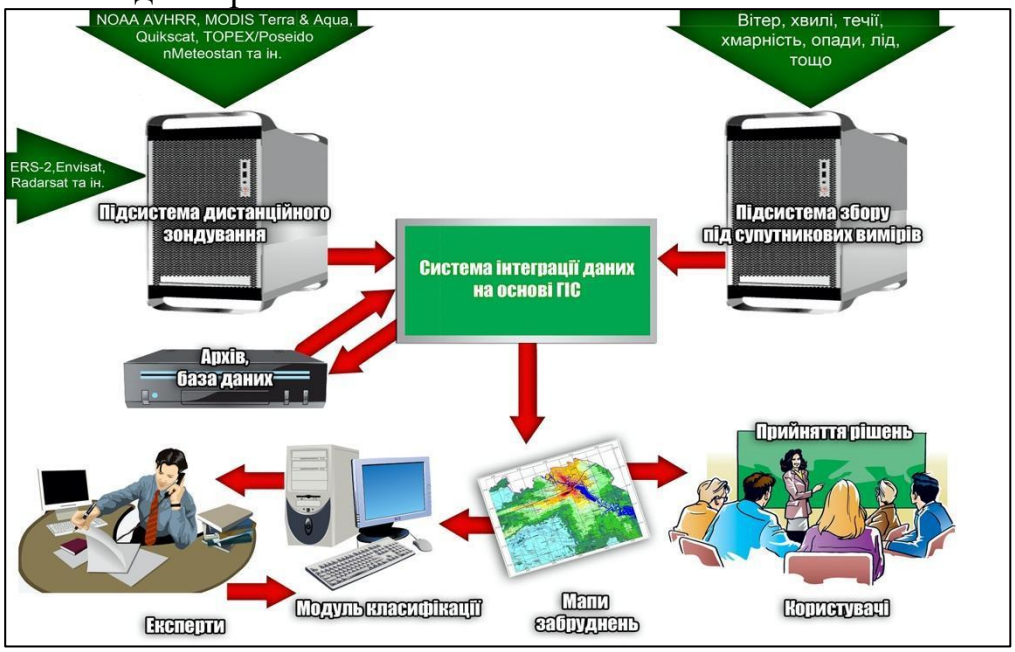


Рис. 15.14. *Функціональна схема системи моніторингу атмосферного повітря*

3. *Система інтеграції даних*. Основою підсистеми є ГІС, яка у сукупності з *модулем класифікації* здійснює інтеграцію всіх інших даних та надає можливість візуалізації забруднень АП.

4. Підсистема архівування й збереження даних. Тут відбувається збереження і архівування інформації, необхідної для розв'язку різноманітних задач, моделювання сценаріїв та отримання статистичних відомостей про забруднення АП.

При створенні ГІС моніторингу АП Чернігівської області цикл робіт зводився до інвентаризації джерел забруднення АП, моделювання та відображення рівнів забруднення, визначення зон з найбільшими концентраціями, визначення територій ризиків для здоров'я населення, обчислення буферних зон тощо (Зацерковний та ін., 2011d).

При проведенні інвентаризації викидів необхідно виконати: класифікацію забруднювачів АП, джерел цих забруднювачів; визначити якість і кількість забруднюючих речовин; визначити кількість оброблених чи спалених матеріалів; визначити коефіцієнти забруднення довкілля відходами виробництва для забруднюючих речовин; обчислити припустимий обсяг викидів для кожного забруднювача. Як приклад, на рис. 15.15 представлена карта забруднення АП України за 2013 р. (Зацерковний & Кривоберець, 2011). Дана схематична карта характеризує інтегральну забрудненість АП до початку війни. Найбільші проблеми щодо забруднення на той момент часу мали міста Донбасу та деякі обласні цнтри.

Незадовільний стан АП був обумовлений недотриманням підприємствами технологічного режиму експлуатації пилогазоочисного устаткування,

невиконанням у встановлені терміни заходів щодо зниження обсягів викидів до нормативного рівня; низькими темпами впровадження сучасних технологій очищення викидів; відсутністю ефективного очищення викидів підприємств від газоподібних домішок; відсутністю нормативних санітарно-захисних зон між промисловими і житловими районами.

Антропогенний тиск на різні компоненти НПС (лісові пожежі, горіння торфу, несанкціоноване розміщення відходів, забруднення водойм) призводить до порушення природного стану АП. У більшості регіонів виникають екологічні проблеми, пов'язані з чистотою АП. Не є виключенням і Чернігівська область, яка серед інших за різними даними має відносно помірне забруднення АП. Нижче наведена схематична карта основних забруднювачів АП і місце розташування галузевих постів спостереження (рис. 15.16).

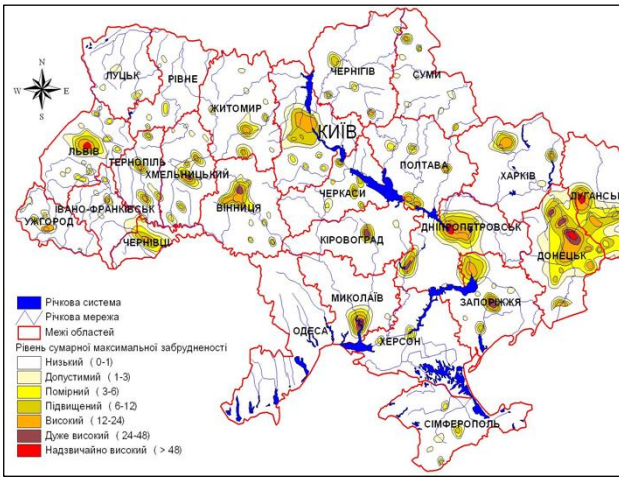


Рис. 15.15. *Рівень забруднення атмосферного повітря в Україні 1:12 000 000 – подано зі зменшенням*

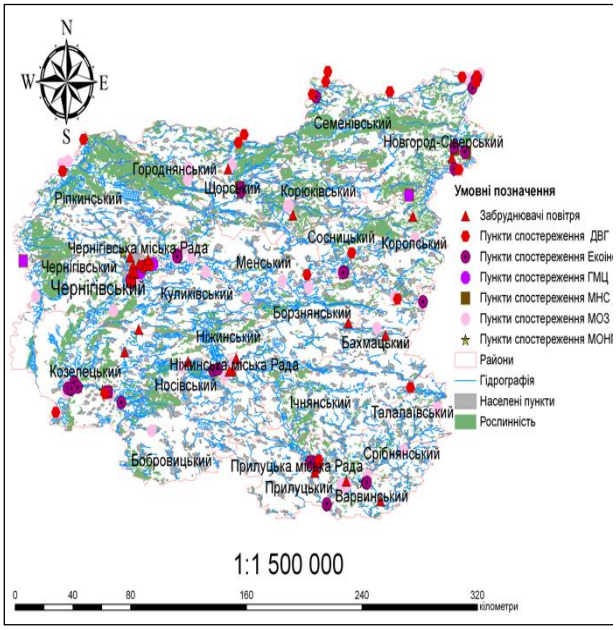


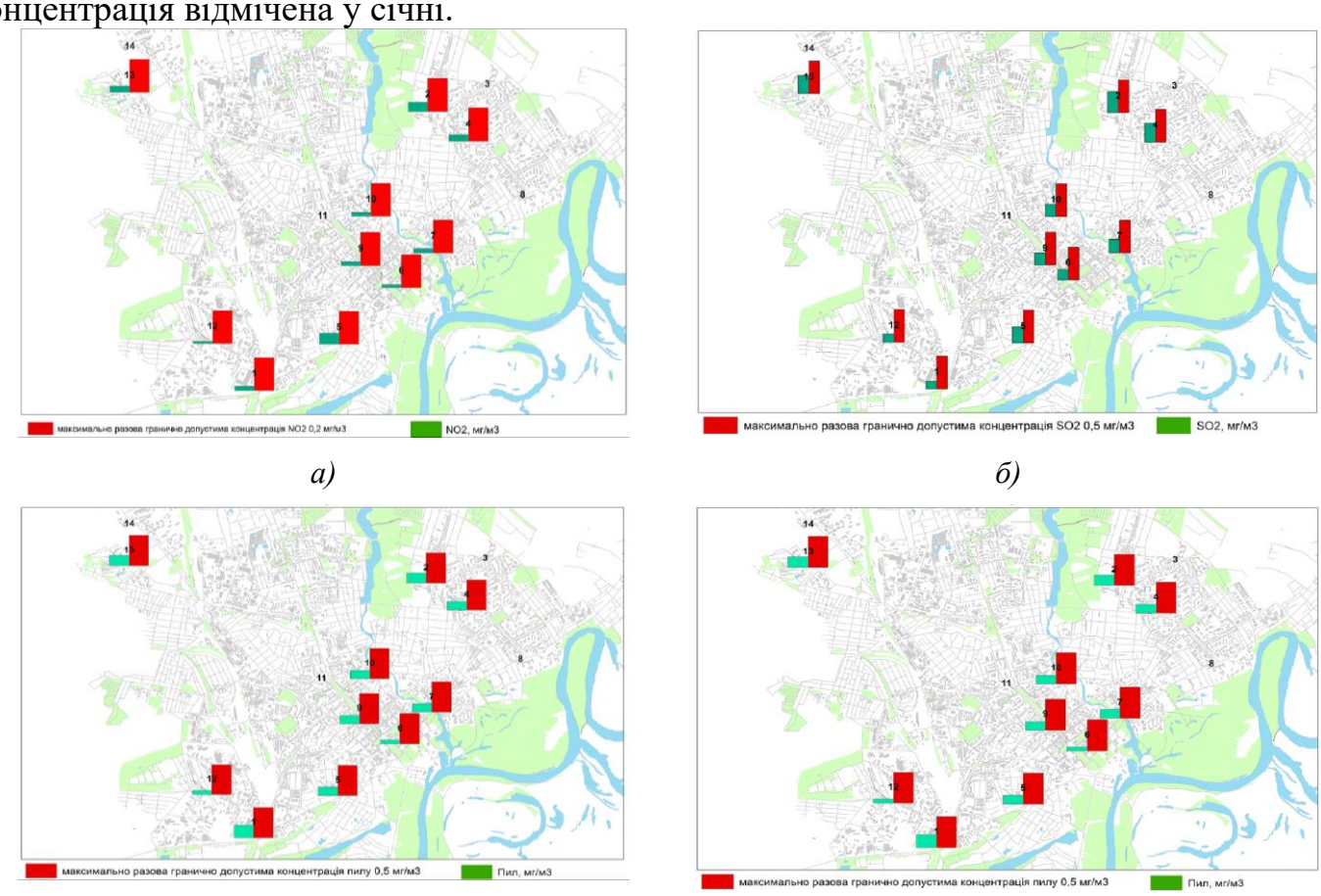
Рис.15.16. *Основні джерела забруднення АП і галузеві пости спостереження за станом АП у Чернігівській області 1:1 500 000 – подано зі зменшенням*

Значне антропогенне забруднення втрачено 15% території області, придатної для рекреації. У сховищах організованого складування накопичено 1919,2 тис. т. промислових токсичних відходів. В АП викинуто 86,8 тис. т. шкідливих речовин, у тому числі від стаціонарних джерел 23%, від пересувних – 77%.

Розглянемо ситуацію до повномасштабного вторгнення Росії в Україну. За даними (Доповідь про стан..., 2016) спостереження за станом АП проводиться на маршрутних постах та в районі впливу промпідприємств – забруднювачів атмосфери в містах Чернігові, Ніжині, Прилуках та 17 районах

на 52 маршрутних постах та 49 підфакельних за 15 інгредієнтами (пилу, діоксиду сірки, діоксиду азоту, оксиду вуглецю, фенолу, формальдегіду, сірчаної кислоти, динілу, толуолу, аміаку, свинцю, ацетону, ксилолу). При цьому визначається вміст трьох основних домішок: пилу, двоокису сірки, двоокису азоту, – та вміст специфічних речовин – бенз(а)пірену і восьми важких металів (заліза, кадмію, марганцю, міді, нікелю, свинцю, хрому, цинку). Вміст оксиду вуглецю не визначається через відсутність приладу.

Середньорічні концентрації основних забруднювачів повітря у 2015 р. на території м. Чернігова за даними (Доповідь про стан..., 2016) представлені на рис 15.17. На рис 15.17 *а* – діоксиду азоту, на рис 15.17 *б* – діоксиду сірки, на рис 15.17 *в* – вуглецю, на рис 15.17 *г* – пилу. Середньорічні концентрації діоксиду азоту протягом року коливалась у межах 1,7–2,7 ГДК, найбільша концентрація відмічена у січні.



а) *б)*

в) *г)*

Рис. 15.17. *Середньорічні концентрації основних забруднювачів повітря у 2015 р. на території м. Чернігова 1:150 000 – подано зі зменшенням*

За даними обласного управління статистики в 2015 році 485 підприємства (462 – в 2014 році), з них 175 підприємств агропромислового комплексу (186 – в 2014 році), звітувались по формі 2-ТП (повітря) щодо викидів від стаціонарних джерел забруднення в атмосферне повітря.

Відповідно до Інструкції щодо порядку складання державної статистичної звітності про охорону атмосферного повітря за формою 2-ТП (повітря),

починаючи з 2004 року звіт складають підприємства, установи, організації, громадяни-суб'єкти підприємницької діяльності, що мають стаціонарні джерела викидів забруднюючих речовин і взяті на державний облік у галузі охорони атмосферного повітря.

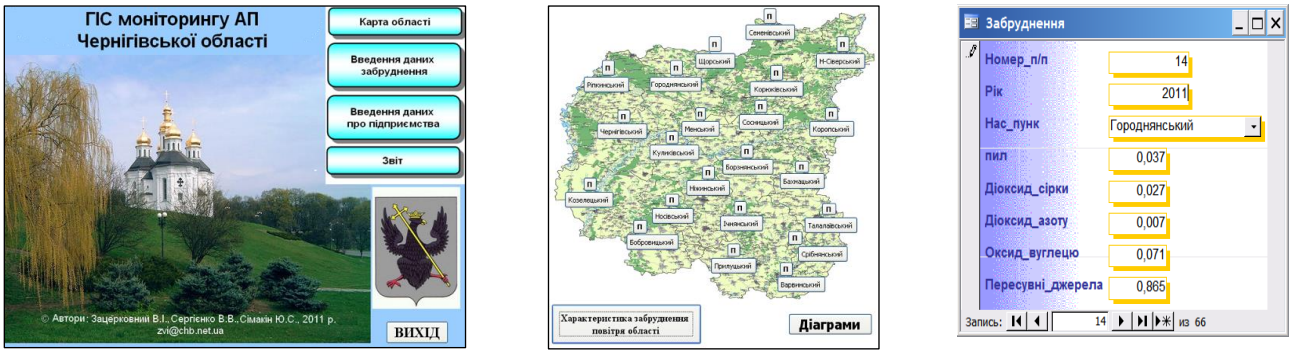
Станом на 31.12.2015 рік, на державний облік, відповідно до постанови Кабінету Міністрів України № 1655 від 13.12.2001 року, підпадали 537 промислових майданчиків підприємств, організацій, установ.

Частка об'єктів агропромислового комплексу області, що звітувалися за викиди в атмосферне повітря становить – 36%. Загальний обсяг викидів забруднюючих речовин від стаціонарних джерел в атмосферу у 2015 році склав 33,910 тис. тон. В порівнянні з 2014 роком кількість викидів зменшилась на 19 % , що складає 7,959 тис. тон.

В 2015 році кількість викидів від агропромислового комплексу склали 11,047 тис. тон, що на 607 тон менше 2014 року.

Біля 54 % (39,406 тис. тон) від загального об'єму викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря припадає на пересувні джерела забруднення (автотранспорт, залізничний та річковий транспорт, виробнича техніка). Аналіз вищенаведених матеріалів свідчить, що Чернігівську область можна віднести до групи областей, які характеризуються нерівномірним антропогенним навантаженням.

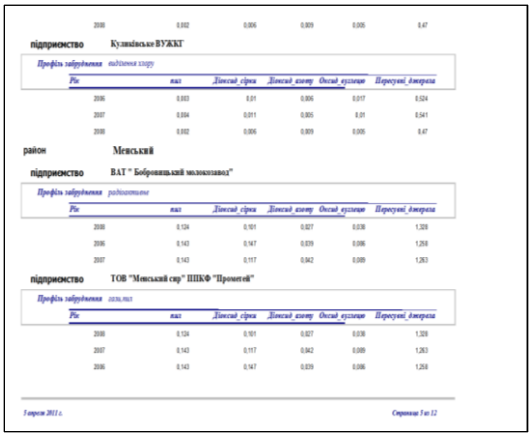
Елементи інтерфейсу системи геоінформаційного моніторингу атмосферного повітря представлені на рис. 15.18.



а) *б)* *в)*

Рис. 15.18. *Інтерфейс користувача системи моніторингу АП у Чернігівській області: а) головне вікно підсистеми; б) вікно вибору адміністративних районів; в) вікно бази геоданих підприємств, що мають викиди в АП Чернігівської області*

На рис. 15.19 представлений підсумковий звіт за викидами підприємствами в період 2006-2008 рр., на рис. 15.20 карта з розподілом показника забруднення за джерелами викидів.



підприємство Кулиничське ВУЖКГ

район Менський

підприємство ВАТ " Бобровицький молокозавод"

підприємство ТОВ "Менський сир" ШКФ "Прометей"

Рис. 15.19. *Підсумковий звіт за викидами в АП в період 2006-2008 рр.*

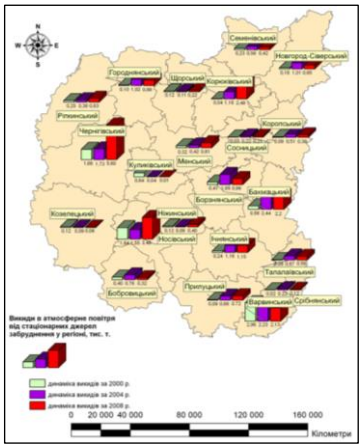


Рис. 15.20. *Викиди в АП Чернігівської області*

При проведенні моніторингу АП обов'язково необхідно враховувати розу вітрів, яка для Чернігівської області представлена на рис. 15.21.

На рис. 15.22 представлений розрахунок буферних зон забруднення АП одним із суб'єктів господарської діяльності м. Чернігова.

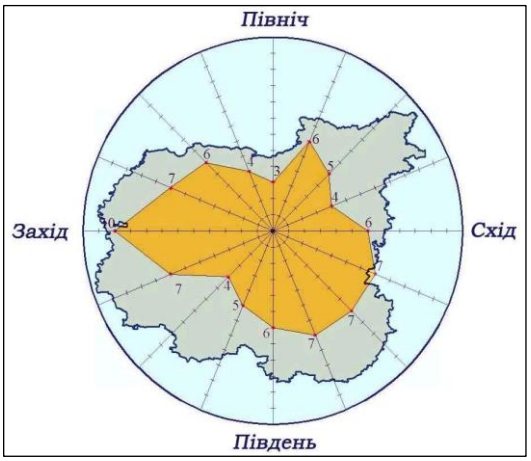


Рис. 15.21. *Розподіл напрямку вітру на території області (2007–2010 рр.), %*

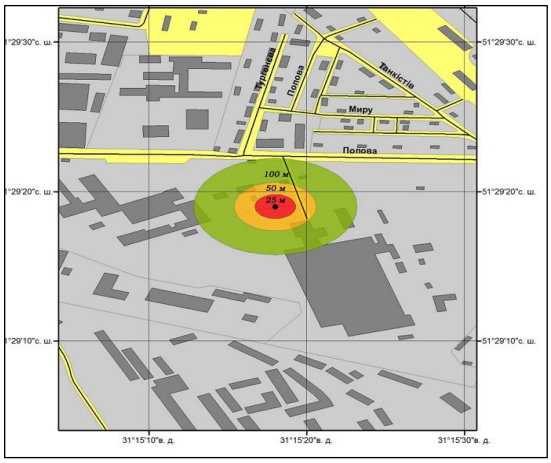


Рис. 15.22*. Буферні зони поширення викидів до АП цегельним заводом №3 м. Чернігів*

В процесі розробки і впровадження системи моніторингу АП із застосуванням ГІТ довелося зіштовхнутися з низкою проблем, які можна структурувати в чотири групи: методологічного і методичного плану; пов'язані з організаційно-управлінським аспектом; ресурсного забезпечення; пов'язані з інформаційним забезпеченням. Найбільш істотними проблемами при розробці, впровадженні і функціонуванні системи моніторингу АП із застосуванням ГІТ, на думку автора, є такі.

1. Проблеми методологічного плану:

– недосконала методологія оцінки впливу забруднення на стан НПС та екологічної експертизи;

– недосконаліть нормативно-методичної бази в оцінці екологічних, соціальних і економічних ризиків та рівень суспільного здоров'я і методики ранжирування якості НПС за ступенем можливого ризику впливу на організм і популяцію, виявлення причинно-наслідкових зв'язків;

– відсутність розроблених моделей прийняття рішень і можливих варіантів моделей керуючих впливів і регламентованих за ієрархічними рівнями управління відповідальності і способів мотивації за впровадження ГІТ і ефективне його функціонування.

2. Проблеми, пов'язані з організаційно-управлінським аспектом:

– недосконаліть існуючих методів і технологій організації взаємодії учасників моніторингу АП і забезпечення координації їх зусиль;

– відсутність адекватного цілям і задачам моніторингу АП «Положення про орган управління ходом впровадження і функціонування системи моніторингу АП»;

– недостатня участь громадських організацій в екологічній експертизі і прийнятті рішень щодо реалізації природоохоронних заходів.

3. Проблеми ресурсного забезпечення моніторингу АП:

– відсутність спеціально виділених цільовим призначенням коштів для розроблення, впровадження і експлуатації системи моніторингу АП, зокрема, засобів зв'язку та інших каналів передачі даних;

– недостатня оснащеність організацій – учасників моніторингу АП сучасною комп'ютерною технікою, засобами знімання первинних даних про стан середовища існування (спеціалізований комплекс для екологічного моніторингу параметрів АП) тощо;

– відсутність ліцензійного ПЗ для математичного та геоінформаційного моделювання тощо;

– недостатня кількість професійно підготовлених фахівців.

4. Проблеми інформаційного забезпечення, пов'язані з:

– відомчою розгалуженістю і відсутністю єдиного нормативно-довідкового господарства, перед усім, на територіальному рівні;

– низькою достовірністю вихідних даних і високою трудомісткістю їх отримання і перетворення в електронний варіант;

– неідентичністю накопичених комп'ютерних баз даних і відсутністю необхідних інтерфейсів для обміну інформацією;

– відсутністю науково-обґрунтованих обсягів інформації і періодичності її надання учасникам системи моніторингу АП і користувачам, а звідси низька ефективність використання;

– відсутністю інформаційно-аналітичної системи моніторингу АП, взаємозв'язаної за вертикаллю і горизонталлю з іншими моніторингами і практично відсутністю зворотного зв’язку.

При проведенні моніторингу АП, зокрема, в Чернігівській області відбувається дублювання робіт, що призводить до істотного здорожчання розробок і експлуатації систем. Відомча роз'єднаність ускладнює обмін інформацією і доступ до неї, що надзвичайно ускладнює ІЗ діяльності ОПР.

Для ефективного моніторингу і прогнозування забруднень АП недостатньо дотримуватися тільки існуючої практики, що ґрунтується на спостереженні, накопиченні даних і складанні бюлетенів забруднення НПС.

Розроблена ГІС у моніторингу АП, впроваджена в практичну діяльність Державного управління охорони НПС у Чернігівській області, надає можливість оцінювати реальний стан забруднення АП, соціально-гігієнічні та екологічні умови життя населення, надавати широким верствам населення відомості про стан та якість того середовища, де вони проживають.

15.7. ГІС моніторингу розміщення та утилізації відходів

Серед низки екологічних викликів Чернігівщини критичної гостроти набула проблема управління відходами, які залишаються одним із найпотужніших дестабілізаторів стану навколишнього природного середовища. Ситуація у 2022–2026 роках суттєво ускладнилася через появу колосальних обсягів відходів руйнації (залишки будівельних конструкцій, пошкоджена військова техніка, небезпечні компоненти боєприпасів), що виникли внаслідок військової агресії та потребують специфічних методів обліку та переробки.

Незважаючи на впровадження нових законодавчих норм, гармонізованих із директивами ЄС, в області зберігається критичний розрив між темпами накопичення відходів та потужностями для їх безпечного оброблення. Основну масу відходів традиційно складають:

Тверді побутові відходи (ТПВ): обсяги яких зростають на фоні зношеності наявної інфраструктури полігонів;

Виробничі відходи 4 класу небезпеки: що накопичуються переважно шляхом видалення на санкціоновані та стихійні звалища;

Специфічні воєнні відходи: які часто містять токсичні речовини та потребують термінової інвентаризації за допомогою ГІТ.

Більшість місць видалення відходів (полігони, накопичувачі) працюють у режимі перевантаження та не відповідають сучасним санітарно-екологічним вимогам. Це зумовлює необхідність негайного переходу від пасивного захоронення до інтегрованої системи управління, що базується на геопросторовій інвентаризації об’єктів утворення відходів, моніторингу їх впливу на підземні води та ґрунти, а також оптимізації логістичних маршрутів переробки. Напрями поводження з відходами розподілено наступним чином:

– на полігонах та сміттєзвалищах видалялося близько 400 тис. тон відходів (за даними статзвітності до 2014 року до початку воєнних дій);

– на підприємствах утворювалося біля 0,7 тис. тон промислових токсичних відходів I-III класів небезпеки, з них – частина утилізувалася на існуючих установках, інші – передавалися для знешкодження на відповідних потужностях за межі області, незначна кількість розміщувалася на власних об’єктах видалення (підрозділи ПАТ «Укрнафта»).

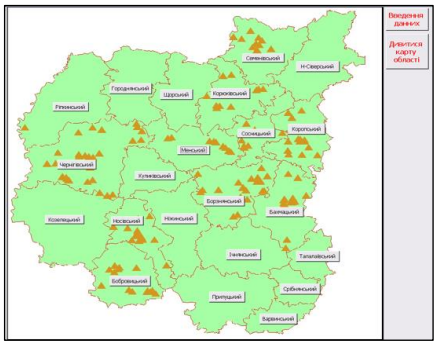
Значний негативний вплив на об’єкти довкілля області здійснюють: промислові токсичні відходи, відходи які утворилися в результаті реформування аграрного сектору економіки – непридатні та заборонені до використання хімічні засоби захисту рослин, накопичені обсяги золи КЕП «Чернігівська ТЕЦ» ТОВ фірми «ТехНова» та тверді побутові відходи.

Екологічну небезпеку регіону зумовлює не стільки обсяг накопичених відходів, скільки незадовільний стан місць їхнього складування. Найбільшу загрозу для довкілля та здоров’я населення становлять токсичні промислові відходи, що містять фізіологічно активні речовини з вираженим токсичним впливом

«Токсичність — це інтегральна характеристика шкідливої дії хімічної речовини на живі системи, що обернено пропорційна дозі, необхідній для виникнення визначеного патологічного ефекту. Ефект токсичної дії є результатом складної взаємодії між фізико-хімічними властивостями ксенобіотика[19] та станом біологічного об'єкта (метаболічним статусом, віком, резистентністю) на момент експозиції. Потрапляння таких речовин у навколишнє природне середовище призводить до накопичення токсичного навантаження, що створює довгострокові ризики для екосистем та здоров’я населення» (Трахтенберг, 2012). Слід розрізняти токсичність і небезпеку. Якщо токсичність — це властивість речовини, то небезпека — це ймовірність заподіяння шкоди при конкретних умовах використання (враховуючи концентрацію, шлях потрапляння та тривалість контакту).

Це означає, що без інвентаризації джерел забруднення і без знання їх просторового положення, якісних і кількісних показників неможливо здійснювати природоохоронну і екологічну політику.

Пілотним проектом такої ІС є підсистема ГІС Чернігівської області – база даних місць зберігання ТПВ та ХЗЗР (рис. 15.23), яка дозволяє збирати, зберігати та візуалізовувати дані про місця збереження ТПВ та небезпечних або заборонених засобів захисту рослин за районами області (рис. 15.24). Використання ГІТ дає можливість прогнозувати стан забруднення території області та виконувати функції просторового аналізу.



[19] Ксенобіотики - чужорідні для організму речовини

Рис. 15.23. *Головне вікно бази даних місць зберігання ТПВ та заборонених і не придатних до використання ХЗЗР у Чернігівській області*

Рис. 15.24. *Інтерфейс бази даних для введення, збереження та візуалізації даних*

Знання сучасного еколого-економічного і соціального стану регіону дозволяє визначити вихідну поточну позицію при розробці екологічних програм і комплексних програм економічного і соціального розвитку регіону. Введення і виведення даних здійснюється у формах інвентаризації забруднених ділянок (рис. 15.25).

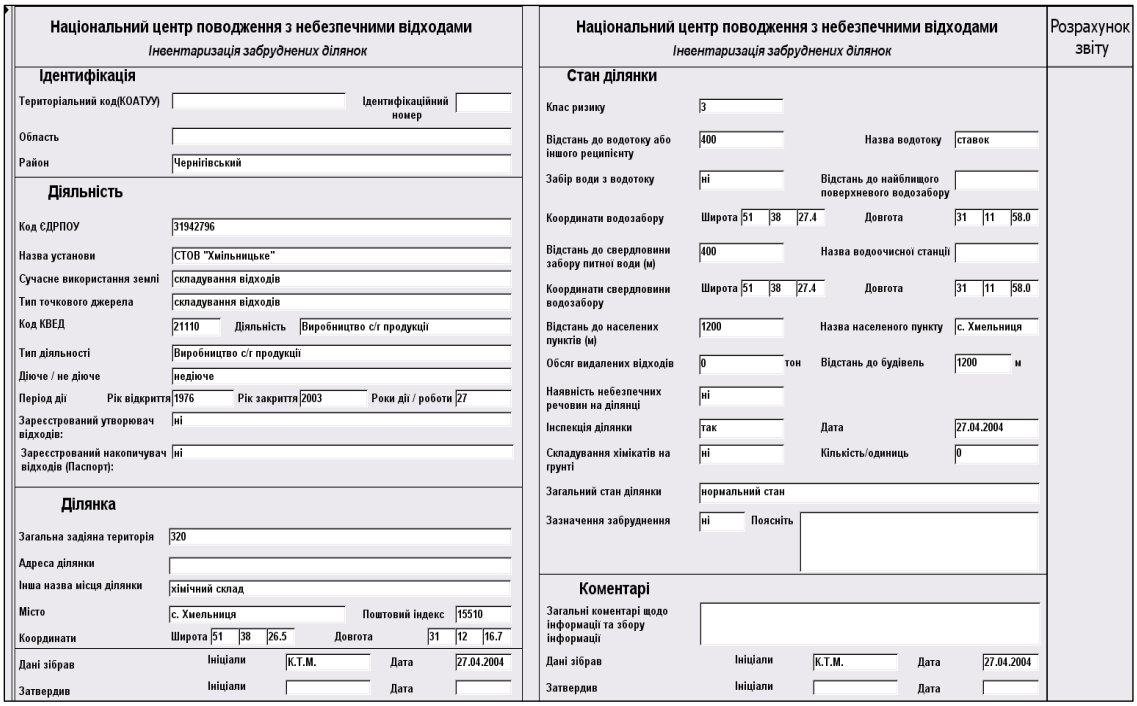


Рис. 15.25. *Форма введення – виведення інформації*

За допомогою ГІТ була розроблена та представлена класифікація районів області за кількістю накопичених хімічних засобів захисту рослин (ХЗЗР) (рис. 15.26).

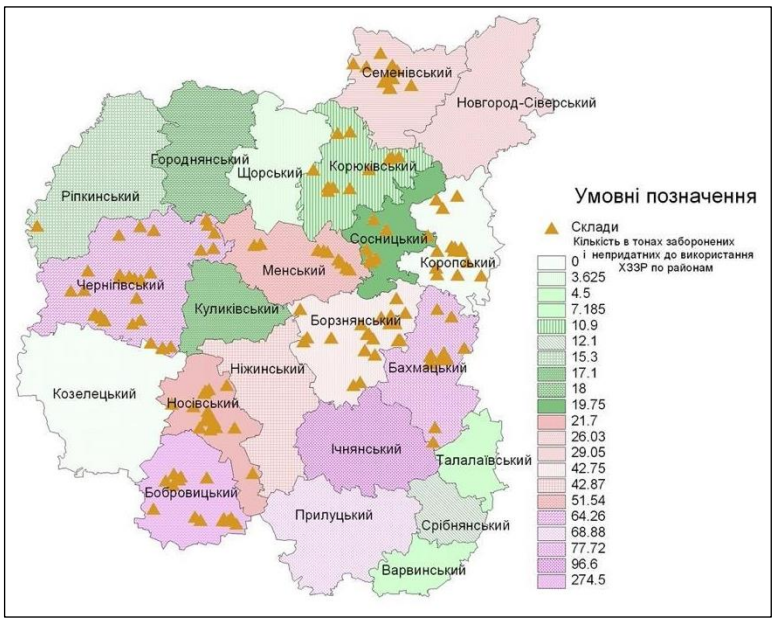


Рис. 15.26. *Чернігівська область. Заборонені і не придатні до використання хімічні засоби захисту рослин та місця їх знаходження 1:4 000 000 – подано зі зменшенням*

Геоморфологічний аналіз із використанням тривимірних моделей рельєфу дозволяє оцінити стійкість ландшафтів до поширення токсичних відходів. Морфогенетичні характеристики рельєфу дають змогу виявити зони активізації небезпечних геоморфологічних процесів (делювіальний знос, лінійна ерозія, зсуви, обвали), які є основними чинниками міграції токсичних речовин у межах території (Зацерковний та ін., 2011d).

15.8. Агроекологічна ГІС Чернігівської області

Сільське господарство традиційно є стратегічним фундаментом економіки України та запорукою глобальної продовольчої безпеки. Проте, якщо на початку 2020-х років галузь демонструвала стрімке технологічне зростання, то станом на 2022–2026 роки агросфера опинилася в епіцентрі безпрецедентної системної кризи, спричиненої повномасштабною військовою агресією.

Нині антропогенний вплив на агросферу трансформувався у катастрофічне військово-техногенне навантаження:

Близько 25–30% сільськогосподарських угідь України потребують гуманітарного розмінування та рекультивації.

Пряме ураження вибухами, забруднення важкими металами та паливно-мастильними матеріалами призвели до тривалого погіршення фізико-хімічних властивостей родючого шару літосфери (ґрунту).

Знищення іригаційних систем (зокрема після катастрофи на Каховській ГЕС), елеваторів та логістичних ланцюгів відкинуло можливості галузі на десятиліття назад.

Показники, що раніше демонстрували системну кризу 90-х років (Зацерковний та ін., 2011d), нині затьмарені новими викликами. Хоча до 2022 року спостерігалося зростання капітальних інвестицій у "smart farming" та геомоніторинг, поточна ситуація вимагає негайної переоцінки стану земельних ресурсів. Продуктивність угідь на значних територіях Півдня та Сходу знизилася не через брак добрив, а через неможливість безпечної обробки землі та порушення гідробалансу регіонів.

Завдання отримання екологічно чистої продукції тепер нерозривно пов’язане з геоінформаційним аудитом територій: лише комплексне картографування забруднень та пошкоджень дозволить реалізувати стратегію відновлення агросектору в межах моделі сталого розвитку.

Необхідність створення ГІС АПК Чернігівської області викликана необхідністю підвищення адресності державної підтримки сільгоспвиробників, посиленні відповідальності регіонів, необхідністю розширення бази оподатковування, збереження орних земель як найважливішого національного ресурсу, розвитку інвестування в агробізнес, розбудовою страхування в АПК тощо.

Концепція створення агроекологічної ГІС Чернігівської області представлена автором у праці (Зацерковний & Кривоберець, 2011; Зацерковний & Кривоберць, 2011b). Застосування такої системи дозволить розв'язувати такі важливі задачі, як планування агротехнічних заходів, прогнозування стійкості культур і оцінка втрат через несприятливі погодні умови, а також планування, моніторинг і аналіз використання сільськогосподарської техніки. Одночасно використання ГІС забезпечить інформаційну підтримку прийняття рішень, моніторинг агротехнічних операцій і стан посівів. При проведенні моніторингу с/г земель повинні проводитись регулярні наземні спостереження, аналіз доступних даних ДЗЗ і формуватися профільні набори геопросторових даних, що покликані вирішувати такі задачі:

– своєчасне виявлення змін стану с/г земель, оцінка цих змін;

– одержання даних на основі систематичного обстеження родючості ґрунтів і спостережень за якісним станом і ефективним використанням с/г земель як основного ресурсу с/г діяльності з використанням географічної прив’язки с/г полігонів і контурів;

– аналіз, оцінювання, прогноз і вироблення рекомендацій з підвищення родючості, с/г земель, попередження й усунення наслідків негативних процесів;

– моніторинг стану рослинності с/г угідь;

– ведення реєстру родючості ґрунтів с/г земель й облік їх стану;

– формування регіональних інформаційних ресурсів про с/г землі з метою аналізу, прогнозування й вироблення політики в сфері земельних

відношень і ефективного використання таких земель у с/г, а також використання в статистичній практиці;

– забезпечення доступу органам виконавчої влади, що здійснюють державний земельний контроль юридичних і фізичних осіб, до інформації про стан с/г земель; у тому числі в рамках надання державних послуг.

Створювана агроекологічна ГІС повинна включати багатошарову електронну карту господарств регіону й атрибутивну базу даних історії полів з урахуванням усіх виконаних агротехнічних заходів. Кількість тематичних шарів електронної карти залежить від складності ландшафтно-екологічних умов і рівня інтенсифікації агротехнологій (визначається за урожайністю і кількістю витрат на гектар).

Інформація, що надається агроекологічною ГІС Чернігівської області юридичним і фізичним особам, органам державної влади, повинна забезпечувати розв'язок різноманітних задач. Цей перелік буде уточнюватися по мірі експлуатації системи:

– паспортизація земельних угідь і с/г товаровиробників, забезпечення процедур з розмежування (зміни) меж або категорій земель с/г призначення й земель інших категорій;

– моніторинг правового режиму використання земельних угідь;

– надання офіційних даних про землекористування при оформленні державної підтримки, реалізації інвестиційних проектів, укладанні договорів страхування в АПК тощо;

– безпека виробництв при вирощуванні с/г і кормів;

– виявлення земель, що зазнають негативних впливів: ерозія ландшафту, заболочування, антропогенні забруднення, аналіз джерел і механізмів, інформаційне забезпечення розробки проектів із запобігання негативних впливів;

– формування завдань на проведення меліоративних робіт і заходів з відновлення родючості ґрунтів з контролем результатів таких заходів;

– виявлення невикористовуваних земель й ініціалізація заходів з їх вилучення і перерозподілу;

– розробка сценаріїв і інформаційне забезпечення робіт при ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій;

– формування прогнозів у відповідності з доктриною продовольчої безпеки;

– планування соціального розвитку села і розвитку соціальної інфраструктури АПК.

Багатоплановість цього переліку свідчить, що найважливіші споживчі якості системи будуть пов'язані з її можливостями, гнучко вбудовуватися в різні інформаційні процеси, з можливостями відтворення адміністративних регламентів й інтеграції даних з різних джерел. Дані ДЗЗ є обов'язковою складовою частиною агроекологічної ГІС Чернігівської області. Крім ДДЗ, така система повинна містити в собі всю доступну соціально-економічну й статистичну інформацію про с/г виробництво. Для моніторингу необхідно

володіти кліматичними даними й довгочасними рядами метеорологічних спостережень, інформацією про характеристики ґрунтового покриву. ДДЗ дозволяють вводити в систему моніторингу найоперативнішу й необхідну інформацію про фактичний розвиток с/г культур. На основі математичного моделювання з використанням ДДЗ, метеорологічних й інших допоміжних даних можливе прогнозування майбутнього урожаю. Найефективніше використовувати ДДЗ різної розрізненності для розв'язку окремих задач моніторингу: побудови карт сільськогосподарських посівів, моніторингу розвитку культур, спостереження за окремими полями, прогнозування урожайності (Зацерковний & Кривоберець, 2011; Зацерковний & Кривоберць, 2011b). Дані панхроматичної зйомки з розрізненням менше 1 м дозволяють з високою точністю визначати місце розташування границь ґрунтових контурів за видимими ознаками.

Спектрозональні дані зеленої, червоної і ближньої інфрачервоної зон слугують основою для розрахунку вегетаційних індексів і автоматизовано виділяти ділянки з різним ґрунтовим покривом. Порівняльний аналіз архівних і сучасних даних ДЗЗ дозволяє визначати динаміку і спрямованість багатьох процесів, які впливають на структуру ґрунтового покриву (Toth & Jozkow, 2015; Кохан & Востоков, 2009).

Для здійснення ефективного моніторингу с/г земель за допомогою ДДЗ необхідно обрати оптимальну знімальну систему з існуючих на сьогодні та розробити алгоритми опрацювання даних, на вибір яких впливає низка факторів (необхідність використання даних зйомки в зонах спектра, у яких щонайкраще розрізняються рослинність і ґрунтовий покрив, неповне проективне покриття ґрунтового покриву рослинністю протягом значної частини періоду вегетації, характерні розміри с/г полів, необхідність проведення моніторингу на великій території, швидка динаміка розвитку с/г культур, залежність динаміки розвитку культур від проведених агротехнічних заходів, наявність певних правил землекористування, значні відмінності у динаміці вегетації різних с/г культур та використанні орних земель у різних регіонах країни).

Ці фактори висувають певні вимоги до знімальної системи та алгоритмів обробки ДДЗ, які повинні забезпечувати наявність знімальних каналів у червоній і ближній ІЧ зонах спектра, просторову розрізненність знімання не гірше 250–300 м, періодичність знімання не рідше, ніж один безхмарний вимір за 5–10 днів, незалежність алгоритмів обробки від спектральних властивостей підстильного ґрунтового покриву, універсальність алгоритмів обробки стосовно різних кліматичних умов, методів агротехніки, мінімальну участь експертів у процесі обробки даних.

Схема агроекологічного моніторингу представлена на рисунку 15.27.

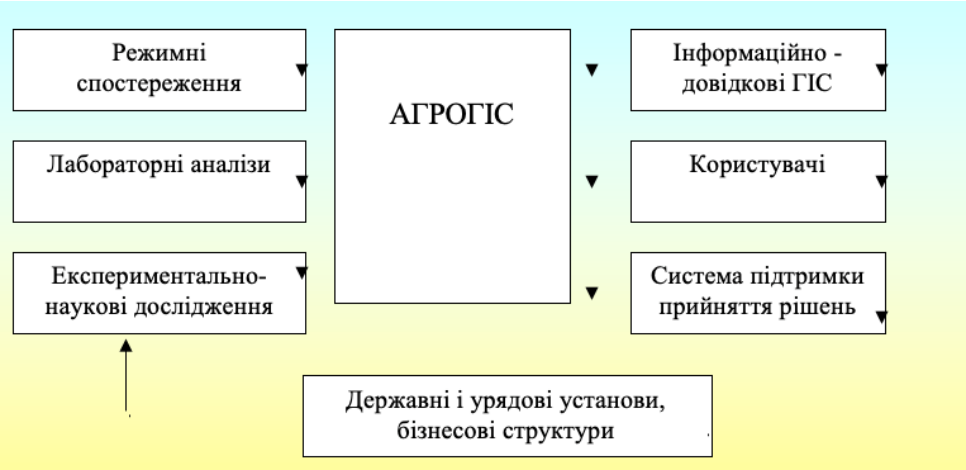


Рис. 15.27. *Схема агроекологічного моніторингу*

Система моніторингу агроресурсів повинна:

– функціонувати в режимі реального часу, забезпечуючи високу оперативність обробки великих (або надвеликих) потоків даних;

– забезпечити високі вимоги до достовірності й точності результатів аналізу, до форми і якості подання кінцевих результатів, що викликані високою вартістю можливих помилок;

– забезпечувати уніфікацію, модульність і масштабованість, можливість швидкої комплектації спеціалізованих програмно-апаратних комплексів.

Використання методів ДЗЗ в інтересах с/г виробників (Belward & Skøien, 2015; Campbell & Wynne, 2023; Jensen, 2015; Plowright, 2022; Бурачек & Зацерковний, 2010; Зацерковний & Кривоберець, 2011c; Федоровский та ін., 2003; Федоровский та ін., 2006) сприяє формуванню нових аграрних технологій, с/г менеджменту і стратегічного планування. За допомогою методів ДЗЗ можна кількісно оцінювати площі, зайняті с/г культурами, визначати фази розвитку рослин, проблеми стану посівів (нерівномірність визрівання, ураження шкідниками та хворобами, нестачу поживних речовин, загибель від несприятливих метеорологічних умов), а також прогнозувати врожайність (рис. 15.28).

Одним із важливих методичних питань застосування ДЗЗ є точність ідентифікації досліджуваних посівів на супутниковому зображенні й збіжності результатів відновлення спектральних відбивних характеристик об’єктів зйомки з даними підсупутникових вимірів. Його розв’язок дозволить оцінити можливості використання розроблених раніше методик аерофотометричних обстежень стану посівів основних с/г культур в Україні (Зацерковний & Кривоберець, 2011c) для визначення оцінки їх стану і прогнозу урожайності за даними багатоспектрального супутникового знімання.

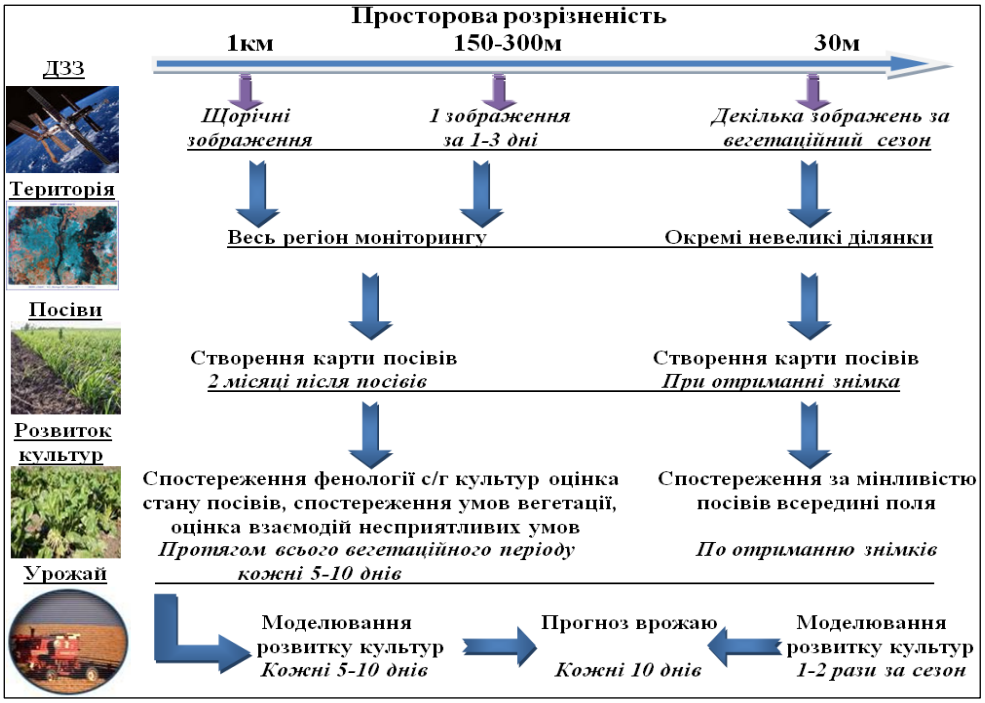


Рис. 15.28. *Схема моніторингу сільськогосподарських земель із використанням ДДЗ різної просторової розрізненності*

Складові моніторингу земель с/г призначення представлені на рис. 15.29).

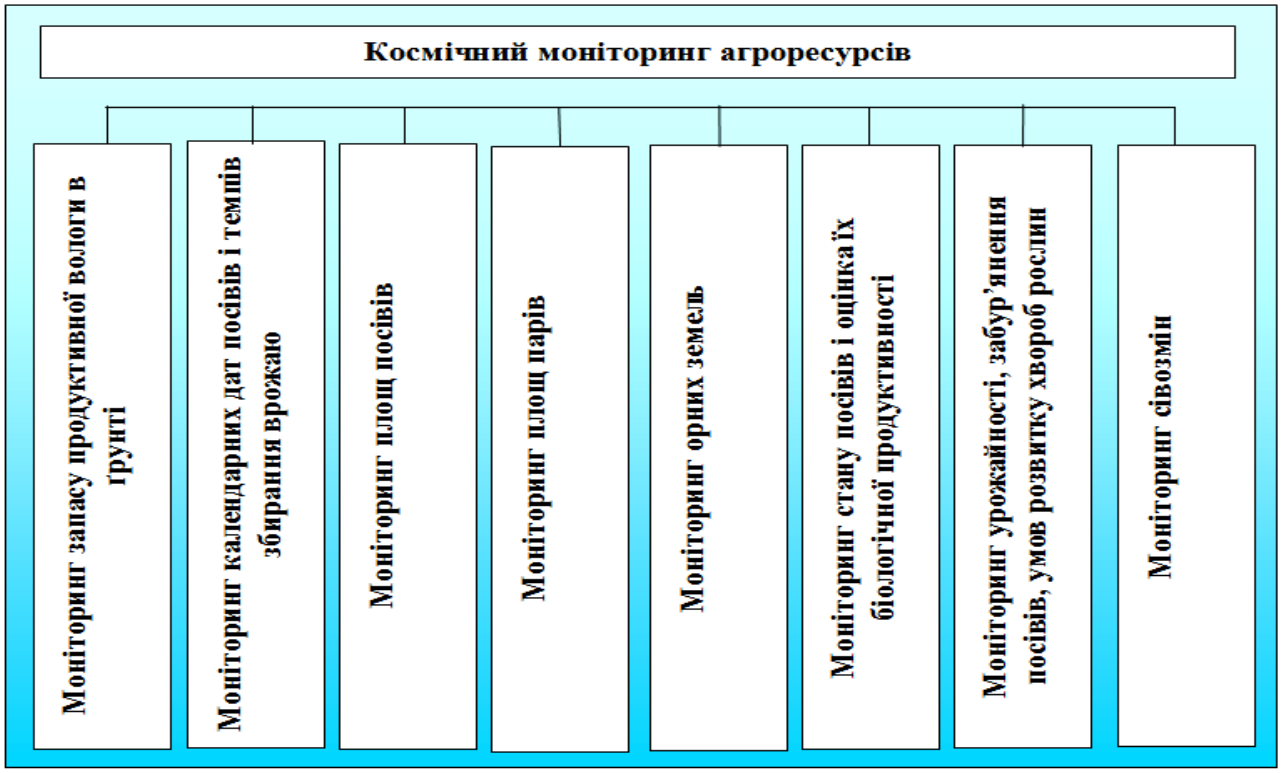


Рис. 15.29. *Складові космічного моніторингу агроресурсів*

Використання даних дистанційного зондування Землі є фундаментом сучасного екологічного моніторингу, оскільки забезпечує високу

оперативність та об’єктивність оцінки стану земної поверхні. Багаторічний досвід наукового аналізу підтверджує ефективність багатоспектрального знімання для визначення структури посівних площ, параметрів біопродуктивності та моніторингу стану сільськогосподарських культур. Методологічну базу моніторингу заклали супутникові системи перших поколінь, зокрема серії Ресурс, LANDSAT, SPOT, IRS та NOAA. Космічні апарати серії Ресурс дозволяли проводити знімання території з періодичністю два-три рази на місяць, а завдяки варіативності просторової роздільної здатності сенсорів стало можливим як деталізоване обстеження окремих господарств, так і масштабне картографування регіональних екосистем.

Для оперативного агромоніторингу критично важливою є висока періодичність знімання, тому на зміну раннім метеорологічним радіометрам прийшла знімальна система MODIS (Таблиця 15.1) на супутниках Terra та Aqua, яка стала стандартом для довгострокового спостереження. Багатоспектральність цієї системи дозволяє картографувати біопродуктивність та виявляти процеси заболочування, засолення чи паводкові явища, тоді як безперервні часові ряди даних з 2000 року є критично важливими для виявлення багаторічних екологічних трендів. Сучасний етап розвитку дистанційного зондування характеризується переходом від візуального дешифрування до автоматизованого аналізу на основі вегетаційних індексів, що дає змогу кількісно оцінювати продуктивність угідь та їхню екологічну вразливість у межах регіональних геоінформаційних систем. У сучасних дослідженнях ці методики все частіше доповнюються високоточними даними місій Sentinel, які забезпечують ще вище розрізнення та доступ до інформації у режимі реального часу.

Таблиця 15.1.

Основні характеристики радіометра MODIS (Jensen, 2015; Plowright, 2022)

Номери каналів	Спектральний діапазон (мкм)	Просторова розрізненність (м)	Смуга огляду (км)	Повторюваність зйомки території (для одного супутника)
1–2	0,62 – 0,88	250	2300	1–2 рази на добу, залежно від широти місця зйомки
3–7	0,46 – 2,16	500	2300	
8–19	0,41 – 0,97	1000	2300	
20–25	3,66 – 4,55	1000	2300	
26	1,36 – 1,39	1000	2300	
27–36	6,54 – 14,39	1000	2300	

Супутник Terra перебуває на круговій квазіполярній сонячно-синхронній орбіті висотою 705 км, перетинаючи екватор о 10:30 за місцевим часом. Знімальна система MODIS здійснює спостереження у 36 спектральних каналах видимого та інфрачервоного діапазонів із різною просторовою

роздільною здатністю, яка становить 250 м для каналів 1–2, 500 м для каналів 3–7 та 1 км для каналів 8–36 (див. табл. 15.1).

Отримання даних вимірювань можливе двома основними шляхами: безпосередньо на наземну приймальну станцію або через Інтернет-технології з центрів приймання й поширення даних (DAAC), що функціонують під егідою Геологічної служби США. Система DAAC надає доступ до широкого спектра матеріалів дистанційного зондування Землі з різних американських супутників. Окрім цієї системи, ключовим ресурсом та основним інтерфейсом для завантаження даних MODIS є архів NASA — MODIS Rapid Response (Зацерковний та ін., 2011d; Муха & Байрак, 2008; NASA, 2011). Знімальні канали MODIS представлені в табл. 15.2.

Дані системи MODIS у центрах прийому стають доступними з невеликою затримкою у кілька днів після проведення супутникової зйомки, протягом якої вони проходять кілька рівнів попередньої обробки для підвищення зручності подальшого використання. Якщо користувачеві не потрібна надвисока оперативність, йому значно зручніше отримувати ці дані через центри DAAC, оскільки це позбавляє необхідності розгортання та обслуговування власної дорогої приймальної станції. Окрім оперативного доступу, система DAAC надає доступ до довготривалих архівів супутникових знімків, які після надходження до центру проходять стандартизовані процедури обробки, в результаті чого формується набір похідних продуктів із покращеними властивостями.

Цей набір продуктів дозволяє користувачеві обирати матеріали, що найбільш точно відповідають конкретним завданням моніторингу, при цьому фрагмент списку доступних продуктів наведено у таблиці 15.3. Зокрема, найбільш наближена до первинної («сира») інформація представлена у продуктах MOD09GQK, MOD09GHK та MOD09GST, які містять дані всіх добових спостережень. Водночас користувач має можливість отримати й більш опрацьовані інформаційні масиви, такі як композитні безхмарні зображення MOD09Q1 та MOD09A1. Важливо підкреслити, що всі космічні знімки, які оприлюднюються на офіційних ресурсах NASA, хоча і є державною власністю, проте можуть вільно використовуватися та відтворюватися для будь-яких наукових, освітніх чи практичних цілей (NASA, 2011; Зацерковний та ін., 2011d; Муха та Байрак, 2008; Федоровський та ін., 2006).

Окрім зазначених даних, користувачам доступні вегетаційні індекси (продукти MOD13A1, MOD13A2, MOD13A3, MOD13Q1) та різноманітні тематичні продукти, що включають показники температури поверхні Землі, типи земного покриву, температурні аномалії та індекс листової поверхні. Таким чином, фахівець може обрати продукт, який максимально відповідає поставленим вимогам дослідження. Однак при цьому слід враховувати важливий методологічний нюанс: оскільки для обробки даних по всій поверхні планети застосовуються уніфіковані алгоритми, результати для окремого регіону можуть мати недостатньо високу якість. Зокрема, стандартні

композитні зображення MOD09Q1 та MOD09A1 нерідко містять значну кількість пікселів, закритих хмарним або сніговим покривом, що суттєво ускладнює їхнє безпосереднє використання для тематичного моніторингу рослинності без додаткової фільтрації чи локальної корекції.

Поглиблена попередня обробка супутникових даних є палицею з двома кінцями: з одного боку, вона значно полегшує використання матеріалів для широкого спектра тематичних додатків, а з іншого — може істотно знижувати ефективність або навіть унеможливлювати застосування специфічних наукових алгоритмів, що потребують доступу до вихідних значень радіометрії. Відтак, перед дослідником постає дилема вибору між менш спотвореними, але «сирими» даними, які потребують значних витрат часу на власноручне доопрацювання, та готовими продуктами високого рівня обробки, якість яких у конкретних регіональних умовах може виявитися недостатньою або посередньою.

Усі поширювані продукти супутникового моніторингу доступні для замовлення через універсальний вебінтерфейс, що забезпечує швидкий доступ до необхідних ресурсів. Важливим джерелом геопросторових даних для українських фахівців є Національний центр управління та випробувань космічних засобів (НЦУВКЗ), зокрема його підрозділ — Центр прийому та обробки спеціальної інформації та контролю навігаційного поля.

Таблиця 15.2

Знімальні канали MODIS

№	Призначення	Діапазон, нм
1	Контури хмар і земних об’єктів	620 – 670
2		841 – 876
3	Властивості хмар і об’єктів суходолу	459 – 479
4		545 – 565
5		1 230 – 1 250
6		1 628 – 1 652
7		2 105 – 2 155
8	Колір океану, фітопланктон, біогеохімія океану	405 – 420
9		438 – 448
10		483 – 493
11		526 – 536
12		546 – 556
13		662 – 672
14		673 – 683
15		743 – 753
16		862 – 877
17	Водяна пара	890 – 920
18		931 – 941
19		915 – 965
20	Температура хмар і поверхні Землі	3 660 – 3 840
21		3 929 – 3 989
22		3 929 – 3 989
23		4 020 – 4 080
24	Температура повітря	4 433 – 4 498
25		4 482 – 4 549
26	Пір’ясті хмари, водяна пара	1 360 – 1 390
27		6 535 – 6 895
28		7 175 – 7 475
29	Властивості хмар	8 400 – 8 700
30	Озоновий шар	9 580 – 9 880
31	Температура хмар і поверхні Землі	11 770 – 12 270
32		10 780 – 11 280
33	Висота верхньої границі хмар	13 185 – 13 485
34		13 485 – 13 785
35		13 785 – 14 085
36		14 085 – 14 385

Таблиця 15.3

Фрагмент стандартних продуктів супутникових даних MODIS

Назва	Опис
Surface Reflectance Відбивна здатність	
MOD09A1	Surface Reflectance 8-day L3 Global 500m
MOD09GHK	Surface Reflectance Daily L2G Global 500m
MOD09GQK	Surface Reflectance Daily L2G Global 250m
MOD09GST	Surface Reflectance Quality Daily L2G Global 1km
MYD09Q1	Surface Reflectance 8-day L3 Global 250m
Land Surface Temperature and Emissivity Температура поверхні Землі й вихідне випромінювання	
MOD11_L2	Land Surface Temperature/Emissivity 5-min L2 Swath 1km
MOD11A1	Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 1km
MOD11A2	Land Surface Temperature/Emissivity 8-day L3 Global 1km
MOD11B1	Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 5km
MOD11C1	Land Surface Temperature/Emissivity Daily L3 Global 0.05Deg CMG
MOD11C2	Land Surface Temperature/Emissivity 8-day L3 Global 0.05Deg CMG
MOD11C3	Land Surface Temperature/Emissivity Monthly L3 Global 0.05Deg CMG
Land Cover/Change Типи земного покриву/Зміна типів земного покриву	
MOD12Q1	Land Cover Type 96-day L3 Global 1km
MOD12Q2	Land Cover Dynamics Yearly L3 Global 1km
Vegetation Indices Вегетаційні індекси	
MOD13A1	Vegetation Indices 16-day L3 Global 500m
MOD13A2	Vegetation Indices 16-day L3 Global 1km
MOD13A3	Vegetation Indices Monthly L3 Global 1km
MOD13Q1	Vegetation Indices 16-day L3 Global 250m
Thermal Anomalies/Fire Температурні аномалії/Пожежі	
MOD14	Thermal Anomalies/Fire 5-min L2 Swath 1km
MOD14A1	Thermal Anomalies/Fire Daily L3 Global 1km
MOD14A2	Thermal Anomalies/Fire 8-day L3 Global 1km
Leaf Area Index/Fraction of Photosynthetically Active Radiation (LAI/FPAR) Індекс листової поверхні/ Частка фотосинтетично активної радіації	
MOD15A2	Leaf Area Index/FPAR 8-day L4 Global 1km
Net Primary Vegetation Production Чиста продуктивність рослинності	
MOD17A2	Net Photosynthesis 8-day L4 Global 1km
MOD17A3	Net Primary Production Yearly L4 Global 1km
MOD17CM	Net Photosynthesis 32-day L4 Global 0.05Deg CMG
MOD17CY	Net Primary Production Yearly L4 Global 0.05Deg CMG

Ця установа володіє масштабним архівом даних дистанційного зондування Землі, що охоплює сучасні дані з апаратів серій Sentinel та Landsat, а також ретроспективні архівні знімки систем NOAA та Meteosat.

Фахівці Центру забезпечують систематичний моніторинг показників вегетаційних індексів, таких як NDVI, NDMI та NDSI, які успішно інтегровані в державні системи екологічного та аграрного моніторингу. Водночас, незважаючи на технічні можливості, питання створення уніфікованих відкритих тематичних карт на основі цих даних (Зацерковний та ін., 2011d) залишається актуальним і потребує подальшого системного нормативного врегулювання для забезпечення ефективного використання геопросторової інформації в інтересах держави.

Камера MODIS захоплює приблизно 2340x2330 км (розмір гранули). Для зручності поширення дані розбиваються на фрагменти, приблизно 1120x1120 км (10x10 градусів на екваторі) у рівноплощинній синусоїдальній проекції (Зацерковний & Кривоберець, 2011c). Після розбивки утворюється 460 фрагментів, 326 з яких захоплюють земну поверхню. Нумерація фрагментів починається з 0,0 (номер фрагмента по горизонталі, номер фрагмента по вертикалі) у верхньому лівому куті і збільшується зліва направо (по горизонталі) і зверху вниз (по вертикалі) (рис. 15.30). Останній фрагмент має номер 35, 17 і розташовується у нижньому правому куті.

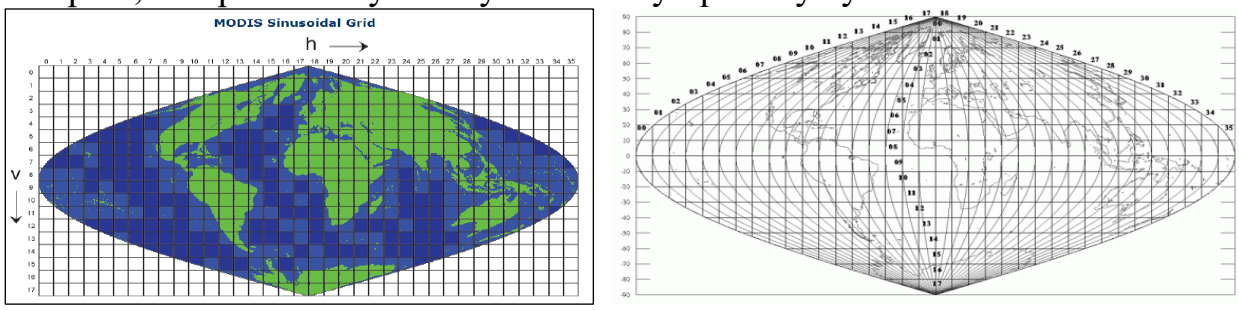


Рис. 15.30. *Покриття гранулами (tile) даних MODIS території Землі*

Мінімальною одиницею замовлення є файл, що містить дані, які покривають одну гранулу з точністю близько 150 м при спостереженні в надир та похибці сполучення даних зйомки у різних каналах, яка не перевищує 100 м (для каналів 1–7) (Зацерковний & Кривоберець, 2011c) що дозволяє використовувати зазначені дані для аналізу часових рядів на рівні окремих пікселів.продуктів: MOD09GQK, MOD09GHK, MODMGGAD, MOD09GST (табл. 15.4).

Таблиця 15.4

Зміст продуктів даних MOD09GQK, MOD09GHK, MODMGGAD, MOD09GST

Назва	Назва інформаційних шарів	Опис інформаційних шарів	Розрізненність, м
MOD09GQK	250m Surface Reflectance Band 1 (620-670 nm)	Виміри в каналі 620-670 нм	250
	250m Surface Reflectance Band 2 (841-876 nm)	Виміри в каналі 841-876 нм	
	250m Reflectance Band Quality	Інформація про якість даних	
	Orbit and coverage	Інформація про формат даних	
	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу	
MOD09GHK	500m Surface Reflectance Band 1 (620-670 nm)	Виміри в каналі 620-670 нм	500
	500m Surface Reflectance Band 2 (841-876 nm)	Виміри в каналі 841-876 нм	
	500m Surface Reflectance Band 3 (459-479 nm)	Виміри в каналі 459-479 нм	
	500m Surface Reflectance Band 4 (545-565 nm)	Виміри в каналі 545-565 нм	
	500m Surface Reflectance Band 5 (1230-1250 nm)	Виміри в каналі 1230-1250 нм	
	500m Surface Reflectance Band 6 (1628-1652 nm)	Виміри в каналі 1628-1652 нм	
	500m Surface Reflectance Band 7 (2105-2155 nm)	Виміри в каналі 2105-2155 нм	
	500m Reflectance Band Quality	Інформація про якість даних	
	Orbit and coverage	Інформація про формат даних	
	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу	

MODMGGA	Sensor Zenith	Зенітний кут приладу	1 000
	Solar Azimuth	Азимутальний кут Сонця	
	Solar Zenith	Зенітний кут Сонця	
	Sensor Azimuth	Азимутальний кут приладу	
	Range (ground-sensor)	Відстані від приладу до точки спостереження	
	Geolocation Flags	Службова інформація	
	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу	
MOD09GST	1km Reflectance Data State QA	Інформація про якість даних	1 000
	Orbit and coverage	Інформація про формат даних	
	Number of Observations	Кількість вимірів, зроблених за добу	

Вибір зазначених продуктів MODIS зумовлений тим, що вони містять «сирі» дані вимірів, які забезпечують максимальний рівень гнучкості при створенні спеціалізованих та регіонально адаптованих алгоритмів попередньої й тематичної обробки. Затримка в кілька діб при отриманні даних із центрів DAAC не є критичною для більшості завдань моніторингу. Для аналізу рослинності найпридатнішими є дані знімання у червоній та ближній інфрачервоній зонах спектра. Водночас аналіз стандартного продукту MOD09Q1, що представляє собою восьмиденні композитні зображення в перших двох каналах, свідчить, що він не забезпечує необхідної якості фільтрації хмарності та містить відносно високий рівень зашумлених пікселів.

Це визначило вибір як вихідних даних продукту MOD09GQK, який містить щодобову інформацію про знімання в 1–2 каналах із просторовою роздільною здатністю 250 м. Для розроблення алгоритмів детектування хмарності додатково було обрано продукт MOD09GHK, що містить дані спостережень у блакитному (0,459–0,479 мкм) та середньому інфрачервоному (1,628–1,652 мкм) діапазонах спектра, які ефективно використовуються для ідентифікації хмар і снігового покриву. Також використовується продукт MODMGGAD, який надає інформацію про геометричні умови спостереження, зокрема азимутальні й зенітні кути та координати супутника і Сонця в момент знімання.

Усі три названі продукти містять дані про всі виміри, виконані протягом однієї доби, причому їх кількість для окремих точок може різнитися залежно від віддаленості від екватора. Отже, ці продукти є не знімками в традиційному розумінні, а набором вимірів для кожного пікселя за добу. Продукт MOD09GST містить необхідну службову інформацію для коректного зчитування даних MOD09GQK, MOD09GHK та MODMGGAD. Архів цих чотирьох продуктів за визначений період можна замовити в USGS EROS DAAC (NASA, 2011). На сьогодні в архіві доступні дані на більшу частину території України у вигляді гранул h19v03, h19v04, h20v03 та h20v04.

Для моніторингу агроресурсів найбільш прийнятною є знімальна система MODIS на борту супутників Terra та Aqua, яка дозволяє отримувати багатоспектральні знімки земної поверхні до 10–12 разів на добу з просторовою роздільною здатністю 1,1x1,1 км, що цілком задовольняє вимоги до моніторингу сільського господарства. Для роботи з цими даними використовується методика (Зацерковний & Кривоберець, 2011c), що дозволяє зберігати понад 12 ТБ вихідних даних на касетах DLT та жорстких дисках, забезпечуючи прийнятну вартість носіїв і швидкість доступу. Система зберігання також здійснює архівацію та каталогізацію похідних продуктів, отриманих після попередньої обробки.

Для контролю якості та візуальної оцінки результатів сільськогосподарського моніторингу варто залучати вибіркові багатозональні знімки Landsat-TM/ETM+. Завдяки високій просторовій роздільній здатності (30 м) ці дані дозволяють впевнено розпізнавати окремі сільськогосподарські поля при візуальній інтерпретації. Зображення такої роздільності доступні на

сайті програми GLCF (Зацерковний & Кривоберець, 2011c). Для роботи з ними також доцільно створювати систему зберігання, каталогізації та вебінтерфейс доступу до даних.

Створення і підтримка картографічної бази даних ґрунтового покриву є складним науково-методичним, технологічним і організаційним процесом, який вимагає різних наборів вихідних даних, програмного забезпечення і підготовлених виконавців. Масштабність робіт навіть у межах адміністративної області передбачає наявність засобів автоматизації складання і контролю цілісності картографічних баз даних і похідних ґрунтових карт різного масштабу. Програмною платформою для створення і підтримки ґрунтових картографічних баз даних повинна слугувати інструментальна ГІС, яка б дозволяла виконувати весь комплекс робіт зі збору, введення, аналізу, моделювання і наданню всіх типів просторових і семантичних даних у рамках єдиного технологічного процесу. З урахуванням розподіленого між окремими виконавцями у просторі і в часі процесу виконання роботи найбільш доцільним є вибір програмного забезпечення ArcGIS з відповідними модулями розширення.

У загальному випадку електронна карта полів повинна включати такі тематичні шари:

– мезорельєф (з показом мезоформ рельєфу, форм схилів);

– крутизну схилів;

– експозицію схилів (теплі, холодні, нейтральні);

– мікрорельєф (з показом контурів з перевагою тих або інших форм мікрорельєфу, що мають агрономічне значення);

– мікроклімат;

– рівні ґрунтових вод, їх мінералізація і склад;

– ґрунтоутворюючі і підстильні породи;

– мікроструктуру ґрунтового покриву (ґрунтова карта);

– вміст гумусу у ґрунті;

– забезпеченість рухомими формами елементів мінерального живлення рослин і мікроелементами;

– фізичні властивості ґрунтів і значення pH ґрунтів;

– забруднення важкими металами, радіонуклідами та іншими токсикантами;

– еродованість ґрунтів, ерозійну небезпека та інші види фізичної деградації (зсуви, сели тощо);

– зволоженість і заболоченість ґрунтів, у тому числі вторинного гідроморфізму, підтоплення, мочароутворення тощо.

– засоленість ґрунтів (типи і ступінь засолення);

– солонцюватість ґрунтів;

– рослинний покрив з оцінкою стану природних кормових угідь;

– лісову рослинність з оцінкою стану природних лісів і лісових насаджень;

– розподіл корисних видів тварин, птахів, ентомофагів, оцінку їх територіального впливу;

– фітосанітарний стан посівів.

Така ГІС повинна забезпечувати розв'язання комплексу задач, у тому числі створення базової карти використовуваних орних земель, її щорічне оновлення та оцінку динаміки (моніторинг); оцінку дотримання правил сівозміни, посівних площ у поточному році, посівних площ озимих культур; моніторинг розвитку с/г культур протягом сезону вегетації; оцінку наслідків негативних впливів на посіви (засухи, заморозки); прогнозування врожайності і валового збору основних культур. Для розв'язання більшості з цих задач розробляються спеціалізовані блоки системи, деякі з них перебувають у дослідній експлуатації.

Алгоритм проведення АЕМ умовно включає чотири основні етапи. На першому етапі здійснюється збір, первинна обробка й систематизація інформації, яка поділяється на природний блок (формується за рахунок матеріалів ландшафтного та ландшафтно-геохімічного знімання, фондових та літературних матеріалів про природні особливості досліджуваної території), природно-господарський блок (охоплює відомості про структуру землекористування, площі основних угідь тощо) та техногенний блок (вміщує матеріали про основні джерела забруднення агрогеосистем та геохімічні характеристики речовин, що містяться у відходах і викидах). Основним результатом проведення досліджень є:

1) розробка ландшафтної, ландшафтно-геохімічної карт, які покликані відобразити особливості просторової організації геосистем у межах досліджуваної адміністративної області;

2) розробка карти землекористування, на якій відображаються особливості просторової диференціації у господарському використанні території;

3) складання таблиць та відповідних карт, що характеризують відмінності у прояві антропогенного впливу на агрогеосистеми досліджуваної території. Розробка серії карт для досліджень по обґрунтуванню мережі моніторингових полігонів у межах адміністративної області здійснюється в масштабі 1:200000.

На другому етапі здійснюється аналіз ландшафтно-морфологічної, ландшафтно-геохімічної структури, а також структури землекористування в межах досліджуваної території, особливостей просторового розміщення джерел забруднення агрогеосистем та геохімічних характеристик забруднюючих речовин.

При аналізі основний акцент робиться на визначення, як ті чи інші особливості природної та господарської диференціації території можуть впливати на розподіл забруднюючих речовин у різних агрогеосистемах та формування міграційних потоків між ними, тобто формування екологічного стану агрогеосистем.

На третьому етапі на підставі проведених досліджень здійснюється ландшафтно-геохімічне районування території, яке дозволяє визначити найбільш типові з геохімічної точки зору для конкретної території агрогеосистеми і вивчити можливість організації в їх межах моніторингових полігонів.

Завершальним етапом є визначення територіальної структури кожного з обраних моніторингових полігонів, а також обґрунтування мережі додаткових пунктів спостереження та маршрутів експедиційних досліджень, які б давали інформацію про стан забруднення АП, підземних вод, ґрунтів та с/г продукції за межами полігонів. Це вимагає розробки серії відповідних великомасштабних карт (1:10000). Аналіз і обробка інформації передбачає розрахунок показників ефективності планованих і фактичних заходів, можливі агроекологічні наслідки та передбачає:

– автоматичний підрахунок просторових характеристик (довжина, площа, ухил місцевості);

– ведення поточного АЕМ агроландшафтів, ретроспективного моніторингу угідь адміністративних районів і с/г підприємств;

– прогнозування врожайності в залежності від поживних елементів і розрахунок потреби культури в поживних елементах у залежності від планованого урожаю;

– розрахунок потреби в засобах хімічної меліорації;

– автоматизоване створення технологічних карт;

– одержання зведеної інформації за сівозмінами;

– розрахунок балансу гумусу та поживних елементів за сівозмінами;

– автоматизоване створення облікової картки механізатора з розрахунком витрат;

– автоматизований облік техніки і с/г реманенту з розрахунком еколого-економічних показників;

– розрахунок економічних показників агротехнічних заходів і вирощування с/г культур за угіддями;

– ведення просторово-розподіленої бази даних, тобто прив'язка інформації до об'єктів на карті;

– одержання об'ємних моделей, у тому числі ЦМР, ЦММ, розподіл азоту, фосфору, калію та інших елементів ґрунту за господарствами, адміністративними районами, за агроландшафтами, для визначення агроекологічного потенціалу.

Для контролю за збереженням родючості ґрунтів в умовах АЕМ необхідно також послідовно здійснювати:

– інвентаризацію орних земель за їх продуктивністю з урахуванням стійкості ерозії, засолення тощо;

– районування ріллі за рівнем родючості на локальному і регіональному рівнях;

– забезпечення організації агрофенологічної служби зі збору достовірної інформації про стан площ посівів, с/г культур і ґрунтів.

Таким чином, з вищенаведеного зрозуміло, що в умовах високого антропогенного навантаження АЕМ може стати основою для розв'язання таких проблем:

- відтворення родючості ґрунту з урахуванням реалізації потенційної продуктивності сільськогосподарських культур, використання екологічно безпечних агрохімічних засобів;
- розробки нових і удосконалювання існуючих методів моніторингу стану ґрунтів, рослин, гідросфери (агроландшафтів) при оцінці різних напрямів розвитку землеробства;
- розробки моделі родючості ґрунтів, балансу поживних речовин і раціонального використання добрив з урахуванням охорони НПС;
- досліджень можливості збільшення надходжень біологічного азоту і фосфору в землеробстві і зниження доли мінеральних добрив при формуванні необхідної кількості і якості урожаю;
- розробки системи контролю хімічного забруднення с/г продукції.

Інтерфейс створеної агроекологічної ГІС представлений на рис. 15.31 і 15.32.

АЕМ є необхідною умовою ефективного регулювання агропромислового сектора економіки, а використання ДЗЗ і ГІС в інтересах АПК України є складовою частиною загального процесу інформатизації АПК.

Створена агроекологічна ГІС Чернігівської області дозволяє застосувати багатоваріантну систему оцінки потенціалу ґрунтових ресурсів, у якій землекористувачеві надається право вибору тієї або іншої діяльності у відповідності з потенціалом його земель, а також з урахуванням наявних ресурсів.

Реалізація такого підходу на рівні країни і суб'єкта господарювання виступає інструментом формулювання політики використання земель. На рівні окремого господарства система дозволяє уникнути непродуктивні витрати на використання земель, які не відповідають їх ресурсному потенціалу. Такий аналіз необхідний в умовах ринкових методів управління земельними ресурсами країни при розподілі природно-ресурсної ренти, кредитуванні сільгоспвиробників, визначенні повернення кредитів, страхуванні врожаю тощо.

Картографічні і довідково-інформаційні матеріали, створені з використанням ґрунтових картографічних баз даних, можуть знайти широке застосування в практиці землеустрою, створенні і веденні земельного і природоохоронного кадастру, експертизах проектів землеустрою, грошовій оцінці земельних ділянок, оцінці збитку впливу природних і антропогенних впливів, при розробці агротехнічних, меліоративних, протиерозійних і агрохімічних заходів (Зацерковний та ін., 2012).

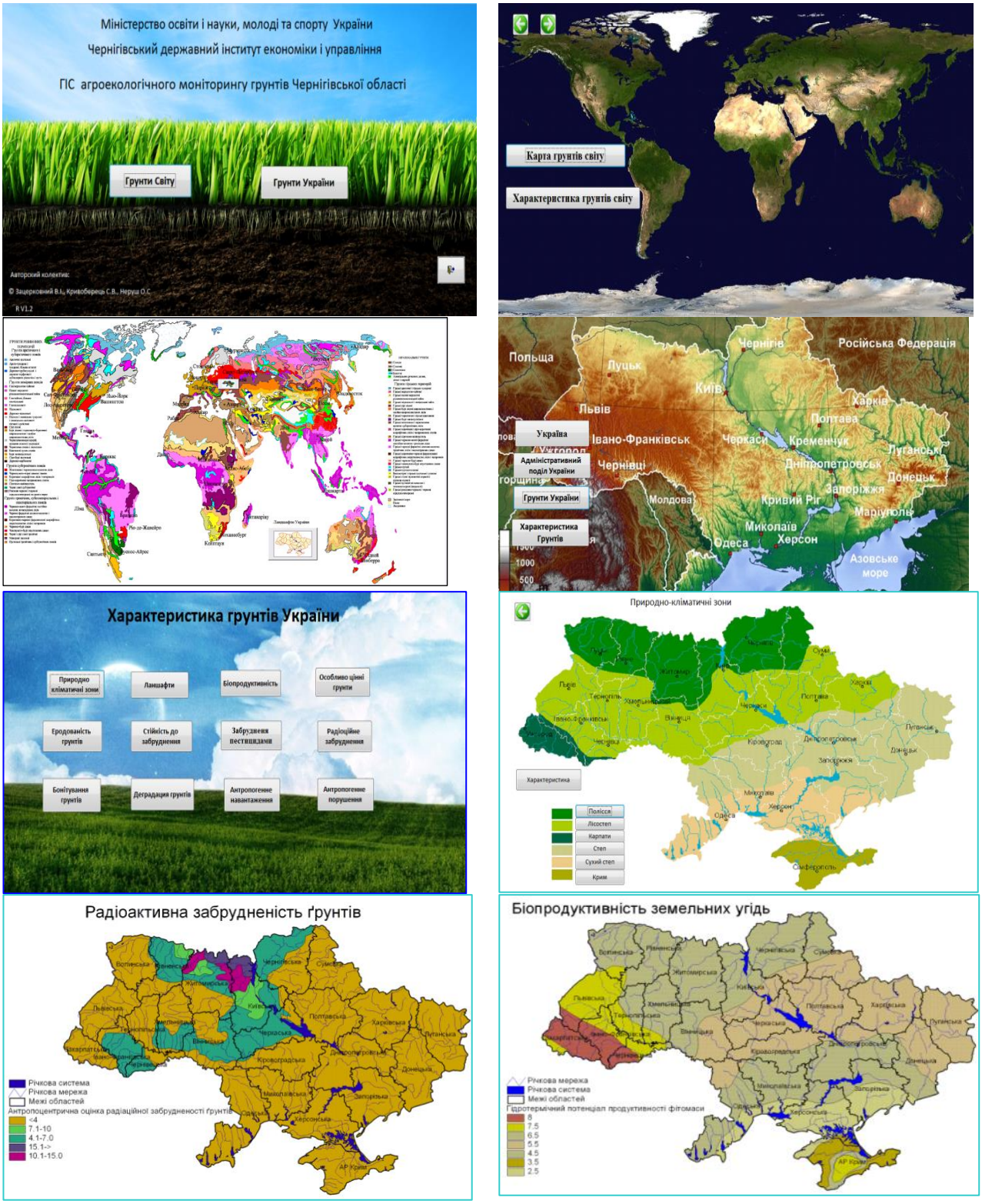


Рис. 15.31. *Фрагменти інтерфейсу агроекологічної ГІС: ґрунти світу і України*

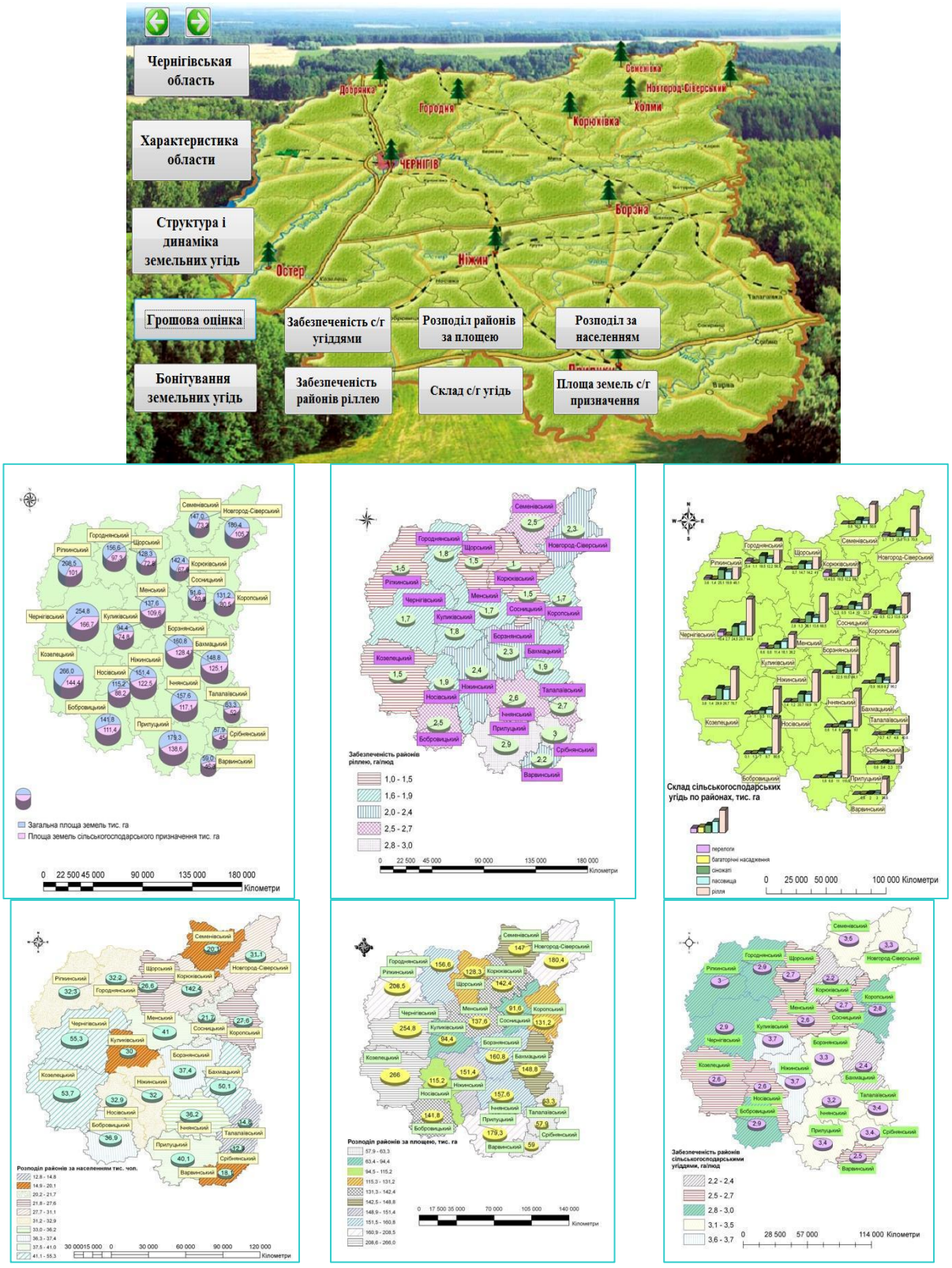


Рис. 15.32. *Фрагменти інтерфейсу агроекологічної ГІС для аналізу ґрунтів Чернігівської області*

15.9. Соціально-екологічний веб-атлас Чернігівської області

Чернігівська область, як прикордонний регіон, що зазнав значних руйнувань внаслідок активних бойових дій та постійних обстрілів, наразі віднесена до категорії територій відновлення. Сучасне становище області характеризується не лише економічною депресивністю, що була притаманна їй раніше, а й глибокими структурними викликами: необхідністю розмінування величезних площ, відновленням критичної інфраструктури та подоланням наслідків екоциду.

Вирішення завдань із відбудови та переходу регіону до моделі сталого розвитку в умовах воєнного стану та періоду відновлення потребує прийняття стратегічних рішень, що ґрунтуються на об’єктивній, детальній та комплексній просторово-скоординованій інформації.

Нині створення електронних аналогів традиційних атласів переросло у формування динамічних геопорталів та розгалужених інфраструктур просторових даних. Еволюція технологій станом на 2026 рік дозволяє електронним картографічним даним забезпечувати найвищий рівень деталізації завдяки миттєвому масштабуванню та безшовному скроллінгу. Сучасні дані легко інтегруються з іншими аналітичними додатками та регулярно оновлюються в реальному часі через хмарні сервіси що робить їх значно ефективнішими за паперові носії. Створення таких систем є стратегічним напрямом розвитку ГІС оскільки вони трансформуються у цифрові двійники територій.

Світовий досвід реалізації подібних проектів демонструє перехід від енциклопедичних форматів на кшталт Microsoft Encarta до глобальних аналітичних платформ як Esri Living Atlas of the World. На національному рівні прикладом слугують онлайн-версія Atlas of Switzerland та розвиток Національної інфраструктури геопросторових даних України. Регіональні та міські ініціативи зараз зосереджені на створенні комплексних цифрових екосистем таких як Smart City Dubai Atlas які об'єднують просторові дані з потоками інформації від сенсорів розумного міста. Це дозволяє не просто відображати об'єкти а моделювати сценарії розвитку територій та оперативно реагувати на виклики сучасності.

Для наукового обґрунтування цих процесів доцільно використовувати актуальні праці що описують методику цифрової візуалізації та управління геоданими (Gergel & Turner, 2017; Slocum et al., 2022; Toth & Jozkow, 2015; Карпінський & Лященко, 2011).

Потреба у створенні соціально-екологічного атласу Чернігівської області пов’язана з необхідністю оновлення і доповнення аналогів, надрукованих попередньо. Аналогом для створення соціально-екологічного вебатласу Чернігівської області (Зацерковний та ін., 2010е) став загальногеографічний ”Атлас Чернігівської області” на 20 сторінках (Погурельська, 2003).

Застосування веб-технологій дозволяє істотно підвищити функціонал створюваних тематичних карт (рис. 15.33).

Розвиток геопорталів на сучасному етапі передбачає відхід від статичного перегляду растрових зображень на користь динамічної взаємодії з векторними даними. Раніше на вебсерверах організовували бази даних у вигляді наборів тематичних категорій, де кожна категорія містила статичні карти у форматах GIF або JPEG. Користувач мав обирати тему та регіон за допомогою запитів, після чого на екрані відображалася заздалегідь підготовлена картинка.

Сучасна вебверсія атласу базується на принципах інтерактивності та інтуїтивно зрозумілій навігації. Завдяки використанню актуальних вебтехнологій та хмарних рішень користувачі можуть маніпулювати шарами даних без спеціальної підготовки. Це дозволяє поєднувати різні типи інформації в одному вікні, змінювати прозорість об'єктів та отримувати детальну атрибутивну інформацію про кожен елемент карти безпосередньо у браузері.

При створенні таких ресурсів особлива увага приділяється кросплатформовості, щоб атлас коректно працював як на десктопах, так і на мобільних пристроях. Використання сучасних скриптових мов та API дозволяє інтегрувати в атлас інструменти просторового аналізу, що робить його повноцінною дослідницькою платформою, а не просто цифровою копією паперового видання.

Такий підхід забезпечує високу швидкість обробки запитів та дозволяє оперативно оновлювати зміст атласу без необхідності перебудови всієї структури сайту

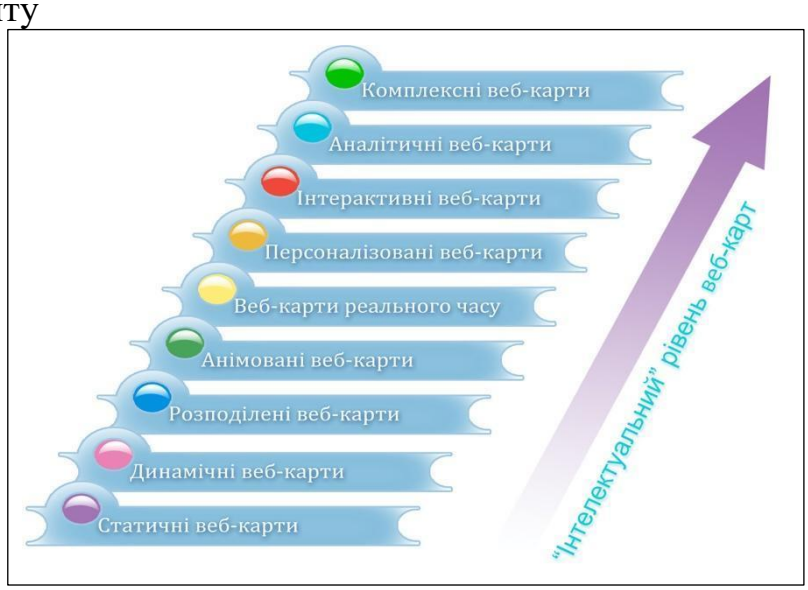


Рис. 15.33. *Підвищення «інтелектуальності» (функціоналу) тематичних карт*

Головною метою розміщення атласу в глобальній мережі є розбудова інтерактивного освітнього середовища та інформаційна підтримка дистанційного навчання на основі сучасних ГІТ. Станом на 2026 рік

використання хмарних геоінформаційних технологій не лише спрощує створення картографічних творів, але й дозволяє в реальному часі розв'язувати складні прикладні задачі. Це охоплює статистичний аналіз динамічних баз даних, формування багатокритеріальних запитів та автоматизоване математико-картографічне моделювання для побудови взаємопов'язаних інформаційних блоків.

Інформаційний фундамент атласу становлять карти, структуровані набори даних та мультимедійні ресурси. Карти залишаються ключовим просторовим ресурсом, а їхня практична цінність у сучасному контексті визначається глибиною деталізації, рівнем генералізації та можливістю миттєвої візуалізації прихованих закономірностей.

Статистична база атласу інтегрована безпосередньо в атрибутивні таблиці шарів і являє собою масштабний масив аналітичних даних. Основними джерелами їх формування у 2026 році є державна та відомча статистика, дані відкритого уряду (Open Data), а також потоки інформації від автоматизованих систем моніторингу та сенсорних мереж. Важливою особливістю сучасного атласу є безперервність оновлення цієї інформації, що забезпечує актуальність аналізу в умовах мінливого техногенного та природного середовища.

Така архітектура дозволяє перетворити атлас із простого довідника на потужну дослідницьку платформу для підготовки фахівців і прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Як приклад, на рис. 15.34 представлені деякі тематичні карти соціально-екологічної спрямованості. Створений ”Електронний соціально-екологічний вебатлас Чернігівської області” (система цифрових карт, пов'язана між собою за використаними програмними засобами і географічною основою, ступенем детальності і часом створення) може розглядатися як ефективна ІБ для вирішення наукових і прикладних задач, пов'язаних з вибором пріоритетних напрямів сталого розвитку регіону.

Атлас дозволяє отримувати довідкову інформацію про регіон, необхідну для підтримки і прийняття управлінських рішень органів державного управління усіх рівнів, впровадження інвестиційних проектів тощо і слугує прообразом регіональної вебГІС.

ВебГІС за причинами її доступності для 30% населення (саме так оцінюється аудиторія користувачів Інтернету в Україні) зручно використовувати як засіб взаємодії влади і громадян. Причому взаємодія двостороння: вебГІС дозволяє як публікувати інформацію, так і збирати її. ВебГІС може бути середовищем для міжвідомчої взаємодії у випадках, коли складно організувати інші канали обміну такою специфічною формою інформації, як просторові дані. Як свідчить практика, доцільно інтегрувати вебГІС з іншими регіональними і муніципальними інформаційними системами, відомчими ГІС, системою електронного документообігу, порталом електронних державних послуг.

Рис. 15.34. *Фрагменти тематичних карт соціально-екологічного вебатласу Чернігівської області*

15.10. ГІС екопатології

Незважаючи на певне зниження традиційного промислового навантаження на навколишнє природне середовище (НПС) у перші десятиліття незалежності, спричинене структурною перебудовою економіки, сучасний етап розвитку України характеризується екстремальним антропогенним тиском катастрофічного характеру. Повномасштабна військова агресія РФ призвела до безпрецедентного екоциду, масового мінування територій, руйнування промислових гігантів та критичної інфраструктури, що сформувало нові, надскладні виклики для екологічної безпеки.

Демографічна ситуація в державі досягла критичної межі. Якщо станом на 2017 рік чисельність наявного населення оцінювалась у 42,5 млн осіб, то внаслідок воєнних дій, масової вимушеної міграції та надвисокої смертності, за актуальними оцінками Держстату та міжнародних інституцій, станом на 2024–2026 роки населення на підконтрольних територіях значно скоротилося (за різними оцінками — до 29–33 млн осіб). Це свідчить про втрату понад 20 млн мешканців порівняно з показником 1992 року (52 млн), що є найбільшим демографічним викликом з часів Другої світової війни.

У цих умовах оцінка ризиків впливу як традиційних антропогенних чинників, так і специфічних факторів воєнного стану (хімічне забруднення від вибухів, руйнування дамб, радіаційні загрози) стає життєво необхідною. Моніторинг та аналіз можливих збитків для здоров’я нації та екологічного стану територій перетворюється з наукового завдання на стратегічний пріоритет державного управління та національної безпеки.

Термін "екопатологія" почав активно впроваджуватися у науковий обіг у 1970-х роках у межах ветеринарної медицини та досліджень впливу середовища на здоров'я популяцій тварин (згодом трансформувавшись у міждисциплінарний напрям екології людини). Сучасне розуміння екопатології базується на принципах системного аналізу, де патологічний стан організму розглядається як наслідок дисгармонії між біологічними вимогами організму та техногенно зміненими умовами навколишнього середовища (Трахтенберг, 2012)

Значимість картографування у дослідженні екопатологій полягає у здатності ГІС інтегрувати різнорідні масиви даних для виявлення прихованих кореляцій між станом довкілля та здоров’ям населення. Замість простої систематизації інформації сучасні системи забезпечують проведення багатофакторного просторового аналізу санітарно-гігієнічного стану територій. Це дозволяє точно локалізувати осередки ризику та прогнозувати динаміку поширення патологій для розробки превентивних стратегій оздоровлення середовища.

У сучасній екопатології інструментарій ГІС трансформувався у засіб глибокої аналітики що забезпечує точне геокодування випадків захворювань та кластеризацію осередків хвороб. Замість звичайного пошуку об’єктів за

характеристиками системи виконують складне моделювання яке враховує реальний вплив забруднювачів повітря чи води на конкретні групи населення з урахуванням рози вітрів та гідрологічних режимів. Такі технології дають змогу математично підтвердити зв'язок між концентрацією токсикантів у певних районах та рівнем специфічної захворюваності що перетворює карту з ілюстративного матеріалу на доказову базу для медицини та екології.

Такий підхід значно підвищує наукову обґрунтованість управлінських рішень та дозволяє ефективно розподіляти ресурси для покращення епідеміологічної ситуації в регіонах з високим техногенним навантаженням (Astrom & Murray, 2008; Klir, 2001). Основні функції ГІС в екопаталогії представлені на рис. 15.35.

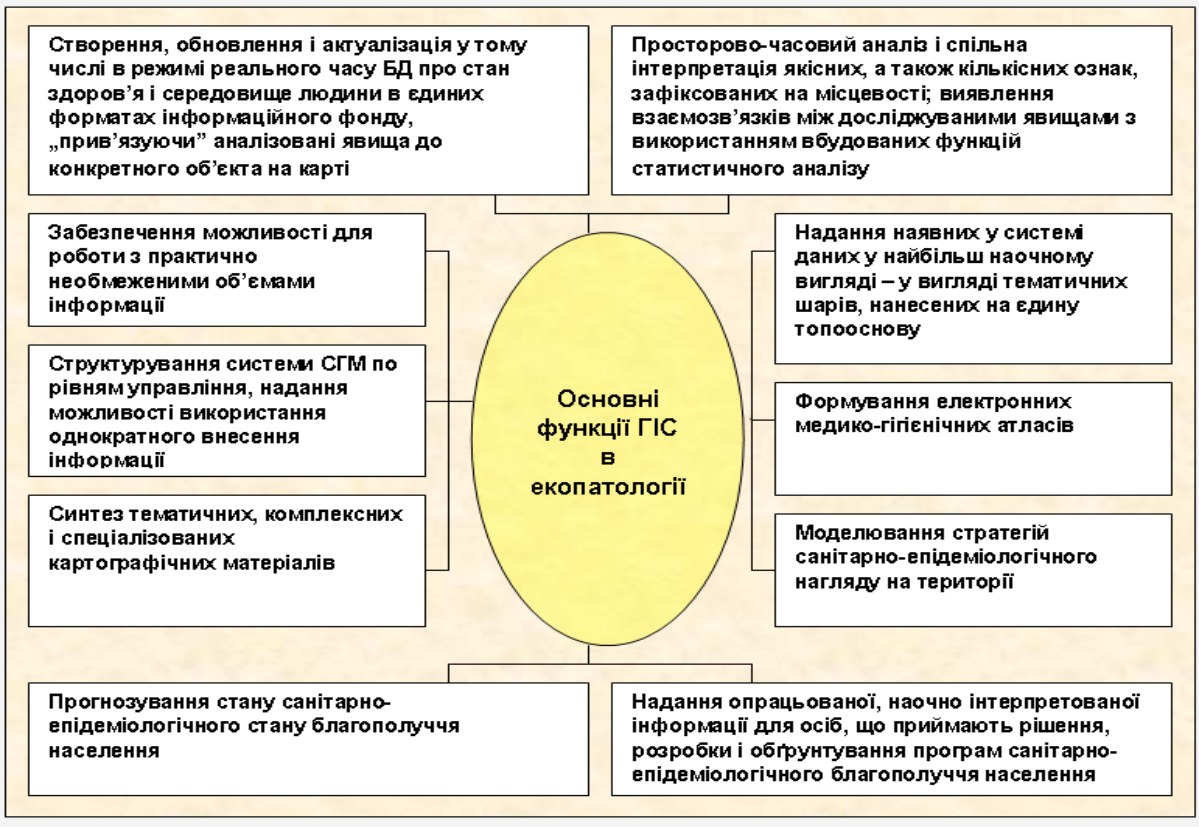


Рис. 15.35. *Основні функції ГІС в екопатології*

Структура баз даних первинної інформації, яка використовується в ГІС екопатології, повинна включати:

– інформацію про інфекційну захворюваність (дата реєстрації, ПІБ, стать хворого, дата його народження, вік, мікро ділянка, де мешкає хворий, домашня адреса, код остаточного діагнозу у відповідності з довідником МКБ);

– інформацію про демографію досліджуваного району (вулицю, домашню адресу, номера будинків (у відповідності з довідником вулиць і будинків), чисельність населення за зазначеною адресою у статівіковій групі);

– інформацію про якість водопровідної питної води (унікальний ідентифікатор точки відбору проб повинен відповідати точці на електронній карті, коду системи водозабезпечення, даті відбору проб, результатам лабораторних досліджень тощо);

– інформацію про якість атмосферного повітря;
– інформацію про стан ґрунтів;
– інформацію про джерела електромагнітного випромінювання;
– інформацію про стан води відкритих водоймищ.

Складові компоненти ГІС в екопатології представлені на рис. 15.36.

Підсистема лабораторних досліджень представляє собою підсистему введення результатів лабораторних досліджень середовища мешкання населення (атмосферне повітря, ґрунти, питна вода).

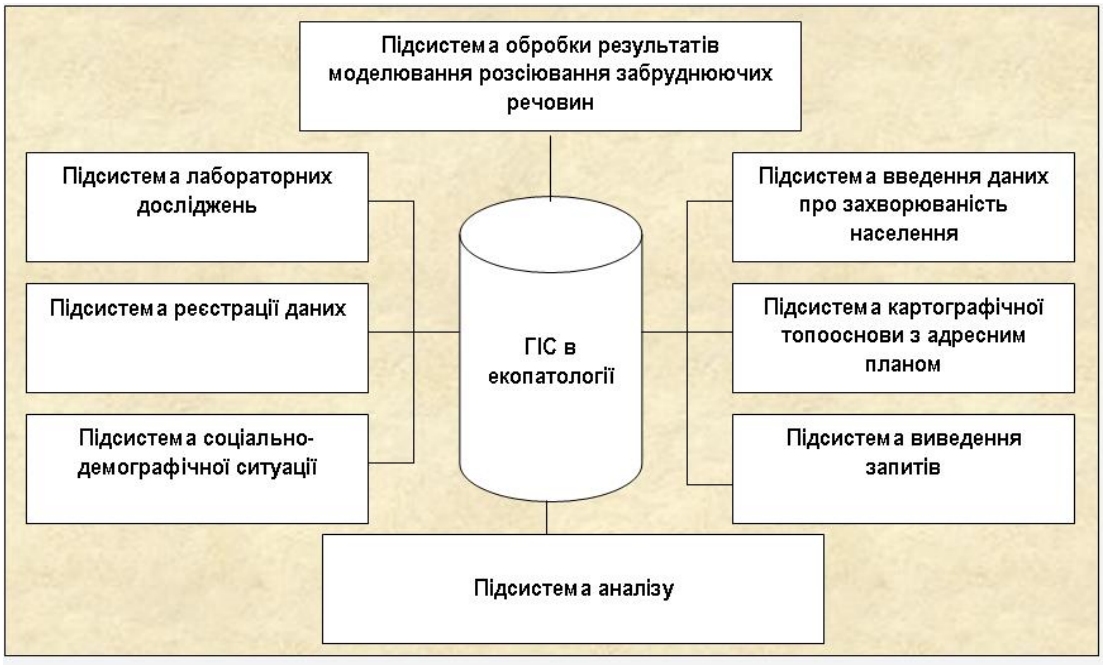


Рис. 15.36. *Функціональна схема ГІС в екопатології*

Система дозволяє вводити дані двох типів:
– первинні дані лабораторних досліджень за протоколом;
– інтегровані дані за певний проміжок часу.

Підсистема введення імітує талон амбулаторного хворого для збору первинної медичної інформації. Картографічна основа масштабу 1:10000 забезпечує адресну прив’язку та візуалізацію тематичних шарів населеного пункту.

Підсистема реєстрації акумулює характеристики точок моніторингу та відповідну нормативну документацію. Блок соціально-демографічної ситуації автоматично конвертує та ранжує персоналізовані дані мешканців за місцем проживання.

Інструмент виведення запитів генерує звіти щодо стану повітря, води та ґрунтів у будь-якій локації. Він розраховує середні й максимальні концентрації забруднювачів, відсоток незадовільних проб та інтегральні показники екологічного навантаження.

Аналітична підсистема оцінює експозицію та чисельність населення в зонах впливу шкідливих факторів. Функціонал завершується графічною

інтерпретацією результатів через діаграми, графіки та картографічне ранжування територій за рівнем небезпеки (Зацерковний, 2011; Зацерковний, 2011b) (рис. 15.37–15.42) де представлені бактеріологічні характеристики централізованого водопостачання, рівень захворюваності дітей до 17 років, загальний рівень захворюваності населення, природний приріст населення, рівень народжуваності й рівень смертності в Чернігівській області.

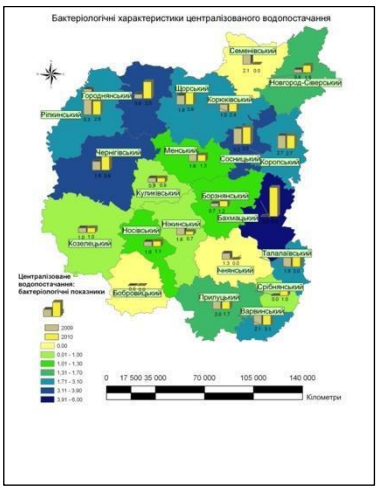


Рис. 15.37. *Бактеріологічні характеристики централізованого водопостачання*

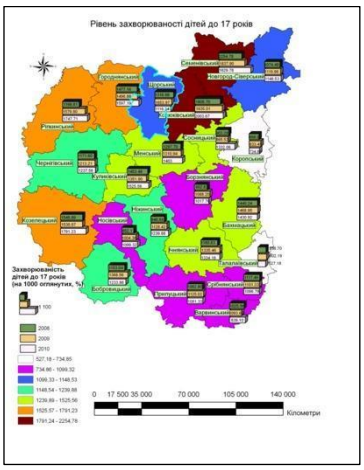


Рис. 15.38. *Рівень захворюваності дітей до 17 років*

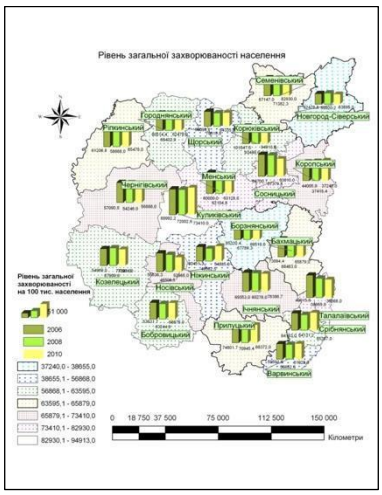


Рис. 15.39. *Рівень загальної захворюваності*

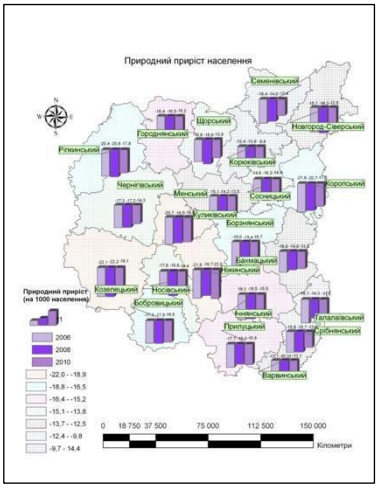


Рис. 15.40. *Природний приріст населення*

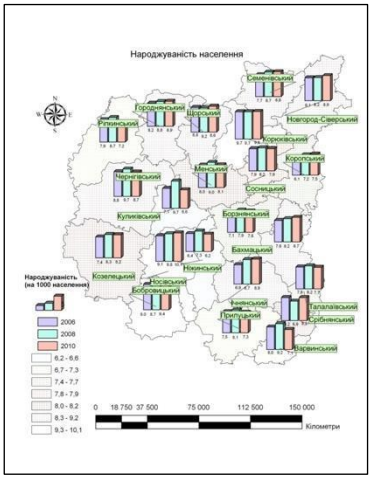


Рис. 15.41. *Народжуваність населення*

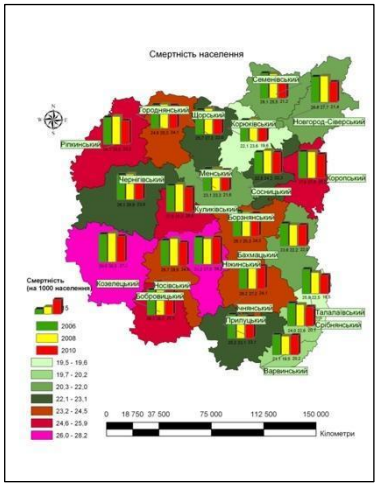


Рис. 15.42. *Смертність населення*

Користувач ГІС екопатології має можливість отримати всю необхідну інформацію для вирішення таких задач:

– оцінки санітарно-гігієнічної і екологічної ситуації у зоні мешкання населення;

– вибору контингентів (діти, дорослі) з адресною прив’язкою до мікрорайону або освітнього закладу;

– оцінки чисельності населення, підданого хворобі (епідемії);

– відбору пріоритетних забруднювачів за чинниками навколишнього середовища;

– створення прогнозних карт змін рівня захворюваності різними нозологіями у територіальному розрізі.

Застосування ГІТ відкриває нові можливості не тільки аналізу захворюваності, але й візуалізацію його результатів при проведенні нарад, конференцій різного рівня, при обґрунтуванні рішень, необхідності проведення програм профілактичної спрямованості. Разом з тим, ГІТ можуть бути використані для цілей оперативного і ретроспективного епідеміологічного аналізу.

ПІСЛЯМОВА

Потреба у потужному інформаційному ресурсі та інструментах підтримки прийняття рішень є характерною рисою управління територіями. Таким ефективним і потужним інструментарієм для створення інформаційного ресурсу є геоінформаційні системи.

У роботі представлено результати комплексного дослідження методологічних та прикладних засад побудови геоінформаційних систем для управління територіями. Основний акцент роботи зміщено з теоретичного опису ГІС на формування конкретних механізмів, що забезпечують підтримку прийняття управлінських рішень на основі просторових даних.

Завершуючи розгляд викладу наших міркувань від теоретичного обґрунтування концепції сталого розвитку до технічних аспектів побудови геопорталів, ми можемо констатувати, що сучасне управління територіями переживає етап якісної трансформації. Викладені у цій монографії підходи засвідчують: ГІС перестали бути лише інструментом візуалізації чи «цифровою картою». Вони перетворилися на складну інтелектуальну екосистему, яка стає фундаментом для прийняття державних та муніципальних рішень.

Протягом нашого дослідження ми пройшли шлях від розуміння управління як загального управлінського процесу до трактування його як інформаційно насиченої системи. Ключовим висновком цієї праці є усвідомлення того, що ефективність управління територією прямо пропорційна якості геоінформаційного забезпечення. Впровадження моделей інтеграції ГІС, ДЗЗ та GPS, описаних у розділах 4 та 11, дозволяє перевести управління з режиму «реакції на події» у режим «проактивного прогнозування». Ми продемонстрували, що використання віртуальних фотоприймальних матриць та субпіксельного дешифрування не є забаганкою науковців — це необхідна вимога часу для отримання актуальних даних, без яких будь-яка управлінська модель є хибною.

Окремої уваги заслуговує питання оцінки ефективності. У розділах 8 та 13 ми намагалися відійти від суб'єктивних оцінок «корисності» ГІС, застосувавши апарат теорії інформації К. Шеннона та теорію статистичних рішень. Доведені моделі приросту інформації чітко вказують на те, що вкладення в геопросторові дані мають високий коефіцієнт повернення інвестицій (ROI), особливо коли йдеться про складні системи управління територіями (СУТ). Геопортали, розглянуті у 14 розділі, виступають не просто вікном доступу, а повноцінними вузлами інформаційного обміну, що мінімізують корупційні ризики та підвищують прозорість влади.

Аналізуючи проблеми впровадження (розділ 5), ми не оминули увагою технологічні бар'єри: від питань зберігання просторових даних до забезпечення їхньої розширюваності. Проте головним викликом на сьогодні

залишається не відсутність технологій, а подолання інерції управлінського мислення. Управління територією як складною системою вимагає від посадових осіб не просто технічних навичок роботи з ГІС, а системного бачення, де кожен управлінський вплив має свій просторовий відбиток.

Розвиток відкритих настільних ГІС та хмарних сервісів, проаналізований нами, дає підстави для оптимізму. Демократизація геопросторових інструментів робить сучасне управління доступним навіть для невеликих територіальних громад, які раніше були обмежені у доступі до потужних обчислювальних ресурсів.

Нині ми стоїмо на порозі широкого застосування штучного інтелекту в геоінформатиці. Математичні моделі, представлені в розділі 12, що використовують комбінаторні алгоритми та регуляризуючі функціонали, є лише першим кроком до автоматизації геоекологічного прогнозування. Подальша інтеграція ГІС з інтернет-речами (IoT) та великими даними (Big Data) дозволить створити «цифрових двійників» цілих регіонів.

Практичну ефективність запропонованих підходів апробовано на прикладі розробки тематики та змісту галузевих підсистем ГІС для Чернігівської області. Створені моделі моніторингу природно-заповідного фонду, водних ресурсів, атмосферного повітря та стану утилізації відходів продемонстрували здатність ГІС забезпечувати системний аналіз чинників антропогенного навантаження. Розроблення тематики та змісту електронного соціально-екологічного атласу та спеціалізованої ГІС екопатології дозволила візуалізувати складні кореляційні зв’язки між станом довкілля та показниками захворюваності населення, що є необхідною умовою для обґрунтування регіональних програм розвитку.

Результати дослідження також вказують на значний потенціал впровадження відкритих настільних ГІС та геопортальних рішень, розглянутих у роботі. Такий підхід сприяє оптимізації витрат на створення геоінформаційної інфраструктури та підвищує доступність актуальних даних для суб’єктів господарювання.

Результати аналітично-експериментального моделювання підсистем ГІС в СУТ (на прикладі Чернігівської області) підтверджують, що застосування розроблених в роботі підходів дозволяє здійснювати геоінформаційну підтримку прийняття рішень у процесі управління територіями і суттєво підвищити ефективність управління, зокрема:

Створена ГІС об’єктів ПЗФ Чернігівської області дозволяє приймати ефективні рішення з природоохоронних питань на основі багатоаспектного доступу до спільних ресурсів адміністративних утворень та інтегрованої бази даних, розподіленої за вузлами мережі, цілісно зберігати дані, вносити зміни, аналізувати і контролювати стан об’єктів.

Запропонована методологія, розроблені методи і створені карти призначені для багатостороннього використання: при розробці концепції розвитку регіону; створенні регіональних комплексних схем розвитку;

розробці регіональних і муніципальних екологічних програм; екологічному зонуванні; створенні представницького пакета регіону.

Створена ГІС моніторингу та прогнозування стану ВР Чернігівської області дозволяє здійснювати комплексний аналіз чинників формування поверхневих вод і гідрологічного режиму (клімат, рельєф, ґрунти, рослинний покрив тощо), застосування ЦМР дає можливість здійснити детальну оцінку річкового стоку і ВР у межах водозборів у різні за водністю періоди, дозволяє будувати детальні гідрологічні карти і розробляти моделі для оцінки якості води при різних сценаріях водогосподарчої діяльності і надзвичайних ситуаціях, може використовуватися як інформаційно-довідкова система, надаючи користувачам у наочному вигляді потрібну інформацію.

Створена ГІС моніторингу АП, яка надає можливість оцінювати реальний стан його забруднення, соціально-гігієнічні та екологічні умови життя населення, надавати широким верствам населення відомості про стан та якість середовища, де вони мешкають.

Створена ГІС моніторингу збереження та утилізації відходів дозволяє вводити, зберігати та візуалізовувати місця збереження ТПВ та небезпечних або заборонених засобів захисту рослин за районами області, аналізувати стан забруднення території області та виконувати функції просторового аналізу, визначати вихідну поточну позицію при розробці екологічних програм і комплексних програм економічного і соціального розвитку регіону.

Створена агроекологічна ГІС Чернігівської області дозволяє застосувати багатоваріантну систему оцінки потенціалу ґрунтових ресурсів. У цій системі землекористувачеві надається право вибору тієї або іншої діяльності у відповідності з потенціалом його земель, а також з урахуванням наявних ресурсів. Реалізація такого підходу на рівні країни і суб'єкта господарювання виступає інструментом формулювання політики використання земель. На рівні окремого господарства система дозволяє уникнути непродуктивні витрати на використання земель, які не відповідають їх ресурсному потенціалу.

Створений ”Електронний соціально-екологічний атлас Чернігівської області” (система цифрових карт, пов'язана між собою за використаними програмними засобами і загальногеографічною основою ступенем детальності і часом створення) може розглядатися як ефективна інформаційна база для вирішення наукових і прикладних задач, пов'язаних з вибором пріоритетних напрямів сталого розвитку регіону: обґрунтування концепцій і програм соціально-економічного розвитку Чернігівської області; вироблення напрямів регіональної політики; розробки прогнозів екологічного стану навколишнього середовища і конструктивно-географічних основ раціонального природокористування (Байса та ін., 2008); отримання довідкової інформації, необхідної для підтримки управлінських рішень органів державного управління усіх рівнів, впровадження інвестиційних проектів тощо.

Створення ГІС екопатології дає можливість отримати необхідну інформацію для оцінки санітарно-гігієнічної ситуації у зоні мешкання населення; вибору контингентів (діти, дорослі) з адресною прив’язкою до

адміністративного району або населеного пункту; оцінки чисельності населення, підданого хворобі (епідемії); відбору пріоритетних забруднювачів за чинниками навколишнього середовища; створення прогнозних карт змін рівня захворюваності різними нозологіями у територіальному розрізі. Надає нові можливості не тільки аналізу захворюваності, але й візуалізації його результатів при проведенні нарад, конференцій, при обґрунтуванні рішень проведення програм профілактичної спрямованості, може бути використана для цілей оперативного і ретроспективного епідеміологічного аналізу.

Застосування ГІТ і ДЗЗ при виконанні грошової, експертної і нормативної оцінки земель може консолідувати взаємодію грошових оцінок земель (територій), істотно поліпшивши при цьому швидкість та якість проведення оцінок земель та зменшити їх вартість.

Таким чином, викладені у монографії підходи та розроблені математичні моделі є інструментарієм для фахівців, що працюють над впровадженням сучасних систем управління територіями на засадах цифрової трансформації.

Ми глибоко переконані, що успіх України в контексті глобальних викликів — від зміни клімату до відновлення зруйнованих інфраструктур — безпосередньо залежить від здатності нашої управлінської вертикалі «читати» територію через призму ГІС. Ця монографія є спробою систематизувати цей досвід, надати інструментарій та вказати вектор розвитку.

Нехай ця праця стане надійним навігатором для дослідників, практиків та студентів, які прагнуть зробити управління нашою державою більш обґрунтованим, ефективним та сталим. Цифровізація територій — це не данина моді, а єдиний шлях до створення простору, де інтереси людини, природи та бізнесу знаходяться у гармонійній рівновазі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Александров, І. О., Половян, О. В., Коновалов, О. Ф., Логачова, О. В., & Тарасова, М. Ю. (2010). *Стратегія сталого розвитку регіону*. Донецьк: Ноулідж.

Байрак, Г. Р. (2007). *Аналіз рельєфу і природокористування рівнин заходу України за аерокосмічними даними*. Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка.

Байса, Д. Ф., Боровий, В. О., Бурачек, В. Г. та ін. (2008). *Шляхи вирішення проблем моніторингу раціонального природокористування* (НДР № 0106U000447). Чернігів-Київ.

Барановський, В. А. (ред.). (2006). Україна. Еколого-географічний атлас. Варта. https://archive.org/details/eg_atlas/page/n31/mode/2up

Беленок, В. Ю., Бурачек, В. Г., & Зацерковний, В. І. (2009a). Використання геоінформаційних технологій в експлуатації та діагностиці інженерних мереж. *Новітні досягнення геодезії геоінформатики та землевпорядкування*, (5), 156-164.

Беленок, В. Ю., Бурачек, В. Г., & Зацерковний, В. І. (2009b). Застосування теорії графів в задачах аналізу інженерних мереж. *Новітні досягнення геодезії геоінформатики та землевпорядкування*, (5), 146-152.

Беленок, В. Ю., Бурачек, В. Г., Зацерковний, В. І. та ін. (2011). *Спосіб та пристрій для дистанційного знімання місцевості* (Патент України № 94163). Бюл. № 7.

Беленок, В. Ю., Бурачек, В. Г. та ін. (2012a). *Спосіб стереографічного знімання місцевості* (Патент України № 97338). Бюл. № 2.

Беленок, В. Ю., Бурачек, В. Г. та ін. (2012b). *Спосіб цифрового аерокосмічного знімання* (Патент України № 97889). Бюл. № 6.

Бистряков, І. К., & Олексюк, О. І. (2002). Капіталізація земельних відносин в Україні в контексті зміни уявлень про управління господарством. *Стратегія економічного розвитку України*, (5 (12)), 19–25.

Білявський, Г. О., Фурдуй, Р. С., & Костіков, І. Ю. (2005). *Основи екології*. Либідь.

Боднар, О. М. (2011). *Системне моделювання у вирішенні задач природокористування на основі космічного геомоніторингу* (Дис. канд. техн. наук). ЦАДЗ, Київ.

Бурачек, В. Г., & Зацерковний, В. І. (2009). *Основи системного аналізу. Конспект лекцій*. Чернігів: ЧДІЕУ.

Бурачек, В. Г., & Зацерковний, В. І. (2010). Розробка алгоритмічного забезпечення автоматизованої системи дешифрування аерокосмічних зображень. *Вісник Криворізького технічного університету*, (26), 308-311.

Бурачек, В. Г., Беленок, В. Ю., & Зацерковний, В. І. (2011). Новий варіант методики стереофотограмметричного знімання місцевості. *Вісник астрономічної школи*, 7(1), 19-23.

Бурачек, В. Г., Железняк, О. О., & Зацерковний, В. І. (2011a). *Геоінформаційний аналіз просторових даних*. Ніжин: Аспект-Поліграф.

Бурачек, В. Г., Железняк, О. О., & Зацерковний, В. І. (2011b). *Основи ГІС*. Ніжин: Аспект-Поліграф.

Бурачек, В. Г., Зацерковний, В. І., Зеляк, Ю. С. та ін. (2006). Використання ГІС в задачах транспортно-екологічного моніторингу. *Безпека дорожнього руху*, (3-4), 60-67.

Бурачек, В. Г., Зацерковний, В. І., Попов, М. О., & Станкевич, С. А. (2011). *Спосіб дистанційної зйомки* (Патент України № 95696). Бюл. № 16.

Бурачек, В. Г., Зацерковний, В. І. та ін. (2011). *Пристрій дистанційної зйомки* (Патент України № 95697). Бюл. № 16.

Винода, М. (n.d.). *Смітити по-європейськи*. Україна комунальна.

Волков, В. П. (2011). Моделювання еколого-економічних систем з використанням ГІС-технологій. *Економіка та управління*, (2), 34–41.

Гальчинський, А. С., Геєць, В. М. та ін. (2004). *Стратегія економічного і соціального розвитку України (2004-2015 роки)*. ІВЦ Держкомстату України.

Глушков, В. М. (1974). Место и роль АСУ курортами в ОГАС. *Кибернетика и вычис. техника. Биол. и медиц. кибернетика*, 3–11.

Глушков, В. М. (1975). *Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС*. М.: Статистика.

Глушков, В. М. (1982). *Основы безбумажной информатики*. М.: Наука.

Грановська, Л. М. (2007). *Раціональне природокористування в зоні еколого-економічного ризику*. Херсон: ХДУ.

Грицяк, Н. В., & Литвинова, Л. В. (2015). *Державне управління в умовах розвитку інформаційного суспільства: навч. посіб*. (Н. В. Грицяк, Ред.). К.: К.І.С.

Громадська оцінка екологічної ситуації в Україні. Доповідь українських екологічних організацій. (2003). Київ: РЕЦ-Київ.

Громадське лобіювання першочергових рішень влади для підвищення ефективності екологічної політики. (2007). Київ: ВЕГО «МАМА-86».

Держстандарт України. (2002). *Державний класифікатор надзвичайних ситуацій* (ДК 019-2001). Київ.

Децентралізація в Україні: портал виконавчої влади. (2026, 10 квітня). https://decentralization.gov.ua/

Димченко, О. В., Матвєєва, Н. М., & Гайденко, С. М. (2008). *Регіональна економіка: Навчальний посібник*. Харків: ХНАМГ.

Довгий, С. О., Євдощук, М. І., Коржнєв, М. М. та ін. (2010). *Енергетично-ресурсна складова розвитку України*. Ніка-Центр.

Доповідь про стан навколишнього природного середовища в Чернігівській області за 2015 рік: стат. щорічник. (2016). Чернігів: ДУОНПС.

Дорогунцов, С. І., Пітюренко, Ю. І., Олійник, Я. Б. та ін. (2005). *Розміщення продуктивних сил і регіональна економіка*. Київ: КНЕУ.

Економічний дискусійний клуб. (2026, 10 квітня). *Рейтингові оцінки України за Індексом мережевої готовності–2016*.

http://edclub.com.ua/analityka/reytyngovi-ocinky-ukrayiny-za-indeksom-merezhevoyi-gotovnosti-2016

Завгородня, І. (2026, 11 квітня). *Країна катастроф*. Україна кримінальна. http://cripo.com.ua/?sect_id=3&aid=83289

Закон України Про екологічну мережу України № 1864-IV. (2004, 24 червня). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15

Закон України «Про стимулювання розвитку регіонів» від 08.09.2005 № 2850-IV.

Закон України Про національну інфраструктуру геопросторових даних № 554-IX. (2020, 13 квітня). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/554-20

Зацерковний, В. І. (2008). Концепція подання просторової інформації в екологічних ГІС. *Новітні досягнення геодезії геоінформатики та землевпорядкування*, 185-192.

Зацерковний, В. І. (2011a). Аналіз можливості інтеграції просторових даних у регіональній ГІС. *Вісник ЧДТУ. Серія Технічні науки*, (4 (53)), 205-215.

Зацерковний, В. І. (2011b). Методика створення еталонних моделей місцевості за допомогою ортогональних багаточленів. *Вісник ЧДТУ*, 215-220.

Зацерковний, В. І. (2011c). Формалізація опису регіону як об'єкта моделювання в ГІС. *Вісник ЧДІЕУ*, (4 (12)), 69-79.

Зацерковний, В. І. (2012). Аналіз стану топографо-картографічного забезпечення як джерела даних для регіональної ГІС. *Вісник ЧДТУ. Серія Технічні науки*, (1 (55)), 186-193.

Зацерковний, В. І. (2013). *Моделі, методи та програмно-технічні засоби геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системах управління територіями* (Дис. докт. техн. наук). Чернігів.

Зацерковний, В. І. (2014). Аналіз моделей інтеграції технологій ГІС, ДЗЗ і GPS в задачах моніторингу стану навколишнього середовища. *Математичні машини і системи*, (4), 44-52.

Зацерковний, В. І., & Кривоберець, С. В. (2011a). Концепція створення системи агроекологічного моніторингу сільськогосподарських угідь за допомогою ГІС. *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*, (2(22)), 176-181.

Зацерковний, В. І., & Кривоберець, С. В. (2011b). Обґрунтування вибору знімальної системи для моніторингу агроресурсів. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 16(2), 139-149.

Зацерковний, В. І., & Кривоберець, С. В. (2011c). Розробка підходів щодо створення ГІС-моніторингу сільськогосподарських земель. *Інженерна геодезія*, (57), 123-132.

Зацерковний, В. І., Бурачек, В. Г., Железняк, О. О., & Терещенко, А. О. (2014). *Геоінформаційні системи і бази даних (Кн. 1)*. НДУ ім. М. Гоголя.

Зацерковний, В. І., Бурачек, В. Г., Железняк, О. О., & Терещенко, А. О. (2017). *Геоінформаційні системи і бази даних (Кн. 2)*. НДУ ім. М. Гоголя.

Зацерковний, В. І., Гур'єв, В. І., & Кривоберець, С. В. (2012). Застосування ГІС в агрохімічному моніторингу земельних ресурсів. *Вісник ЧДІЕУ*, (03(12)), 22-34.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сидоренко, М. І. (2009). Концепція комплексної оцінки просторових умов землекористування.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2009). Використання геоінформаційних технологій в екологічному моніторингу Чернігівської області. *Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки*, (51), 82-86.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2010a). Аналіз еколого-економічної збалансованості та природно-ресурсного потенціалу територій за допомогою геоінформаційних технологій. *Вісник Львівського національного аграрного університету: економіка АПК*, (17 (1)), 301-312.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2010b). Методика створення еталонних моделей місцевості за допомогою комбінаторного алгоритму. *Вісник ЧДТУ*, (4 (45)), 165-172.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2010c). Створення геоінформаційного середовища для моніторингу та прогнозування стану водних ресурсів Чернігівської області. *Наук. праці ДонНТУ. Серія: Гірничо-геол.*, (12 (173)), 90-98.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2011a). Геоінформаційний моніторинг АП в Чернігівській області. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія Географія*, 24(63), 74–84.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2011b). Концепція застосування ГІТ у моніторингу повітря Чернігівської області. *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*, (1(21)), 173-178.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2011c). Методика створення еталонних моделей місцевості за допомогою ортогоналізуючого функціоналу. *Вісник ЧДТУ*, (2 (49)), 240-246.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., & Сімакін, Ю. С. (2011d). Методика створення еталонних моделей місцевості за допомогою регуляризуючого функціоналу. *Вісник ЧДТУ*, (2 (47)), 206-213.

Зацерковний, В. І., Кривоберець, С. В., Сергієнко, В. В. та ін. (2010). ГІС природно-заповідного фонду Чернігівської області. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія Географія*, 23(62), 92–104.

Зацерковний, В. І., Оберемок, Н. В., Тішаєв, І. В., & Казанюк, Т. А. (2017). Використання технологій ГІС та ДЗЗ для моніторингу водних об'єктів. *Наукоємні технології*, (1 (33)), 78-88.

Зацерковний, В. І., Руль, Н. В., Плічко, Л. В., & Кривоберець, С. В. (2017). Геоінформаційні технології в задачах моделювання і прогнозування повеней. *Технічні науки та технології*, (2 (8)), 89-98.

Зацерковний, В. І., Сергієнко, В. В., & Сімакін, Ю. С. (2010a). Використання геоінформаційних технологій для створення web-атласу

Чернігівської області. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Серія Географія*, 24(63), 64-68.

Зацерковний, В. І., Сергієнко, В. В., & Сімакін, Ю. С. (2010b). Концепція застосування ГІС для моніторингу природно-заповідного фонду Чернігівської області. *Сучасні досягнення геодезичної науки і виробництва*, (1(19)), 247-252.

Зацерковний, В. І., Тішаєв, І. В., Віршило, І. В., & Демидов, В. К. (2016). *Геоінформаційні системи в науках про Землю*. Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя.

Зацерковный, В. И. (2009a). Анализ возможностей повышения эффективности боевых действий с помощью ГИС. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*, (3), 38-46.

Зацерковный, В. И. (2009b). Использование геоинформационных технологий и данных ДЗЗ для повышения эффективности огневого поражения целей. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*, (4), 24-31.

Зацерковный, В. И. (2010a). Использование геостатистического моделирования для оценки эффективности боевых действий артиллерии. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*, (1), 3-9.

Зацерковный, В. И. (2010b). Использование данных дистанционного зондирования для повышения функционирования Вооруженных Сил. *Артиллерийское и стрелковое вооружение*, (3), 41-54.

Зацерковный, В. И. (2010c). Проектирование ГИС природно-заповедного фонда. *Компьютерное проектирование и документооборот*, (3 (16)), 10-15.

Инструментарий геоинформационных систем: справочное пособие / Б.С. Бусыгин и др. (2000). Киев: ИРГ «ВБ».

Ищук, А. А., Серединин, Е. С., Карпенко, С. А. и др. (2010). Геоинформационные системы в Украине: основные тенденции и проблемы развития. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.І. Вернадского. Серия География*, 23(62), 13-21.

Іщук, О. О., Коржнев, М. М., & Кошляков, О. Є. (2003). *Просторовий аналіз в ГІС* (Д. М. Гродзинський, Ред.). Київ: ВПЦ Київський університет.

Кабінет Міністрів України. (2014a). Постанова «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року» № 385.

Кабінет Міністрів України. (2014b, 6 серпня). Постанова «Про затвердження Державної стратегії регіонального розвитку на період до 2020 року» № 385.

Карпенко, С. А. (2001). Региональная система управления социально-экономическим развитием как объект изучения. *Ученые записки Таврического национального университета им. В.І. Вернадского. Серия География*, 14(1), 63–69.

Карпінський, Ю. О., & Лященко, А. А. (2001). Формування національної інфраструктури просторових даних. *Вісник геодезії та картографії*, (3), 65-74.

Карпінський, Ю. О., Лященко, А. А., & Кравченко, Ю. В. (2016). *Геопросторовий аналіз: навч. посіб*. КНУБА.

Катренко, А. В. (2003). *Системний аналіз об'єктів та процесів комп'ютеризації*. Новий світ – 2000.

Керівництво щодо здійснення інтегральної оцінки стану довкілля на регіональному рівні. (2007). Парлам. вид-во.

Кирилюк, М. О. (2021). Проектування бази даних інтерактивного атласу об'єктів природно-заповідного фонду України. Український географічний журнал, (4), 57–65. https://ukrgeojournal.org.ua/en/node/732

Конвенція про доступ до інформації, участь громадськості у процесі прийняття рішень та доступ до правосуддя з питань, що стосуються довкілля. (1998, 25 червня). Ратифікована Законом України № 832-XIV від 06.07.1999. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_015

Конституція України. (1996). *Відомості Верховної Ради України*, (30), 381–418.

Корн, Г., & Корн, Т. (1973). *Справочник по математике*. Наука.

Коротич, О. Б. (2009). Принципи державної регіональної політики. *Актуальні проблеми державного управління*, (2 (36)), 156–162.

Кохан, С. С., & Востоков, А. Б. (2009). *Дистанційне зондування Землі: теоретичні основи*. Вища школа.

Крельштейн, П. Д. (2008). *Розробка та впровадження аерофотознімання з легких літальних апаратів* (Дис. канд. техн. наук). Київ.

Куйбіда, В. С., Негода, В. А., & Толкованов, В. В. (2009). *Регіональний розвиток та просторове планування територій: досвід України та інших держав-членів Ради Європи*. Київ: Крамар.

Міністерство фінансів України. (2026, 10 квітня). *ВВП України: статистичні дані*. http://index.minfin.com.ua/index/gdp/?2016

Муха, Б. П., & Байрак, Г. Р. (2008). *Дистанційні дослідження Землі: навч. підручник*. Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка.

Мягченко, О. П. (2010). *Безпека життєдіяльності людини та суспільства*. Центр учбової літератури.

Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2014 р. (2014). Київ: Центр екологічної освіти та інформації.

Опанасюк, А. С., & Доброжан, О. А. (2016). *Фізико-технологічні основи перетворення сонячної енергії*. Суми: Сумський державний університет.

Островерх, О. О., & Ковалевська, Т. М. (2011). *Природоохоронне законодавство та охорона праці: конспект лекцій*. НУЦЗУ.

Панкратова, Н. Д. (2011). *Системний аналіз. Теорія прийняття рішень*. НТУУ «КПІ».

Патракеєв, І. М. (2009). *Транспортно-навігаційні ГІС: Конспект лекцій*. Харків: ХНАМГ.

Патракеєв, І. М. (2011). *ГІС в управлінні територіями: конспект лекцій*. Харків: ХНАМГ.

Погурельська, Т. В. (2003). *Географічний атлас із серії «Моя мала Батьківщина»*. Мапа.

Полигон «Украина». (n.d.). vybor.ua. http://vybor.ua/article/Zdorovje/poligon-ukraina.html

Попова, М. (2011, 18 квітня). Плюс інформатизація всієї країни. *Газета "Коммерсантъ Украина"*, № 63 (1337).

Про утворення та ліквідацію районів: Постанова Верховної Ради України від 17 липня 2020 р. № 807-IX. *Відомості Верховної Ради України*. (2020). № 33. Ст. 235.

Регіональна схема екологічної мережі Чернігівської області. (2017). Чернігів.

Руденко, Л. Г., Дронова, О. Л., Ляшенко, Д. О., Путренко, В. В., & Чабанюк, В. С. (2010). Концепція створення Атласу природних, техногенних, соціальних небезпек і ризиків виникнення надзвичайних ситуацій в Україні. Інститут географії НАН України.

Руденко, Л. Г., Пархоменко, Г. О., Молочко, А. Н. та ін. (1991). *Картографические исследования природопользования: теория и практика работ*. Наукова думка.

Світ відходів і Україна в ньому. (2012, 1 серпня). *Ukranews*. http://ukranews.com/uk/article/2012/08/01/436

Світличний, О. О., & Плотницький, С. В. (2006). *Основи ГІС*. Університетська книга.

Сільське господарство України: статист. зб. / за ред. Н. С. Власенко. (2010). Київ: Державна служба статистики.

Скрипник, Я. П., & Гуцул, Т. В. (n.d.). *ГІС «Хотинська фортеця»: Методичні аспекти розробки*. http://vuzlib.com.ua/articles/book/41612-GIS_khotinska_fortecja_metod/1.html

Суховірський, Б. І. (2000). *Географічні інформаційні системи: навч. посіб*. ЧДІЕУ.

Суховірський, Б. І. (2002). *Геоінформаційні системи і технології в регіональному розвитку*. К.: Знання України.

Талеб, Н. Н. (2018). *Антикрихкість: Про речі, що здобувають від безладу* (М. Климчук, Пер.). Наш Формат.

Тимчук, Н. Ф. (1986). *Автоматизация планирования комплексного развития регионов*. Техніка.

Тітова, С. В. (2012). *Картографічне забезпечення радіоекологічного моніторингу (на прикладі зони аварії на ЧАЕС).* У Картографія та вища школа: Збірник наукових праць (Вип. 15, с. 191–195). Київський національний університет імені Тараса Шевченка.

Трахтенберг, І. М. (2012). *Книга про отрути та отруєння: нариси токсикології.* Наукова думка.

Федоровский, А. Д., Боднар, Е. Н., & Якимчук, В. Г. (2006). Системная методология повышения эффективности космического геоэкологического мониторинга. *Сб. тезисов Шестой укр. конф. по космическим исследованиям*, 115.

Федоровский, А. Д., Рябоконенко, С. А., & Козлов, З. В. (2003). Определение требований к параметрам космического аппаратурного комплекса зондирования Земли. *Доповіді НАН України*, (7), 118-122.

Фісун, К. А. (2007). *Методологія програмування розвитку регіонів України*. ХНАМГ.

Шеляг-Сосонко, Ю. Р., Ткаченко, В. С., Андрієнко, Т. Л., та Мовчан, Я. І. (2005). Екомережа України та її природні ядра. *Український ботанічний журнал*, *62*(2), 142–158. http://nbuv.gov.ua/UJRN/UBJ_2005_62_2_4

Щепилов, В. Н. (2001). Математическое моделирование задач урбанизации в ГИС. *Вісник ЗДУ*, (1), 1-9.

Шипулін, В. Д. (2010). *Основні принципи геоінформаційних систем*. Харків: ХНАМГ.

Юферева, О. В. (2015). *Конспект лекцій до курсу «Теорія масової інформації»*. ЗНТУ.

Ackermann, F., & Schade, H. (1993). Application of GPS for aerial triangulation. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 59(11), 1625–1632.

American Chamber of Commerce in Ukraine. (2011). *Співробітництво з метою підвищення конкурентоспроможності країни в умовах глобальної економіки*. www.chamber.ua

Anderson, T. W. (2003). *An Introduction to Multivariate Statistical Analysis* (3rd ed.). Wiley-Interscience.

Astrom, K. J., & Murray, R. M. (2008). *Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers*. Princeton University Press.

Bar-Yam, Yaneer. Dynamics of complex systems. crc Press, 2019.

Batty, M. (2005). *Cities and Complexity*. MIT Press.

Belward, A. S., & Skøien, J. O. (2015). Who uses what, when and why? Information for decision-making from Earth observation monitoring systems. *International Journal of Remote Sensing*, 36, 1247–1260.

Berger, J. O. (1985). *Statistical decision theory and Bayesian analysis* (2nd ed.). Springer-Verlag.

Bertalanffy, L. von. (1968). *General System Theory*. George Braziller.

Biggs, P. H., Pearce, C. J., & Westcott, T. J. (1989). GPS navigation for large-scale photography. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55(12), 1737–1741.

Birolini, A. (2017). *Reliability Engineering* (8th ed.). Springer.

Björck, Å. (1996). *Numerical Methods for Least Squares Problems*. SIAM.

Bolstad, P. (2019). *GIS Fundamentals* (6th ed.). XanEdu.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). *Principles of Geographical Information Systems* (3rd ed.). Oxford University Press.

Campagna, M. (2005). *GIS for Sustainable Development*. CRC Press.

Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2023). *Introduction to Remote Sensing* (6th ed.). Guilford Press.

Chandra, A. M., & Ghosh, S. K. (2006). *Remote Sensing and GIS*. Alpha Science International.

Chang, K. T. (2019). *Introduction to Geographic Information Systems* (9th ed.). McGraw-Hill.

Chiang, A. C., & Wainwright, K. (2005). *Fundamental Methods of Mathematical Economics* (4th ed.). McGraw-Hill.

Countrymeters. (2026, 14 квітня). *Лічильник населення світу в реальному часі*. http://countrymeters.info/ru/World

Craighead, L., & Convis, C. L. (Eds.). (2013). *Conservation Planning*. Esri Press.

De Lange, N. (2023). *Geoinformatics*. Springer.

DeMers, M. N. (1997). *Fundamentals of Geographic Information Systems*. John Wiley & Sons.

Doan, A., Halevy, A., & Ives, Z. (2012). *Principles of Data Integration*. Morgan Kaufmann.

Draper, N. R., & Smith, H. (1998). *Applied Regression Analysis* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Duckham, M. (2013). *Decentralized Spatial Computing*. Springer.

Dunn, W. C. (2018). *Fundamentals of Industrial Instrumentation and Process Control* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.

Ehlers, M., Edwards, G., & Bedard, Y. (1989). Integration of remote sensing with geographic information system. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 55(11), 1619–1627.

Ehlers, M., Greenlee, D., Smith, T., et al. (1991). Integration of remote sensing and GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(6), 669–675.

Engl, H. W., Hanke, M., & Neubauer, A. (1996). *Regularization of Inverse Problems*. Kluwer Academic Publishers.

European Information Technology Observatory (EITO). (2025). *ICT Market Analysis and Forecasts for Europe*.

Forrester, J. W. (1969). *Urban Dynamics*. Pegasus Communications.

Free Software Foundation. (2026, 10 квітня). *GNU General Public License*. https://www.gnu.org/licenses/gpl-3.0.html

Friedman, T., Beyer, M. A., & Bitterer, A. (2008). *Magic Quadrant for Data Integration Tools*. Gartner.

Fu, P. (2022). *Getting to Know Web GIS* (5th ed.). Esri Press.

Fu, P., & Sun, J. (2010). *Web GIS: Principles and Applications*. Esri Press.

Gao, J. (2001). Non-differential GPS as an alternative source... *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 67(1), 49–55.

Gartner. (2025). *Forecast: IT Spending, Worldwide, 2024–2026*. Gartner Research.

Gergel, S. E., & Turner, M. G. (2017). *Learning Landscape Ecology* (2nd ed.). Springer.

GIS-Lab. (2026, 10 квітня). *Open Source GIS*. http://gis-lab.info/qa/os-gis.html

Golub, G. H., & Van Loan, C. F. (2013). *Matrix Computations* (4th ed.). Johns Hopkins University Press.

Green, D. R. (2011). *GIS: A Visual Approach* (2nd ed.). Routledge.

Greene, W. H. (2017). *Econometric Analysis* (8th ed.). Pearson.

Grimshaw, D. J. (1999). *Bringing Geographical Information Systems into Business* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Haack, B., Wolf, J., & English, R. (1998). Remote sensing change detection of irrigated agriculture in Afghanistan. *Geocarto International*, 13(2), 65–76.

Hall, A. D., & Fagen, R. E. (1956). Definition of System. *General Systems*, 1, 18–28.

Hanrahan, H., Gartner, N. H., & Reiss, R. A. (Eds.). (1999). *Intelligence in Services and Networks*. Springer-Verlag.

Hastie, T., Tibshirani, R., & Friedman, J. (2009). *The Elements of Statistical Learning* (2nd ed.). Springer.

Heywood, I., Cornelius, S., & Carver, S. (2011). *An Introduction to Geographical Information Systems* (4th ed.). Pearson.

Holst, G. C., & Lomheim, T. S. (2011). *CMOS/CCD Sensors and Camera Systems* (2nd ed.). SPIE Press.

Huxhold, W. E. (1991). *An Introduction to Urban Information Systems*. Oxford University Press.

Isermann, R. (2011). *Fault-Diagnosis Applications*. Springer.

Jackson, W. B., Jared, D. A., Basu, S., & Biegelsen, D. K. (1998). *Position sensitive detector...* (U.S. Patent No. 5,754,690).

Jensen, J. R. (2015). *Introductory Digital Image Processing* (4th ed.). Pearson.

Kahneman, D. (2011). *Thinking, fast and slow*. Farrar, Straus and Giroux.

Klir, G. J. (2001). *Facets of Systems Science* (2nd ed.). Springer.

Kossiakoff, A., Sweet, W. N., Seymour, S. J., & Biemer, S. M. (2020). *Systems Engineering Principles and Practice* (3rd ed.). Wiley.

Kraak, M. J., & Ormeling, F. (2020). *Cartography* (4th ed.). Routledge.

Lachapelle, G., Cannon, M. E., Penney, D. C., et al. (1996). GIS/GPS facilitates precision farming. *GIS World*, 9(7), 54–56.

Liang, S., & Wang, J. (2019). *Advanced Remote Sensing* (2nd ed.). Academic Press.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographic Information Systems and Science* (4th ed.). Wiley.

Lunetta, R. S., Congalton, R. G., Fenstermaker, L. K., et al. (1991). Remote sensing and geographic information system data integration. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57(6), 677–687.

Machol, R. E. (1965). *System Engineering Handbook*. McGraw-Hill.

Madala, H. R., & Ivakhnenko, A. G. (1994). *Inductive Learning Algorithms for Complex Systems Modeling*. CRC Press.

Malecki, E. J. (1997). *Making Connections*. Ashgate.

MapServer. (2026, 10 квітня). *Open source platform*. http://www.mapserver.org/

McCann, P. (2013). *Modern Urban and Regional Economics* (2nd ed.). Oxford University Press.

McCormick, C. M. (1999). Mapping exotic vegetation in the Everglades... *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65(2), 179–184.

McGuire, B., Mason, I., & Kilburn, C. (2002). *Natural Hazards and Environmental Change*. Routledge.

Meadows, D. H. (2008). *Thinking in Systems*. Chelsea Green Publishing.

Mendlovic, D., Zalevsky, Z., Konforti, N., et al. (2002). *Super-resolving imaging system* (U.S. Patent No. 6,344,893).

Mesarovic, M. D., & Takahara, Y. (1989). *Abstract Systems Theory*. Springer-Verlag.

Miller, H. J., & Shaw, S.-L. (2001). *Geographic Information Systems for Transportation*. Oxford University Press.

Mitchell, A. (1999). *The ESRI Guide to GIS Analysis*. Esri Press.

Monday, H. M., Urban, J. S., Mulawa, D., et al. (1994). City of Irving utilizes high resolution multispectral imagery... *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 60(4), 411–416.

Montgomery, D. C., Peck, E. A., & Vining, G. G. (2021). *Introduction to Linear Regression Analysis* (6th ed.). Wiley.

Open Geospatial Consortium. (2026, 10 квітня). *OGC Standards*. https://www.ogc.org/standards

Open Source Initiative. (2026, 10 квітня). *Official website*. https://opensource.org/

OpenGeo Suite. (2026, 10 квітня). *OpenGeo Suite Factsheet*. http://opengeo.org/products/suite/pricing/factsheet_v8.pdf

Pick, J. B. (2008). *Geo-Business*. Wiley.

Pick, J. B. (2023). *The Wiley Blackwell Companion to Regional Revenue Analysis...* Wiley.

Plowright, A. (2022). *GIS for Environmental Management*. Routledge.

Pontryagin, L. S., Boltyanskii, V. G., Gamkrelidze, R. V., & Mishchenko, E. F. (1962). *The Mathematical Theory of Optimal Processes*. Interscience Publishers.

Porter, M. E. (1990). *The Competitive Advantage of Nations*. Free Press.

Porter, M. E. (1998). *On Competition*. Harvard Business School.

Power, D. J. (2002). *Decision Support Systems*. Quorum Books.

Rajabifard, A., & Williamson, I. P. (2001). *Spatial data infrastructure concepts: From local to global levels.* Proceedings of the 22nd AARSE Conference.

Rigaux, P., Scholl, M., & Voisard, A. (2002). *Spatial Databases*. Morgan Kaufmann.

Rosas-Chavoya, M., López-Sánchez, M. A., & Díaz-Viera, M. A. (2022). Evolution of QGIS as a tool for geospatial analysis: A bibliometric review (2005–2020). *ISPRS International Journal of Geo-Information, 11*(11), 534.

Runyon, T., Hammitt, R., & Lindquist, R. (1994). Buried danger: Integrating GIS and GPS... *Geo Info Systems*, 4(8), 28–36.

Seber, G. A. F., & Lee, A. J. (2003). *Linear Regression Analysis* (2nd ed.). Wiley-Interscience.

Shannon, R. E. (1975). *Systems Simulation*. Prentice-Hall.

Shekhar, S., Xiong, H., & Zhou, S. (Eds.). (2017). *Encyclopedia of GIS* (2nd ed.). Springer.

Shiba, H. (2002). *Image registration method...* (U.S. Patent No. 6,434,279).

Slocum, T. A., McMaster, R. B., Kessler, F. C., & Howard, H. H. (2022). *Thematic Cartography and Geovisualization* (4th ed.). CRC Press.

Smith, A. (1998). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of Nations*. Oxford University Press.

Smith, M. J., Goodchild, M. F., & Longley, P. A. (2018). *Geospatial Analysis* (6th ed.). Winchelsea Press.

Steiniger, S., & Hunter, A. J. S. (2013). The 2012 Free and Open Source GIS Software Map. *Source Code for Biology and Medicine*, 8(1), 15.

Sterman, J. D. (2000). *Business Dynamics*. McGraw-Hill.

Stimson, R. J., Stough, R. R., & Roberts, B. H. (2006). *Regional Economic Development* (2nd ed.). Springer.

Sugumaran, R., & Degroote, J. (2010). *Spatial Decision Support Systems*. CRC Press.

Swindell, J. (1995). A rich harvest: Integrating GPS and GIS on the farm. *Mapping Awareness*, 9(1), 32–35.

Tikhonov, A. N., & Arsenin, V. Y. (1977). *Solutions of Ill-Posed Problems*. Winston & Sons.

Tkeitz, P. M., Howarth, P. J., & Gong, P. (1992). Application of satellite and GIS technologies... *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58(4), 439–448.

Toth, C., & Jozkow, G. (2015). *Remote Sensing Handbook*. CRC Press.

United Nations Environment Programme. (2002). *Global Environment Outlook 3 (GEO-3)*. Earthscan.

Usery, E. L., S. Pocknee, & B. Boydell. (1995). Precision farming data management using GIS. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(11), 1383–1391.

Waslowski, K., & Merettig, G. (2007). *Opto-electronic device...* (European Patent No. 1 821 120).

Welch, R., Remillard, M., & Doren, R. F. (1995). GIS database development for south Florida's national parks... *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 61(11), 1371–1381.

Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2021). *Engineering Psychology and Human Performance* (5th ed.). Routledge.

Williamson, I., Enemark, S., Wallace, J., & Rajabifard, A. (2010). *Land Administration for Sustainable Development*. ESRI Press.

Worboys, M., & Duckham, M. (2004). *GIS: A Computing Perspective* (2nd ed.). CRC Press.

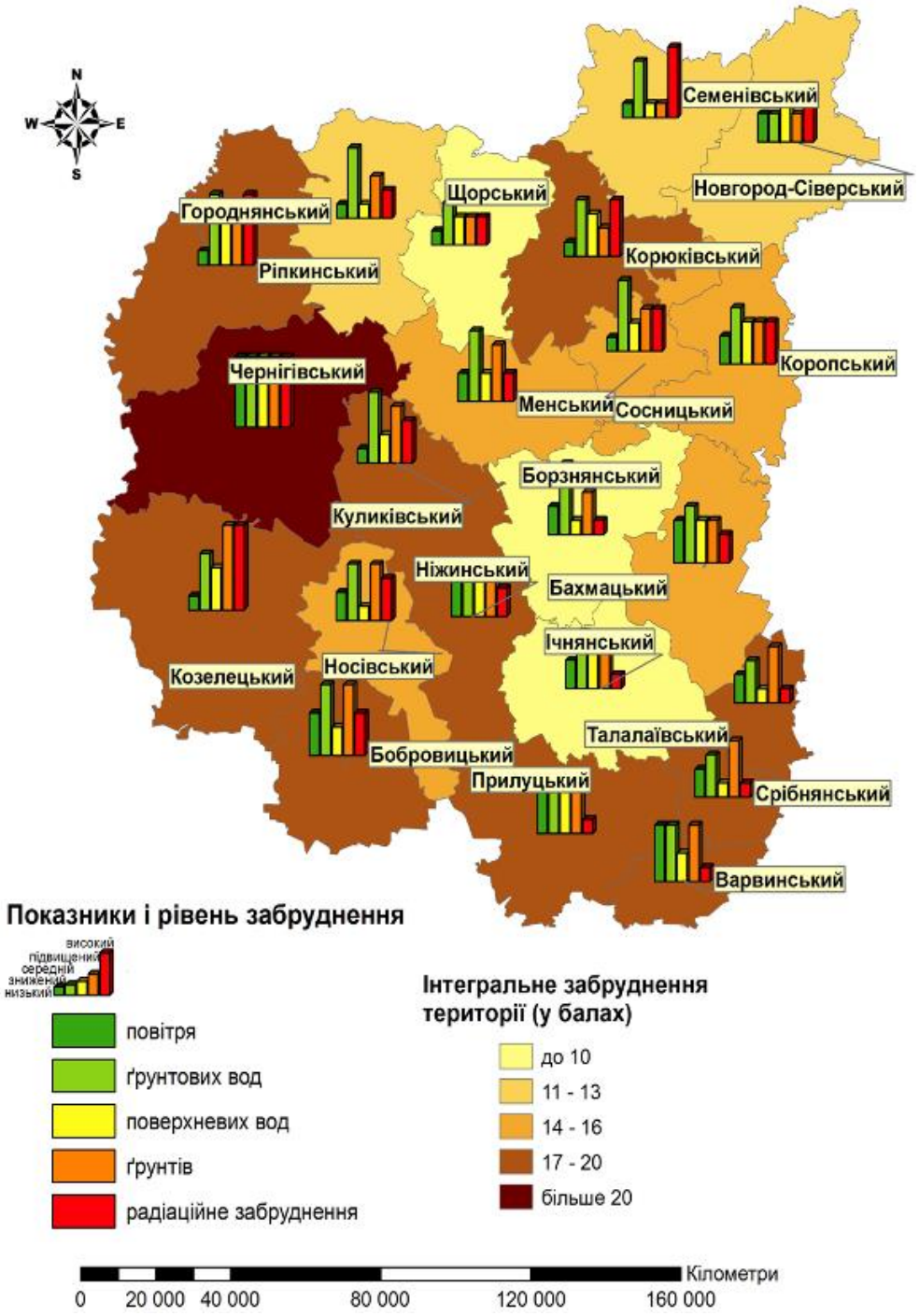
World Commission on Environment and Development. (1987). *Our Common Future*. Oxford University Press.

Zadeh, L. A. (1996). *Fuzzy Sets, Fuzzy Logic, and Fuzzy Systems*. World Scientific.

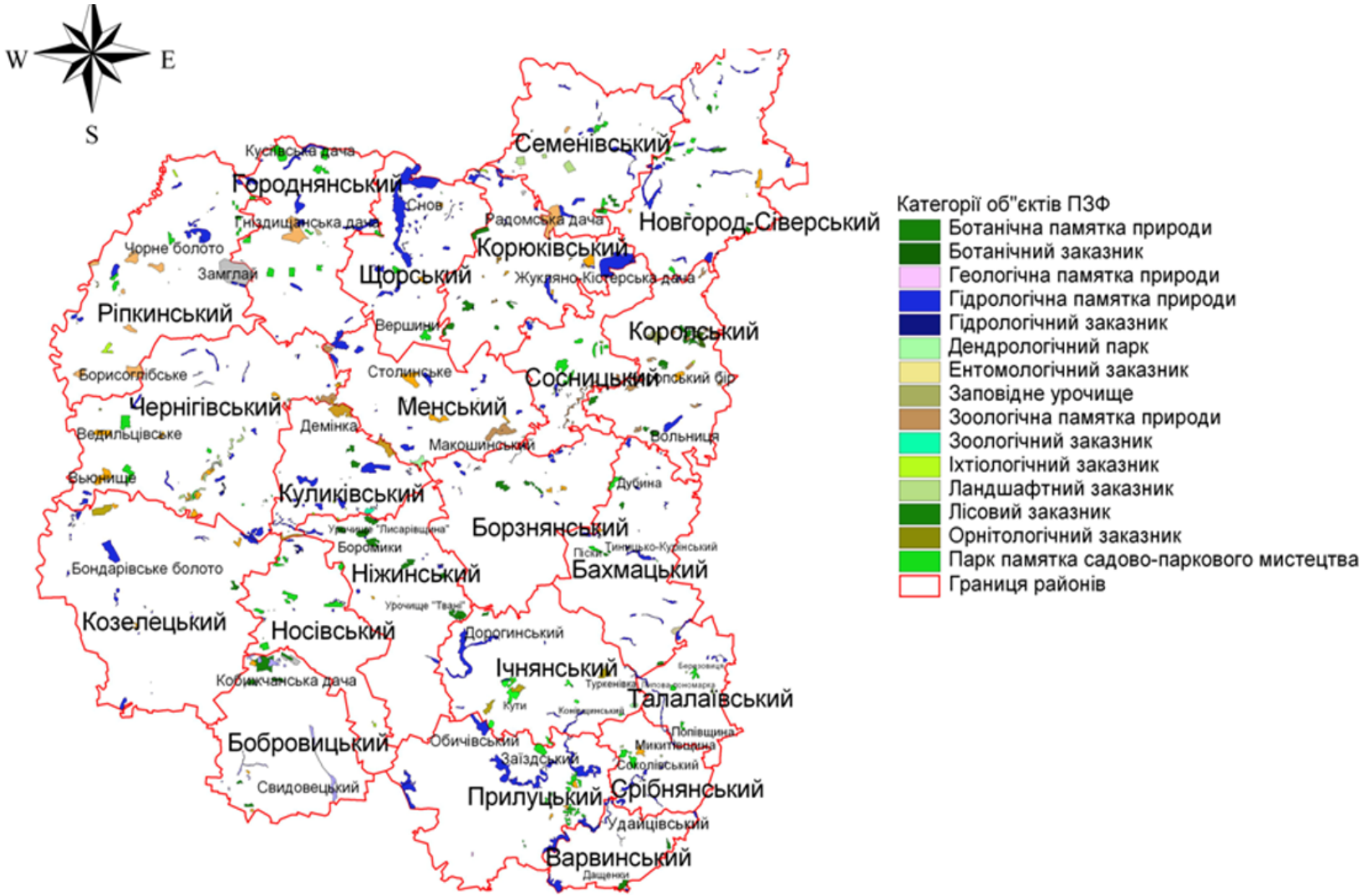
Zeiler, M. (2010). *Modeling Our World: The Esri Guide to Geodatabase Design* (2nd ed.). Esri Press.

Zevenbergen, J., Augustinus, C., & Haile, S. (2007). *Design of Transitional Land Information Systems*. UN-HABITAT.

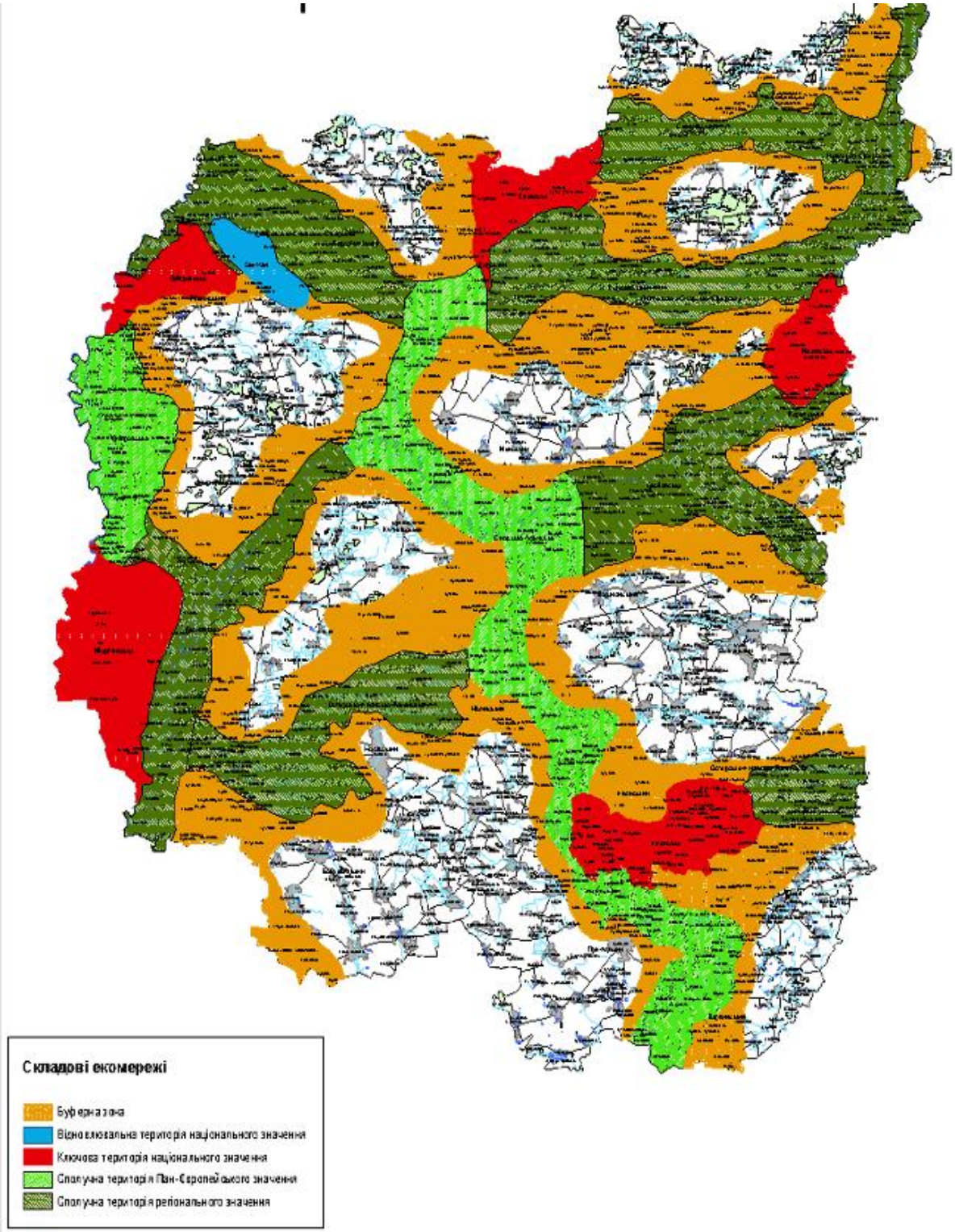
ДОДАТКИ



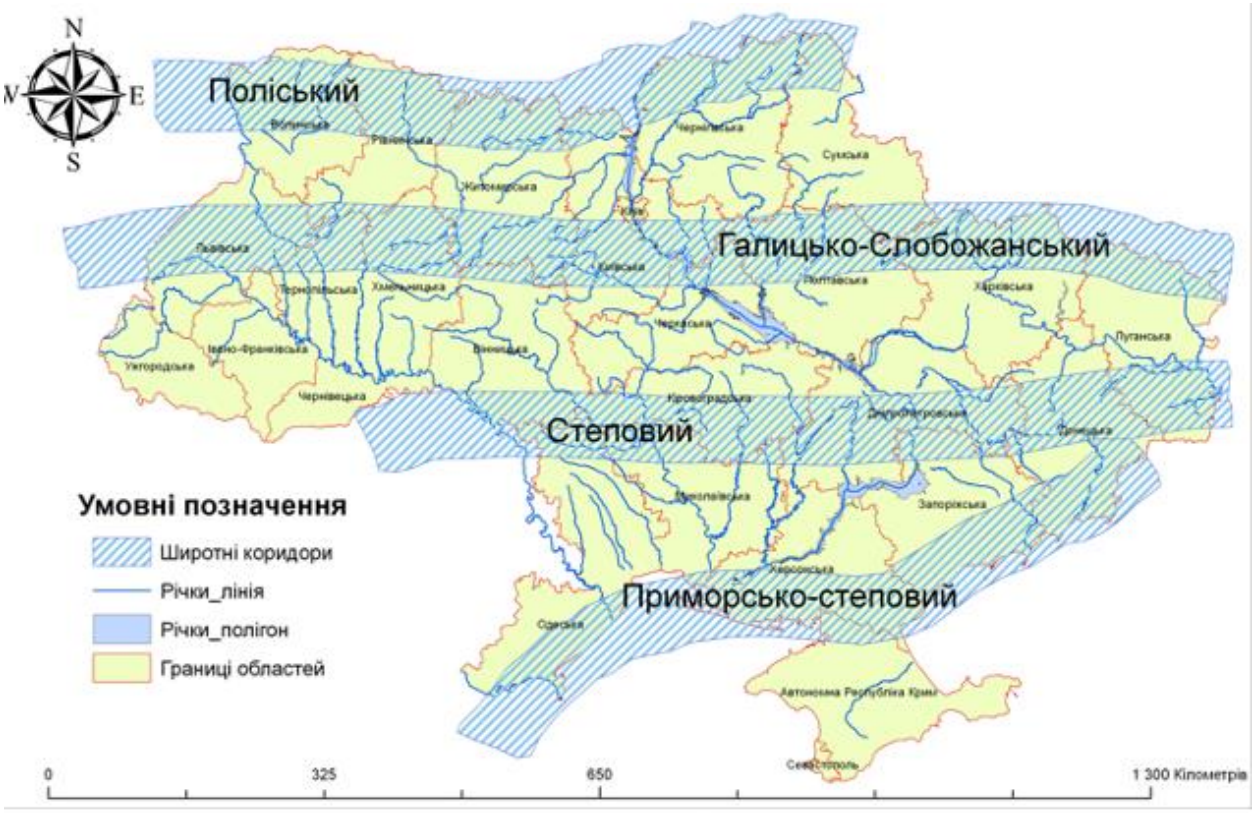
Додаток А.1. *Екологічна ситуація Чернігівської області*



Додаток А.2. *Чернігівська область. Об'єкти ПЗФ*



Додаток А.3. *Екологічна мережа Чернігівської області*



Додаток А.4. *Карта широтних коридорів екологічної мережі України*

Додаток А.5. *Карта меридіанальних коридорів екологічної мережі України*

УДК 004.9:[353:911.3] (477) ББК 26.17 + 65.04

Рекомендовано до друку Вченою радою ННІ «Інститут геології» Київського національного університету імені Тараса Шевченка (протокол № 11 від 15.04.2026 р.)

Рецензенти:
Директор Інституту геодезії НУ Львівська політехніка д.т.н., професор **Савчин І.Р.**
Головний науковий співробітник відділу геоінформаційних технологій у дистанційному зондуванні Землі Державної установи «Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України», д.т.н., старший науковий співробітник **Станкевич С.А.**
Старший науковий співробітник відділу спеціальної металогенії Державної установи "Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України" д.т.н., старший науковий співробітник **Дудар Т. В.**

Зацерковний В.І., Ляшенко Д.О. Геоінформаційні системи в управлінні територіями: монографія. – 460 с.

У монографії викладено концептуальні та методологічні засади проектування і реалізації спеціалізованих підсистем геоінформаційних систем (ГІС) для потреб ефективного управління територіями. Обґрунтовано необхідність переходу від статичних баз даних до динамічних інструментів підтримки прийняття управлінських рішень.
Розкрито підходи до побудови архітектури підсистем ГІС, орієнтованих на регіональний рівень управління, та наведено прикладні моделі геопросторового аналізу об’єктів управління. Особливу увагу приділено методам інтеграції просторових даних, моделюванню сценаріїв розвитку територій та забезпеченню інформаційної взаємодії між різними рівнями муніципального та регіонального адміністрування.
Матеріали монографії мають теоретичне та прикладне значення, що робить їх корисними для науковців, аспірантів, фахівців у сфері геоматики, а також для державних службовців і управлінців, які формують стратегію розвитку громад. Використаний довідковий апарат дозволяє читачеві здійснити поглиблене вивчення представленої проблематики на прикладі кращих світових практик. бути корисною для науковців, аспірантів, фахівців у сфері геоматики, а також для державних службовців і управлінців, які формують стратегію розвитку громад. Використаний довідковий апарат дозволяє читачеві здійснити поглиблене вивчення представленої проблематики на прикладі кращих світових практик.

© В. Зацерковний, Д. Ляшенко, 2026 © ННІ «Інститут геології» КНУ імені Тараса Шевченка, 2026
Обкладинка: ілюстрація створена з використанням нейромережі Gemini (Google) за запитом Д. Ляшенко. Дизайн та верстка: Д. Ляшенко.

Підписано до друку: 15.04.2026 Формат 60x84/16.

ЗАЦЕРКОВНИЙ ВІТАЛІЙ ІВАНОВИЧ - доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри геоінформатики ННІ "Інститут геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сфери наукових інтересів: геоінформаційні системи і технології, моделювання в ГІС, дистанційне зондування Землі, системний аналіз. Автор понад 350 наукових і методичних праць, серед яких 9 монографій, 5 навчальних посібників, 1 підручник, 14 патентів.
e-mail: vitalii.zatserkovnyi@gmail.com

ЛЯШЕНКО ДМИТРО ОЛЕКСІЙОВИЧ - доктор географічних наук, професор, професор кафедри геоінформатики ННІ "Інститут
геології Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Сфера наукових інтересів: геодезія, топографія, картографія, геоінформаційні системи і технології, дистанційне зондування Землі. Брав участь в створенні Національного атласу України. Автор понад 250 наукових і методичних праць, серед яких 3 атласи, 3 монографії, 7 навчальних видань.
e-mail: uageog@gmail.com