

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

Н. Ю. Лазоренко, Д. О. Кінь

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ

Конспект лекцій
для здобувачів другого (магістерського)
рівня вищої освіти за спеціальністю
193 «Геодезія та землеустрій»

Київ 2024

УДК 528.88
Л17

Рецензент Ю.О. Карпінський, д-р техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри геоінформатики і
фотограмметрії, протокол № 2 від 28 серпня 2024 року.*

В авторській редакції.

Лазоренко Н.Ю.

Л17 Геоінформаційний моніторинг [Електронний ресурс]: конспект
лекцій /Н. Ю. Лазоренко, Д. О. Кінь. – Київ : КНУБА, 2024. – 87 с.

Розглянуто основні принципи та засади ведення геоінформаційного моніторингу навколишнього природного середовища і техногенних об'єктів та явищ різного територіального охоплення. Основну увагу приділено використанню геоінформаційних систем (ГІС) та дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для оцінки стану і змін навколишнього природного і антропогенного середовищ, управління природними ресурсами та прогнозування екологічних змін.

Призначено для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій».

УДК 528.88

© Н.Ю. Лазоренко,
Д.О. Кінь, 2024
© КНУБА, 2024

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ЛЕКЦІЯ 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МОНІТОРИНГОВИХ СИСТЕМ. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ	6
1.1. Основні поняття моніторингу	6
1.2. Класифікація моніторингових систем. Загальні принципи та методи моніторингу	7
1.3. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних	8
ЛЕКЦІЯ 2. НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РІЗНИХ ОБ’ЄКТІВ І СЕРЕДОВИЩ НА РІЗНИХ РІВНЯХ	12
2.1. Аналіз нормативно-правового забезпечення для ведення геоінформаційного моніторингу різних об’єктів і середовищ на різних рівнях	12
2.2. Використання серії міжнародних стандартів ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика», OGS, INSPIRE, стандартів України під час вирішення моніторингових завдань	17
ЛЕКЦІЯ 3. ОНТОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ	23
3.1. Основні поняття моніторингу природних комплексів. Зв’язок моніторингу природних комплексів з державними кадастрами і реєстрами	23
3.2. Стан, зміст і тенденції розвитку міжнародних проектів моніторингу природних комплексів	27
ЛЕКЦІЯ 4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ В ОБ’ЄКТНО-РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ	32
4.1. Концептуальна структурна та функціональна модель ГІС-моніторингу природних комплексів	32
4.2. Розроблення каталогу об’єктів і атрибутів природних комплексів та мереж спостереження.....	34
4.4. Дослідна реалізація бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів на прикладі Київської області.....	37
ЛЕКЦІЯ 5. МЕТОДИКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ СТРУКТУРИ МЕРЕЖ ОБ’ЄКТІВ І СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ПРИРОДНИМИ КОМПЛЕКСАМИ	40

5.1. Аналіз структури мережі постів моніторингу атмосферного повітря засобами геоінформаційного аналізу.	40
5.2. Геоінформаційний аналіз просторового розподілу пунктів у мережі моніторингу поверхневих вод.....	45
5.3. Геоінформаційний аналіз структури мережі агроекологічного моніторингу ґрунтів.....	47
ЛЕКЦІЯ 6. ГЕОСТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗАСОБАМИ ГІС	50
6.1. Загальна характеристика геостатистичних методів і моделей в аналізі компонентів природних комплексів.....	50
6.3. Дослідження вхідних статистичних даних моніторингу компонентів природних комплексів	53
6.4. Попереднє оброблення даних моніторингу ґрунтів і поверхневих вод, та застосування методів перетворення для їх трансформування.....	59
6.5. Застосування геостатистичних методів для аналізу стану і змін у компонентах природних комплексів на прикладі ґрунту і поверхневих вод ...	61
ЛЕКЦІЯ 7. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ І ҐРУНТІВ	65
ЛЕКЦІЯ 8. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ	69
8.1. Методи дослідження урбанізованих територій.....	69
8.2. Геопросторово-ретроспективний аналіз розвитку урбанізованих територій.....	70
ЛЕКЦІЯ 9. МОНІТОРИНГ СТАНУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ ДЗЗ	72
ЛЕКЦІЯ 10. ТОПОГРАФІЧНИЙ МОНІТОРИНГ МІСЦЕВОСТІ	74
10.1. Структура та функції ГІС топографічного моніторингу місцевості.....	74
10.2 Основні принципи створення системи топографічного моніторингу.	75
10.3 Класифікація видів топографічного моніторингу.....	76
10.4. Загальна структура організації системи державного топографічного моніторингу.....	78
СПИСОК ДЖЕРЕЛ	81

ВСТУП

Конспект лекцій підготовлено відповідно до розділів програми з навчальної дисципліни «Геоінформаційний моніторинг» освітньо-професійної програми КНУБА з підготовки здобувачів вищої освіти на другому (магістерському) рівні за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій» спеціалізації «Геоінформаційні системи і технології».

До основних дисциплін, що сприятимуть засвоєнню завдань та змісту робіт з розроблення систем геоінформаційного моніторингу, є освітні компоненти першого бакалаврського освітнього рівня: «Вступ до фаху», «Інформатика і програмування», «Основи геоінформатики», «Практикум з ГІС», «Основи фотограмметрії», «Організація геодезичного виробництва», «Інструментальні ГІС», «Інфраструктура просторових даних» а також другого магістерського освітнього рівня: «Бази геопросторових даних» та «Дистанційне зондування землі».

У результаті вивчення дисципліни здобувачі набудуть компетенцій, необхідних для проведення комплексного геоінформаційного аналізу та прийняття обґрунтованих рішень у сфері екологічного менеджменту та планування територій.

Метою цього конспекту лекцій є формування у здобувачів вищої освіти компетентностей у сфері геоінформаційного моніторингу, використання геоінформаційних систем, баз геопросторових даних, методів дистанційного зондування землі ДЗЗ, геоінформаційного аналізу та моделювання для ведення геоінформаційного моніторингу.

Здобувачі знатимуть принципи географічного підходу щодо вивчення об'єктів, процесів і явищ реального світу з урахуванням цілісності геосистеми та взаємодії об'єктів у просторі і часі; вмітимуть застосовувати знання баз геопросторових даних, ДЗЗ та інструментальних ГІС для роботи з геопросторовими даними, виконувати просторовий аналіз та моделювати для виконання завдань геоінформаційного моніторингу.

Конспект складається з 10 тем, які є матеріалами для 10 лекцій освітньої компоненти.

Лекція 1. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ МОНІТОРИНГОВИХ СИСТЕМ. ЗАГАЛЬНІ ПРИНЦИПИ ТА МЕТОДИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ

1.1. Основні поняття моніторингу

Зростання техногенного навантаження на навколишнє природне середовище зумовлює необхідність підвищення рівня екологічної безпеки на основі формування постійно діючих моніторингових систем за його складовими. Інформація про стан довкілля і тенденції його змін є основою розроблення заходів з охорони природи, важливим джерелом тематичних даних для національної інфраструктури геопросторових даних, ведення державних кадастрів, землеустрою, проведення грошової оцінки земель і загалом для процесу планування розвитку економіки. Розв'язання різноманітних екологічних проблем, оцінювання кількісних та якісних показників впливів на навколишнє природне середовище, створення систем комплексного оцінювання, моделювання і прогнозування розвитку екологічного стану сьогодні неможливе без використання сучасних комп'ютерних інформаційних інструментів, одним з яких є геоінформаційні технології.

В широкому розумінні слово **«моніторинг»** – це процедури спостереження змін в найрізноманітніших процесах та явищах. Походить термін від латинського слова *monito* – *той що нагадує, попереджає*. Світове поширення термін «моніторинг» отримав за результатами робіт над програмою ЮНЕСКО «М&В – Людина та біосфера», а також програми ООН «Захист та охорона навколишнього середовища» для позначення системи регулярних довготривалих спостережень в просторі та часі з метою отримання інформації про стан навколишнього природного середовища. Обговорення цих програм проводилося на конференціях ЮНЕСКО (Париж, 1968) та ООН (Стокгольм, 1972).

Термін «моніторинг» – один з небагатьох серед множини запозичених термінів, вживання якого в українській мові є цілком доцільним з погляду на підбір іншого україномовного слова, яке було б еквівалентним за змістом та обсягу поняття, що визначає термін «моніторинг».

1.2. Класифікація моніторингових систем. Загальні принципи та методи моніторингу

Поділ моніторингових систем на види може проводитися перш за все за середовищами спостереження – атмосфера (атмосферне повітря), гідросфера (поверхневі води, підземні води), земля (грунт, надра), кріосфера, біота (рослинний і тваринний світи) тощо. Крім того системи можна класифікувати на окремі види за такими ознаками: за методами збирання, за методами оброблення моніторингових даних, за територією, за факторами і джерелами впливу, за основними складовими біосфери, за періодичністю спостережень; за виявленням процесів; за системним підходом, за призначенням.

До основних методів отримання необхідної вихідної інформації під час здійснення моніторингу навколишнього природного середовища відносять: дистанційне зондування Землі (ДЗЗ); контактні: фізичний, хімічний, біологічний, геодезичний, сучасний ретроспективний аналіз даних, одержаних у ході інвентаризації земель, перевірок, обстежень, контрольно-ревізійної роботи.

Для оброблення даних моніторингу використовують наступні методи:

- *геоінформаційний*: дає можливість за допомогою сукупності технічних, програмних та організаційних засобів збирання, зберігання, математичного оброблення, редагування даних про стан об'єктів довкілля і вирішувати екологічні завдання;

- *балансовий метод*: дає змогу зіставляти наявність природних ресурсів та їх ступінь використання;

- *порівняльний метод*: дає змогу вивчати об'єкти шляхом їх порівняння з іншими;

- *картографічний метод* – це метод застосування карт для пізнання зображених на них явищ; цей метод забезпечує спосіб переходу від інформації спостережень (картографічне зображення) до вихідної інформації (результат дослідження).

- *статистичний метод*: дає змогу отримувати, опрацьовувати й аналізувати первинні статистичні матеріали засобами оброблення варіаційних рядів з визначенням математичного очікування, дисперсії, середнього квадратичного відхилення, отримання інтенсивних та екстенсивних показників для порівняння тощо;

– *метод дистанційного зондування* – це метод одержання інформації про різні об’єкти і динамічні процеси та явища на поверхні Землі, в її надрах та атмосфері за допомогою реєстрації відбитого чи власного електромагнітного випромінювання на відстані, без безпосереднього контакту. Реєстрацію здійснюють за допомогою технічних засобів, установлених на повітряних або космічних носіях. Методи ДЗЗ із космосу характеризуються високою оглядовістю, регулярністю знімань досліджуваних об’єктів, можливістю одночасно отримувати інформацію про великі території; переходити від дискретного набору значень певних показників в окремих пунктах до безперервної картини просторового розподілу цих показників на всій території; одержувати оперативну й об’єктивну інформацію про важкодоступні райони. Ці переваги найбільш відчутні у сфері глобального моніторингу планети та національного моніторингу держав, що мають значні території, де оглядовість матеріалів і генералізація інформації відіграють істотну роль. Однак і для потреб регіонального моніторингу методи ДЗЗ можуть успішно застосовуватися для вирішення конкретних завдань, доповнюючи дані контактних способів вимірювань, а в деяких випадках навіть перевершуючи їх за інформативністю.

1.3. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних

Геоінформатика є однією із сучасних прикладних наук, що суттєво впливає на діяльність у багатьох сферах, які пов’язані з вивченням Землі, її природних ресурсів, навколишнього середовища, соціально-економічних процесів та інших об’єктів і явищ, для яких важливі просторові властивості та просторова взаємодія об’єктів. Її застосування в багатьох прикладних сферах позначається виникненням нових понять, що пов’язані з ознакою “геоінформаційний”, зокрема геоінформаційні системи, геоінформаційне картографування, геоінформаційний моніторинг тощо. Цю ознаку найчастіше розглядають як суто технологічну, що вказує на нове інформаційно-технологічне середовище ведення традиційної діяльності в певній предметній сфері. Але завзичай це лише один аспект упровадження нової технології. Нерідко воно супроводжується не тільки зміною методів і засобів, а й розширенням змісту та зміною парадигми діяльності. Виявити та зафіксувати такі зміни можна на основі онтологічного підходу до концептуалізації певної

предметної сфери *до* та *після* впровадження нової технології спостережень одного чи більше елементів навколишнього природного середовища у просторі й часі з певними цілями відповідно до завчасно підготовленої програми [28].

Геоінформаційний моніторинг – це технологія та автоматизована система планування й проведення моніторингу на основі інтегрування даних з різних джерел, моделювання, оцінювання та прогнозування стану об'єктів моніторингу в середовищі геоінформаційних систем із застосуванням баз геопросторових даних і баз знань. Цьому визначенню відповідає узагальнений граф онтології геоінформаційного моніторингу. ГМ є підвидом моніторингових систем, а отже, успадковує від них усі їхні загальні властивості, цілі, призначення, методичне забезпечення організації мережі спостереження тощо, але має також притаманні тільки йому властивості та методи.

В узагальненій класифікаційній схемі видів моніторингових систем геоінформаційний моніторинг входить у групу «За технологіями та методами оброблення даних». Застосовані п'ять груп ознак для типології моніторингових систем довікля утворюють незалежний базис їх класифікації. Тому можна говорити про геоінформаційний моніторинг різних середовищ (об'єктів), різного територіального охоплення, різного призначення з використанням різних методів й технологій спостереження. Але варто наголосити на ключовій відмінності ГМ від інших моніторингів відповідної класифікаційної групи, зокрема, традиційних статистичного та картографічного. По-перше, завдяки ГІС геоінформаційний моніторинг забезпечує інтегрування просторово-часових даних з різних джерел в єдиному координатному просторі, а, по-друге, дає змогу вирішити одну з основних проблем моніторингу природних ресурсів та довікля, а саме: забезпечити перехід від інформації в точках (об'єктах чи пунктах мережі спостереження) до узагальненої інформації у просторі та часі на основі баз геопросторових даних (БГД) і усього арсеналу математичних методів геопросторового аналізу, геовізуалізації та баз знань, в яких подається формалізований опис причинно-наслідкових відношень між об'єктами і явищами довікля [28].

Компонента баз геопросторових даних відіграє основну і вирішальну роль у сучасній архітектурі геоінформаційних систем та концепції геоінформаційного моніторингу. Орієнтований на бази даних підхід дає можливість істотно підвищити ефективність використання геопросторової

інформації в системах підтримки прийняття рішень порівняно з традиційним ГІС-центричним підходом [28].

Використання універсальних ОР СКБД для створення БГД забезпечує для геопросторових даних усі властивості, притаманні системам баз даних, а саме: незалежність даних від конкретних програмних ГІС-платформ, централізоване керування даними; дотримання стандартів; безпеку та цілісність даних; мультидоступ до даних; розподілене спільне використання даних; адміністрування та регламентування доступу; реплікацію даних тощо. БГД, на відміну від баз картографічних даних, не залежать за складом об'єктів, їх структурою, складом атрибутів, точністю та просторовим розрізненням від масштабу карти. Вміст, логічна структура та усі інші властивості БГД визначаються лише вимогами прикладного застосування. Концепція мультимасштабності карт змінюється мультирепрезентативністю подання об'єктів у БГД або їх автоматичною генералізацією під час формування геообразень.

У базі знань ГМ можна виділити базу географічних та базу картографічних знань. База географічних знань є важливою складовою не тільки ГМ, а й геопросторового аналізу та ГІС загалом. Вона містить метадані логічної схеми БГД, каталог класів об'єктів з їх відношеннями, атрибутами, правилами доменної, посиляльної та просторово-топологічної цілісності БГД, правилами причинно-наслідкових відношень між об'єктами, функціональними залежностями між первинними і похідними властивостями об'єктів моніторингу та їх програмну реалізацію на рівні вбудованих SQL-процедур постійного зберігання. У базі географічних знань визначаються та формально описуються технологічні ланцюжки оброблення даних моніторингу з використанням базових та спеціальних методів геопросторового аналізу і геообчислень, що постачаються в складі інструментальних ГІС та просторових розширень універсальних ОР СКБД [28].

База картографічних знань містить проекти еталонів тематичних карт, правила вибірки об'єктів і атрибутів із БГД для тематичного картографування, методи і правила класифікації об'єктів за тематичними змінними, правила формування легенди за загальною схемою «код умовного позначення = код класу + значення атрибутів + контекст тематичної карти», правила генералізації тощо.

Розглянута онтологічна модель геоінформаційного моніторингу охоплює саму сутність моніторингових ГІС та вказує напрями інтелектуалізації й пошуку нових методів планування й проведення моніторингу.

Можна стверджувати, що сфера баз геопросторових даних – одна із найдинамічніших областей в технології систем баз даних та ГІС останнього десятиліття. Цьому є кілька причин, але передусім це бурхливий розвиток геоінформаційних технологій та їх застосування у моніторингових системах різного призначення й територіального охоплення, яке супроводжується накопиченням великих масивів геопросторових даних, що потребують засобів надійного зберігання, постійного оновлення та спільного використання в інформаційних системах прийняття управлінських рішень з охорони довкілля та раціонального використання природних ресурсів.

Геоінформаційний моніторинг на основі БГД вносить новий аспект у парадигму моніторингової діяльності – формування формалізованих географічних та картографічних знань, які дають змогу вводити в процес використання геопросторових даних та результатів моніторингу довкілля мільйони споживачів у глобальному інформаційному просторі, а також забезпечити високий рівень незалежності зв'язаних з ними наукоємних інформаційних та програмних засобів від форматів і середовища інструментальних ГІС.

Контрольні запитання

1. Що таке моніторинг?
2. Наведіть приклади моніторингових систем.
3. Яка існує класифікація моніторингових систем?
4. Які є компоненти геоінформаційного моніторингу?
5. Назвіть загальні принципи та методи моніторингу.

Лекція 2. НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І СТАНДАРТИЗАЦІЯ ДЛЯ ВЕДЕННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО МОНІТОРИНГУ РІЗНИХ ОБ'ЄКТІВ І СЕРЕДОВИЩ НА РІЗНИХ РІВНЯХ

2.1. Аналіз нормативно-правового забезпечення для ведення геоінформаційного моніторингу різних об'єктів і середовищ на різних рівнях

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України. З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів [23]. Першими кроками держави у сфері захисту навколишнього природного середовища було проголошення Верховною Радою України в 1991 році нашої держави зоною екологічного лиха, прийняття закону України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26.06.1991 року, №41, ст. 547, створення Міністерства охорони навколишнього природного середовища України, розроблення Академією наук концепції єдиної системи екологічного моніторингу України (СЕМ «Україна»). Так було створено нормативну та організаційну базу проведення екологічної політики.

Моніторинг навколишнього природного середовища регулюють наступні нормативно-правові акти: Земельний кодекс України; Водний кодекс України; Кодекс України про надра; Лісовий кодекс України; Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 26.06.1991 р.; Закон України «Про природно-заповідний фонд України» від 16 червня 1992 р.; Закон України «Про охорону атмосферного повітря» від 16 жовтня 1992 р.; Закон України «Про тваринний світ» від 13 грудня 2001 р.; Закон України «Про топографо-геодезичну та картографічну діяльність» від 23.12.1998 р.; Закон України «Про Національну інфраструктуру геопросторових даних» від 13 квітня 2020 р.; «Положення про державний моніторинг навколишнього природного

середовища» затверджене Постановою Кабінету Міністрів України від 30.03.1998 р. №391; Державна цільова екологічна програма проведення моніторингу навколишнього природного середовища затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 7.05.2023 р., №610-р. та ін.

Державна система моніторингу довкілля (далі – система моніторингу) – це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки.

Система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн. Моніторинг довкілля у частині державного моніторингу стану поверхневих, підземних та морських вод здійснюється згідно з Порядком здійснення державного моніторингу вод, затвердженим Кабінетом Міністрів України.

Моніторинг довкілля у частині державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря здійснюється згідно з Порядком здійснення державного моніторингу в галузі охорони атмосферного повітря, затвердженим постановою Кабінету Міністрів України від 14 серпня 2019 р. №827.

Система моніторингу – це відкрита інформаційна система, пріоритетами функціонування якої є захист життєво важливих екологічних інтересів людини і суспільства; збереження природних екосистем; відвернення кризових змін екологічного стану довкілля і запобігання надзвичайним екологічним ситуаціям.

В Україні головним суб'єктом моніторингу є держава. Створення і функціонування системи моніторингу з метою інтеграції екологічних інформаційних систем, що охоплюють певні території, ґрунтується на принципах:

- узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин;
- систематичності спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього;

- своєчасності отримання, комплексності оброблення та використання інформації про стан довкілля (екологічної інформації), що надходить і зберігається в системі моніторингу;

- об'єктивності первинної, аналітичної і прогностичної інформації про стан довкілля (екологічної інформації) та оперативності її доведення до органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, громадських організацій, засобів масової інформації, населення України, заінтересованих міжнародних установ та світового співтовариства.

Моніторинг довкілля здійснюється такими державними органами: Мінагрополітики, Міндовкілля, Державне агентство України з управління зоною відчуження (ДАЗВ) (крім державного моніторингу вод), Держгеонадра, Мінінфраструктури, Державне космічне агентство (ДКА), а також Державна служба надзвичайних ситуацій (ДСНС), Держлісагентство, Держводагентство, Держгеокадастр та їх територіальні органи, підприємства, установи та організації, що належать до сфери їх управління; обласні, Київська та Севастопольська міські держадміністрації, а також орган виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань охорони навколишнього природного середовища.

Система моніторингу спрямована на:

- підвищення рівня вивчення і знань про екологічний стан довкілля;
- підвищення оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях;
- підвищення якості обґрунтування природоохоронних заходів та ефективності їх здійснення;
- сприяння розвитку міжнародного співробітництва у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки.

Основними завданнями суб'єктів системи моніторингу є:

- довгострокові систематичні спостереження за станом довкілля;
- аналіз екологічного стану довкілля та прогнозування його змін;
- інформаційно-аналітична підтримка прийняття рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки;

– інформаційне обслуговування органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування, а також забезпечення інформацією про стан довкілля (екологічною інформацією) населення країни і міжнародних організацій.

Суб'єкти системи моніторингу – центральні органи виконавчої влади погоджують з Міндовкіллям розроблені ними проекти нормативно-правових актів та нормативних документів з питань проведення моніторингу довкілля.

Мережі пунктів, створів (поверхневі води), постів (атмосферне повітря), контрольних ділянок і місць відбору проб (грунт) цих організацій – утримувачів моніторингової інформації, складають опорну мережу спостережень системи моніторингу.

Багатосуб'єктність моніторингу довкілля, різний рівень інформаційно-технологічного забезпечення у відомствах спричинили низку проблем, серед яких можна виділити: відсутність єдиних форматів та стандартів даних про стан навколишнього природного середовища, несумісність і дублювання інформації внаслідок її накопичення або на паперових носіях в одних відомствах, або розміщення в базах даних інших відомств. Використання геоінформаційних систем, моделей та методів забезпечить уніфікацію різноманітних даних моніторингу природних комплексів, їх інтеграцію, що дозволить підвищити ефективність функціонування системи спостережень. Взаємовідносини суб'єктів системи моніторингу відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Положення про державну систему моніторингу довкілля» ґрунтується на:

- взаємній інформаційній підтримці рішень у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки;
- координації дій під час планування, організації та проведення спільних заходів з екологічного моніторингу довкілля, виникнення надзвичайних екологічних ситуацій та ліквідації їх наслідків;
- ефективному використанні наявних організаційних структур, засобів спостережень за об'єктами довкілля та комп'ютеризації процесів діяльності;
- сприянні найбільш ефективному розв'язанню спільних завдань моніторингу довкілля та екологічної безпеки;
- відповідальності за повноту, своєчасність і достовірність переданої інформації;

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

Міндовкілля разом з ДСНС, їх органи та інші суб'єкти системи моніторингу встановлюють спеціальні регламенти спостереження за екологічно небезпечними об'єктами, критерії визначення і втручання у разі виникнення або загрози виникнення надзвичайних екологічних ситуацій.

Центральні та місцеві органи виконавчої влади, органи місцевого самоврядування, підприємства, установи, організації та громадяни, які мають об'єктивну інформацію про виникнення або загрозу виникнення надзвичайної ситуації техногенного або природного характеру, повинні надавати її Міндовкіллю, ДСНС та її територіальним органам, обласним, Київській та Севастопольській міським держадміністраціям або органів виконавчої влади Автономної Республіки Крим з питань екології та природних ресурсів, якщо така надзвичайна ситуація виникла на території Автономної Республіки Крим.

Попередження про виникнення або загрозу виникнення небезпечних метеорологічних і гідрологічних явищ, оцінювання їх розвитку покладається на ДСНС.

Функції з попередження про виникнення або загрозу виникнення екзогенних та ендогенних геологічних процесів, оцінювання їх розвитку покладаються на Держгеонадра.

Оцінка впливу забруднення довкілля на стан здоров'я населення покладається на МОЗ та його територіальні органи (у разі їх утворення), які повинні своєчасно інформувати органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування про негативні тенденції або кризові зміни стану здоров'я населення внаслідок погіршення екологічної обстановки.

Застосування ГІС в задачах моніторингу природних комплексів та розповсюдження екологічних знань в Інтернет відноситься до найперспективніших напрямів розвитку новітніх технологій, що створюються на основі розвитку інфраструктури геопросторових даних та застосування міжнародних стандартів серії ISO 19100 “Географічна інформація/Геоматика”, OGC, специфікацій INSPIRE.

2.2. Використання серії міжнародних стандартів ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика», OGS, INSPIRE, стандартів України під час вирішення моніторингових завдань

Стандарти ISO 19100 визначають методи, засоби та сервіси керування географічною інформацією, зокрема моделювання, створення та передавання геопросторових даних у цифровому вигляді між різними користувачами і системами. В комплексі стандартів ISO 19100 за призначенням та спільністю тематики можна виділити шість основних груп: інфраструктурні стандарти; стандарти моделювання даних; стандарти на метадані та адміністрування даних; стандарти на сервіси географічної інформації; стандарти кодування географічної інформації; стандарти для конкретних тематичних сфер.

Стандарти ISO є обов'язковою, але не достатньою основою для застосування баз геопросторових даних і побудови інфраструктури геопросторових даних та її частин. Вони описують концепції геоінформатики, але не описують методів кодування інформації, структури даних і протоколів взаємодії. Можна сказати, що вони визначають, що треба робити, але не як робити. Це друге завдання розв'язують за допомогою стандартів реалізації, у розробленні яких найбільше успіхів досягнув відкритий геопросторовий консорціум OGC, специфікації якого визнані ISO/TC 211.

Загальне визнання виробниками ГІС та баз геопросторових даних дістали стандарти OGC із загальною назвою *Simple Features Specification, SFS*. Ці специфікації визначають ієрархію класів простих геометричних об'єктів (рис. 2.1) та правила мережевого доступу до баз геопросторових даних за допомогою SQL (SFA-S), CORBA (SFA-C), OLE/COM (SFA-O). Специфікаціям SFS відповідними є стандарти ISO 19125-1 та ISO 19125-2 на геопросторове розширення мови SQL, застосоване в більшості сучасних об'єктно-реляційних СКБД.

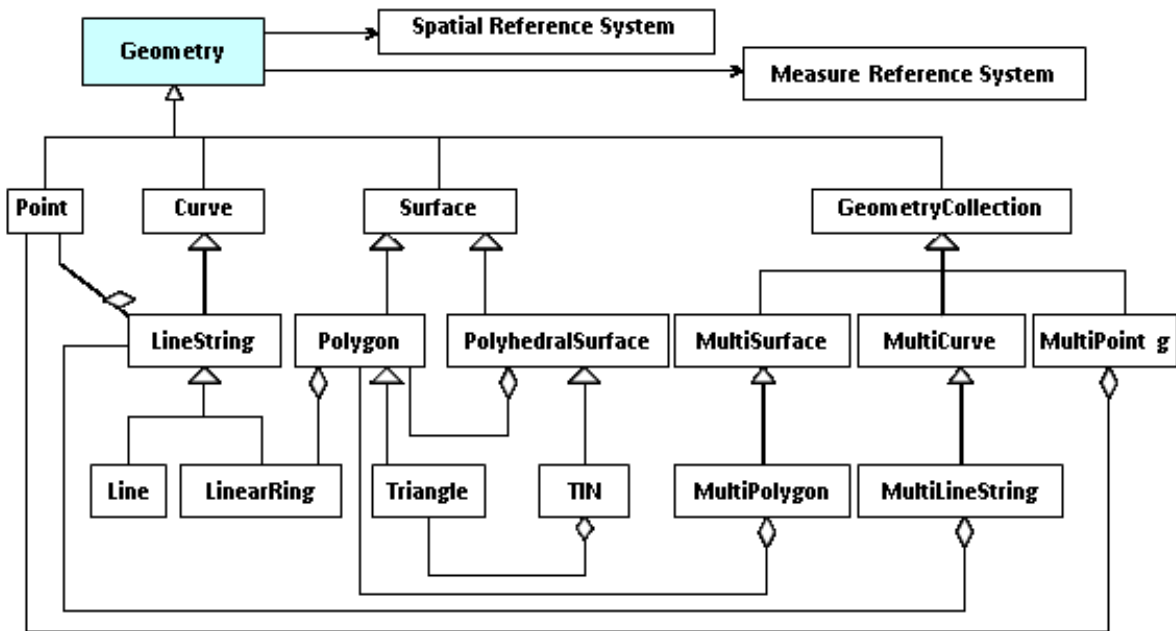


Рис. 2.1. Схема ієрархії класів типу Geometry за стандартом OGC SFA

Як відомо, інфраструктура просторової інформації Європейського співтовариства (INSPIRE), офіційно започаткована Директивою Європейського Союзу від 14 березня 2007 року, зобов'язує всіх членів ЄС створити в мережі Інтернет інфраструктуру просторових даних, яка сприяла б стандартизованому обміну географічною інформацією. У Директиві зазначено, що ініціатива спрямована «на створення інфраструктури для просторової інформації в Європейському співтоваристві (...) для цілей екологічної політики і політики або діяльності Співтовариства, які можуть вплинути на навколишнє середовище». На виконання Директиви INSPIRE у всіх країнах ЄС були ухвалені національні законодавчі документи з питань інфраструктури.

INSPIRE регулює як технічні, так й інші питання, починаючи від стандартів, організаційних та процедурних питань і політики в галузі інформаційних технологій і закінчуючи створенням і підтриманням систем надання електронних послуг. Правові основи ініціативи дають змогу перетворити національні інфраструктури просторових даних держав-членів на сумісні та придатні для широкого використання в транскордонному контексті.

Для досягнення цілей INSPIRE визначено потребу в розробленні та впровадженні єдиних «Правил реалізації» в таких п'яти сферах: *метадані*,

специфікації даних, мережеві сервіси, загальний доступ до даних і сервісів; моніторинг та звітність.

«Правила реалізації» – це сукупність регламентів Комісії ЄС і технічних документів (керівних вказівок та моделей, специфікацій для тематичних просторових даних, метаданих і сервісів), які є юридично обов'язковими для держав-членів, що забезпечують підготовку й доступ до наборів даних, визначених в Директиві INSPIRE. Регламенти Комісії ЄС і технічні документи визначають, відповідно, «що» і «як» потрібно зробити для досягнення інтероперабельності в INSPIRE. Експерти робочих груп з розроблення «Правил реалізації» звертають увагу на такі проблеми імплементації стандартів ISO 19100 в проєкті INSPIRE:

- стандарти ISO 19100 ще не підтверджені в усіх країнах ЄС як національні стандарти,
- вони є «всеосяжними», складними та надлишковими в контексті завдань проєкту INSPIRE;
- поширення стандартів ISO 19100 відбувається на платній основі, що ускладнює дотримання принципу відкритості й широкої доступності «Правил реалізації».

У зв'язку з цим було ухвалене рішення про розроблення набору керівних вказівок щодо імплементації деяких окремих положень стандартів комплексу ISO 19100 в проєктах специфікацій просторових даних INSPIRE. Разом з цим в [INSPIRE: D2.5] наголошується: *«Оскільки концептуальна основа моделювання INSPIRE ґрунтується на міжнародних стандартах комплексу ISO 19100, глибокі знання про цей комплекс потрібні в кожній команді, яка розробляє специфікації даних INSPIRE».*

За структурою специфікації INSPIRE для просторових даних цілком відповідні стандарту ISO 19131 – Специфікація геоінформаційного продукту. Вони містять концептуальні моделі, прикладні схеми, каталоги типів просторових об'єктів та їх атрибутів, вимоги до метаданих і якості даних, вимоги до картографічного зображення даних та інші вимоги до просторових даних з використанням природної мови і мови UML. Склад об'єктів наборів тематичних даних INSPIRE та їх атрибутів із загальними списками кодування затверджено як регламенти Комісії ЄС, що надає їм статусу юридично обов'язкових для всіх країн-членів Європейського Союзу. Усі регламенти,

керівні вказівки та специфікації INSPIRE розміщено для відкритого доступу на сайті <http://inspire.ec.europa.eu/index.cfm>.

На завершення огляду стандартів INSPIRE підсумуємо отримані результати та значення цього проєкту для розвитку національних ІГД.

Схвалена ЄС Директива INSPIRE про створення європейської ІГД та скоординована діяльність з її реалізації в усіх країнах ЄС є унікальним прикладом системного підходу до створення об'єднаної інфраструктури регіонального рівня. У кожній країні ЄС можуть бути організаційні або технологічні особливості реалізації національної ІГД, але усі національні інфраструктури інтегруються на основі єдиного законодавчого і методичного базису – Директиви INSPIRE і «Правил реалізації» як комплексу технічних регламентів і стандартів на метадані, просторові дані та геоінформаційні сервіси.

Стандарти INSPIRE охоплюють широкий спектр тематичних наборів даних та геоінформаційних серверів, розроблених на основі міжнародних стандартів комплексу ISO 19100, є відкритими і практично повністю застосовні (після адаптації) для створення національної ІГД в будь-якій країні.

Відкритість стандартів INSPIRE та потреба в їх масштабному практичному застосуванні в усіх країнах ЄС стала каталізатором розвитку програмних засобів, орієнтованих на підтримку створення й використання баз наборів геопросторових даних за специфікаціями INSPIRE. Передусім це комплексне рішення «ArcGIS для INSPIRE», компоненти якого потрібні для підготовки гармонізованих просторових даних на основі сервісів відповідно до специфікації INSPIRE та підтримують механізми для зберігання і передавання трансформованих даних за допомогою сервісів INSPIRE View та INSPIRE Download Services. Найістотнішим елементом «ArcGIS для INSPIRE» є шаблони бази геоданих, що містять готові схеми бази даних за моделями прикладних схем INSPIRE для всіх наборів тематичних даних додатка I та для деяких тем додатків II/III Директиви, що дає змогу вводити просторові дані, підготовлені за специфікаціями INSPIRE, в бази геоданих ArcGIS, виконувати перетворення для доступу, перегляду й використання даних за допомогою сервісів з інтерфейсами за специфікаціями INSPIRE. Крім того, «ArcGIS для INSPIRE» підтримує підготовку й опрацювання метаданих, відповідних профілю INSPIRE метаданих на основі ISO 19115, ISO 19119. Докладнішу інформацію про

«ArcGIS для INSPIRE» можна знайти на сайті <http://www.esri.com/software/arcgis/arcgis-for-inspire>.

За програмою INSPIRE створено геопортал <http://inspire-geoportal.ec.europa.eu/> для доступу до наборів геопросторових даних Європи та мережі геопорталів країн-членів ЄС.

Наявність чітких стандартів та виконання програми INSPIRE сприяла реалізації низки проєктів з підготовки, перетворення й використання геопросторових даних за специфікаціями INSPIRE. Найвідоміший поміж них проєкт – **Європейська локаційна мережа** (*European Location Framework, ELF*), започаткований під егідою консорціуму EuroGeographics, в який входять 52 організації (картографічні та кадастрові служби) з 43 країн Європи. Метою проєкту ELF є створення платформи для надійного забезпечення доступу європейської громадськості і приватного сектору до сучасної авторитетної INSPIRE – сумісної географічної інформації [<http://www.elfproject.eu/content/overview>].

Одним з першочергових завдань проєкту ELF було створення інфраструктурної платформи для базових геопросторових даних. Ця платформа потрібна для узгодження наборів базових геопросторових даних (НБГД), які виробляють національні картографічні і кадастрові агентства (*National Mapping and Cadastral Authorities, NMCA*), передусім NMCA-члени консорціуму EuroGeographics.

ELF Платформа лежить в основі технічної архітектури Європейської локаційної мережі. Вона містить набори даних, наданих національними картографічними і кадастровими агентствами (*National Mapping and Cadastral Authorities, NMCA*), і здатна в майбутньому охопити дані й інших постачальників.

Специфікації ELF в цілому є розширеннями INSPIRE-технічних керівних вказівок для наборів даних і сервісів, що реалізовані в ELF. Специфікації ELF-даних спрямовані на сприяння сумісності топографічних, адміністративних і кадастрових просторових даних відповідно до вимог, встановлених в директиві INSPIRE, з дотриманням правил реалізації INSPIRE та інших вимог користувачів на європейському і глобальному рівнях.

Дотримання єдиних вимог до моделювання геопросторових даних, що визначені в цьому стандарті на основі національних стандартів серії ДСТУ ISO 19100, спрощує:

а) процеси обміну даними між виробниками та споживачами даних на різних програмно-технічних геоінформаційних платформах, які у більшості випадків постачають зарубіжні виробники геоінформаційних систем, містять рішення, відповідні міжнародним стандартам щодо подання моделей геопросторових даних;

б) повторне використання геопросторових даних для цілей, які не передбачені в специфікаціях на їх виробництво;

в) застосування технологічних і програмних рішень щодо обміну даними в глобальних інформаційних мережах та їх публікації на геопорталах засобами веб-картографування, оснований на механізмах автоматизованого завантаження, візуалізації та використання геопросторових даних, які забезпечені формальними описами докладних концептуальних моделей геопросторових даних відповідно до міжнародних стандартів.

Специфікації геопросторових даних та прикладні схеми, що претендують на відповідність цьому стандарту, повинні задовольняти вимоги набору абстрактних тестів. Крім того, розширення цього стандарту може бути виконане відповідно до національних стандартів серії ДСТУ ISO 19100 та правил розширення, визначених в цьому стандарті [32, 34].

Контрольні запитання

1. Назвіть основні нормативно-правові акти для ведення геоінформаційного моніторингу залежно від предметної сфери.

2. Яким чином використовуються стандарти ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика» для вирішення моніторингових завдань?

3. Яким чином використовуються специфікації INSPIRE для вирішення моніторингових завдань?

4. Яким чином використовуються національні стандарти України у сфері географічної інформації/геоматики для вирішення моніторингових завдань?

Лекція 3. ОНТОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1. Основні поняття моніторингу природних комплексів. Зв'язок моніторингу природних комплексів з державними кадастрами і реєстрами

Моніторинг природних комплексів – важлива складова системи моніторингу навколишнього природного середовища та управління якістю довкілля, оскільки передбачається також належне інформування суспільства про конкретні особливості й наслідки взаємодії людини з навколишнім середовищем. Оцінювання поточного і прогностичного стану навколишнього природного середовища визначає комплекс вимог до підсистем спостережень.

Інформація про стан довкілля і тенденції його змін є основою розроблення заходів з охорони природи, важливим джерелом даних для ведення державного земельного кадастру, землеустрою, проведення грошової оцінки земель і загалом для процесу планування розвитку економіки. Оскільки метою і завданням землеустрою є забезпечення раціонального використання та охорони земель, створення сприятливого екологічного середовища та поліпшення природних ландшафтів, то цілком логічно, що переважна більшість містобудівної та землепорядної документації, яка використовується в грошовій оцінці земель містить інформацію про стан навколишнього природного середовища (характеристики ареалів і джерел забруднення, розміщення санітарно-захисних зон, зон охорони курортів, наявність та розміщення водоохоронних зон, прибережних захисних смуг водойм і водотоків в межах населеного пункту; природоохоронні, рекреаційні території, ліси, лісопарки, водойми, водотоки, природно-заповідний фонд тощо). Так як екологічний стан в багатьох регіонах України носить кризовий характер (прискорені темпи деградації земельних ресурсів, їх забрудненість і виснаження), значну увагу в землепорядній документації приділяють екологічній ситуації. Прикладом застосування інформації про стан довкілля в землепорядній документації є розроблення схем землеустрою та охорони земель, в яких розробляють пропозиції щодо перерозподілу земель між категоріями на основі аналізу й оцінки природних умов та стану використання земель. Виходячи з екологічних і економічних потреб, накреслюють комплекс необхідних заходів екологічної оптимізації для забезпечення підвищення продуктивності земель, їх охорони,

стабілізації еколандшафтів, оптимізації угідь, консервації деградованих земель і подальших напрямів використання. Оскільки стан природних комплексів має значний вплив на оцінну вартість земельної ділянки, то його слід враховувати під час здійснення грошової оцінки. Показники забрудненості ґрунтів відображають у базах даних (БД) державного земельного кадастру, які встановлюють проведенням різного роду обстежень і розвідувальних [30].

Термін **«природний комплекс»** не має законодавчого закріплення, тому у науковій літературі можна зустріти різне його трактування. Ось одне з них:

«Природний комплекс (від лат. «complexus» – зв'язок, поєднання) – сукупність природних предметів, явищ або властивостей, що утворюють одне ціле. Це історичний попередник поняття природна система. Термін застосовується для позначення: 1) будь-яких взаємопов'язаних явищ природи; 2) закономірних просторових поєднань (мозаїк) ґрунтів, рослинності, ландшафтів (напр., солончакові комплекси і т. д.). Природний комплекс – ширше поняття, ніж, напр., ландшафт чи природно-територіальний комплекс, оскільки не містять вказівок ні на географічність, ні на територіальність, ні на повноту охоплення компонентів».

Головним природним комплексом Землі є географічна оболонка. В її межах виділяються **природно-територіальні комплекси (ПТК)**, які детально вивчаються в рамках ландшафтознавства. Загальні питання фізико-географічної диференціації висвітлені в працях українських та російських вчених, перерахованих вище.

У «Географічній енциклопедії України» знаходимо таке визначення ПТК: *«Природно-територіальний комплекс, геосистема, геокомплекс, – це відносно однорідна частина географічної оболонки, що характеризується спільними рисами морфології, структури, функціонування та інтенсивності сучасних природних процесів; одне з основних понять фізичної географії».*

Природно-територіальні комплекси формуються з певних компонентів у результаті тривалої взаємодії складових природи.

Компонентом слід вважати таку частину природного комплексу, яка вирізняється переважанням певного агрегатного стану речовини або формою організації матерії. Компоненти природних комплексів поділяються на геолого-геоморфологічні (ґрунти і гірські породи), гідрокліматичні (атмосферне повітря і поверхневі води), біогенні (рослинний і тваринний світ). Всі вони взаємопов'язані й взаємозумовлені, що й об'єднує їх у єдину систему (рис. 3.1).

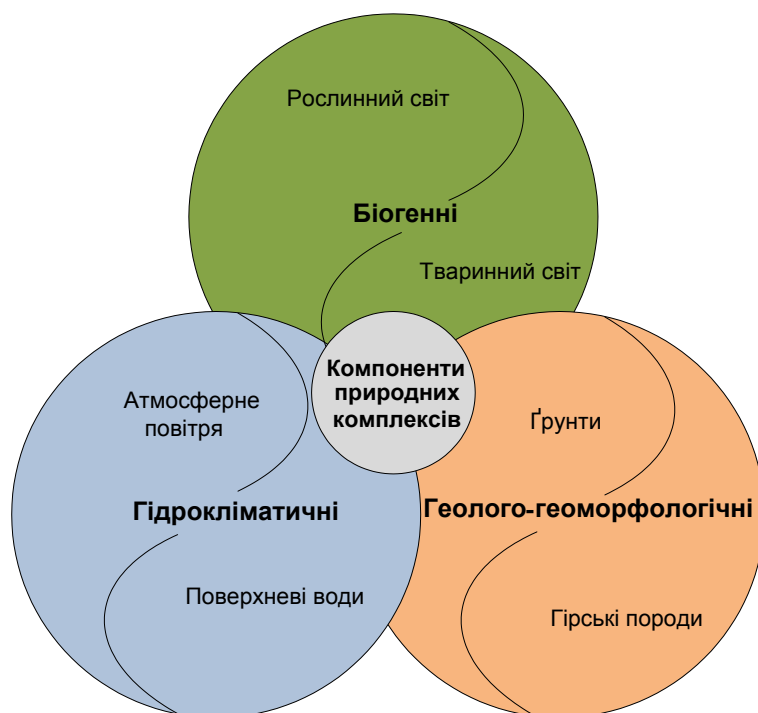


Рис. 3.1. Компоненти, які утворюють ПТК [23]

Загалом в Україні виділяють 2 класи, 6 типів, 38 родів, 157 видів ландшафтів. Домінуючими є рівнинні ПТК, які займають понад 93 % території України, а решта території – це гірські ландшафти [7].

Як було зазначено вище, моніторинг природних комплексів є складовою моніторингу навколишнього природного середовища і є важливим завданням державного управління, тому що він надає оперативну, поточну і правдиву інформацію для здійснення політики сталого розвитку територій.

Моніторинг навколишнього природного середовища – це комплексна система повторних спостережень одного чи більше елементів природного середовища в просторі й часі, його оцінювання і прогнозування розвитку з метою вироблення рекомендацій щодо попередження негативних змін, усунення причин або ослаблення їх дії.

Термін **«моніторинг навколишнього природного середовища»** був закріплений під час проведення Стокгольмської конференції ООН з питань довкілля 5-16 червня 1972 р. Перші пропозиції з приводу цього розробили експерти спеціальної комісії SCOPE (Науковий комітет з проблем довкілля) у 1979 році. Одним з важливих рішень Стокгольмської конференції була

рекомендація створити Глобальну систему моніторингу довкілля (Global Environmental Monitoring Systems – GEMS) [18].

Поняття «моніторинг навколишнього природного середовища», «екологічний моніторинг», «моніторинг довкілля» вживаються як синоніми.

Процес моніторингу та оцінювання стану природних комплексів розглядається як послідовність взаємопов'язаних операцій – від визначення інформаційних потреб до використання інформаційного продукту (рис. 3.2).

Принципи і методи моніторингу. До принципів моніторингу належать: комплексність, систематичність і періодичність, полігонний характер досліджень, автоматизація процесу оброблення даних. Комплексність передбачає використання для моніторингу різних технологічних схем, які б поєднували методи дистанційного зондування, наземні інженерно-геологічні, геодезичні, екологічні, картометричні побудови, математичне і фізичне моделювання тощо.

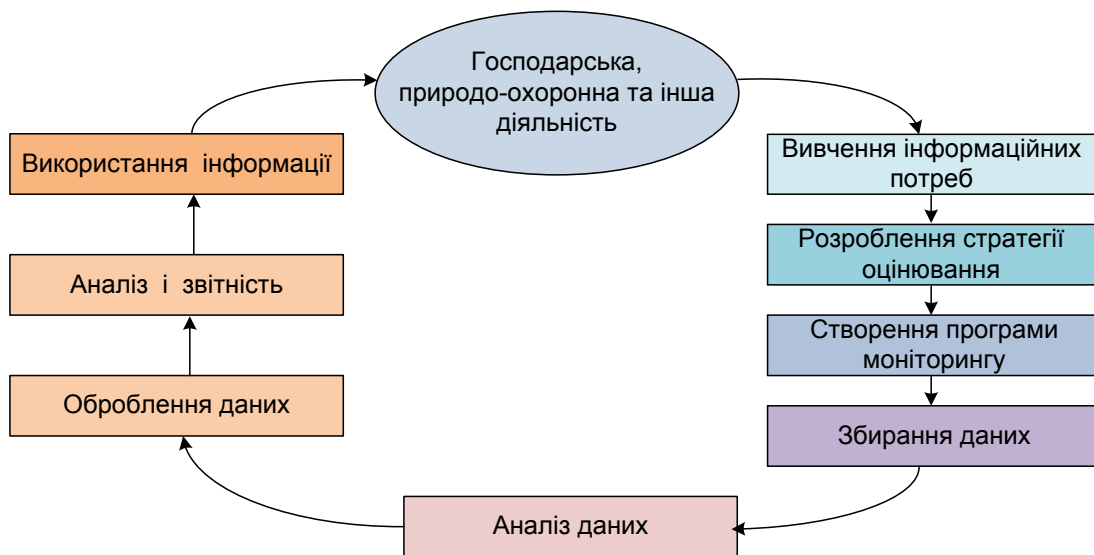


Рис. 3.2. Цикл моніторингу [23]

Геоінформаційний моніторинг природних комплексів передбачає реалізацію методів та принципів географічного підходу до їх вивчення на основі інформаційних технологій збору даних, створення комп'ютерних баз та банків геопросторових даних відповідно до міжнародних стандартів та інфраструктури геопросторових даних, просторового аналізу та моделювання засобами геоінформаційних систем, а також поширенню і обміну знань про стан і якість довкілля між користувачами завдяки інтегруванню ГІС та Інтернет [25].

Система моніторингу природних комплексів складається з:

1. Об'єктів мереж спостереження за природними комплексами або окремими його компонентами. До них належать: пости спостереження за атмосферним повітрям, пункти/створи – за поверхневими водами, контрольні ділянки/місця відбору проб – за ґрунтами тощо.

2. Інформації відомчих баз даних суб'єктів моніторингу у сфері охорони навколишнього природного середовища.

3. Інформаційних технологій та програмно-технічних засобів.

У межах цього дослідження розглянуто мережі спостережень Державного технологічного центру охорони родючості ґрунтів і якості продукції Мінагрополітики (Держцентруродючості) та Державної гідрометеорологічної служби. Мережі моніторингу ґрунтів вище названих суб'єктів утворюють: 12 контрольних ділянок підпорядковані Держцентруродючості, 42 місця відбору проб ґрунту на вміст пестицидів і нітратів належать Центральній геофізичній обсерваторії.

3.2. Стан, зміст і тенденції розвитку міжнародних проєктів моніторингу природних комплексів

Необхідною умовою сталого економічного та соціального розвитку будь-якої країни є охорона навколишнього природного середовища, забезпечення раціонального використання природних ресурсів і гарантування безпеки життєдіяльності людини. Для об'єктивного оцінювання стану довкілля та прийняття на цій підставі ефективних управлінських рішень необхідно мати єдину державну систему моніторингу екологічно небезпечних об'єктів.

Розв'язання різноманітних екологічних проблем, оцінювання кількісних та якісних показників впливів на природні комплекси, створення систем комплексного оцінювання, моделювання і прогнозування розвитку їх екологічного стану сьогодні неможливе без використання сучасних комп'ютерних інформаційних інструментів, одним з яких є геоінформаційні технології.

Далі пропонується огляд сучасних світових моніторингових систем природних комплексів з метою виявлення тенденцій у їх розвитку. Це такі системи: COoRdination of INformation on the Environment (CORINE), Global

Monitoring for Environment and Security (GMES) та Global Earth Observation System of Systems (GEOSS), Copernicus.

Мета полягає у використанні величезної кількості загальних даних від супутників та наземних, повітряних, морських систем вимірювань для отримання своєчасної й якісної інформації, послуг і знань, а також забезпечення незалежного доступу до інформації стосовно навколишнього середовища та безпеки на глобальному рівні, щоби допомогти постачальникам послуг, державним органам та іншим міжнародним організаціям покращити якість життя громадян Європи. Іншими словами, система об'єднує всі дані, отримані екологічними супутниками Copernicus, повітряними та наземними станціями та давачами, щоби забезпечити всебічну картину «здоров'я» Землі.

Однією з переваг програми Copernicus є те, що дані та інформація котрі надходять у межах програми, є доступними для всіх користувачів та громадськості безкоштовно, тим самим забезпечуючи розвиток нижченаведеним сферам.

Загальна програма щодо інформації про навколишнє природне середовище CORINE (<https://land.copernicus.eu/en/products/corine-land-cover>)

27 червня 1985 р. Рада Європи на пропозицію від Європейської економічної комісії ООН прийняла постанову про створення програми CORINE – Координація інформації про навколишнє середовище. Станом на сьогодні CORINE об'єднує 25 країн-членів Європейського Союзу. Для визначення напрямів діяльності у сфері екологічної політики в країнах ЄС застосовують такі екологічні складові навколишнього середовища:

- довкілля окремих держав;
- географічне поширення та природні області держав;
- географічне поширення та чисельність дикої фауни і флори;
- якість та кількість водних ресурсів;
- структура ландшафтів і ґрунтів;
- кількість токсичних речовин, що потрапляють у навколишнє середовище;
- перелік природних стихійних лих тощо.

Метою програми є збирання, тиражування, збереження та систематизація інформації про стан довкілля з певних пріоритетних напрямів території країн Європейського Союзу (стан повітря, води, ґрунтів, ландшафтів, берегової ерозії, біоти і т. д.) для прийняття оптимальних управлінських рішень у сфері екології.

Міжнародна програма *Global Monitoring for Environment and Security (GMES)* (https://www.esa.int/About_Us/Ministerial_Council_2012/Global_Monitoring_for_Environment_and_Security_GMES).

Це європейська програма глобального моніторингу для збереження навколишнього середовища та безпеки, що була ініційована Європейською економічною комісією ООН та Європейським космічним агентством у 2002 р. з метою здійснення спостережень за Землею, створення геоінформаційної системи контролю за довкіллям та природними ресурсами на основі даних дистанційного зондування і наземних методів моніторингу, а також створення і підтримки довідково-інформаційної системи для задоволення потреб користувачів. Розпочатий як науковий проєкт одинадцять років тому, GMES розвинувся у повноцінну оперативну обслуговуючу систему.

Міжнародна програма *Global Earth Observation System of Systems (GEOSS)* (<https://old.earthobservations.org/geoss.php>). Асоціація “Group on Earth Observations” (GEO) координує міжнародні зусилля для підтримки GEOSS. Вона працює на добровільних засадах, визначених урядовими та міжнародними організаціями-учасницями. Станом на сьогодні GEOSS налічує 72 країни-партнери. Її інфраструктура розширює набір інструментів і систем країн для моніторингу і прогнозування змін у довкіллі (рис. 3.3).

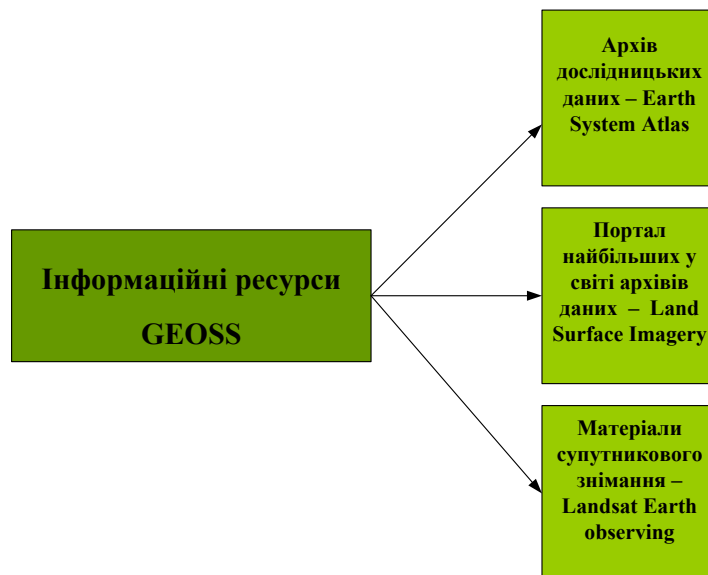


Рис. 3.3. Ресурси програми GEOSS

Проект дає можливість вирішувати завдання моніторингу в кількох напрямках (рис. 3.4). Впровадження міжнародної системи моніторингу Землі вже дало позитивні результати у вирішенні соціально-економічних питань. Подальше застосування GEOSS пов'яже існуючі та майбутні системи спостереження Землі з космосу та сприятиме консолідації зусиль країн-учасниць проекту під час вирішення екологічних проблем [18].



Рис. 3.4. Основні завдання моніторингу, які вирішує GEOSS

Copernicus (<https://www.copernicus.eu/en>) — це компонент спостереження за Землею космічної програми Європейського Союзу, який розглядає нашу планету та її навколишнє середовище на користь усім європейським громадянам. Він пропонує інформаційні послуги, основою яких є дані дистанційного зондування Землі. Основними користувачами послуг Copernicus є політики та органи державної влади, яким потрібна інформація для розробки екологічного законодавства та політики або для прийняття важливих рішень у разі надзвичайної ситуації, наприклад стихійного лиха чи гуманітарної кризи. Геоінформаційні системи моніторингу природних комплексів, які розробляються нині в різних країнах повністю інтегруються з системами керування базами даних, мають розподілену архітектуру обробки даних клієнт-сервер з виходом в глобальну мережу Інтернет. Як неодноразово було зазначено моніторингові дані містяться в базах даних різних установ, але всі суб'єкти мають потребу в обміні актуальними геопросторовими даними. Особлива роль в ГІС відводиться застосуванню результатів дистанційного зондування Землі,

тому що його результати є регулярно оновлюваним джерелом даних. Це необхідно для формування природо ресурсних кадастрів, які охоплюють широкий спектр масштабів (від 1:10 000 до 1:10 000 000). Тоді інформація ДЗЗ дає змогу оперативно оцінювати достовірність і у випадку необхідності, проводити оновлення базового набору геопросторових даних, а також може бути використана в якості растрової основи в ГІС-застосуваннях, без яких вже неможлива сучасна господарська діяльність.

Контрольні запитання

1. Що таке природний комплекс?
2. Поясніть зв'язок моніторингу природних комплексів з державними кадастрами і реєстрами. Наведіть приклади такого зв'язку.
3. Назвіть декілька міжнародних проєктів моніторингу природних комплексів. Поясніть в чому їх особливість та призначення.
4. Які технології використовувались для реалізації міжнародних проєктів моніторингу природних комплексів?

Лекція 4. ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ ДАНИХ МОНІТОРИНГУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ТА ЇХ РЕАЛІЗАЦІЯ В ОБ'ЄКТНО-РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗАХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

4.1. Концептуальна структурна та функціональна модель ГІС-моніторингу природних комплексів

Створення геоінформаційних систем для вирішення будь-яких прикладних завдань вимагає проєктування бази геопросторових даних (БГД) цільових об'єктів. Зважаючи на світові тенденції розвитку моніторингових систем природних комплексів [18] державна система ведення моніторингу навколишнього природного середовища України [19] потребує підвищення ефективності функціонування для комплексного управління сталим розвитком територій засобами геоінформаційних технологій. Тому одним із першочергових завдань є створення актуалізованої бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів для регіонального рівня. Дослідження виконано на прикладі Київської області.

Реалізація та взаємодія усіх задач ґрунтується на створенні інтегрованого банку геопросторових даних ГІС моніторингу природних комплексів.

Отже, створена ГІС система моніторингу природних комплексів функціонує наступним чином: збираються дані про стан об'єктів природних комплексів і забруднення на пунктах мереж спостережень; дані просторово інтегруються, обробляються та приводяться до єдиних форматів, створюється і ведеться банк геопросторових даних, здійснюється моделювання, прогнозування, проєктування, формуються і виводяться звіти геозображень та приймаються відповідні рішення. Реалізація та взаємодія усіх цих задач ґрунтується на створенні інтегрованого банку геопросторових даних ГІС моніторингу природних комплексів. У цьому банку накопичуються як вхідні дані, так і результати моделювання і проєктування.

Склад і структура метаданих в інфраструктурі геопросторових даних для різних рівнів визначається відповідно до міжнародного стандарту ISO 19115 «Географічна інформація. Метадані»; правила кодування та подання цих метаданих з використанням XML встановлюють Технічні вимоги ISO 19139.

База геопросторових даних була побудована відповідно до стандарту ISO 19107 «Географічна інформація. Просторова схема» і подана у вигляді UML-діаграми пакетів. В структурі бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів можна виділити такі складові: базу нормативних даних; базовий набір даних; реєстри цільових об'єктів: природні комплекси та об'єкти природної охорони, об'єкти мереж спостереження за станом об'єктів природних комплексів.

Базу нормативних даних складають закони України, постанови Кабінету Міністрів України, нормативні документи суб'єктів моніторингу довкілля та міжнародні стандарти серії ISO 19100 «Географічна інформація/Геоматика».

Першим кроком створення базового набору геопросторових даних моніторингу природних комплексів є створення каталогу об'єктів природних комплексів і їх мереж спостереження. У них визначаються: склад об'єктів БНГД, їх класифікація та кодування, набори атрибутів, доменів їх значень та асоціацій між об'єктами.

Система класифікації та кодування визначається користувачем в залежності від конкретних завдань.

Пакет бази цифрових картографічних даних на території областей масштабу 1:100 000 містить такі класи: рельєф і елементи висотної основи, гідрографія і гідрографічні споруди, населені пункти, рослинний покрив і ґрунти, дорожня мережа, інженерні споруди і комунікації. Пакет природні комплекси та об'єкти природної охорони містить клас природно-заповідного фонду. Пакет об'єкти мережі спостереження містить класи: пости спостереження за станом атмосферного повітря (rovitrya_point), пункти і створи спостереження поверхневих вод (voda_point), контрольні ділянки та місця відбору проб ґрунту (grunt_point). На кожному з об'єктів мережі моніторингу відповідних компонентів природних комплексів проводяться вимірювання певних показників.

4.2. Розроблення каталогу об'єктів і атрибутів природних комплексів та мереж спостереження

Каталог об'єктів природних комплексів і об'єктів мереж спостереження та їх атрибутів описує абстрактні моделі реального світу як визначену систему класифікації зазначених об'єктів і явищ, за якими ведеться моніторинг. Застосування зазначеного каталогу забезпечує однозначну інтерпретацію абстрактних моделей комп'ютерними системами та їх користувачами, створює умови для розподіленого виробництва, широкого розповсюдження та використання геопросторових даних.

Каталог об'єктів природних комплексів і об'єктів мереж спостереження та їх атрибутів було розроблено відповідно до чинного стандарту СОУ 742-337395400011:2010 «Комплекс стандартів База топографічних даних Каталог об'єктів і атрибутів», зміст якого відповідає вимогам ISO 19110:2005 «Географічна інформація – Методологія для каталогізації об'єктів». Зазначений вище каталог є наскрізними, бо не пов'язаний зі ступенем деталізації, який встановлюється до цифрового картографічного матеріалу конкретного масштабу.

У каталог об'єктів природних комплексів і об'єктів мереж спостереження включено групи об'єктів та виділено типи об'єктів, ідентифікація яких може бути виконана незалежно від джерела одержання інформація про об'єкт. До складу атрибутів можуть включатися характеристики, що описують метадані цільових об'єктів. Детальніша ідентифікація об'єкта повинна здійснюватися за рахунок приєднання до опису об'єкта його атрибутів та доменів.

Розроблений каталог призначений для формування класифікаторів і правил цифрового опису об'єктів природних комплексів і мереж спостереження в базах моніторингових даних, під час розроблення форматів обміну цифровими екологічними даними та відповідних програмних засобів їх формування й інтерпретації.

Для кращої структуризації каталогу типи об'єктів розподілено на 3 класифікаційних групи (табл. 4.1). Коду групи поставлено у відповідність, а окремим типам об'єктів – відповідні підрозділи. Код групи та номер типу об'єктів в групі застосовано для утворення кодів асоціацій і кодів атрибутів. Це забезпечує унікальність цих кодів в межах усього каталогу. Перелік типів об'єктів з їх ідентифікаторами, кодами та порядковими номерами подано нижче в табл. 4.2.

Таблиця 4.1

Перелік класифікаційних груп типів об'єктів каталогу

Код	Назва групи
01	Об'єкти мереж спостереження
02	Об'єкти природних комплексів та об'єкти природної охорони
03	Забруднюючі речовини природних комплексів та об'єктів природної охорони

Таблиця 4.2

Список типів об'єктів мережі моніторингу природних комплексів каталогу та їх атрибутів

№ за каталогом	Назва типу	Ідентифікатор типу	Код типу
Пункти спостереження за станом природних комплексів			
01_1	Пост спостереження за станом атмосферного повітря	Povitrya_point	11 100 000
01_2	Пункт спостереження за станом поверхневих вод	Voda_point	12 100 000
01_3	Створ спостереження за станом поверхневих вод	Voda_stvor	12 200 000
01_4	Контрольні ділянки спостереження за ґрунтом	Grunt_dilyanka	13 100 000
01_5	Місця відбору проб ґрунту	Grunt_point	13 200 000

У табл. 4.3 наводиться інформація про коди типів об'єктів, що визначає об'єкт у загальній системі класифікації. В основу побудови Класифікатора покладено ієрархічний метод класифікації інформації. Вся інформація на вищому ступені ієрархії розділена на три класи. Розвиток кожного класу в глибину і ширину неоднаковий і залежить від ступеня взаємозв'язку об'єктів і вибраних ознак класифікації.

Класифікатор кодів типів об'єктів мереж спостереження природних комплексів

Код типу об'єкта	Назва об'єкта	Ідентифікатор об'єкту
10 000 000	Об'єкт спостереження за станом природних комплексів	
11 000 000	Об'єкт спостереження за станом повітря	
11 100 000	Пости спостереження за станом повітря	Povitrya_point
12 000 000	Об'єкт спостереження за станом поверхневих вод	
12 100 000	Пункт спостереження за станом поверхневих вод	Voda_point
12 200 000	Створ спостереження за станом поверхневих вод	Voda_stvor
13 000 000	Об'єкт спостереження за станом ґрунту	
13 100 000	Контрольні ділянки спостереження за ґрунтом	Grunt_dilyanka
13 200 000	Місця відбору проб ґрунту	Grunt_point

В цілому система класифікації об'єктів мережі спостереження природних комплексів характеризується такими показниками:

- максимальна кількість рівнів класифікації (глибина) – 8;
- максимальне число класифікаційних угруповань на одному рівні – 9.

Для ієрархічної системи класифікації застосовується послідовний метод кодування. Алфавітом коду служать десяткові цифри з основою коду рівною 10. Довжина коду постійна. Кодова позначка являє собою послідовність восьми однозначних розрядів. Значення розрядів понижується зліва направо. Кожна цифра вищого розряду вказує на належність об'єкта (або кваліфікаційного угруповання) до визначеного елемента змісту, друга цифра означає номер класифікаційного угруповання другого ступеня класифікації і так далі до останнього ступеня. У тих випадках, коли поділ на елементарні об'єкти проходить на більш високих рівнях класифікації, то в нижчих розрядах у кодові позначки, які залишилися, заносяться нулі.

4.4. Дослідна реалізація бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів на прикладі Київської області

Дослідну реалізацію бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів було здійснено на прикладі Київської області в середовищі ArcGIS 10.6. оскільки цей програмний продукт є комплексною системою, яка дає змогу вирішувати надскладні завдання, пов'язані з аналізом і моделюванням стану природних комплексів. Зазначена версія забезпечує легкість використання програмного продукту, потужніші інструменти аналізу, а також додаткові Web GIS застосування. Важливою перевагою використання ArcGIS 10.6. є підтримання ним використання інструментів CASE для імпорту моделей на мові UML для проєктування баз геопросторових даних. UML – це зручний інструмент документування реляційних аспектів схеми БГД, наприклад структури таблиць та відношень між ними. Проте часто деякі виробники баз геоданих не рекомендують використовувати в процесі проєктування БГД лише одну мову UML, адже остання не передбачає моделі просторової поведінки та варіантів використання (use case), які встановлюються до бази геопросторових даних.

База цифрових картографічних даних призначена для моніторингу земель, територій, природних комплексів; для детального вивчення і оцінки стану місцевості; для виконання інженерних розрахунків під час розробки і проведенні різноманітних заходів народногосподарського і оборонного значення; під час планування та проєктування інженерних споруд; для організації та проведенні картометричних робіт науково-дослідного характеру; для використання як основи в ГІС – технологіях і т.д. [10].

Отже, база цифрових картографічних даних – це інформаційна база геопросторових даних та бази метаданих зміст яких відповідає змісту карти масштабу 1:100000 (для регіонального рівня).

Розроблена БЦКД (рис. 4.1) відповідає таким вимогам: забезпечує можливість автоматизованого визначення даних про місце розташування об'єктів та їх характеристик; включає цифрове значення кількісних та якісних характеристик і кодів об'єктів у прийнятій системі класифікації і кодуванні картографічної інформації; має структуру подання інформації, яка забезпечує

можливість внесення змін і доповнень, можливість її конвертування у топологічні і не топологічні формати

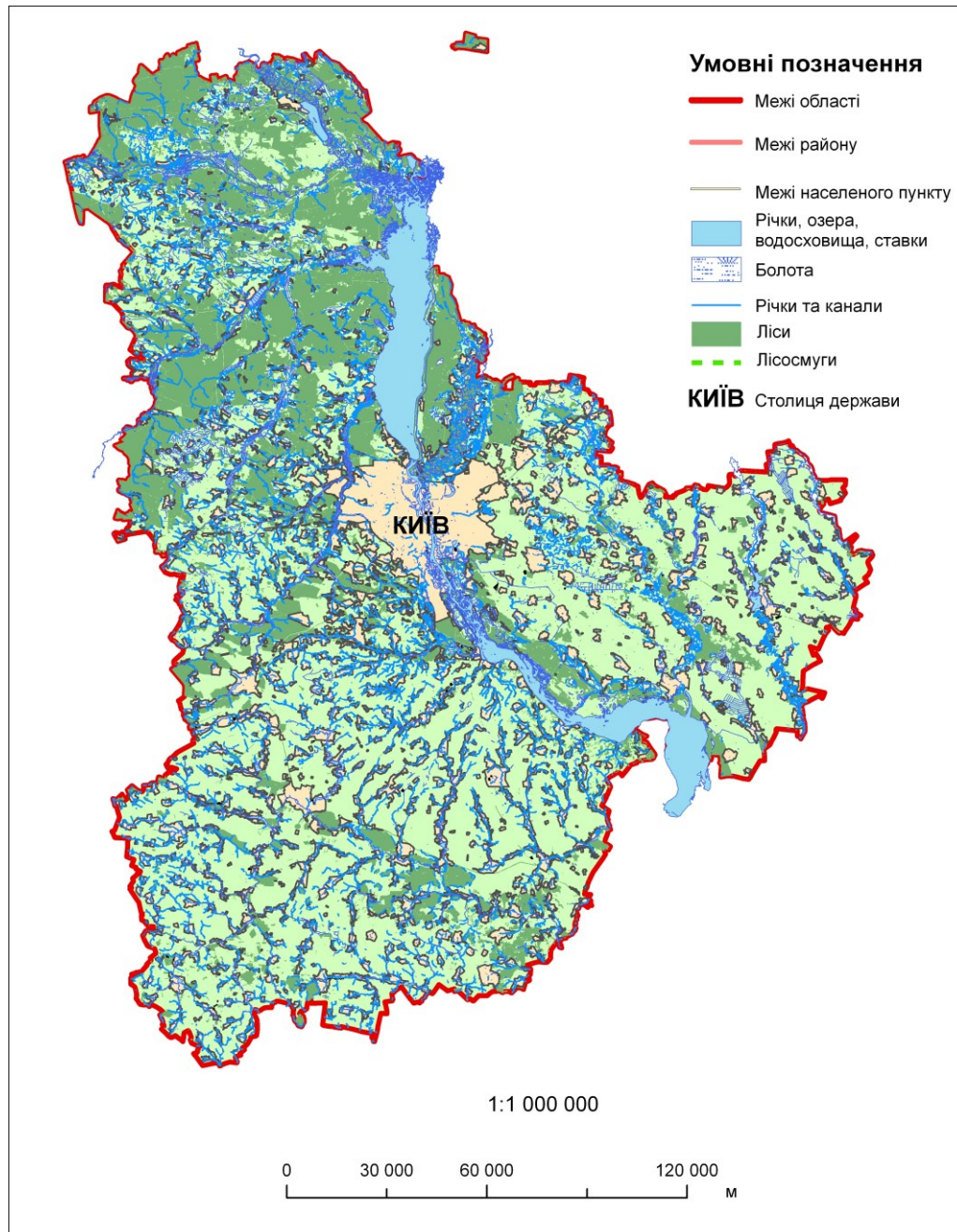


Рис. 4.1. Базовий набір картографічних даних Київської області [23]

ГІС та виділення незалежних моделей визначених елементів змісту карт (гідрографії, населених пунктів, доріг, рельєфу, рослинного покриву, ґрунтів, тощо). Також вона складається з окремих шарів, які містять об'єкти одного

типу, що характеризуються однією множиною атрибутів. Об'єкти природно-заповідного фонду мають площинний і точковий характер локалізації. В базу даних природно-заповідного фонду України внесені всі об'єкти із цифрової карти природно-заповідного фонду України, масштаб 1:500 000, а також дані, надані обласним відділом екологічного моніторингу. Мережі об'єктів моніторингу за природними комплексами, та мережі екологічно небезпечних об'єктів надано: Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, Центральною геофізичною обсерваторією імені Бориса Срезневського Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Державним управлінням екології і природних ресурсів в Київській області та Державним технологічним центром родючості ґрунтів та якості продукції.

Шляхом накладання результатів геостатистичного аналізу можна прослідкувати динаміку змін природних комплексів.

Контрольні запитання

1. Як створюється концептуальна структурна модель ГІС-моніторингу природних комплексів?
2. Як створюється функціональна модель ГІС-моніторингу природних комплексів?
3. Який порядок розроблення каталогу об'єктів і атрибутів природних комплексів та мереж спостереження?
4. Яка мета побудови логічної моделі бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів?
5. У чому особливість дослідної реалізації бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів?
6. У якому середовища та за допомогою яких програмних засобів відбувається дослідна реалізація бази геопросторових даних моніторингу природних комплексів?

Лекція 5. МЕТОДИКА ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО АНАЛІЗУ ПРОСТОРОВОГО РОЗПОДІЛУ СТРУКТУРИ МЕРЕЖ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ЗА ПРИРОДНИМИ КОМПЛЕКСАМИ

5.1. Аналіз структури мережі постів моніторингу атмосферного повітря засобами геоінформаційного аналізу

Існуючу мережу моніторингу компонентів природних комплексів (атмосферного повітря, поверхневих вод і ґрунту) було проаналізовано з використанням базового набору картографічних даних засобами геоінформаційного аналізу просторових розподілів (аналіз квадратів, кластерний аналіз, оверлейний аналіз) та апарату математичної статистики у відповідності до діючих державних стандартів в галузі моніторингу довкілля та критеріїв, розроблених на їх основі: рівномірності розміщення об'єктів мереж спостереження природних комплексів по території області дослідження, ступеня охоплення існуючими об'єктами мереж моніторингу природних комплексів фізико-географічних областей/районів, річок різних рангів та у відповідному водному басейні, агроґрунтових зон/провінцій.

Для забезпечення ефективного функціонування системи моніторингу природних комплексів запропонована методика визначення просторового розподілу об'єктів моніторингу: рівномірного, випадкового та кластерного. Виявити такий розподіл об'єктів моніторингу дає змогу геоінформаційний аналіз просторових розподілів. Будь-який набір геопросторових об'єктів, до яких належать і об'єкти мереж спостереження (передаються точковим способом), має чітко визначене просторове розміщення. В ГІС виділяють три типи просторового розміщення точкових об'єктів: рівномірний (регулярний), випадковий і кластерний [23].

Під час аналізу мережі постів моніторингу атмосферного повітря на території Київської області необхідно зважати на такі критерії:

1) забезпеченість території постами спостереження в залежності від чисельності населення в місті, площі населеного пункту, рельєфу місцевості та особливостей промислового навантаження (для стаціонарних постів);

2) наявність постів мережі моніторингу атмосферного повітря в кожному фізико-географічному регіоні;

3) забезпеченість території постами спостереження стосовно метеорологічних процесів, концентрацій забруднюючих речовин, радіоактивності.

За результатами порівняльного аналізу виявилось, що більшість міст Київської області потребує по одному додатковому посту спостереження атмосферного повітря.

Для визначення складності умов досліджуваної території від якої також залежить кількість постів моніторингу атмосферного повітря була побудована поверхня висот над рівнем моря, яка зображує рельєф місцевості. Поверхня отримана в результаті побудови цифрової моделі місцевості (ЦМР) по опорним точкам, в яких відома висота над рівнем моря, із застосуванням пакету інструментів геостатистичного аналізу. ЦМР побудована методом обернених зважених відстаней. Суть методу полягає в тому що чим ближче одна до одної знаходяться точки, то ближчі їх значення. Від складності рельєфу залежить розповсюдження домішок забруднюючих речовин.

На підготовчому етапі було виділено частину Київської області з карти Фізико-географічне районування з Національного атласу України [7], отриманий растр прив'язаний в середовищі ArcGIS 10.2 і векторизований, таким чином були отримані дані про фізико-географічні області і райони на які поділена досліджувана територія.

Територія Київської області лежить в межах п'яти фізико-географічних областей: область Київського Полісся, область Чернігівського Полісся, Північно-Східна Придніпровська височинна область, Київська височинна область, Північнопридніпровська терасова низовинна область/

Геокодування об'єктів мережі моніторингу атмосферного повітря Гідрометслужби здійснено за табличними наборами координат у текстовому вигляді – координати X та Y, за якими встановлювалося положення точкових об'єктів із заданими атрибутами. Оверлейний аналіз розташування постів спостереження атмосферного повітря у фізико-географічних районах Київської області здійснено за одним з трьох типів векторних накладань [23].

Потрібно було визначити взаємне розташування постів мережі спостереження (точкові об'єкти) у фізико-географічних областях і районах (полігональні об'єкти), отже, був застосований тип векторних накладань – точки на полігон. Два тематичні шари, один з них містить точки, що вказують на

місцеположення постів мережі спостереження за атмосферним повітрям, а другий – полігони, що відповідають фізико-географічній області/району. В результаті накладання цих двох шарів утворився новий шар, на якому видно, якій фізико-географічній області/району відповідають пости спостереження атмосферного повітря за станом опадів, за радіоактивністю чи власне за станом атмосферного повітря. Цю інформацію подано у вигляді цифрової карти постів мережі моніторингу за атмосферним повітрям з додатковими атрибутами, які описують фізико-географічні області і райони.

Результати оверлейного аналізу подані нижче в таблиці 5.1.

Як видно з табл. 5.1 Київська область має досить незначну кількість постів спостереження атмосферного повітря у фізико-географічних областях і районах. Достатньо забезпечені постами спостереження лише міста: Київ, Біла Церква, Обухів і Українка. В окремих фізико-географічних регіонах взагалі відсутні пости спостереження атмосферного повітря (у 14 районах), радіоактивністю (у 14 районах) та опадами (у 16 районах), що говорить про вкрай нерівномірний їх розподіл. Це підтверджується перевіркою рівномірності розподілу постів спостереження за станом атмосферного повітря у фізико-географічних районах Київської області статистичними методами. Значення розрахункового показника $\chi^2_{спост.} = 52$, а контрольне значення $\chi^2_{табл.} = 25$. Так як $\chi^2_{спост.} > \chi^2_{табл.}$, то розподіл нерівномірний. Зосередженість постів моніторингу атмосферного повітря у великих містах відповідає кластерному розподілу.

Розглянемо можливе групування постів спостереження за станом атмосферного повітря Гідрометслужби. Для цього було проведено кластерний аналіз наявних постів. Із великої кількості методів кластерного аналізу найбільш сучасним методом вважається нечітка кластеризація. Задача нечіткої кластеризації в загальному вигляді ставиться наступним чином: нехай початкова (досліджувана) сукупність даних представляє собою скінчену множину елементів $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, яка ще називається множиною об'єктів кластеризації. Вводиться також скінчена множина ознак або атрибутів об'єктів $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$, кожний з яких являє собою деяку характеристику елементів множини A .

Розташування постів спостереження УкрГМЦ у Київській області

Фізико-географічний район	Кількість постів спостереження за станом опадів	Кількість постів спостереження за радіоактивністю	Кількість постів спостереження за станом атмосферного повітря
1	2	3	4
Область Київського Полісся - (III)			
Руднянсько-Вільчанський – (20)	1	1	0
Чистогалівсько-Корогодський – (21)	0	0	0
Нижньо-прип'ятський – (22)	0	0	0
Нижньоузський – (23)	0	0	0
Народницько-Іванківський – (24)	0	0	0
Нижньо-тетерівський – (25)	0	0	0
Здвизько-Ірпінський – (26)	0	2	7
Область Чернігівського Полісся - (IV)			
Дніпровсько-Нижньо-деснянський – (33)	0	0	3
Козелецько-Куликівський – (34)	0	0	0
Північно-Східна Придніпровська височинна область - (XIII)			
Попільнянсько-Фастівський – (76)	0	0	0
Рутинсько-Сквирський – (77)	0	0	0
Ставищенсько-Жашківський – (78)	0	0	0
Білоцерківсько-Богуславський – (79)	0	1	1
Київська височинна область - (XIV)			
Васильківсько-Кагарлицький – (80)	0	0	0
Букринсько-Канівський – (81)	3	4	1
Північнопридніпровська терасова низовинна область - (XX)			
Процівсько-Ліпнявський – (104)	0	0	3
Бориспільсько-Баришівський – (105)	2	2	1
Носівсько-Липовицький – (106)	0	0	0
Яготинсько-Гребінківський – (108)	0	1	0
Золотонісько-Черкаський – (109)	0	0	0

Далі, припускається, що для всіх елементів множини об'єктів кластеризації виміряли всі ознаки множини P , і кожен елемент множини $a_i \in A$ представлений вектором $x_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^q\}$, де $x_i^j \in R$ – дійсне значення

ознаки $p_j \in P$ для об'єкту $a_i \in A$. Вектори значень ознак $x_i = \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^q\}$ зручно подавати у вигляді матриці даних D розмірності $(n * q)$, кожний рядок якої є значенням вектору x_i . Далі на основі даних матриці D визначити таке нечітке розбиття $R(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ або нечітке покриття $J(A) = \{A_k \mid A_k \subseteq A\}$ множини A на задане число нечітких кластерів $A_k (k \in \{2, \dots, c\})$, яке виводить на екстремум деяку цільову функцію $F(R(A))$ серед всіх нечітких розбиттів чи екстремум цільової функції $F(J(A))$ серед всіх можливих нечітких покриттів. Для конкретизації задачі ще слід уточнити вигляд цільової функції та тип шуканих нечітких кластерів.

Одним з видів цієї задачі є використання спеціальної функції *fcm* програми Matlab. Вона заснована на алгоритмі розв'язування типових задач методом нечітких с-середніх.

Цей підхід було застосовано до наявних постів спостереження за атмосферним повітрям, опадами та радіоактивністю. За допомогою нього можна виявити наявні кластери і їх центри. Аналіз просторового розміщення постів моніторингу за станом атмосферного повітря здійснено за допомогою наступної програми, реалізованої в середовищі Matlab (рис. 5.1):

```
load 'Povitrya.mat'
plot(Povitrya(:,1),Povitrya(:,2),'o')
[center,U,obj_fcm]=fcm(Povitrya,2)
hold on
plot(center(1,1), center(1,2),'*','markersize',12,'LineWidth',2,'color','g')
plot(center(2,1), center(2,2),'*','markersize',12,'LineWidth',2,'color','r')
```

Файл Povitrya.mat, до якого зверталася програма, є переліком координат постів спостереження за станом атмосферного повітря в системі координат WGS-84. Центри знайдених кластерів мають координати (30.5362; 50.4265) та (30.1678; 49.8140).

Для візуалізації знайдених центрів кластерів постів моніторингу за станом атмосферного повітря в середовищі ArcGIS проведено операцію геокодування.

Отримані центри кластерів постів моніторингу за станом атмосферного повітря тяжіють до міст Київ і Біла Церква, бо ці міста мають найбільшу густоту населення і в них сконцентровано найбільше промислових підприємств.

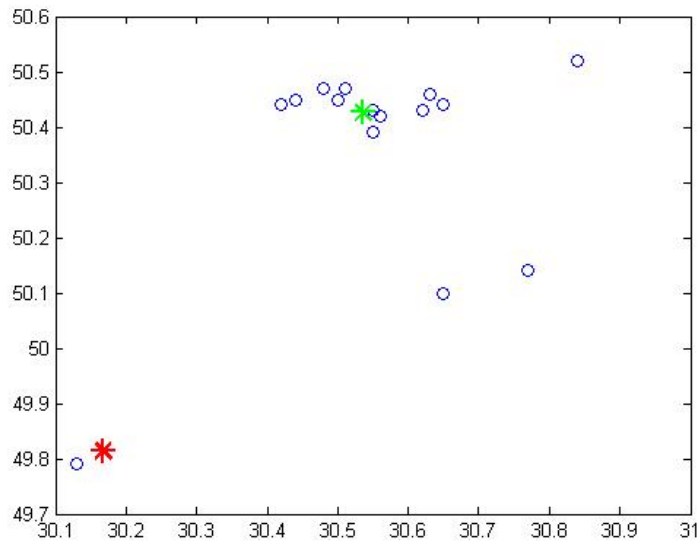


Рис. 5.1. Пости спостереження УкрГМЦ за станом атмосферного повітря

○ – пости спостереження за атмосферним повітрям,

*, * – центри кластерів

Результати цього підходу застосовані до інших постів спостереження іншого призначення.

Оскільки постів спостереження за опадами на Київську область лише шість, то в результаті було отримано лише один центр кластеру, який тяжіє до м. Київ.

Центри знайдених 6 кластерів для постів моніторингу Гідрометслужби за радіоактивністю мають координати: (31.1377; 50.3553); (30.4669; 50.4593); (31.7720; 50.2713); (30.0148; 49.9463); (30.2404; 51.2586); (30.9992; 49.6731). Отримані центри кластерів постів моніторингу за радіоактивністю тяжіють до міст: Київ, Біла Церква, Бориспіль, Прип'ять, Фастів, Миронівка, Яготин.

5.2. Геоінформаційний аналіз просторового розподілу пунктів у мережі моніторингу поверхневих вод

Для аналізу рівномірності розподілу пунктів у мережі моніторингу поверхневих вод скористаємося методами геоінформаційного аналізу та апаратом математичної статистики.

Важливою особливістю оптимальності мережі моніторингу поверхневих вод є ступінь охоплення нею всієї різноманітності природних умов

досліджуваної території. Адже чим складніші природні умови території, тим більша кількість пунктів спостереження потрібна для забезпечення ефективної екстраполяції результатів моніторингу природних комплексів на сусідні території, які не охоплені постійними спостереженнями.

Під час аналізу мережі пунктів моніторингу поверхневих вод на території Київської області ми враховували такі критерії:

1. Ступінь рівномірності розташування об'єктів моніторингу поверхневих вод на річках різних рангів у кожній природно-географічній області та у відповідному водному басейні.

2. Ступінь охоплення моніторингом гідрохімічних параметрів функціонування водних об'єктів.

Для перевірки рівномірності розподілу пунктів у мережі спостережень за поверхневими водами використано стандартні методи перевірки статистичних гіпотез. Дослідимо розташування пунктів спостереження на прикладі річки Дніпра, тому що саме для цього об'єкта моніторингу можна отримати найбільш статистично значущі результати.

Загалом сформулюємо завдання так: нехай задано якийсь емпіричний розподіл неперервної випадкової величини X у вигляді послідовності інтервалів $x_{i-1}-x_i$ і відповідні їм частоти n_i , причому $\sum n'_i = n$ (об'єм вибірки). Необхідно, використовуючи критерій Пірсона, перевірити гіпотезу, що випадкова величина X розподілена рівномірно.

Щоб перевірити цю гіпотезу, виявити закономірність, коли

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{(b-a)} & \text{в інтервалі } (a,b); \\ 0 & \text{в інтервалі } (a,b), \end{cases} \quad (5.1)$$

необхідно:

1. Оцінити параметри a і b – тобто кінцеві значення інтервалу, в якому спостерігалися імовірні значення X , за формулами (через a^* і b^* позначено оцінки параметрів):

$$a^* = \bar{x}_a - \sqrt{3}\sigma_a; b^* = \bar{x}_a + \sqrt{3}\sigma_a. \quad (5.2)$$

2. Знайти щільність імовірності розподілу, що перевіряється:

$$f(x) = \frac{1}{(b^* - a^*)}. \quad (5.3)$$

3. Знайти теоретичні частоти:

$$n'_1 = n \times \frac{1}{(b^* - a^*)} (x_1 - a^*); \quad (5.4)$$

$$n'_2 = n'_3 = \dots = n'_{s-1} = n \times \frac{1}{(b^* - a^*)} (x_i - x_{i-1}), (i = 2, 3, \dots, s-1); \quad (3.5)$$

$$n'_s = n \times \frac{1}{(b^* - a^*)} (b^* - x_{s-1}). \quad (5.6)$$

4. Порівняти емпіричні й теоретичні частоти за критерієм Пірсона, прийнявши число ступенів свободи $k = s - 3$, де s – число інтервалів.

Скористаємося наведеним алгоритмом, прийнявши за випадкову величину кількість пунктів у мережі, незалежно від їх відомчого підпорядкування; за інтервали, на які розбивається вибірка, – трапеції масштабу 1:100 000 на Київську область; за частоти – кількість пунктів спостереження у трапеції.

Для пунктів спостереження на Дніпрі $n = 48$, $\bar{x}_g = 8$, $\bar{\sigma}_g = 4,3204938$. Користуючись наведеними вище формулами, отримаємо: $a^* = 0,5166852$, $b^* = 15,4833148$, $f(x) = 0,0668153$.

Розрахунки для $\chi^2_{спост.}$ наведено в таблиці 3.5. $\chi^2_{спост.} = 96,5758223$; $\chi^2_{табл.}$ для числа ступенів свободи $k = 12$ і рівня значущості $\alpha = 0,05$ становить 21. Оскільки $\chi^2_{спост.} > \chi^2_{табл.}$, можна зробити висновок, що пункти спостереження на Дніпрі розподілені нерівномірно.

5.3. Геоінформаційний аналіз структури мережі агроекологічного моніторингу ґрунтів

Для аналізу регулярності розподілу ділянок у мережі моніторингу ґрунтів було використано методи геоінформаційного аналізу та апарат математичної статистики.

Змістом цього пункту роботи є геоінформаційний аналіз оптимальності мережі моніторингу ґрунтів у Київській області методом просторового розподілу та статистичним методом перевірки нульової гіпотези.

Під час аналізу мережі пунктів агроекологічного моніторингу ґрунтів на території Київської області було враховано такі критерії:

1. Максимальне охоплення всіх агроґрунтових зон і провінцій моніторинговими дослідженнями на ключових ділянках та місцях відбору проб.

2. Ступінь охоплення моніторинговими дослідженнями на орних землях різного рівня антропогенної трансформованості у межах окремих районів.

3. Рівномірний розподіл ключових ділянок мережі моніторингу ґрунтів по території області.

У 1996 році були проведені дослідження на визначення ступеню еродованості ґрунтів в районах Київської області, результати якого були класифіковані у відповідності з шістьма рівнями небезпеки. Для кращого візуального сприйняття різного рівня антропогенної трансформованості ґрунтів у межах окремих районів укладено тематичну карту, в якій показники ранжировано за шістьма інтервалами. За критерієм еродованості земель у кожному інтервалі задано палітру кольорів. Таким чином було визначено рівень небезпеки еродованості земель для кожного району Київської області. Далі для визначення ступеню охоплення моніторинговими дослідженнями на орних землях різного рівня антропогенної трансформованості у межах окремих районів було також застосовано оверлейний аналіз, а саме тип векторного накладання тематичних шарів точки на полігон. На отриманий тематичний шар еродовані орні землі було накладено два шари: контрольні ділянки радіоекологічного моніторингу ґрунтів Держцентруродючості та місця відбору проб ґрунту на вміст пестицидів і нітратів ЦГО. В результаті накладання цих шарів утворився новий і відповідно нова атрибутивна таблиця, на яких видно якому антропогенно трансформованому району належить та чи інша контрольна ділянка та місця відбору проб ґрунту.

Зважаючи на зазначене вище, можна говорити про брак контрольних ділянок моніторингу ґрунтів та місць відбору проб ґрунту на вміст пестицидів і нітратів у мережі для покриття спостереженнями території Київської області, а це означає, що моніторинг ґрунтового покриву як система періодичних спостережень за змінами ґрунтів на постійних ділянках в області розвинений недостатньо. Проте існуючу мережу контрольних ділянок, підпорядкованих Держцентруродючості, можна доповнити в процесі модернізації мережі ділянками, які характеризують типові ландшафти (де вони взагалі відсутні або присутні в недостатній кількості) і ґрунтові відміни, а також екологічно вразливі території у відповідності до європейських підходів і стандартів.

Для перевірки рівномірності регулярності розташування ключових ділянок у мережі моніторингу ґрунтів на території Київської області можна

скористатися таким методом геоінформаційного аналізу, як аналіз квадратів [12], розглянутий в пункті 5.2.

Аналіз розподілу контрольних ділянок геоінформаційними методами показав, що територія області потребує додаткових контрольних ділянок для підвищення ефективності ведення моніторингу ґрунтового покриття з метою аналізу стану і змін якості ґрунтів і досягнення об'єктивності в прийнятті управлінських рішень.

Методи перевірки статистичних гіпотез в поєднанні з методами ГІС аналізу є ефективними засобами оцінювання просторового розподілу об'єктів мережі моніторингу природних комплексів на досліджуваній території.

Розроблена методика геоінформаційного аналізу просторового розподілу структури мереж об'єктів і систем спостереження за природними комплексами може застосовуватися для дослідження інших компонентів природних комплексів і бути основною для дослідження інших мереж спостереження загальнодержавної системи моніторингу навколишнього природного середовища для підвищення рівня їх планування, розташування та управління.

Контрольні запитання

1. Опишіть мережу постів моніторингу атмосферного повітря.
2. Яким чином можна змодельовати мережу постів моніторингу атмосферного повітря у ГІС?
3. За допомогою яких методів геопросторового аналізу можна проаналізувати мережу постів моніторингу атмосферного повітря?
4. Яким чином відбується аналіз просторового розподілу пунктів мережі моніторингу поверхневих вод за допомогою ГІС?
5. Які методи геопросторового аналізу можна використати для аналізу мережі агроекологічного моніторингу ґрунтів?

Лекція 6. ГЕОСТАТИСТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ПРИРОДНИХ КОМПЛЕКСІВ ЗАСОБАМИ ГІС

6.1. Загальна характеристика геостатистичних методів і моделей в аналізі компонентів природних комплексів

Ця тема присвячена застосуванню геостатистичних методів і моделей в аналізі компонентів природних комплексів, проведенню геостатистичного аналізу і моделюванню окремих компонентів природних комплексів: ґрунтів, поверхневих вод засобами ГІС відповідно до загальної схеми процесу побудови геостатистичної моделі.

Необхідність покращення технік опрацювання екологічних даних для досягнення більшої ефективності процесу моніторингу природних комплексів зумовлена широким використанням нових методів аналізу. Застосування геостатистичних методів, які були розроблені спочатку як засіб оцінювання запасів руди, виявилось успішним і для аналізу даних моніторингу довкілля з різною метою. Інтерес до геостатистики як інструменту аналізу екологічних даних підтверджується зростанням кількості видань літератури відповідної тематики [23, 24].

Геостатистика – це вид статистики, який використовується для аналізування та прогнозування просторових або просторово-часових явищ. Вона заснована на теорії районування змінних [52], які поширені в просторі (тобто мають просторові координати), і показує просторову автокореляцію таким чином, що точки, які близькі одна до одної в просторі, більше схожі між собою, ніж ті, які віддалені одна від одної.

Геостатистичний підхід відрізняється від класичного статистичного тим, що він використовує концепцію районування змінних. Якщо класична статистика оперує незалежними випадковими величинами, то геостатистика аналізує залежні змінні, які є районуваними і корелюються у просторі або часі. Ступінь кореляції визначається за допомогою одного з основних інструментів геостатистики – напівваріограми, що оцінює ступінь кореляції між точками в залежності від відстані між ними (в просторі або часі). Ця інформація потім використовується у другому основному інструменті геостатистики: техніці оцінки, відомій як кригінг.

На жаль, інтенсивне господарювання (зростання темпів промислового і сільськогосподарського навантаження на природні комплекси, неправильна утилізація відходів) спричинює значне техногенне трансформувannya одного з основних компонентів природних комплексів – ґрунтового покриву, яке часом перевищує темпи ґрунтоутворювального процесу.

Моніторинг, здійснюваний для виявлення змін у природних комплексах та з'ясування небезпеки надмірного забруднення – витратний процес. Оцінювання ризику забруднення в місцях, де не проводилося відбору проб, має важливе значення для розмежування екологічно чистих і забруднених територій. Однак точність оцінювання ризику залежить від багатьох факторів, в т. ч. й від використовуваної для цього методики.

Геостатистика має в своєму розпорядженні сучасні методи, які полегшують кількісне оцінювання просторових параметрів компонентів природних комплексів і дають змогу їх просторово інтерполювати.

Геостатистичні методи ґрунтуються на статистичних моделях, які враховують автокореляцію (статистичні взаємозв'язки між опорними точками). За допомогою цих методів можна не тільки побудувати потрібну поверхню, а й отримати кількісну оцінку точності інтерполяції.

В області екологічних наук, зокрема в моніторингу природних комплексів методи геостатистики використовують для оцінювання їх екологічного стану у сфері вмісту забруднювальних речовин у повітрі, в поверхневих водах і ґрунтах, а також для встановлення рівня загрози довкіллю і здоров'ю населення.

Для правильного і ефективного аналізу наявних моніторингових даних про об'єкти природних комплексів та їх подальше використання в аналізі ризиків для прийняття відповідних управлінських рішень необхідно було побудувати геостатистичні моделі. Такі моделі широко застосовуються для вирішення різних екологічних завдань, зокрема для прогнозування явищ або процесів у місцях, де не проводились спостереження, а також для оцінювання цього прогнозування.

На початковому етапі детально вивчаються і аналізуються вхідні дані моніторингу природних комплексів.

На другому етапі будується власне сама модель. Але цей процес побудови моделі може потребувати додаткових етапів в залежності від мети дослідження та особливостей набору вхідних даних.

На третьому етапі визначається складність моделі: як вона може інтерполювати значення даних, визначати міри невизначеностей і з якою точністю.

Четвертим етапом побудови геостатистичної моделі є стратегія пошуку, яка визначає скільки точок даних будуть використовуватися для генерації результату без вибірки. Також визначається їх просторова конфігурація. Зазвичай в методах кригінгу застосовується пошук еліпса, який розбиває точки відомих вимірних значень на кілька секторів для прогнозування значень в точках, в яких не були проведені вимірювання.

Далі слідує власне процес прогнозування значень, в місцях, де не були проведені вимірювання. Отже, в кінці цього етапу модель вже повністю визначена і отримується карта інтерпольованих значень явища, яке моделюється.

Заключними етапами процесу геостатистичного моделювання є: визначення кількості невизначеностей прогнозування, перевірка моделі (що модель продукує раціональні результати для прогнозування і визначення міри невизначеностей).

Результати геостатистичної моделі можуть використовуватися в аналізі ризиків та прийнятті рішень.

Геостатистика використовує техніку варіограми для вимірювання просторової мінливості районованої змінної і видає вхідні параметри для просторової інтерполяції кригінгу. Варіограма дорівнює добутку половини математичного очікування M_x на квадрат різниці між значеннями пар точок $Z(x)$ і $Z(x + h)$, де h – інтервал відстані між точками:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} M_x [Z(x) - Z(x + h)]^2. \quad (6.1)$$

Для дискретних ділянок відбору проб, таких як, наприклад, контрольні ділянки моніторингу ґрунту, функція оцінюється як:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2, \quad (6.2)$$

де $Z(x_i)$ – це значення змінної Z за місцеположенням x_i ; $N(h)$ – число пар точок відбору проб ґрунту, які розділені інтервалом відстані h .

Для нерегулярного відбору проб це рідкісний випадок, коли відстань між вибраними парами точно дорівнює h . Частіше інтервал відстані h подається як відстань групи точок. Варіограму всієї ділянки можна отримати обчисленням

варіограм на різних інтервалах. Тоді, варіограма визначається з теоретичних моделей, таких як сферична чи експоненціальна, або гауссова. Одержана модель забезпечує інформацією про просторову структуру, а також вхідні параметри для інтерполяції методом кригінгу.

Метод кригінг розглядається як оптимальний метод оцінювання лінійної інтерполяції без зміщення і являє собою процес теоретичного зваженого ковзного середнього:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i), \quad (6.3)$$

де $Z(x_0)$ – це значення в місці, де не бралася проба і яке буде приблизно оцінено в місці x_0 ; $Z(x_i)$ – відоме значення в місці відбору проб x_i . На відміну від інших методів (наприклад, зворотної зваженої відстані), вагова функція λ_i вже не є випадковою, а розраховується на основі параметрів варіограми моделі. Але тоді, як і в інших методах, у кригінгу діє принцип, що точки, близькі одна до одної в просторі більше схожі, ніж ті, які віддалені одна від одної. Оцінка є незміщеною, якщо сума ваг дорівнює одиниці. Тоді оцінка помилок (або кригінг відхилень) повинна бути зведена до мінімуму [23, 46, 47, 50, 51, 52]:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1. \quad (6.4)$$

Нормальний розподіл для досліджуваних змінних властивий лінійній геостатистиці [46]. Проте ця умова не завжди виконується. Нормальність не може бути строго обов'язковою, проте серйозні порушення нормальності, такі як занадто висока асиметрія і випадуючі значення, можуть погіршувати структуру варіограми і результати кригінгу. Як показує практика, часто спостерігаємо, що екологічні змінні не завжди підпорядковуються нормальному розподілу або мають позитивну асиметричність [56], тому трансформування є необхідним етапом для нормалізації таких наборів даних [56].

6.3. Дослідження вхідних статистичних даних моніторингу компонентів природних комплексів

Дослідження вхідних статистичних даних є необхідним етапом побудови геостатистичної моделі. Це пов'язано з тим, що геостатистичні методи чутливі до типу розподілу вхідних даних.

У цьому пункті розглянуто попередню оцінку даних для абіотичних компонентів природних комплексів: ґрунту та поверхневих вод. Атмосферне повітря не розглядається окремо, оскільки геостатистичні методи, які можна застосувати для моделювання його стану і змін, аналогічні до тих, які застосовуються для моделювання стану і змін у ґрунті.

Для проведення геостатистичного моделювання стану ґрунтового покриття використано вхідні дані отримані з мережі 12 контрольних ділянок, яка була створена Центрдержродючістю спеціально для проведення постійного агроекологічного моніторингу. Мережа покриває територію Київської області нерівномірно: вона охоплює не всі природно-економічні зони, типи ґрунтів, не враховує всі ландшафтні особливості місцевості, рівень деградаційних процесів та ступінь забруднення земель [22].

У математичній статистиці останній вважається найбільш строгим і надійним для погодження нульових гіпотез, бо забезпечує мінімальну ймовірність виникнення похибок 2-го порядку. Критерієм нульової гіпотези є статистика:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(v_i - Np_i)^2}{Np_i}, \quad (6.5)$$

де $N = \sum v_i$ – число всіх вимірів; p_i – теоретичне значення ймовірності вибраних інтервалів вибирається з таблиці за граничними значеннями початкового t_n і кінцевого t_k інтервалу.

У критерії Пірсона для нормального розподілу похибок вимірів статистика χ^2 має χ^2 -розподіл з числом ступенів вільності $k=n-1$.

Критична область для нульової гіпотези буде:

$$\chi^2 > \chi^2_q, \quad (6.6)$$

де χ^2_q вибирається з таблиці за даними q і $r=k-3$; k – кількість інтервалів.

Результати перевірки подані нижче в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Результати перевірки на нормальний розподіл необроблених вхідних даних

Набір даних	Необроблені дані		
Параметр	Коефіцієнт асиметрії	Ексцес	Значення критерію χ^2 (Пірсона) для нормального розподілу
Ph сольової витяжки	-0,45053	-0,75953	0,14616
Обмінний кальцій, мг-екв/100 г ґрунту	-0,41934	-1,02289	0,00002
Обмінний магній, мг-екв/100 г ґрунту	-0,39817	-0,69583	0,14616
Гумус, %	-0,00965	-1,42551	0,00271
Азот амонійний, мг/кг (легкогідролізований)	0,12193	0,02350	0,83104
Рухомий фосфор, мг/кг	1,77387	2,51280	0,00000
Обмінний калій, мг/кг	1,96615	4,45633	0,00000
Марганець, мг/кг	0,56517	0,07408	0,25902
Бор, мг/кг	0,62398	0,03219	0,00006
Цезій – 137 Ки/км ²	1,20006	0,17417	0,00000
Стронцій – 90 Ки/км ²	1,26268	1,28958	0,00129
Свинець, мг/кг	0,16503	-0,57610	0,96360
Кадмій, мг/кг	0,10057	1,36789	0,00000
Мідь, мг/кг	0,22261	0,08371	0,58300
Цинк, мг/кг	3,24125	15,40779	0,00000
ДДТ і його метаболіти, мг/кг	1,31723	1,98788	0,00004
ГХЦГ (сума ізомерів), мг/кг	0,67249	-0,59301	0,00026

У ході обчислень було виявлено, що лише результати спостереження за концентрацією амонійного азоту і свинцю розподілено за законом, який досить близький до нормального.

Через те що 15 із 17-ти показників розподілено не за нормальним законом (табл. 6.1, рис. 6.1), це могло негативно вплинути на коректність побудови поверхні, що відображає концентрацію вимірюваного показника на території області.

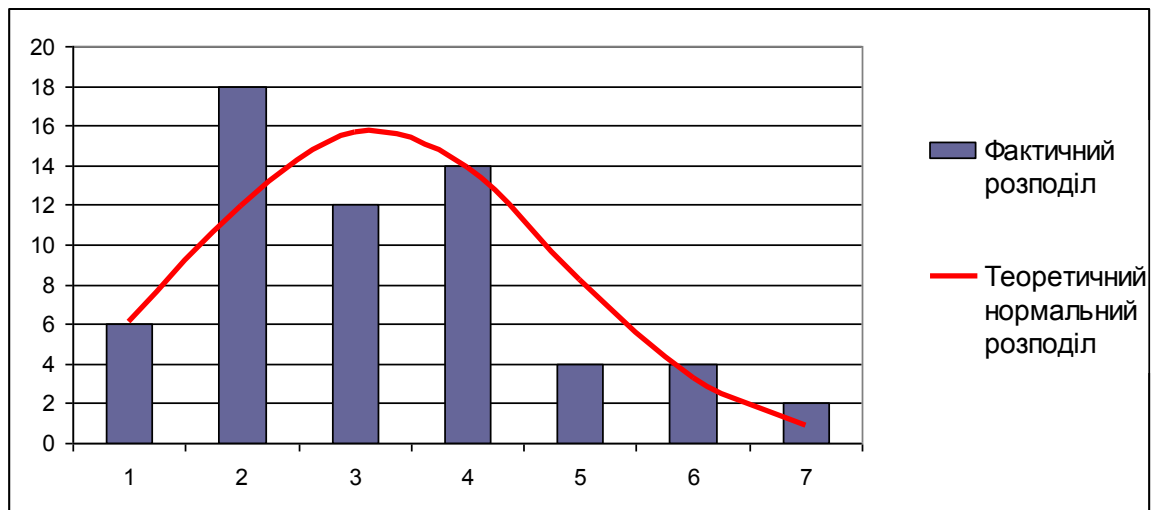


Рис. 6.1. Розподіл значень концентрації марганцю в місцях відбору проб ґрунту (по осі абсцис відкладені інтервали, на які були розділені дані; по осі ординат кількість відбору проб, що потрапили в інтервал)

Тому вхідні дані було трансформовано за певним алгоритмом (пункт 6.3), щоб отримати розподіл, ближчий до нормального. Тоді було використано метод Бокса-Кокса і його окремий випадок – логарифмічне перетворення [23].

Однією з основних функцій моніторингу поверхневих вод є аналіз інформації про їх стан, тобто визначення конкретних гідрофізичних, гідохімічних, гідробіологічних та специфічних кількісних показників, які є елементарними ознаками якості води. Якість поверхневих вод залежить від складних хімічних процесів обміну водних об'єктів з іншими компонентами природних комплексів в різних географічних умовах та у разі різного антропогенного навантаження. Це вимагає рівномірності розташування об'єктів спостереження поверхневих вод на річках різних рангів у кожній природно-географічній області та у відповідному водному басейні. Проте у зв'язку з великою протяжністю гідрографічної мережі, а також з існуючими проблемами фінансування державних суб'єктів моніторингу поверхневих вод ця умова не виконується, тобто спостереженнями охоплені не всі річки Київської області [12]. Тому існує необхідність застосування сучасних геоінформаційних і геостатистичних методів, які можуть достатньо точно оцінити якість води і нівелювати проблему обмеженості ресурсів у системі моніторингу.

Точні дані якості води слугують для регулювання діяльності водокористувачів, забезпечення раціонального використання водних ресурсів,

інформування населення про небезпечні ситуації, пов'язані з забрудненням водних об'єктів. Для підтримання належного рівня водокористування для різних видів користувачів існують різні критерії якості води. Виділяють наступні критерії якості води: для питної води, для зрошення, забезпечення потреб тваринництва, рибного господарства, рекреаційних та естетичних цілей. Окремо виділяють екологічні критерії якості води. Екологічні критерії розглядають якість води з точки зору охорони водної флори і фауни та враховують фізико-хімічні параметри, які впливають на захист і збереження життя у водному середовищі.

Відповідно до зазначених критеріїв в світі і Україні було розроблено ряд методик для оцінки та класифікації якості води, які базуються на системі контрольних показників, з якими порівнюється якість досліджуваної води. Існують одиничні, непрямі та комплексні оцінки якості води (є найбільш об'єктивними).

У рамках цього дослідження було використано методику комплексних оцінок: індекс забрудненості води (ІЗВ), яку використовує Гідрометеорологічна служба [23].

ІЗВ відноситься до найпростіших методик комплексної оцінки якості води. Розрахунок ІЗВ проводиться за обмеженим числом інгредієнтів. Визначається середнє арифметичне значення результатів хімічних аналізів по кожному з таких показників: азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, біохімічне споживання кисню (БСК₅). Знайдене середнє арифметичне значення з показників порівнюється з їх гранично допустимими концентраціями. Тоді у випадку розчиненого кисню величина допустимої концентрації ділиться на знайдене середнє значення концентрації кисню, тоді як для інших показників це робиться навпаки.

ІЗВ розраховується за формулою:

$$ІЗВ = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (6.7)$$

де C_i – середня концентрація одного із шести показників якості води; $ГДК_i$ – гранично допустима концентрація кожного з шести показників якості води.

Вхідними даними для проведення геостатистичного моделювання стану поверхневих вод Київської області є мережа пунктів спостереження Центральної геофізичної обсерваторії: 15 пунктів і 29 створів (рис. 6.2).

Моніторинг забруднення поверхневих вод за гідрохімічними показниками в 2006 – 2010 рр. проводились на 6 річках області (Ірпінь, Унава, Десна, Трубіж, Недра, Рось), Київському та Канівському водосховищах. Спостереження охоплюють наступні показники: кисень, хлориди, сульфати, біохімічне споживання кисню за п'ять діб (БСК₅), нітритні та нітратні іони, фосфор загальний, залізо загальне, мідь, цинк, хром, марганець, феноли, нафтопродукти, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), пестициди.

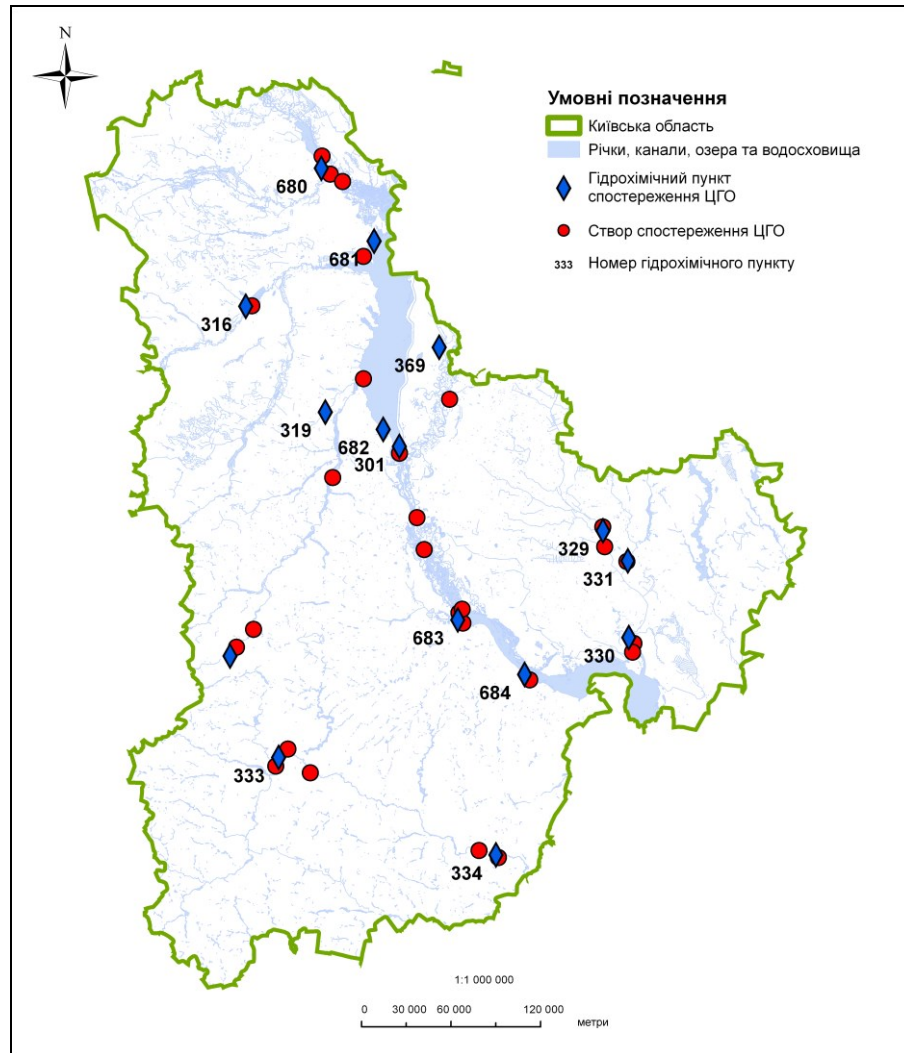


Рис. 6.2. Розташування гідрохімічних пунктів та створів ЦГО моніторингу поверхневих вод Київської області [23]

У ході обчислень було виявлено, що лише результати спостереження за концентрацією кисню і цинку розподілено за законом, який досить близький до нормального. Через те що 15 із 17-ти показників розподілено не за нормальним

законом, це могло негативно вплинути на коректність побудови поверхні, що відображує концентрацію вимірюваного показника на території області. Тому вхідні дані було трансформовано за певним алгоритмом, щоб отримати розподіл, ближчий до нормального.

6.4. Попереднє оброблення даних моніторингу ґрунтів і поверхневих вод та застосування методів перетворення для їх трансформування

Як зазначалося раніше нормальний розподіл є бажаним у лінійній геостатистиці. Після перевірки вхідних даних моніторингу ґрунтів і поверхневих вод було виявлено, що більшість показників не підпорядковуються нормальному закону розподілу, про що говориться вище в підпунктах 6.1.1 та 6.1.2. Тому для нормалізації даних було використано два методи трансформування: Бокса-Кокса та логарифмічний.

Перетворення Бокса-Кокса для деякої вхідної послідовності x_i , де $i=0, 1, 2, 3 \dots n$; визначається наступним чином:

$$x(\lambda) = \begin{cases} \frac{x_i^\lambda - 1}{\lambda}, & \lambda \neq 0 \\ \ln(x), & \lambda = 0 \end{cases} \quad (6.8)$$

Для значення $\lambda=0$ здійснюється логарифмічне перетворення вхідної послідовності, для значення λ відмінного від нуля – степеневе. Залежно від значення λ , перетворення Бокса-Кокса включає в себе такі часткові випадки:

$$\begin{aligned} \lambda = -1, \quad x_i(\lambda) &= \frac{1}{x_i} \\ \lambda = -0,5, \quad x_i(\lambda) &= \frac{1}{\sqrt{x_i}} \\ \lambda = 0, \quad x_i(\lambda) &= \ln(x_i) \\ \lambda = 0,5, \quad x_i(\lambda) &= \sqrt{x_i} \\ \lambda = 2, \quad x_i(\lambda) &= x_i^2. \end{aligned} \quad (6.9)$$

Одним із способів вибрати оптимальне значення λ – це використання значення λ , яке максимізує логарифм функції правдоподібності. Логарифм функції правдоподібності:

$$f(x, \lambda) = -\frac{N}{2} \times \ln \left[\sum_{i=1}^N \frac{(x(\lambda) - \bar{x}(\lambda))^2}{N} \right] + (\lambda - 1) \times \sum_{i=1}^N \ln(x_i), \quad (6.10)$$

де $x(\lambda) = \frac{1}{N} \times \sum_{i=1}^N x_i(\lambda)$ – середньоарифметичне з даних перетворених за методом Бокса-Кокса.

Результати перевірки перетворених даних спостереження за станом ґрунту наведено у табл. 6.2.

Таблиця 6.2

**Результати перевірки на нормальний розподіл вхідних даних
перетворених методом Бокса-Кокса**

Набір даних	Бокс-Кокс перетворення		
Параметр	Коефіцієнт асиметрії	Ексцес	Значення критерію χ^2 (Пірсона) для нормального розподілу
Ph сольової витяжки	-0,13232	-0,99397	0,07949
Обмінний кальцій , мг-екв/100 г ґрунту	-0,34325	-1,07443	0,00002
Обмінний магній, мг-екв/100 г ґрунту	-0,47882	-0,67206	0,00139
Гумус, %	-0,11696	-1,36083	0,00021
Азот амонійний, мг/кг	-0,01389	0,02737	0,93442
Рухомий фосфор, мг/кг	0,00315	0,28781	0,03951
Обмінний калій, мг/кг	0,03631	0,70535	0,11314
Марганець, мг/кг	-0,02175	-0,29812	0,80947
Бор, мг/кг	-0,01263	0,03394	0,00625
Цезій – 137 Ки/км2	0,14362	-1,61361	0,00000
Стронцій – 90 Ки/км2	-0,04356	-0,51250	0,74046
Свинець, мг/кг	-0,05530	-0,58675	0,80460
Кадмій, мг/кг	-0,00692	1,29662	0,00000
Мідь, мг/кг	-0,05033	0,05466	0,96484
Цинк, мг/кг	-0,03870	0,95825	0,89160
ДДТ і його метаболіти, мг/кг	0,01604	-0,61362	0,39221
ГХЦГ (сума ізомерів), мг/кг	-0,12416	-1,61335	0,00000

Перетворення Бокса-Кокса показало, що серед трансформованих даних аж 5 показників (до амонійного азоту і свинцю додалися марганець, мідь та цинк) мають значення критерію χ^2 більші за 0,75, а стронцій зі значенням $\chi^2=0,74$ дуже

наблизився до них. Середнє значення критерію Пірсона для нормального розподілу для даних, перетворених методом Бокса-Кокса, становить 0,33986, тоді як для початкових даних зафіксовано 0,17255.

Для контролю було зроблено також перетворення даних логарифмічним методом. Виявилося, що не залишилося показників, для яких значення критерію χ^2 було б більше 0,75, а середнє значення критерію Пірсона для всіх показників становило 0,17377.

Аналіз методів трансформування даних показав, що перетворення Бокса-Кокса оптимально трансформує дані і їх розподіл став ближчим до нормального.

6.5. Застосування геостатистичних методів для аналізу стану і змін у компонентах природних комплексів на прикладі ґрунту і поверхневих вод

Геостатистичне моделювання результатів моніторингу компонентів природних комплексів було проведено за допомогою методів кригінгу. Далі наведено приклади побудови геостатистичної моделі просторового розповсюдження свинцю в ґрунтах Київської області та ІЗВ для поверхневих вод на основі трансформованих вхідних статистичних даних.

Просторова структура свинцю розкривається варіограмою поверхні, яка утворює форму зірки (рис. 6.3). Оскільки значення самородка досить велике (0,333), опорні точки розташовані на значних відстанях одна від одної, які більші, ніж радіус впливу. Це вказує на незначну кореляцію між ними. Через це побудовані моделі будуть неточними, бо для більшої точності необхідно більше опорних точок і менші відстані між ними.

Результати моніторингу рівня концентрації свинцю в ґрунтах Київської області було одержано з використанням чотирьох геостатистичних методів: ординарного, простого, універсального та диз'юнктивного кригінгу.

За результатами аналізу метод універсального кригінгу було визнано оптимальним для інтерполяції значень просторового розподілу свинцю, бо його середня похибка найближча до нуля, середня квадратична похибка і середнє із стандартних похибок інтерполяції мають найменші із обчислених значень, а середня квадратична нормована похибка найближча до одиниці. Проте цей вид кригінгу оптимально відображає лише даний випадок, побудова моделей для інших показників може потребувати інших видів кригінгу.

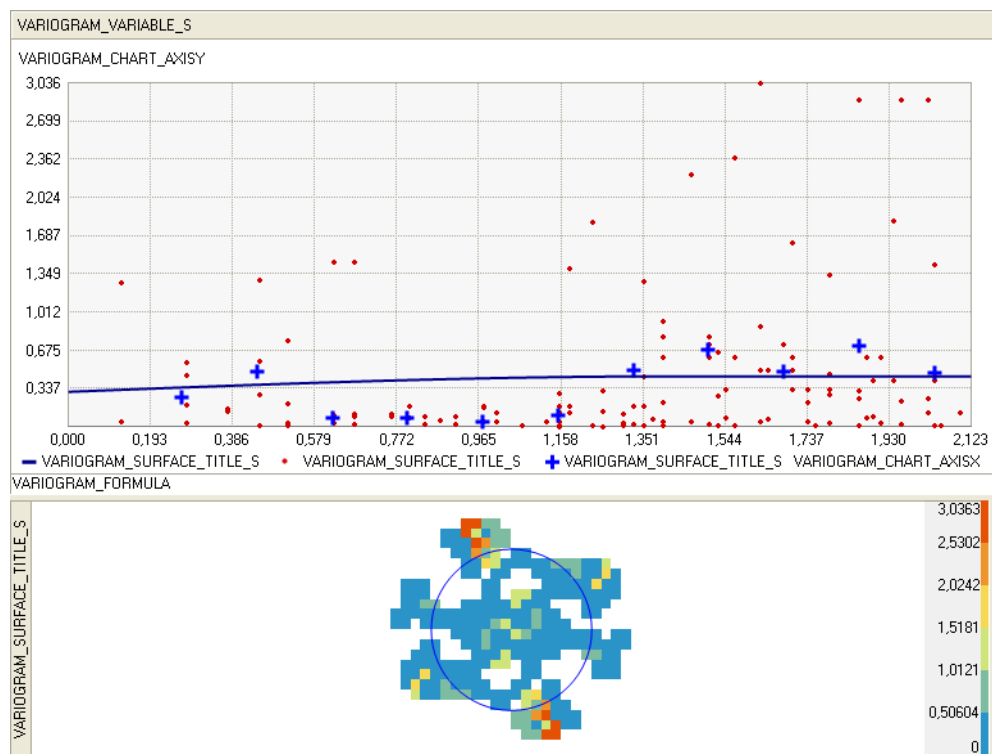


Рис. 6.3. Просторова варіограма свинцю [23]

Оскільки одним із завдань агроекологічного моніторингу є дослідження змін показників ґрунту, доцільно застосування геостатистичного аналізу для їх відображення. Для прикладу було досліджено зміну концентрації марганцю (бо саме цей елемент був нормалізований за допомогою перетворення Бокса-Кокса) в ґрунті за даними моніторингу 2009-2010 рр.

Поверхні просторового розповсюдження марганцю та зміни його концентрацій були побудовані методом універсального кригінгу.

Геостатистичні методи дають змогу поєднувати різні результати спостережень за станом ґрунту для отримання інтегральних оцінок. Доречно використовувати для аналізу агроекологічного стану ґрунтів Київської області інтегральний показник, який об'єднує усі доступні показники стану ґрунту [39]. Як було зазначено на вище результати спостережень було поділено на чотири групи: фізико-хімічні показники (РН сольової витяжки), агрохімічні показники (гумус, азот амонійний, рухомий фосфор, обмінний калій), мікроелементи (марганець, бор) та важкі метали (цезій, стронцій, свинець, кадмій, мідь, цинк). Інтегральний показник було обчислено за формулою:

$$I_s = \frac{i_1 + i_2 + i_3 + i_4}{4}, \quad (6.11)$$

де i_1 – індекс фізико-хімічного складу, i_2 – індекс агрохімічного складу, i_3 – індекс мікроелементного складу, i_4 – індекс забруднення важкими металами.

Отже, за результатами геостатистичного моделювання просторового розподілу інтегрального показника за п'ятирічний період (з 2006 по 2010 рр.) агроекологічний стан ґрунтів відрізняється певною стабільністю, який змінюється від задовільного і незадовільного до кризового відповідно в напрямку з півночі на південь і південний схід Київської області.

Методи геостатистичного аналізу і моделювання стану і змін компонентів природних комплексів значно полегшують процес оцінювання результатів моніторингу. Проблемою існуючої системи моніторингу є те що спостереження проводять не по всій території, а лише на окремих об'єктах мережі. Розглянуті геостатистичні методи дають змогу не тільки інтерполювати значення в місцях, в яких не були проведені спостереження, будувати поверхні просторового розподілу показників результатів моніторингу компонентів природних комплексів, а й оцінювати похибку побудови геостатистичних моделей.

У процесі дослідження, яке було проведено відповідно до загальної схеми побудови геостатистичної моделі, було виявлено, що вхідні статистичні дані результатів моніторингу ґрунтів та поверхневих вод не підпорядковуються нормальному закону розподілу, який властивий лінійній геостатистиці. Для перетворення цих даних було використано методи трансформування: Бокса-Кокса та його частковий випадок – логарифмічне перетворення. Результати трансформування показали, що перетворення методом Бокса-Кокса краще перетворює дані, наближуючи їх розподіл до нормального.

Побудована варіограма поверхні одного з показників стану ґрунту показала незначну кореляцію між контрольними ділянками, оскільки вони знаходяться далеко одна від одної.

Отже, для підвищення точності геостатистичного моделювання агроекологічного моніторингу ґрунтів потрібно мати якомога більше контрольних ділянок. Моделювання просторового розподілу інтегрального показника агроекологічного стану ґрунту за даними спостережень з 2006 по 2010 рр. геоінформаційними та геостатистичними методами показало, що стан ґрунтового покриву змінюється в напрямку з півночі на південь і південний схід Київської області від задовільного і незадовільного до кризового.

Побудована варіограма поверхні індексу забруднення води також показала незначну кореляцію між створами спостереження. Просторовий розподіл ІЗВ басейну р. Дніпро отриманий методами простого кригінгу та тематичного картографування, показав, що клас якості води змінюється від II до III, тобто якість води – від доброї до помірно забрудненої.

Контрольні запитання

1. Наведіть приклади застосування геостатистичних методів і моделей в аналізі компонентів природних комплексів.
2. Які дані можна використовувати для аналізу та спостереження за станом ґрунту?
3. Які дані можна використовувати для аналізу та спостереження за станом поверхневих вод?
4. Опишіть застосування геостатистичних методів для аналізу стану і змін у компонентах природних комплексів на прикладі ґрунту.
5. Опишіть застосування геостатистичних методів для аналізу стану і змін у компонентах природних комплексів на прикладі поверхневих вод.

Лекція 7. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ ЗЕМЕЛЬ І ҐРУНТІВ

Відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів» від 23 липня 2024 р. № 848 моніторинг земель і ґрунтів визначається як система спостереження за станом земель і ґрунтів з метою своєчасного виявлення змін, їх оцінки, відвернення та ліквідації наслідків негативних процесів. Моніторинг земель і ґрунтів є складовою частиною державної системи моніторингу довкілля. Об'єктом моніторингу є всі землі незалежно від форми власності і ґрунти. Моніторинг земель і ґрунтів проводиться шляхом систематичних спостережень, спрямованих на оцінку стану земель і ґрунтів, та порівняння одержаних показників. Моніторинг земель щодо забруднення ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення включає:

- агрохімічне обстеження ґрунтів;
- контроль за змінами якісного стану ґрунтів;
- агрохімічну паспортизацію земельних ділянок.

Агрохімічна паспортизація орних земель проводиться один раз на п'ять років, сіножатей, пасовищ і багаторічних насаджень - один раз на п'ять – десять років. Суцільне ґрунтове обстеження земель сільськогосподарського призначення проводиться один раз на 20 років. Залежно від мети спостережень та охоплення територій проводиться такий вид моніторингу земель і ґрунтів:

- національний – на всіх землях у межах території України;
- регіональний – на територіях, що характеризуються єдністю фізико-географічних, екологічних та економічних умов;
- локальний – на окремих земельних ділянках та в окремих частинах (елементарних структурах) ландшафтно-екологічних комплексів.

Моніторинг земель і ґрунтів включає систематичні спостереження за станом земель і ґрунтів (агрохімічна паспортизація земельних ділянок, агрохімічне обстеження ґрунтів тощо), виявлення у них змін, зокрема із використанням даних дистанційного зондування Землі, а також проведення оцінки:

- стану використання сільськогосподарських угідь;

- процесів, пов'язаних із змінами родючості ґрунтів, заростанням земельних ділянок, забрудненням земель пестицидами, важкими металами, радіонуклідами та іншими токсичними речовинами;

- стану берегових ліній річок, морів, озер, заток, водосховищ, лиманів, гідротехнічних споруд;

- процесів, пов'язаних із утворенням ярів, зсувів, із сільовими потоками, землетрусами, карстовими, кріогенними та іншими явищами;

- стану земель населених пунктів, територій, зайнятих нафтогазовидобувними об'єктами, очисними спорудами, гноєсховищами, складами пально-мастильних матеріалів, добрив, стоянками автотранспорту, гірничими об'єктами, місцями захоронення відходів промисловості і радіоактивних відходів, а також іншими промисловими об'єктами;

- процесів, пов'язаних із забрудненням ґрунтів, засміченням земельних ділянок внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії і бойових дій під час воєнного стану.

Розрізняють такі види спостережень за станом земель і ґрунтів залежно від строку та періодичності їх проведення:

- базові (вихідні, що фіксують стан об'єкта спостережень на момент початку проведення моніторингу земель і ґрунтів);

- періодичні (послідовні, що фіксують стан об'єкта спостережень порівняно з вихідними, проводяться через один рік і більше з моменту проведення базових);

- оперативні (поточні, що фіксують стан об'єкта спостережень внаслідок надзвичайних ситуацій та/або збройної агресії і бойових дій під час воєнного стану, та/або недосягнення цілей із відновлення та реабілітації земель, проводяться незалежно від базових і періодичних).

Моніторинг земель і ґрунтів базується на таких основних принципах:

- актуальність, об'єктивність, достовірність і повнота відомостей про землі і ґрунти;

- інтероперабельність та інтегрування даних, одержаних із різних джерел;

- гармонізація з європейськими та міжнародними системами моніторингу довкілля;

- відкритість і доступність відомостей, законність їх одержання, поширення та зберігання;
- інноваційність.

Моніторинг земель і ґрунтів проводиться в такому порядку:

- виконання обстеження земель і ґрунтів;
- виявлення негативних факторів, вплив яких потребує здійснення контролю;
- оцінка, прогноз, попередження впливу негативних процесів і ліквідація наслідків такого впливу.

Моніторинг земель і ґрунтів проводиться з урахуванням нормативів у галузі охорони земель та відтворення родючості ґрунтів.

Стан земель і ґрунтів оцінюється за результатами проведення аналізу систематичних спостережень і порівняння одержаних показників, визначених у додатку, зокрема із нормативами в галузі охорони земель та відтворення родючості ґрунтів. Залежно від мети і особливостей спостережень, категорії земель за основним цільовим призначенням суб'єктами проведення моніторингу земель і ґрунтів можуть створюватися відповідні мережі спостережень. Інформаційне забезпечення проведення моніторингу земель і ґрунтів складається з даних, необхідних для об'єктивної оцінки ситуації, її моделювання та прогнозування, і актуалізації даних моніторингу ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення шляхом проведення векторизації меж полів із внесенням атрибутивної інформації про показники агрохімічної паспортизації земель.

Моніторинг земель і ґрунтів проводиться Держгеокадастром, Міндовкіллям, Мінагрополітики, Держекоінспекцією, ДСНС, ДАЗВ, Держлісагентством, Держрибагентством, ДКА. Моніторинг земель і ґрунтів проводиться суб'єктами проведення моніторингу за показниками і з періодичністю згідно з додатком та відповідно до Програми моніторингу земель і ґрунтів. Залежно від режиму функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем періодичність проведення моніторингу земель і ґрунтів може змінюватися відповідно до Порядку функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 13 червня 2024 р. № 684 «Деякі питання функціонування державної системи моніторингу довкілля та її підсистем». Для забезпечення

прозорості даних та обміну інформацією щодо моніторингу земель і ґрунтів, стану земель і землекористування, а також інформаційних потреб у сфері охорони земель запроваджується та використовується автоматизована інформаційна система моніторингу земель і ґрунтів.

У межах інформації, що отримується у сфері охорони земель і використовується для інформаційних потреб управління в галузі охорони навколишнього природного середовища, забезпечується технологічна сумісність і здійснюється інформаційна взаємодія автоматизованої інформаційної системи моніторингу земель і ґрунтів із загальнодержавною екологічною автоматизованою інформаційно-аналітичною системою забезпечення прийняття управлінських рішень та доступу до екологічної інформації та з її мережею.

Власником (держателем) автоматизованої інформаційної системи моніторингу земель і ґрунтів та виключних майнових прав на її програмне забезпечення і володільцем інформації, яка міститься в цій системі, є держава в особі Держгеокадастру. До автоматизованої інформаційної системи моніторингу земель і ґрунтів не вносяться відомості, що становлять державну таємницю. Доступ до результатів проведення моніторингу земель і ґрунтів має необмежене коло осіб. Доступ до автоматизованої інформаційної системи моніторингу земель і ґрунтів через електронний кабінет надається користувачу з метою самостійного перегляду та завантаження результатів проведення моніторингу земель і ґрунтів [36].

Контрольні запитання

1. Що включає моніторинг земель щодо забруднення ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення?
2. Які існують види спостережень за станом земель і ґрунтів залежно від строку та періодичності їх проведення? Наведіть їх приклади.
3. Назвіть основні принципи моніторингу земель і ґрунтів. Наведіть приклади їх реалізації та дотримання.
4. Хто може проводити моніторинг земель і ґрунтів?
5. З чого складається інформаційне забезпечення проведення моніторингу земель і ґрунтів?

Лекція 8. ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ

8.1. Методи дослідження урбанізованих територій

Для дослідження урбанізованих територій використовують різні методи, а саме:

- 1) аналіз багатоспектральних та радарних даних супутникових систем;
- 2) аналіз тематичних спектральних індексів;
- 3) геопросторовий та геопросторово-ретроспективний аналіз;
- 4) аналіз екологічного стану урбанізованих територій.

Аналіз багатоспектральних та радарних даних супутникових систем. Використання багатоспектральних знімків, таких як Landsat або Sentinel, дає змогу отримувати інформацію про забудовані території, зелені зони, водні об'єкти та інші елементи міського середовища.

Аналіз тематичних спектральних індексів. Використання індексів, таких як Normalized Difference Built-up Index (NDBI) або Enhanced Built-up and Bareness Index (EBBI), допомагає автоматично визначати забудовані території на супутникових знімках. Наприклад, значення NDBI варіюються від -1 до 1. Позитивні значення вказують на забудовані території, тоді як негативні значення вказують на водні або зелені зони.

Геопросторовий та геопросторово-ретроспективний аналіз. ГІС дає змогу створювати детальні карти урбанізованих територій, моделювати їх розвиток та прогнозувати майбутні зміни. Це включає аналіз просторових даних, таких як щільність забудови, транспортна інфраструктура та екологічні показники.

Аналіз екологічного стану. Використання ГІС для оцінки екологічного стану урбанізованих територій дає змогу здійснювати моніторинг забруднення повітря, води та ґрунтів, а також оцінку впливу урбанізації на місцеві екосистеми.

8.2. Геопросторово-ретроспективний аналіз розвитку урбанізованих територій

Зміни ситуації на урбанізованих територіях відбуваються швидше, ніж картографуються. Сучасні методи збирання топографічної інформації та ведення топографічного моніторингу дають змогу оперативно відслідковувати і фіксувати ці зміни. Ретроспективні картографічні дані містять цінну географічну інформацію про території в історичному розрізі.

Основні етапи дослідження наведено в технологічній схемі, яку складено відповідно до стандарту IDF0 [14, 48]:

- 1) збирання вхідних даних і матеріалів;
- 2) перевірка і оцінювання придатності ретроспективних карт для геопросторового аналізу і геоінформаційного моделювання;
- 3) аналіз достовірності та повноти змісту карт;
- 4) виконання польових обстежень об'єктів, що були зображені на картах і збереглися на місцевості;
- 5) оброблення ретроспективних карт;
- 6) завантаження у базу геопросторових даних проєкту;
- 7) геопросторово-ретроспективний аналіз даних;
- 8) інтерпретація результатів досліджень.

Вхідними даними і матеріалами є:

- 1) архів відсканованих ретроспективних карт міста Харкова у період 1786 – 2012 рр. [14];
- 2) ортофотоплани масштабу 1:10 000, що створені на основі матеріалів аерофотозйомки території України в період з 2006 до 2012 рр. в рамках проєкту Світового банку «Видача державних актів на право власності на землю в сільській місцевості та розвиток системи кадастру» і опубліковані на геопорталі Публічної кадастрової карти;
- 3) векторна модель межі міста Харкова від 6 вересня 2012 року [14].

У перевірці і оцінюванні придатності ретроспективних карт для геопросторового аналізу і геоінформаційного моделювання було використано 30 ретроспективних карт, з них було обрано – 26, на яких добре розпізнаються об'єкти з чіткими контурами.

Аналіз достовірності та повноти даних було виконано з використанням довідкової історичної літератури [14], де були зазначені дати будівництва

видатних будівель та споруд м. Харкова, які було вибрано для подальшої роботи, оскільки вони наявні на усіх картах. Для первинного орієнтування карт відносно північного напрямку було обрано розташування річок у місті та їх напрямки течій, вулично-дорожню мережу міста, наприклад, на карті 1787 року р. Лопань зображена у напрямку зі сходу на захід, але на місцевості вона тече з півночі на південь. Обробленні ретроспективні картографічні дані було завантажено у об'єктно-реляційну систему управління базами даних PostgreSQL для подальшого виконання геопросторово-ретроспективного аналізу і геоінформаційного моделювання. У QGIS було створено модель зміни межі м. Харкова за період 1786 – 2012 рр. методом векторизації ретроспективних картографічних даних і порівняно з офіційно встановленою межею м. Харкова станом на 2012 рік. На рисунку 8.6 подано тематичну карту зміни межі міста Харкова по роках.

Для визначення фактичного історичної частини міста Харкова було побудовано центроїди полігональних об'єктів території міста в різні роки за ретроспективними картографічними даними за допомогою функції *ST_Centroid(geometry g1)* розширення PostGIS, яке необхідно для роботи з геопросторовими даними.

Розміщення центроїдів та інтенсивність кольору полігональних об'єктів дозволило визначити фактичну історичну частину міста, в якій знаходиться найбільше пам'яток архітектури та об'єктів культурної спадщини. Площі території міста Харкова були визначенні за різні роки за допомогою з урахуванням особливостей строгого методу визначення площ в середовищі QGIS [14].

Контрольні запитання

1. Назвіть та опишіть методи дослідження урбанізованих територій. Наведіть приклади.
2. Що таке геопросторово-ретроспективний аналіз?
3. З якою метою використовуються архівні картографічні матеріали під час геопросторово-ретроспективного аналізу?
4. Які тенденції можна встановити аналізуючи архівні картографічні матеріали та супутникові зображення на одну й ту саму територію?

Лекція 9. МОНІТОРИНГ СТАНУ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МЕТОДІВ ДЗЗ

Водні об'єкти добре розрізняються на космічних знімках, що дає можливість ефективно здійснювати їх дистанційне картографування та моніторинг. Космічні знімки дають змогу стежити за розвитком різноманітних процесів у ріках, озерах, водосховищах, виявляти їх наслідки, обумовлені як природними, так і антропогенними факторами [33]. Основними перевагами космічних знімків є: одночасність охоплення значної площі акваторії, безперервність інформаційного змісту знімка для кожної точки зображення, висока періодичність реєстрації стану водних мас і прибережних територій. За допомогою даних ДЗЗ та програмних комплексів щодо їх обробки можна вирішити багато важливих гідрологічних завдань, в тому числі таких як [42]:

- отримувати різномасштабні карти ландшафтів водозаборів та оцінювати ступінь їх антропогенного порушення;
- виконувати контроль гідрографічної мережі та споруд на заплавних і призаплавних ділянках, особливо в районах великих міст та в зонах великомасштабного гідротехнічного будівництва;
- здійснювати інвентаризацію водойм та водотоків;
- здійснювати моніторинг і прогнозування процесів заростання гирлових зон, заболочування прилеглих територій та трансформацію ландшафтів (у т. ч. історичну реконструкцію);
- визначати біологічну продуктивність водойм, оцінювати біоресурси (запаси фітомаси вищої водної рослинності, ступінь розвитку угруповань зоо- і фітопланктону, площі нерестилищ, місць нагулу риб та кормівлі водоплавної птиці тощо);
- виявляти антропогенно спровоковані і природні зміни водної маси (природне та антропогенне евтрофування, зміну прозорості води, загальної мінералізації, наявності суспензій тощо);
- виявляти джерела забруднення водного середовища (точкових і дифузійних), їх інгредієнтів, у тому числі органічної й мінеральної суспензії, поверхневих плівок нафтопродуктів, розчиненої органічної речовини,

виявлення зон «цвітіння» води, теплових забруднень і визначення шляхів міграції забруднень;

- здійснювати екологічний моніторинг на базі ГІС-технологій;
- визначати інтенсивність і масштаби процесів ерозії і абразії берегів, зсувних явищ, селевих переміщень і осідання ґрунту (суфозії), границь карстових зон, реєструвати переформування русел річок і відмілин;
- відслідковувати шкідливий вплив вод (підтоплення, засолення, катастрофічні паводки);
- здійснювати моніторинг та моделювання процесів затоплення території під час повеней за серією космічних знімків та тривимірними моделями рельєфу;
- визначати масштаби антропогенного навантаження (міських агломерацій, промисловості і сільського господарства) на прилеглі до водної системи ділянки суші (у т. ч. і рекреації);
- здійснювати моніторинг водного і льодового режимів водойм, спостерігати за процесами сніготанення в цілях прогнозування стоку, виконувати контроль льодової обстановки у разі проходження паводку на річках;
- виявляти ділянки порушення санітарних зон в районах водозаборів;
- оцінювати стан водоохоронних територій, природоохоронних об'єктів та дотримання положень чинного законодавства, регулюючого взаємовідносини людини і природи.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні гідрологічні завдання, які можна вирішити за допомогою методів та даних ДЗЗ та ГІС. Наведіть приклади.
2. Що таке «цвітіння» води? Яким чином можна здійснювати геоінформаційний моніторинг за цим явищем?
3. Що таке теплове забруднення водойм? Яким чином можна здійснювати геоінформаційний моніторинг за цим явищем?
4. Як виконати реконструкцію гідрографічної мережі за допомогою геоінформаційного моніторингу?
5. Як оцінити трансформацію ландшафтів за допомогою геоінформаційного моніторингу?

Лекція 10. ТОПОГРАФІЧНИЙ МОНІТОРИНГ МІСЦЕВОСТІ

10.1. Структура та функції ГІС топографічного моніторингу місцевості

У цій темі розглядається класифікація, основні принципи створення і структура організації системи топографічного моніторингу місцевості як засобу актуалізації баз геопросторових даних.

Топографічний моніторинг – постійне, регламентоване, безперервне топографічне вивчення сучасного стану та змін місцевості, оперативне картографування зафіксованих змін на цифровій топографічній основі та реєстрація виявлених змін у базі даних змін об'єктів місцевості [13, 37]. Топографічний моніторинг (ТМ) традиційно розглядається в контексті завдань створення та оновлення топографічних карт. Вирішення цих завдань покладено на спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з питань топографо-геодезичної і картографічної діяльності статтею 8 Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність». До його компетенції віднесено також ведення картографічного моніторингу території країни, включаючи шельфову зону та населені пункти, а сам картографічний моніторинг визначений як система безперервного спостереження за земною поверхнею з метою картографічного вивчення стану місцевості. Проте на відміну від екологічного моніторингу або моніторингу земель в Україні відсутнє відповідне нормативно-технічне та інституційне забезпечення ведення топографічного моніторингу місцевості. Треба зазначити, що і в минулі часи в Радянському Союзі, незважаючи на видатні досягнення у картографуванні країни, не вдалося створити ефективну систему топографічного моніторингу [13].

Терміни періодичності оновлення топографічних карт раз на 5-10 років, встановлені Основними положеннями створення та оновлення топографічних карт на територію України, не задовольняють потреби держави у достовірній і точній картографічній інформації для прийняття оптимальних управлінських рішень в умовах динамічного розвитку суспільства [13].

Враховуючи міжгалузеве та багатоцільове призначення топографічних даних, а також зростання вимог до їх якості й актуальності в умовах широкого застосування ГІС у різних сферах, нагальним є завдання запровадження чіткої

системи державного топографічного моніторингу (СДТМ). Таку систему необхідно розглядати як важливу складову Національної інфраструктури геопросторових даних (НІГД). Головною метою і завданням СДТМ є здійснення постійних спостережень за змінами на місцевості, оперативна актуалізація баз топографічних даних (БТД), зменшення строків доведення актуальної геопросторової інформації до користувачів та забезпечення доступу до геоінформаційних систем різного призначення [13].

10.2. Основні принципи створення системи топографічного моніторингу.

До основних принципів створення системи топографічного моніторингу слід віднести [13]:

- системний підхід до організації ТМ, його підсистем і компонентів;
- широке використання сучасних геоінформаційних, супутникових, дистанційних та інформаційно-телекомунікаційних технологій;
- визначення первинності геопросторових даних по відношенню до похідної від них картографічної продукції;
- мінімальний набір атрибутів, узгоджений з існуючими галузевими (профільними) та загальнодержавними системами ідентифікації об'єктів;
- інформаційна сумісність даних з різних джерел та розроблення критеріїв сумісності неоднорідних даних і технічних регламентів їх досягнення;
- однорідність даних на певну територію за складом, змістом і актуальністю;
- об'єктно-орієнтований підхід до ведення моніторингу, за якого зміни в БТД вносяться пооб'єктно (адресно) та максимально синхронно зі змінами стану об'єктів на місцевості;
- ведення метаданих про джерела, точність та актуальність усіх характеристик об'єктів і причин будь-яких їх змін;
- максимальне використання усіх існуючих джерел геопросторових даних, включаючи цифрові топографічні карти і плани, дані ДЗЗ, а також іншу топографо-геодезичну інформацію і дані галузевих (видових) кадастрів та галузевих моніторингів;

- координація взаємодії усіх виробників топографо-геодезичної продукції, установ і підприємств, відповідальних за ведення галузевих кадастрів та моніторингів;
- першочерговість формування нормативно-правового забезпечення процесу організації ТМ та міжвідомчої взаємодії в процесі його функціонування;
- державна підтримка створення і актуалізації БТД та організації ТМ.

10.3. Класифікація видів топографічного моніторингу

Як уже зазначалося, головне завдання сучасного ТМ полягає у створенні та постійному підтриманні в актуальному стані баз топографічних даних для забезпечення достовірною і точною інформацією про земну поверхню геоінформаційних систем різного призначення і територіального охоплення. Як і в будь-якому виді моніторингу, в ТМ можна виділити окремі, дрібніші класифікаційні підвиди: за призначенням, територіальним охопленням та основними методами спостереження й ведення [13].

Стандартний (загальний) топографічний моніторинг (СТМ) – це постійно діючий моніторинг місцевості з оптимальним складом топографічних об'єктів та мінімально визначеною множиною їх характеристик. Топографічний об'єкт (ТО) визначається як географічний об'єкт природного або артефактного походження, який розташований на земній поверхні (над, під нею), обмежений у просторі, стаціонарний відносно земної поверхні та відносно сталий у часі. ТО вирізняється на місцевості своїми межами, які є границями розділення (розриву) для артефактних об'єктів або областями великих градієнтів зміни поверхні для природних об'єктів. Обмеження ТО у просторі може характеризуватися певними лінійними розмірами від кількох сантиметрів до десятків і сотень кілометрів (наприклад, протяжність шляхів, річок тощо) [13].

Оптимальний склад та мінімальна множина характеристик топографічних об'єктів СТМ у сучасних умовах визначається вимогами до базових наборів геопросторових даних Національної інфраструктури геопросторових даних, які виконують роль єдиної цифрової топографічної основи для інтегрування та сумісного використання різних даних про об'єкти та явища з просторовою

локалізацією, що створюються на його базі. Таким чином, мінімальний набір атрибутів об'єктів СТМ складають ідентифікаційні характеристики ТО, у т. ч.: тип об'єкта, його унікальний топографічний ідентифікатор (ТОІД) та власна назва, а також характеристики, що можуть бути отримані в результаті дешифрування даних ДЗЗ [13].

Топографічний моніторинг місцевості проводиться на чотирьох рівнях, які розрізняються за ступенем деталізації та відповідним територіальним охопленням, а саме: на національному (державному), регіональному, місцевому і локальному. У відповідності з даною класифікацією на державному рівні спостереження за топографічними об'єктами здійснюють на території всієї країни; на регіональному рівні – за ТО, які знаходяться на території певної адміністративно- територіальної одиниці; на місцевому – за ТО на територіях районних, міських, селищних або сільських рад; на локальному рівні – за ТО на території підприємств або інших об'єктів, виділених за природоохоронними, ландшафтними, планувальними або іншими ознаками [13].

За методами спостереження та оброблення даних ТМ поділяють на *дистанційний, геодезичний та комбінований*. Серед напрямів розвитку топографічного картографування останніми роками переважає застосування методів ДЗЗ. Ці методи можуть бути пасивними, тобто коли використовується природне відбите чи вторинне теплове випромінювання об'єктів на поверхні Землі, спричинене сонячною радіацією, і активними, коли використовується примусове опромінення об'єктів штучним джерелом [13].

Найбільшого поширення і застосування набули системи дистанційного зондування, які встановлюються на космічних літальних апаратах і промислових аероносіях. Дані системи, які встановлюються на літальних апаратах, можна класифікувати так [13]:

- багатозональні сенсорні системи у видимому і ближньому інфрачервоному діапазонах електромагнітного спектра (в основному це сенсори на основі світлочутливих матриць ПЗЗ-приладів);
- радіолокаційні системи активного зондування (у т. ч. й радары з синтезованою апертурою);
- системи когерентного оптичного зондування (лазерні чи лідарні системи).

В останні десять років індустрія і ринок ДЗЗ інтенсивно розвиваються. Нове покоління сенсорів для аерокосмічного знімання характеризується значними інформаційними можливостями. Поява на ринку космічних знімків з високою просторовою роздільною здатністю (менше 1 м для панхроматичної зйомки і 2,5 м – для багатоспектральної) з комерційних супутників розширила діапазон використання даних ДЗЗ і сприяла розробленню нових методів виготовлення продукції.

За частотою спостережень ТМ поділяється на *безперервний, систематичний і періодичний*. Моніторинг на спеціальних об'єктах характеризується використанням спеціальних датчиків та пристроїв, включаючи і постійно діючі станції ГНСС, які ведуть цілодобові безперервні спостереження за станом цих об'єктів. Систематичний моніторинг виконується за певним спеціальним планом та правилами. Саме йому відповідає, зокрема, об'єктно-орієнтований ТМ на основі обов'язкових виконавчих знімань об'єктів будівництва. Періодичний моніторинг лежить в основі діючої системи оновлення топографічних карт, який регламентує частоту проведення топографо-геодезичних робіт.

10.4. Загальна структура організації системи державного топографічного моніторингу

Вона складається із системи вироблення даних, систем топографічного моніторингу місцевості та системи адміністрування базових наборів геопросторових даних Національної інфраструктури геопросторових даних (БНГД НІГД), банків топографічних даних та базових наборів геопросторових даних [27, 49]. Система поділяється на локальні, місцеві, регіональні та національні рівні [27, 31, 34].

Система вироблення даних для ТМ місцевості об'єднує зовнішніх виконавців, які беруть участь у процесах збирання, накопичення, збереження, оброблення та використання геопросторових даних. До основних суб'єктів ТМ належать: Державна служба геодезії, картографії та кадастру, Державний картографо-геодезичний фонд України, підприємства топографо-геодезичної галузі, установи та підприємства державних видових кадастрів, органи управління в галузі містобудування і архітектури та інші. Кожен виробник топографічних даних відповідає за вироблення та достовірність даних.

Відповідно до вищезазначених рівнів моніторингу формуються локальна, місцева, регіональна та державна БТД. Ці банки виконують роль сховища даних, де реєструються, накопичуються та довготерміново зберігаються результати геодезичних, картографічних, геоінформаційних робіт, набори топографічних даних, цифрові та електронні карти, ортофотокарти, ортофотоплани і відповідні метадані.

Оскільки топографічний моніторинг розглядається як важлива складова НІГД, адміністрування БТД в ідеалі має виконуватися адміністраторами НІГД різних рівнів. На адміністраторів покладаються функції створення та оперативної актуалізації БНГД і відповідних метаданих, проведення контролю та оцінювання якості, сумісності та достовірності топографічних даних і метаданих, каталогізації цифрових та електронних карт, цифрових ортофотокарт та ортофотопланів, надання базового набору в інтегрованому вигляді користувачам тощо. Адміністратори НІГД локального, місцевого та регіонального рівнів виконують генералізацію даних та постачання БНГД і метаданих адміністратору вищого рівня НІГД.

БНГД, які створюються або оновлюються в результаті проведення ТМ, формуються за територіальною ознакою, базовим масштабом, складом, рівнем деталізації і точністю вихідних джерел. БНГД просторово і тематично об'єднують геопросторові та не геопросторові (профільні, тематичні) дані на основі запровадження уніфікованої системи ідентифікації об'єктів.

Оновлення БНГД має виконуватися на основі об'єктного підходу – шляхом оперативної актуалізації цифрових моделей просторових властивостей та атрибутів об'єктів місцевості, що з'являються або змінюються, а також відповідних метаданих про такі зміни на підставі проведення спеціальних робіт і використання результатів, одержаних під час проведення усіх видів геодезичних і картографічних робіт, виконаних суб'єктами топографо-геодезичної діяльності на певній території.

Мінімальний набір атрибутів, який визначено для СТМ, а також його узгодження з існуючими галузевими та загальними державними системами ідентифікації об'єктів дозволить мінімізувати обсяги даних, що підлягають обов'язковому введенню, зберіганню та актуалізації в БТД, зменшить витрати на підтримку бази даних та забезпечить можливість її інтеграції з численними галузевими інформаційними ресурсами [13,27].

Державна підтримка створення та актуалізації БТД – важлива і обов'язкова, оскільки створення та моніторинг відбувається через мережу уповноважених спеціалізованих державних підприємств топографо-геодезичного профілю, а формування і актуалізація цієї бази потребує інтегрування даних від багатьох державних установ і підприємств, використання державних інформаційних ресурсів, координованої взаємодії різних відомств та стабільного фінансування.

Створення системи ТМ потребує розроблення законодавчих та нормативно-технічних актів, які б сформували єдине правове поле взаємодії між учасниками моніторингу на всіх рівнях. Нормативні документи мають встановити порядок технічного регулювання відносин у питаннях реалізації та виконання обов'язкових вимог до процесів створення і функціонування СДТМ, забезпечити стандартизацію обміну даними.

Запровадження системи державного топографічного моніторингу – актуальне і складне науково-технічне завдання, що потребує докорінної модернізації існуючої системи вироблення геопросторових даних та картографічної продукції на основі широкого застосування цифрових методів і геоінформаційних технологій. [13, 27].

До першочергових завдань створення СДТМ слід віднести його нормативно-правове та інституційне забезпечення, зокрема розроблення та затвердження відповідного положення про систему державного топографічного моніторингу і технічних регламентів на базові набори геопросторових даних державного, регіонального і місцевого рівнів [13, 27].

Контрольні запитання

1. Опишіть структуру ГІС топографічного моніторингу місцевості.
2. Назвіть функції ГІС топографічного моніторингу місцевості.
3. Навіщо використовувати об'єктно-орієнтований підхід для здійснення топографічного моніторингу місцевості?
4. За якими ознаками можна класифікувати топографічний моніторинг?
5. Наведіть приклади для деяких видів топографічного моніторингу.
6. Яким чином організована структура системи державного топографічного моніторингу?

СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Географічна Енциклопедія України: в 3 т. / Ред. кол. – О. М. Маринич (відповід. ред.) та ін. – К.: Укр. Рад. Енцикл. ім. М. П. Бажана, 1989– 1993. – Т. 2: – 1990. – 480 с.
2. Готинян В. С., Томченко О. В., Рябенко Ю. М., Добридень Л. Д. Оцінка тенденцій прояву небезпечних природних процесів (на прикладі південної частини Тячівського району Закарпатської області) // Матеріали регіональної наради «Можливості супутникових технологій у сприянні вирішенні проблем Закарпаття».– 2008. — С. 27–28.
3. Водний кодекс України // Відомості Верховної Ради України. – 1995. – № 24, ст. 189.
4. Водно-болотні угіддя Дніпровського екологічного коридору / В. І. Мальцев, Л. М. Зуб, Г. О. Карпова, В. А. Костюшин, В. М. Титар, А. В. Мішта, О. Д. Некрасова — К. : Недержавна наукова установа Інститут екології ІНЕКО, Карадазький природний заповідник НАН України, 2010. — 142 с.
5. Войтенко С. П. Математична обробка геодезичних вимірів. Теорія похибок вимірів: Навчальний посібник / С. П. Войтенко – К.: КНУБА, 2003. – 216 с.
6. Екологічний моніторинг регіону: експертна оцінка стану і функціонування / За ред. д. геогр. н., проф. І. Ковальчука / І. Ковальчук, П. Волошин та ін. – Львів: ГО “Опілля”, 2009. – 608 с.
7. Електронна версія Національного атласу України. – ТОВ “Інтелектуальні Системи ГЕО”
8. Закон України “Про охорону навколишнього природного середовища” // Відомості Верховної Ради, 1991. – №41 – С. 547.
9. Звіт Київського обласного державного проєктно-технологічного центру охорони родючості ґрунтів і якості продукції про виконання проєктно-технологічних та науково-дослідних робіт у 2010 році / [Л. В. Бойко, В. Д. Зосімов, М. І. Майстренко та ін.]. – К.: КОДПТЦОРГІЯП, 2011. – 245 с.
10. Звіт про науково-дослідну роботу “Картографо-інформаційне забезпечення моніторингу природних комплексів, територій та об’єктів системи моніторингу” / [Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Н. Ю. Лазоренко та ін.] – К.: НДІГК, 2009. – 139 с.

11. Зуб Л. М, Томченко О. В. Оцінка трансформації водно-болотних угідь із використанням космічної інформації ДЗЗ (на прикладі верхів'ї Київського водосховища) // Гідробіологічний журнал. – 2015. – Т. 51, № 6 (306). – С. 29-40.
12. Карпінський Ю. О. Геоінформаційний аналіз просторового розподілу пунктів у мережі моніторингу поверхневих вод / Ю. О. Карпінський, Н. Ю. Лазоренко-Гевель // Вісн. геод. та картогр. – 2012. – № 5. – С. 43-50
13. Карпінський, Ю. О. Концептуальні засади створення системи державного топографічного моніторингу місцевості / Ю. О. Карпінський, А.А. Лященко, Т.М. Квартич // Вісн. геод. та картогр. – 2011. – № 3. – С. 27-31.
14. Кінь Д.О. Геоінформаційне моделювання розвитку території м. Харкова у ретроспективі / Д.О. Кінь., Н.Ю. Лазоренко-Гевель, Н.С. Шудра // Містобудування та територіальне планування – 2021. – № 76. – С. 119-131. DOI: <https://doi.org/10.32347/2076-815x.2021.76.119-131>.
15. Клименко В. Г. Загальна гідрологія : навч. посіб. для студентів / В. Г. Клименко. — Харків : ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2012. — 254 с.
16. Космічна гідрологія [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Космічна_гідрологія
17. Курач Т. М., Підлісецька І. О., Томченко О. В. Реконструкція вигляду річища центральної частини Дніпра за космічними знімками // Вісник геодезії та картографії. — 2015. — № 5–6. — С. 49–56.
18. Лазоренко, Н. Ю. Стан, зміст і тенденції розвитку міжнародних проектів моніторингу природних комплексів/ Н. Ю. Лазоренко // Вісник геодезії та картографії. — 2010. — № 4. — С. 24-28.
19. Лазоренко Н. Ю. Аналіз стану організації системи моніторингу навколишнього природного середовища в Україні // Інженерна геодезія. – 2010. – №66. – С. 187 – 194
20. Лазоренко Н. Ю. Онтологічні аспекти геоінформаційного забезпечення моніторингу природних комплексів // Вісник геодезії та картографії. – 2011. – №1. – С. 43 – 49.
21. Лазоренко-Гевель Н. Ю. Геоінформаційне забезпечення моніторингу природних комплексів / Н. Ю. Лазоренко-Гевель // Містобудування і територіальне планування. – К.: КНУБА. – 2012. – № 44. – С. 241-299

22. Лазоренко-Гевель Н. Ю. Геоінформаційний аналіз структури мережі агроекологічного моніторингу ґрунтів / Н. Ю. Лазоренко-Гевель // Містобудування і територіальне планування. – 2012. – № 46. – С. 323-336

23. Лазоренко-Гевель Н. Ю. Геоінформаційний моніторинг природних комплексів України.- Дисертація канд. техн. наук: 05.24.04, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт. - К., 2013.- 200 с.

24. Лазоренко-Гевель Н. Ю. Геостатистичне моделювання агроекологічного моніторингу ґрунтів засобами ГІС / Н. Ю. Лазоренко-Гевель // Вісн. геод. та картогр. – 2013. – № 2. – С. 43-49.

25. Лященко А. А. Методологічні основи та інформаційно-технологічні моделі інфраструктури геопросторових даних міських кадастрових систем: дис. на здобуття наукового ступеню д-р тех. наук: 05.24.04 / А. А. Лященко. – К.: КНУБА. – 2003. – 338 с.

26. Лященко А. А. Методологічні основи та інформаційно-технологічні моделі інфраструктури геопросторових даних міських кадастрових систем / А. А. Лященко – К: КНУБА, 2003. – С. 87-107.

27. Лященко, А.А. Особливості та види сучасного топографічного моніторингу [Текст] / А.А. Лященко, Т.М. Квартич // Новітні досягнення геодезії, геоінформатики та землевпорядкування – європейський досвід: зб. наук. пр. – Чернігів: ЧДІЕіД, 2010. – Вип. 6. – С. 14-17.

28. Лященко, А., Патракеєв, І. Онтологія та особливості компонентів геоінформаційного моніторингу за технологією баз геопросторових даних// Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2015. – № 1. – С. 174-177. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sdgn_2015_1_42

29. Медведєв В. В. Способи формування мережі і науково-організаційні питання здійснення моніторингу ґрунтового покриття / Медведєв В. В., Т.М. Лактіонова, В.О. Греков // Агрохімія і ґрунтознавство. Вип. 73: міжвідомчий тематичний науковий збірник / Національний науковий центр "Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського". – Х. : ННЦ "ІГА ім. О.Н. Соколовського". – 2010. – С. 42-51

30. Методичні основи грошової оцінки земель в Україні: Навчальний посібник [Дехтяренко Ю. Ф., Лихогруд М. Г., Манцевич Ю. М., Палеха Ю. М.]. – К: Профі, 2007. – 624 с

31. Методичні рекомендації щодо діяльності органів місцевого самоврядування у сфері НІГД : практичний посібник / Ю. О. Карпінський, Д. О. Кінь – Київ : КНУБА, 2023. – 276 с.

32. Основи ГІС. Стандартизація географічної інформації: навч. посіб. / Ю. О. Карпінський, А. А. Лященко, Н. Ю. Лазоренко-Гевель. – Київ: КНУБА, 2021. – 152 с.

33. Основи дистанційного зондування Землі : історія та практичне застосування : навч. посіб. / С. О. Довгий, В. І. Лялько, С. М. Бабійчук, Т. Л. Кучма, О. В. Томченко, Л. Я. Юрків. — К. : Інститут обдарованої дитини НАПН України, 2019. — 316 с.

34. Карпінський Ю.О. Основи створення інтероперабельних геопросторових даних /Ю.О. Карпінський, А. А. Лященко, Н.Ю. Лазоренко, Д.О. Кінь – К.: КНУБА, 2023. – 302 с. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.14063703>.

35. Відлуння вмираючого моря [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ipg-journal.io/ua/rubriki/ekonomika-ta-ekologija/vidlunnja-vmirajuchogo-morja-2271/> / (дата звернення: 02.12.2024). – Назва з екрана.

36. Постанови Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку проведення моніторингу земель і ґрунтів» від 23 липня 2024 р. № 848 [Електронний ресурс]. – 2024. – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/848-2024-%D0%BF#Text> / (дата звернення: 02.12.2024). – Назва з екрана.

37. Проект Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про топографо-геодезичну і картографічну діяльність» щодо розвитку сучасних геоінформаційних ресурсів у сфері топографо-геодезичної і картографічної діяльності» [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://land.gov.ua/proekt-zakonu-ukrayiny-pro-vnesennya-zmin-do-zakonu-ukrayiny-pro-topografo-geodezychnu-i-kartografichnu-diyalnist-shhodo-rozvytku-suchasnyh-geoinformacijnyh-resursiv-u-sferi-topogra/> / (дата звернення: 02.12.2024). – Назва з екрана.

38. Протасов А. А., Томченко О. В., Силаєва А. А., Новосьолова Т. Н., Лубський Н. С. Використання наземних і космічних методів в дослідженні неоднорідностей просторової структури біотичних та абіотичних компонентів

водної техноекосистеми атомної електростанції // IV Міжнародна науково-практична конференція: «Транскордонне співробітництво в галузі екологічної безпеки та охорони навколишнього середовища» (Гомель, 4–5 червня 2018 року). – Гомель: ДДУ ім. Ф. Скорини, 2018. – С. 458-462.

39. Ракоїд О. О. Агроекологічна оцінка земель сільськогосподарського призначення: автореф. дис. на здобуття наукового ступеню канд. сг. наук: 03.00.16 / Ракоїд Олена Олександрівна; Інститут агроекології Української академії аграрних наук. – К., 2007. – 19 с.

40. Смерть моря [Електронний ресурс]. — 2010. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.naturalist.if.ua/?p=2593>. / (дата звернення: 02.12.2024). — Назва з екрана.

41. СОУ 742-33739540 0011:2010 «Комплекс стандартів База топографічних даних Каталог об'єктів і атрибутів». — К.: ДЕРЖСПОЖИВСТАНДАРТ України. — 2010. — с. 200

42. Томченко О. В. Використання космічної інформації дистанційного зондування Землі для моніторингу стану крупного рівнинного водосховища // Гідроакустичний журнал (Проблеми, методи та засоби досліджень Світового океану): Зб. наук. праць. — Запоріжжя : НТЦ ПАС НАН України, 2014. — № 11. — С. 135–143.

43. Томченко О. В. Льодові явища на Кременчуцькому водосховищі [Електронний ресурс] / О. В. Томченко — Режим доступу до ресурсу: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Льодові_явища_на_Кременчуцькому_водосховищі.jpg

44. Томченко О. В. Обґрунтування методів системного аналізу стану водно-болотних угідь з використанням даних дистанційного зондування Землі і наземних спостережень (на прикладі верхів'я Київського водосховища): автореф. дис. канд. техніч. наук : 05.07.12 / О. В. Томченко. — К., 2015. — 22 с.

45. ArcGIS Geostatistical Analyst Advanced spatial interpolation method <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/geostatistical-analyst/overview>

46. Clark I. Practical Geostatistics 2000 / I. Clarc, W. V. Harper. — Ecosse North America Llc, Columbus, Ohio, USA. — 2000. — 325 p

47. Goovaerts P. Geostatistical modeling of uncertainty in soil science / P. Goovaerts. — Geoderma 103. — 2001. — P. 3-26

48. Karpinskyi Y. The Role of Geospatial Habitus in the Research of Existing and Planned New Urban Landscapes./ Karpinskyi, Y., Lyashchenko, A., Lazorenko, N., Kin, D., Shudra, N., & Yankin, O.// Journal of Digital Landscape Architecture. – 2024 – Vol. 9. – P. 61-68. DOI: 10.14627/537752007.

49. Kin D. The method for the quality evaluation of open geospatial data for creation and updating of datasets for National Spatial Data Infrastructure in Ukraine. /Kin, D., & Lazorenko-Hevel, N. // Polish Cartographical Review. – 2021. – Vol. 53(1). – P.13-20. DOI: 10.2478/pcr-2021-0002.

50. Krige D. G. On the departure of ore value distributions from lognormal models in South African gold mines / D. G. Krige // J. S. Afr. Inst. Mining Metall. – 1960. – 61. – P. 231-244.,

51. Markus J. A review of the contamination of soil with lead II / J. Markus, A. B. McBratney // Spatial distribution and risk assessment of soil lead. Environment International. – 2001. – 27. – P. 399-411.,

52. Matheron G. Principles of geostatistics. Econ. Geol / G. Matheron. – 58. – 1963. – P. 1246-1266.

53. McGratha D., Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland / D. McGratha, C. Zhang, O. T. Carton // Environmental Pollution. – 127. – 2004. – P. 239-248

54. Saving a Corner of the Aral Sea [Електронний ресурс]. — 2005. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.worldbank.org/en/results/2005/09/01/saving-a-corner-of-the-aral-sea> / (дата звернення: 02.12.2024). — Назва з екрана.

55. World of Change: Shrinking Aral Sea [Електронний ресурс] — Режим доступу до ресурсу: <https://earthobservatory.nasa.gov/WorldOfChange/AralSea> / (дата звернення: 02.12.2024). — Назва з екрана.

56. Zhang C. S. Background contents of heavy metals in sediments of the Changjiang River system and their calculation methods / C. S. Zhang, S. Zhang, L. C. Zhang // Journal of Environmental Sciences 7. – 1995. – P. 422-429

Навчальне видання

ЛАЗОРЕНКО Надія Юріївна,
КІНЬ Данило Олексійович

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ МОНІТОРИНГ

Конспект лекцій

Комп'ютерне верстання *А. П. Селівестрової*

Ум. друк. арк. 5,11. Обл.-вид. арк. 5,5
Електронний документ. Вид № 72/V-24.

Виконавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури
Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037
Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р