

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра геодезії та картографії

На правах рукопису
УДК: 528.9:007.502:631.432

**ГІС-ПІДХОДИ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ТА ЇХ
ОХОРОНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)
освітня програма – “Землеустрій та кадастр”
галузі знань 19 – “Архітектура та будівництво”
спеціальності 193 – “Геодезія та землеустрій”

Кваліфікаційна робота магістра
студента 2 курсу
освітнього рівня магістр
Голія Владислава Олександровича

Науковий керівник:
Кушовська Оксана Володимирівна
Кандидат економічних наук, доцент

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри №___ від “___” _____ 2025 року

Завідувач кафедри

проф. Даценко Л.М.

КИЇВ – 2025

РЕФЕРАТ

У першому розділі розглянуто питання застосування ГІС-підходів для забезпечення раціонального землекористування в умовах цифрової трансформації. На основі законодавчої бази та інформаційних джерел були сформовані загальні положення про геоінформаційні підходи, ГІС-технологій та раціональне використання та охорону земель.

У другому розділі оцінений рівень розвитку технологій та методів застосування ГІС-підходів в даній сфері. Для вирішення питання технічного забезпечення реалізації проєкту щодо розробки моделей геопросторових даних були створені узагальнена та функціональна моделі. Зібрані та проаналізовані необхідні дані для застосування їх у даному проєкті.

У третьому розділі обґрунтовано процедуру застосування ГІС-підходів для забезпечення раціонального землекористування. Реалізовано проєкт у межах обраної території для надання прикладу використання ГІС-підходів для забезпечення охорони земель. Обрана територія – Луцький район Волинської області. Реалізовані моделі геопросторових даних для охорони земель: база вихідних даних про стан земель та графічне відображення. Досліджено ґрунти території, їх гранулометричний склад, рівень деградації, також проаналізовано рельєф місцевості, адміністративний устрій району. Проведений аналіз всіх факторів для ефективного вирощування господарських культур. Створений ряд геопросторових моделей щодо забезпечення ефективної охорони земель досліджуваної території, також були створені тематичні карти придатності ґрунтів для посіву різних господарських культур.

У кінці сформульовано висновки щодо розкриття використання ГІС-підходів для охорони та використання земель у результаті виконаної наукової роботи. Усі створені таблиці бази даних та тематичні карти подані у повному обсязі у додатках.

Ключові слова: ГІС, ГІС-підходи, використання земель, раціональне землекористування, деградація ґрунту, картографічна модель, геопросторові об'єкти, тематична карта.

ЗМІСТ

ЗМІСТ.....	3
ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГІС-ПІДХОДІВ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ТА ЇХ ОХОРОНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ.....	6
1.1. Особливості ГІС-підходів в умовах цифрової трансформації.....	6
1.2. Теоретичні засади цифрового моделювання рельєфу.....	13
1.3. Поняття та критерії раціонального використання земель.....	19
1.4. ГІС-підходи до раціонального використання та охорони земель.....	24
1.5. Визначення завдань та користувачів ГІС-підходів у забезпеченні раціонального використання та охорони земель.....	28
Висновки до розділу 1.....	33
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС-ПІДХОДІВ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ	34
2.1. Методи комплексного аналізу геопросторових даних та оцінки раціональності землекористування.....	34
2.2. Методи інтеграції різнорідних геопросторових даних у системі раціонального землекористування.....	41
2.3. Методи створення моделей ГІС-підходів до раціонального землекористування.....	43
2.3. Узагальнена та функціональна моделі ГІС-підходів для забезпечення раціонального використання та охорони земель.....	51
Висновки до розділу 2.....	57
РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГІС-ПІДХОДІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ.....	58
3.1. Розробка моделей бази геопросторових даних для забезпечення раціонального землекористування (на прикладі Луцького району).....	58
3.2. Розробка серії тематичних карт для забезпечення раціонального використання та охорони земель сільськогосподарського призначення.....	64
3.3. Аналіз ефективності впровадження розроблених моделей ГІС-підходів	76
Висновки до розділу 3.....	81
ВИСНОВКИ.....	84
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	87
ДОДАТКИ.....	92

ВСТУП

Актуальність теми - значна зміна природно-географічного середовища, а також швидке зростання населення призводять до збільшення тиску на земельні ресурси, тому раціональне землекористування стає критично важливою задачею, яка вимагає ефективних інструментів та стратегій. Існуючі методи є обмеженими і не завжди забезпечують комплексний підхід до проблеми. Використання ГІС-підходів може значно покращити ефективність використання земель шляхом забезпечення точного і актуального образу земельних ресурсів.

Мета роботи – дослідження застосування ГІС-підходів як інструмента забезпечення раціонального використання та охорони земель в умовах цифрової трансформації.

Об'єкт дослідження – сільськогосподарські землі в адміністративних межах Луцького району Волинської області.

Предмет дослідження – засоби та технології ГІС-підходів для забезпечення раціонального використання та охорони земель.

Методи дослідження – аналіз та узагальнення інформаційних джерел (при викладенні необхідного теоретичного матеріалу щодо ГІС-підходів, створення цифрової моделі та про охорону земель), збір даних та їх аналіз (при пошуку джерел даних та ресурсів щодо даних про досліджувану територію)), геоінформаційний аналіз (при розробці бази геопросторових даних, їх класифікація), картографічний метод (при створенні відповідних моделей щодо охорони та використання земель Луцького району, при розробці карт придатності ґрунтів), статистичний метод. (при дослідженні статистичних даних щодо території району, при створенні тематичних карт якості ґрунту).

Завдання дослідження:

- проаналізувати теоретичні засади раціонального використання земель сільськогосподарського призначення;
- описати та обґрунтувати використання методів ГІС для забезпечення раціонального землекористування;

- обґрунтувати переваги використання ГІС-підходів для забезпечення раціонального землекористування;
- розробити моделі бази геопросторових даних, як головної складової системи ГІС-підходів для забезпечення раціонального землекористування;
- проаналізувати ефективність впровадження розроблених моделей.

На сьогодні нагальною стала проблематика максимізації цінності земельних ресурсів і створення оптимальних умов для суттєвого розширення соціального, інвестиційного та виробничого потенціалу землі. Одним із основних елементів структури, яка допомагає забезпечити раціональне використання та аналіз земельних ресурсів, є геоінформаційне картографування. Цей підхід базується на використанні геопросторових баз даних та картографічних знань в геоінформаційних системах (ГІС).

У своїх працях відомі науковці, такі як Т.І. Козаченко, В.А. Пересадько, Є.Л. Бондаренко, Л.М. Даценко, І.П. Ковальчук, О.О. Світличний, Т.О. Євсюков, Зацерковний В.І. та інші, розкривають загальнотеоретичні та методологічні аспекти картографування в геоінформаційних системах та геоінформаційному картографуванні земель. Однак, їх дослідження стосуються лише окремих аспектів геоінформаційного картографування в контексті охорони ландшафтів, тимчасом як питання охорони земель вимагає інтегрованого підходу і комплексного вивчення.

У рамках цього дослідження зосереджуємось на створенні комплексної бази геопросторових даних, яка виступає фундаментальним елементом геоінформаційного картографування сільськогосподарських земель. Це передбачає увесь спектр геопросторових аналізів, інтеграцію інформації з різних джерел та розробку нових методів інформаційної обробки для забезпечення достовірної та актуальної інформації щодо стану та управління сільськогосподарськими землями.

Кваліфікаційна робота магістра складається: 101 сторінка, 18 рисунків, 16 таблиць, 43 використаних джерел, 6 додатків.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ГІС-ПІДХОДІВ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ ТА ЇХ ОХОРОНИ В УМОВАХ ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ

1.1. Особливості ГІС-підходів в умовах цифрової трансформації

Однією з ключових ланок сучасної геоінформатики виступає геоінформаційне моделювання — високотехнологічна галузь, що знаходить широке застосування в різноманітних сферах людської діяльності: від аграрного землеустрою до складних екологічних моніторингів, від транспортної інфраструктури до геологічних досліджень. У контексті сучасної науково-технічної реальності, ця складова стала незамінним інструментом для візуалізації просторових даних. При побудові географічних карт використовується цілий спектр передових методів і цифрових засобів, що дозволяють точно відобразити положення, морфометричні властивості, об'єми, висотні характеристики та інші параметри об'єктів на місцевості. [3]

Із розвитком геоінформаційних систем (ГІС) та картографічних технологій (ГК), перед фахівцями у сфері природничих і соціально-просторових наук відкриваються нові горизонти. Ці інструменти забезпечують комплексну обробку великих масивів просторових даних, їх структурування, аналіз та візуалізацію. Внаслідок цього значно підвищується якість ухвалення стратегічно важливих рішень у таких галузях, як освітня діяльність, наукові дослідження, промислове виробництво, планування та адміністративне управління територіями. Крім того, стрімке зростання індустрії геоінформаційних технологій сприяє формуванню нових спеціальностей, створенню робочих місць і підтримці економічної динаміки.[3]

Під самим поняттям « геоінформаційне моделювання» доцільно розуміти багаторівневий технологічний цикл, який охоплює процеси збору, систематизації, обробки та інтерпретації геоданих. Цей цикл включає побудову геоінформаційних моделей, створення тематичних і інтегрованих електронних картографічних ресурсів, організацію територіальних баз даних та їхнє практичне застосування.

Основна мета таких технологій полягає у формуванні інформативного, логічно впорядкованого й легкодоступного образу просторової дійсності — для ефективного управління і прийняття рішень на різних рівнях. [3]

Ключовою ціллю геоінформаційне моделювання є створення карт, у яких втілюються інструменти ГІС-технологій, що дають змогу точно відображати географічні об'єкти на площині. Застосування геоінформаційних підходів у картографічній сфері забезпечує глибоке і системне осмислення структури геосистем. Особливу цінність у цьому процесі мають цифрові бази даних, які підвищують рівень автоматизації аналітики.

Важливо зазначити, що геоінформаційні системи надають потужний інструментарій для аналізу просторових структур. Окрім того, інтерактивність і мультимедійність є невід'ємною складовою геоінформатики, адже дозволяють ефективно поєднувати в одному середовищі текстову, графічну, аудіо- та відеоінформацію, створюючи багатовимірне уявлення про простір. [3]

Застосування сучасних геоінформаційних інструментів відкриває значні можливості для удосконалення картографічної продукції, забезпечуючи її актуальність, деталізацію та швидке оновлення у близькому до реального часу форматі. Цей ефект забезпечується активною інтеграцією даних, що надходять з технологій дистанційного зондування земної поверхні, а також з глобальних навігаційних супутникових систем. Особливої уваги заслуговує властивість варіативності, що притаманна сучасному картографуванню — вона дозволяє здійснювати багатогранний аналіз явищ і ситуацій, моделювати різні сценарії та розглядати альтернативні підходи до просторового планування. [5]

Неможливо оминати й вплив високорозвинених комп'ютерних засобів візуалізації, серед яких векторна і растрова графіка стали невіддільними складовими процесу створення сучасних карт. Їх застосування значно підвищує якість геопросторової інформації та сприяє розвитку картографічної науки і практики в напрямку візуальної інформативності, точності й естетики.

Геоінформаційне моделювання, згідно з існуючими підходами, може набувати різних форм і напрямів. Його поділяють за такими ознаками, як галузева

орієнтація (екологічне, соціально-економічне тощо), за методикою проведення (наприклад, аналітичне або синтетичне), а також за цілями й характером дослідження (інвентаризаційне, оціночне та інші). Додатково, класифікація охоплює просторову масштабність, функціональне призначення та рівень узагальнення отриманих даних, що у своїй сукупності формують цілісну систему геоінформаційного відображення реальності. [5]

Геоінформаційне моделювання передбачає створення тематичних картографічних продуктів, орієнтованих на конкретні сфери діяльності. До таких належать, зокрема, карти геологічного профілю, ландшафтні схеми, сільськогосподарські плани, лісгосподарські картограми, а також загальногеографічні візуалізації й інші подібні типи графічного відображення простору [3].

Такі підходи спеціалізують на побудові карт, які відображають точкові або локальні дані, що не піддаються узагальненню, зібрані у процесі безпосередніх спостережень. Прикладами таких карт є метеорологічні карти й окремі їх складові — температурні поля, карти атмосферного тиску, швидкості та напрямку вітру, кількості опадів, а також моделі глибини та крутизни рельєфу, тощо. [3]

Такі комплексні продукти характеризуються тим, що надають узгоджене просторове відображення взаємопов'язаних компонентів, об'єднаних однією тематичною спрямованістю. Їх головною особливістю є можливість одночасного зображення кількох параметрів, між якими простежується системна або функціональна взаємозалежність. Наприклад, на одній карті можуть бути поєднані лінії рельєфу (ізогіпси) з векторними полями переважаючих повітряних мас, що дозволяє простежити опосередковану залежність сили та напрямку вітру від конфігурації атмосферного тиску у відповідному регіоні. [5]

Синтетичний підхід дозволяє отримати цілісне, глибоко структуроване просторове зображення складних природних або соціально-економічних процесів. Такий тип карт характеризується інтеграцією численних змінних, що ґрунтується на аналітичному осмисленні ключових характеристик і виявленні закономірних зв'язків між ними. У цьому контексті можуть створюватися карти кліматичної

зональності, що групують території за параметрами клімату, картографічні продукти, які репрезентують аграрну спеціалізацію регіонів, або ж ландшафтні карти, сформовані на основі комплексного аналізу фізико-географічних умов і функціонального поділу територій.

Геоінформаційне моделювання охоплює повний спектр земних оболонок, які разом формують багатокomпонентну геосферу. У межах цього підходу до картографування виділяють такі структурні складники геосферного комплексу: літосфера, атмосфера, гідросфера, біосфера, педосфера, соціосфера, техносфера, а також інтегративний рівень — природно-соціально-техногенна гіперсфера.

Біосфера охоплює живий компонент природного середовища — флору й фауну. Педосфера репрезентує ґрунтовий покрив планети та пов'язані з ним геохімічні особливості. Соціосфера зосереджується на демографічних, культурних, політичних і медико-географічних аспектах, а також охоплює сферу освіти й наукової діяльності. [5]

Техносфера включає господарську інфраструктуру, системи транспорту й комунікацій, енергетику, фінансово-економічну діяльність і сервісні галузі. Нарешті, природно-соціально-техногенна гіперсфера уособлює багаторівневу взаємодію між природними процесами, соціальними структурами й техногенними впливами, охоплюючи екологічні проблеми, надзвичайні ситуації та ризикогенні чинники. Усі ці оболонки перебувають у динамічній взаємодії, утворюючи єдиний просторово-часовий континуум планетарної системи. [3]

Літосферна складова охоплює морфологічні структури рельєфу, геологічні утворення та поля геофізичного характеру. Атмосферний компонент відображає параметри повітряної оболонки Землі, включаючи погодні явища й кліматичні процеси. Гідросфера охоплює всю сукупність вод суші й океану, включаючи як наземні, так і морські водні об'єкти, що разом формують океаносферу. [4]

Наукова галузь, яка займається географічним моделюванням геосистем та їх складових елементів, охоплює широкий спектр методологічних підходів, спрямованих на відтворення їх просторово-часової організації, функціональних властивостей, внутрішньої структури та динамічних змін. Одним із базових

інструментів у цьому процесі виступають методи районування, що включають процедури просторової диференціації, інтеграції територіальних ознак, а також системи зонування та ареалювання.

До ключових засобів географічного моделювання також відносяться такі аналітичні прийоми, як класифікація, структурний аналіз, типологізація об'єктів і явищ, а також методики виявлення стабільних кореляцій між геопросторовими чинниками. Особливу увагу приділяють ідентифікації домінантних детермінантів просторової організації, закономірностей розміщення, а також рушійних механізмів розвитку природних і соціально-географічних систем. [5]

Перелічені напрями діяльності становлять приклад прикладного використання геодезичних і картографічних джерел даних у різних секторах суспільного розвитку. Серед ключових сфер застосування слід виділити розвідку, облік та ефективно залучення природно-ресурсного потенціалу, просторове й функціональне планування територій, а також управління основними галузями національного господарства — промисловістю, аграрним сектором, транспортною інфраструктурою, енергетичним комплексом, фінансовою системою та іншими сферами економічної діяльності. Окремого значення набуває розвиток комунікаційних технологій і телекомунікаційних мереж, створення та супровід багаторівневих кадастрових систем, здійснення систематичного спостереження за станом довкілля та природними ризиками, а також аналітична оцінка техногенного навантаження й потенційних екологічних наслідків. У цьому контексті важливими залишаються питання екологічного моніторингу, забезпечення екологічної стабільності, проведення експертних процедур щодо довкілля та впровадження стратегій сталого територіального розвитку. [4]

До напрямів, які мають вагоме соціальне значення, відносять також контроль за якістю умов проживання та працевлаштування населення, організацію систем охорони здоров'я й рекреаційної інфраструктури, забезпечення соціального добробуту. Не менш важливою є діяльність інституцій публічного управління — як законодавчої, так і виконавчої гілок влади, політичних об'єднань, медіаресурсів,

структур безпеки, правоохоронних і оборонних органів. Важливе місце також посідають сфери освіти, культури, академічної науки та прогнозних досліджень.

Серед ключових особливостей, які вирізняють сучасне геоінформаційне картографування, необхідно виокремити появу нового покоління електронних картографічних ресурсів — так званих мультимасштабних карт. Їхнє функціонування стало можливим завдяки впровадженню ГІС-технологій, що принципово змінили уявлення про масштабність у картографії. На відміну від класичних картографічних артефактів, у яких кожен масштаб є фіксованим і відповідає конкретному зображенню або цифровому шару, мультимасштабні карти реалізують динамічну генералізацію, що адаптує рівень узагальнення залежно від вибраного користувачем масштабу. [5]

Цей механізм забезпечує високоточне збереження просторової структури об'єктів при переходах між різними масштабними рівнями, дозволяючи відображати необхідну ступінь деталізації відповідно до завдань або інформаційних потреб. З позиції користувача, мультимасштабна карта постає як інтерактивний цифровий продукт, який забезпечує безперервний перегляд території у змінних масштабах, не потребуючи перемикання між окремими картографічними файлами. У такий спосіб формується принципово новий тип картографування, що охоплює широкий діапазон масштабів в межах єдиної картографічної моделі [3].

Інтеграція технологій ГІС значною мірою трансформувала процес розробки тематичних карт, надавши можливість застосовувати новітні алгоритми генералізації, обробки та візуалізації геопросторових даних. Однією з ключових переваг, яку забезпечує використання ГІС, є оперативність створення картографічної продукції завдяки доступу до великих масивів просторової інформації та потужним засобам її обробки. Тематичні карти, сформовані на основі ГІС-технологій, виступають ефективним засобом аналізу просторової диференціації явищ, дозволяючи з високою точністю ілюструвати об'ємні масиви даних у зручному, концентрованому вигляді. Такий підхід робить їх корисними і

для широкої аудиторії, і для організацій, що займаються прийняттям стратегічних рішень

У рамках розвитку геоінформаційних систем (ГІС) відкрились широкі перспективи для створення високоточних, структурно продуманих і функціонально орієнтованих картографічних матеріалів. Особливої уваги заслуговує внесок у вдосконалення тематичних карт, які інтегруються в програмні середовища ГІС. Такі візуалізовані інформаційні продукти виконують роль потужного інструменту передачі знань, подаючи складну інформацію в стислій, наочній та інтуїтивно зрозумілій формі. Їхня цінність проявляється у широкому спектрі застосувань — від використання пересічними користувачами до практичного впровадження в роботу органів державного управління, наукових інституцій та виробничих структур. [4].

Процедура моделювання в межах геоінформаційних систем ґрунтується на чіткому дотриманні встановлених норм і правил щодо використання умовних знаків, що формують візуальну основу картографічних зображень. До таких умовних елементів належать геометричні, картографічні, графічні символи, а також елементи письмової фіксації, що забезпечують смислове наповнення карти.

Позначення об'єктів і процесів за допомогою умовних знаків, їх взаємне поєднання, а також трансформація під час процесу картографічної генералізації, становлять фундаментальні складові мови картографії. Ці знаки формують своєрідну систему граматичних конструкцій, яка регулює передачу просторової інформації, подібно до синтаксису в природній мові. Картографічні посібники виокремлюють близько десяти базових методів побудови знакових композицій, які функціонують як формалізовані правила візуального представлення даних. [4]

Основними способами зображення просторової інформації: методи лінійних символів, знакових позначень, ізоліній, фонового якісного заповнення, точкового зображення, локалізованих діаграм, графічного вираження руху, ареальних схем, а також прийоми картодіаграм та картограм. Усі ці елементи взаємодіють у межах єдиної системи, забезпечуючи точне, структуроване та інформативне відтворення просторових даних.

Унаслідок подальшої еволюції геоінформаційних систем (ГІС), відбувся перехід до новітнього рівня візуалізації — формування віртуальних репрезентативних моделей, які інтегрують властивості традиційного картографування, фотографічних перспективних знімків, блокових діаграм і елементів комп'ютерної анімації. У сфері картографічного моделювання ці віртуальні конструкції репрезентують реальні або концептуальні об'єкти, що функціонують у межах програмно-контрольованих середовищ. [3]

Подібно до звичних картографічних продуктів, віртуальні моделі характеризуються наявністю географічної проекції, визначеним масштабом та відповідним ступенем генералізації. Проте, на відміну від класичних карт, ці візуалізації функціонують в інтерактивному цифровому середовищі, що дає змогу користувачеві активно взаємодіяти з просторовою інформацією. Віртуальна реальність, у цьому контексті, постає як технологічна платформа, яка забезпечує моделювання як реально існуючих, так і умовних об'єктів, з можливістю аналізу їх структури, просторових зв'язків та динаміки в цифрово керованому середовищі.

Тенденція поступової відмови від використання умовних картографічних позначень на користь віртуалізованих форм подання інформації супроводжується прагненням до максимальної візуальної автентичності. Такі зображення характеризуються просторовою глибиною, природною палітрою кольорів, ефектами світлотіні та іншими параметрами, які імітують фізичну присутність об'єкта в реальному середовищі. Завдяки цьому зростає не лише сприйнятливність образу, а й інтенсивність та швидкість комунікативного процесу між інформаційною моделлю й користувачем, що значно підвищує ефективність передачі знань про простір. [5]

1.2. Теоретичні засади цифрового моделювання рельєфу

Рельєф земної поверхні відіграє фундаментальну й незамінну роль у межах географічних досліджень, виступаючи основою для картографічного зображення, просторової візуалізації, морфометричних і картометричних вимірювань, а також

для гідрологічного аналізу, кліматичного моделювання та вивчення геоекологічних процесів. У сучасних умовах широке впровадження ГІС-технологій і геоінформаційних методів актуалізує потребу в точному цифровому представленні рельєфу, зокрема у вигляді цифрових моделей рельєфу, що є невід'ємною частиною просторового аналізу. Поглиблене вивчення морфоструктури поверхні Землі відкриває нові можливості для осмислення її впливу на природні процеси глобального й регіонального масштабу. Зокрема, рельєф чинить істотний вплив на формування мікрокліматичних умов, розвиток екосистем, розподіл водних потоків та динаміку кліматичних змін, що робить його ключовим фактором у комплексному аналізі географічного середовища. [5]

Цифрова модель рельєфу (ЦМР) являє собою впорядковану систему просторових даних, що відображає форму земної поверхні у вигляді набору точок із визначеними координатами та абсолютними висотами, доповнених інформацією про просторові зв'язки між цими точками. Структура ЦМР також передбачає алгоритмічні механізми інтерполяції, які дозволяють обчислювати висоти нових, ще не заданих точок на основі їхніх планових координат. [5]

На основі ЦМР можлива автоматизована побудова цілого ряду морфометричних тематичних карт, що відображають ключові параметри рельєфу: гіпсометричні карти, карти крутизни схилів, їх експозиції, схеми ерозійної небезпеки, напрями поверхневого стоку, моделі геохімічного розповсюдження елементів, показники ландшафтної стійкості та інші. Ці типи картографічної продукції широко застосовуються в аналізі різнорівневих географічних процесів, зокрема в картометрії, морфометричному аналізі, моделюванні гідрологічних систем, прогнозуванні кліматичних змін і при проведенні комплексних геоекологічних досліджень.

Складна форма земної поверхні обумовлює необхідність залучення великого обсягу тривимірних просторових даних для її адекватного цифрового моделювання. Побудова цифрової репрезентації рельєфу вимагає використання різних математичних моделей поверхні, серед яких необхідно обрати найбільш придатну для конкретних умов і завдань. Вибір оптимальної моделі має критичне

значення, оскільки від цього залежить точність відтворення геометрії місцевості та якість одержаних результатів. [5]

Цифрова модель будь-якого об'єкта, чи то геометричного, чи географічного характеру, являє собою структуру організації вихідних даних, яка дозволяє реконструювати форму об'єкта через застосування методів інтерполяції, апроксимації або екстраполяції. У цьому контексті широко застосовується поняття ЦМР — цифрова модель рельєфу, що являє собою тривимірну математичну репрезентацію рельєфної поверхні як реального фізичного утворення, так і умовного геополя. ЦМР забезпечує високоточне просторове подання рельєфу, що має важливе прикладне значення в таких сферах, як інженерне проектування, топографічне картографування, геоінформаційне планування, просторовий аналіз і наукові дослідження, пов'язані з оцінкою територій і прийняттям управлінських рішень. [5]

Формування цифрової моделі рельєфу можливе шляхом використання різних технологічних підходів. Залежно від характеру початкових даних, виділяють два основні методи побудови ЦМР. Перший базується на використанні матеріалів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) або фотограмметричних знімків, що дозволяє досягати високого рівня точності. Проте реалізація цього підходу супроводжується значними затратами ресурсів, є технічно складною і потребує спеціалізованого програмного забезпечення, яке часто недоступне для масового користування. Інша методика передбачає створення цифрових моделей рельєфу на основі аналогових джерел, насамперед топографічних карт. Цей спосіб має як переваги, так і обмеження.

Цифрова модель рельєфу може базуватись на різних типах структурної організації даних, серед яких вирізняють ієрархічні, реляційні, мережеві або комбіновані (гібридні) моделі. Залежно від обраної архітектури зберігання, цифрові моделі можуть зберігатися у вигляді структурованих баз даних або як окремі файли у форматі файлових систем [6].

Застосування цифрових моделей рельєфу істотно підвищує ефективність виконання просторового аналізу в середовищі геоінформаційних систем. Такі

моделі слугують потужним інструментом у розв'язанні широкого спектра задач, що охоплюють геологічні, геодезичні та геоморфологічні дослідження.

На сучасному ринку програмного забезпечення існує відносно обмежений вибір платформ, здатних повноцінно забезпечити функціональність тривимірних геоінформаційних систем (3D ГІС). Одним із перших вагомих рішень у цьому напрямі став програмний продукт Virtual GIS, створений компанією ERDAS. Ця система стала однією з перших спроб реалізувати тривимірну візуалізацію геопросторових даних у межах ГІС-середовища. Основною відмінною рисою Virtual GIS стало відходження від традиційного символічного подання об'єктів на користь максимально наближеної до реальності візуалізації — із застосуванням просторової об'ємності, натуральної колірної гами та реалістичних світлових ефектів. Саме це створює ефект присутності об'єктів у фізичному просторі та значно покращує сприйняття просторової інформації, водночас оптимізуючи процеси комунікації та аналізу. [5]

У подальшому, паралельно зі зростанням попиту на тривимірні ГІС-рішення, провідні американські розробники — компанії ESRI та MapInfo — інтегрували у свої програмні платформи відповідні функціональні модулі. Зокрема, ESRI презентувала 3D Analyst для середовища ArcView, а MapInfo — модуль Vertical Mapper для власного програмного забезпечення. Ці продукти стали відповіддю на зростаючі потреби у тривимірному відображенні та аналізі просторових даних. [6]

На сучасному етапі розвитку цифрових технологій створено сприятливі умови для організованого та систематизованого збору просторової інформації про широкий спектр об'єктів навколишнього середовища. Використання геодезичних методів, картографічних засобів, фотограмметрії та технологій дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) дає змогу отримувати надзвичайно детальні та високоточні характеристики поверхні, включаючи особливості об'єктів та процесів, що з ними пов'язані. Безперервне вдосконалення цих технологічних засобів спрямоване на підвищення ефективності процедур збору даних і досягнення максимальної точності просторової інформації.

Попри зовнішню простоту, рельєф як об'єкт моделювання є складною геопросторовою структурою, що вимагає застосування широкого спектра технічних рішень і спеціалізованих методик для створення цифрової моделі рельєфу (ЦМР). Різноманіття інструментальних підходів і джерел вхідних даних обумовлюється варіативністю способів їх отримання, особливостями первинної обробки та структурної організації похідної інформації. Саме ця різнорідність методичних засобів забезпечує можливість оптимізувати процес формування ЦМР з точки зору точності, просторової однорідності та швидкодії, адаптуючи моделі до специфіки досліджуваної території та цілей аналізу. [4]

У межах геоінформаційних систем (ГІС) дані про рельєф можуть бути представлені в різноманітних форматах, залежно від методики збору інформації та специфіки організації вихідних матеріалів. Зокрема, для побудови цифрових моделей рельєфу використовуються топографічні основи, на яких рельєф може бути зображений у вигляді сіток із рівномірно розміщених точок. Такі сітки можуть мати прямокутну, трикутну або гексагональну (шестикутну) структуру. Альтернативно, модель може формуватися шляхом оцифрування горизонталей або базисно-вершинних структурних ліній. Конкретна методика створення ЦМР обирається з урахуванням цілей дослідження та галузі її практичного застосування.

Процес добору вхідних матеріалів тісно пов'язаний із цілями просторового аналізу, масштабом об'єкта дослідження, необхідною точністю та надійністю результатів. Водночас, окрім технічних характеристик даних, надзвичайно важливими є показники їхньої достовірності, просторової повноти та відповідності формулюванню завдання. [6]

Сучасні підходи до створення цифрових карт територій ґрунтуються на багатьох методах збору інформації. Найважливішими серед них є геодезичні польові вимірювання, фотограмметрія, картометричний аналіз, наземне й аерозйомне лазерне сканування, а також інтерферометрія з використанням радарів, встановлених на літальних або орбітальних платформах. Поєднання даних, отриманих за допомогою цих методів, дозволяє сформувати комплексну, детальну

й високоінформативну картографічну модель місцевості з урахуванням її фізико-географічних властивостей. [6]

Полеві геодезичні роботи виконуються із застосуванням високотехнологічного обладнання — електронних тахеометрів, які забезпечують точне визначення координат та висотних позначок окремих точок місцевості. Метод картометрії використовує спеціалізовані картографічні матеріали, які містять дискретну інформацію про об'єкти та їхні просторові параметри, що дозволяє створювати точні цифрові копії карти. Фотограмметрія, базована на стереозображеннях, дає змогу будувати 3D-моделі об'єктів як вручну, так і за допомогою автоматизованих алгоритмів, досягаючи високої точності й просторової деталізації. [6]

Дані, що отримуються шляхом лазерного сканування (наземного або аерозйомного), формують надзвичайно щільні хмари точок, які точно описують висотний розподіл об'єктів та рельєфу. Інтерферометричні методи дозволяють створювати детальні карти рельєфу та виявляти навіть мінімальні його зміни у часі. Це відкриває нові горизонти в аналізі деформацій земної поверхні, прогнозуванні зсувів, дослідженні ерозійних процесів тощо [3].

Тривимірні ГІС являють собою потужну платформу для формування просторових моделей складних об'єктів і явищ у реальному або змодельованому середовищі. Ці системи здатні генерувати реалістичні 3D-моделі ландшафтів, архітектурних споруд, транспортної інфраструктури, гідрографічної мережі, зелених насаджень та інших компонентів просторової структури. Подібні інструменти особливо ефективні для вирішення завдань у сфері містобудування, природокористування, екологічного моніторингу, рекреаційного планування, туризму та геологічних досліджень [4].

У процесі створення тривимірних моделей у наукових цілях використовуються координатні масиви, що містять просторові значення по осях X , Y і Z . Залежно від предмету дослідження, вісь Z може інтерпретуватись як висотна відмітка або як показник фізико-географічного явища: тиску, температури, рівня

забруднення тощо. У ГІС-середовищах реалізовано два основні підходи до моделювання об'ємних структур: псевдотривимірний і справжній тривимірний.

Перший підхід — 2.5D-моделювання — передбачає закріплення атрибуту висоти (Z) за кожною точкою площини (X, Y), що дозволяє візуалізувати рельєф чи поверхню, не формуючи повноцінну тривимірну геометрію. Такий підхід ефективний для побудови профілів місцевості, перспективного огляду, натягування тематичних шарів на модель рельєфу та трансформації просторових даних. У багатьох прикладних задачах ці моделі забезпечують достатній рівень точності та візуалізації [4].

Натомість справжнє 3D-моделювання, що використовує повноцінні координати X, Y та Z у трьохвимірному просторі, дозволяє з високою деталізацією реконструювати форму й об'єм складних фізичних структур. Це особливо актуально при моделюванні геофізичних явищ, аналізі масивних об'єктів або створенні віртуальних реплік територій і споруд. Вивчення атмосферних процесів, геологічних тіл, формування ландшафтів або зміна рівня поверхні землі — усе це можливе завдяки високоточному тривимірному аналізу на основі координатних наборів [6].

Ключовим компонентом таких моделей виступає координата Z , що відіграє роль висотного або зміщеного показника в просторі. Її наявність забезпечує можливість повноцінного просторового аналізу — від геометричних вимірів і морфологічних оцінок до моделювання фізичних процесів і прогнозування змін середовища.

1.3. Поняття та критерії раціонального використання земель

Раціональне використання земельних ресурсів визнається однією з ключових засад, що формують фундамент сучасного земельного законодавства України. Цей принцип закріплений на рівні основного кодифікованого акту – Земельного кодексу України (далі – ЗК), у якому відповідно до статті 4 ЗК України визначено раціональність землекористування як одне з головних завдань правового

регулювання у сфері земельних відносин, а в статті 5 ЗК – як один із базових принципів цього законодавства. Водночас, незважаючи на таку нормативну фіксацію, у самому тексті ЗК України відсутнє чітке легальне визначення поняття «раціональне використання земель», так само як і відсутні закріплені критерії, які дозволили б уніфіковано оцінювати відповідність практики землекористування цьому принципу. [43]

Спроба формалізувати змістове наповнення зазначеного поняття міститься в одному з державних стандартів, який, проте, не має статусу нормативного акту прямої дії та не є джерелом права у традиційному розумінні. Саме визначення, запропоноване в цьому документі, вирізняється спрощеністю і декларативністю: раціональне використання розглядається як досягнення усіма суб'єктами землекористування максимального можливого ефекту в реалізації цілей господарської діяльності на землі, за умови дотримання вимог щодо охорони земель та узгодженості з природними умовами і чинниками середовища.

Охорона земель, як комплексна система правових, адміністративних, економічних та інших заходів, є невід'ємною складовою реалізації принципу раціонального землекористування. Це безпосередньо впливає з положень статті 162 Земельного кодексу України, а також статті 1 Закону України «Про охорону земель», де закріплено відповідний концептуальний підхід. Норма про необхідність забезпечення не лише охорони, а й ефективного, доцільного та збалансованого використання земель фігурує і як одне з головних завдань, і як принцип здійснення державного нагляду у сфері землекористування, що підтверджується положеннями статей 2 і 3 Закону України «Про державний контроль за використанням та охороною земель». [33]

Системний аналіз зазначених, а також інших приписів чинного земельного законодавства України, дозволяє зробити обґрунтований висновок: ідея раціонального, обґрунтованого та екологічно збалансованого використання земель є наскрізною у правовому регулюванні цієї галузі та пронизує її нормативну структуру на всіх рівнях – від загальних принципів до спеціальних норм.

Відсутність у чинному земельному законодавстві України нормативно закріпленого визначення поняття «раціональне використання земель» та чітко сформульованих критеріїв його оцінки зумовила появу великої кількості наукових тлумачень цього терміна, що активно репрезентуються у спеціалізованій юридичній літературі. У більшості з них акцент робиться на кількох ключових характеристиках, які найчастіше згадуються як складові поняття раціонального землекористування. Серед таких ознак – цільове використання земельної ділянки відповідно до встановленого правового режиму, збереження родючості ґрунтів та недопущення погіршення екологічного стану навколишнього середовища. Однак подібного набору критеріїв, попри його загальну логічність, недостатньо для повноцінного розкриття змісту категорії «раціональне використання земель», адже він не враховує багатьох інших характеристик, що мають суттєве значення для оцінки землекористування як з кількісної, так і з якісної точки зору. Саме на цьому підґрунті і формується поділ критеріїв раціональності на дві групи: кількісні та якісні. [33]

Кількісний критерій, насамперед, пов'язаний із нормуванням використання земельного фонду. Ураховуючи об'єктивну обмеженість земельних ресурсів і зростання потреб у них з боку різних сфер – демографії, промисловості, аграрного виробництва, – постає необхідність у чіткому обґрунтуванні розмірів земельних ділянок, які надаються для конкретних функціональних потреб. Такий підхід передбачає недопущення перевищення граничних параметрів, визначених відповідними нормативами. Особливо актуальним це є щодо об'єктів із лінійно-комунікаційними характеристиками: транспортної інфраструктури, інженерних мереж, трубопроводів тощо. Так, чинними залишаються нормативи, які визначають допустиму ширину земельних смуг для залізничних колій, автомобільних шляхів, магістральних трубопроводів, а також для інженерних комунікацій, таких як повітряні лінії електропередач чи зв'язку. Вказані норми переважно були затверджені ще в період існування СРСР і наразі продовжують діяти в Україні через відсутність оновлених національних нормативно-правових актів у цій сфері. Проектна документація, яка супроводжує реалізацію таких об'єктів, передбачає

дотримання відповідних граничних параметрів відведення земельних ділянок, що, фактично, слугує проявом кількісного аспекту раціонального землекористування. [33]

Встановлення нормативів щодо площі земельних ділянок, що відводяться для розміщення певних об'єктів, має за мету не лише упорядкування землекористування, а й оптимізацію просторових ресурсів шляхом мінімізації займаних площ. Таким чином, одним із важливих проявів кількісного критерію раціонального використання земель є досягнення економії територій за рахунок ефективного просторового поєднання різних об'єктів на одній земельній ділянці. В цьому контексті показовим є положення пункту 4 статті 23 ЗК України, відповідно до якого електричні та телекомунікаційні мережі, а також інші лінійні інженерні споруди мають прокладатися переважно вздовж транспортних артерій, трас і шляхів. Такий підхід забезпечує інтеграцію охоронних зон інфраструктурних об'єктів із відведеними смугами земель, що дозволяє зменшити обсяги вилучення земель, зокрема тих, що належать до сільськогосподарського фонду. [43]

Поряд із кількісним, не менш важливим є якісний критерій раціонального землекористування, який фокусується на збереженні та поліпшенні якісних характеристик земельних ресурсів, насамперед – родючості ґрунтів. Даний критерій має першочергове значення для сільськогосподарських земель, що є основним засобом виробництва в аграрному секторі. Норми земельного законодавства України містять низку положень, спрямованих на забезпечення реалізації цього критерію.

Зокрема:

- статті 91 і 96 ЗК України встановлюють обов'язок власників та користувачів земельних ділянок дотримуватися цільового призначення земель, здійснювати заходи щодо підвищення родючості ґрунтів, а також зберігати інші корисні властивості землі;
- стаття 23 ЗК закріплює принцип пріоритетності земель сільськогосподарського призначення, обмежуючи можливість їх вилучення для потреб, не пов'язаних із сільським господарством. Згідно з цим

положенням, для несільськогосподарських цілей можуть надаватися лише малопродуктивні угіддя, тоді як використання високоякісних або особливо цінних сільськогосподарських земель для інших потреб забороняється;

- стаття 106 ЗК встановлює загальні правила щодо охорони ґрунтів, обов'язкові для виконання усіма власниками та землекористувачами;
- законодавством також передбачено юридичну відповідальність (у тому числі адміністративну та кримінальну) за порушення правил використання земель, їх забруднення, засмічення, деградацію чи нераціональне використання. Крім того, передбачено обов'язок повного відшкодування шкоди, завданої земельним ресурсам. [43]

Кількісний підхід до оцінки раціональності використання земель має переважне значення у контексті застосування земель як територіального ресурсу, що є характерним насамперед для несільськогосподарського сектору. Натомість якісний критерій набуває пріоритетного значення у сільськогосподарському виробництві, де земля розглядається як основний засіб господарювання, від якого безпосередньо залежить продуктивність аграрної діяльності. Разом з тим, обидва критерії — як кількісний, так і якісний — мають особливо важливе значення саме для сільськогосподарського землекористування. Це пояснюється тим, що земельні ресурси аграрного призначення є обмеженими й унікальними, а отже, втрата або деградація таких земель не може бути компенсована іншими засобами. У несільськогосподарських галузях, навпаки, дефіцит земель в окремих випадках може бути частково подоланий через упровадження просторової оптимізації, зокрема шляхом нормування відведення ділянок, реалізації проєктів багатоповерхової забудови, використання підземного простору тощо. [43]

Отже, у кількісному вимірі раціональне землекористування зводиться до забезпечення ощадного, економного використання площ, а з якісного боку — до підтримання і покращення ґрунтових властивостей, зокрема родючості, із недопущенням деградації, виснаження чи забруднення ґрунтового покриву.

Обидва ці аспекти є взаємодоповнювальними й становлять концептуальну основу сучасної політики сталого управління земельними ресурсами.

1.4. ГІС-підходи до раціонального використання та охорони земель

На нинішньому етапі розвитку особливої актуальності набуває необхідність впровадження вдосконалених, адаптованих до сучасних викликів та технологічно інноваційних методів збору, накопичення, аналізу, обробки й прогнозування просторових характеристик природного середовища та природно-ресурсних компонентів, передусім земельного фонду. Застосування таких підходів стає можливим завдяки широкому впровадженню геоінформаційних технологій, які поєднують високу функціональну ефективність із системністю в реалізації як прикладних, так і дослідницьких завдань. У цьому контексті геоінформаційні системи (ГІС) слід розглядати як функціональний базис для формування національної інформаційної платформи управління земельними ресурсами. Така платформа має забезпечувати системний доступ до просторово-координованих відомостей щодо цільового призначення, форм власності та стану земель, а також їх використання, моніторингу й прогнозування динаміки. ГІС-підходи дозволяють здійснювати структурований аналіз і оперативне управління просторовими даними, що є передумовою формування ефективної стратегії раціонального землекористування. [41]

Геоінформаційні системи наразі виступають одним із найбільш динамічно розвиваних інструментів в управлінні земельними ресурсами, оскільки саме вони здатні забезпечити отримання актуалізованої, достовірної, зрозумілої та зручної для подальшого використання інформації. ГІС слугують незамінним інструментом для вирішення широкого спектра задач — від введення та зберігання вихідних даних до просторової обробки, аналітичного моделювання, геостатистичного аналізу, візуалізації інформації та формування технічної документації різного рівня складності.

Прийняття значної частини управлінських рішень потребує врахування багатьох взаємозалежних факторів. Ефективне вирішення цих завдань можливе лише за умови включення до складу геоінформаційних систем інтелектуальної компоненти, що забезпечує науково вивіреним підхід до аналізу. Така інтеграція відкриває можливості для реалізації низки ключових функцій: ведення кадастру, моніторингу стану територій, моделювання та прогнозування ситуацій, управління просторовими процесами, контролю за виконанням програм і проєктів, здійснення кадастрового знімання, обробки матеріалів ДЗЗ, охорони земель, підтримки актуальності кадастрових карт, організації інформаційного супроводу та автоматизації процесів документування. [41]

Ключовими завданнями в системі управління земельними ресурсами виступають: гарантування національної та громадської безпеки; дотримання вимог земельного законодавства; забезпечення раціонального використання територій; збереження та підвищення родючості ґрунтів; вдосконалення планування земельних угідь; реалізація соціально важливих цілей та захист публічних інтересів.

Система управління земельними ресурсами функціонує як взаємопов'язаний комплекс, у якому елементи взаємодіють через постійний обмін інформацією задля досягнення ефективного й доцільного використання землі. Основними інструментами, що забезпечують цей інформаційний обіг і одночасно виступають головними функціональними блоками управління, є земельний кадастр, землеустрій і моніторинг земель. [41]

У цьому контексті геоінформаційні системи відіграють визначальну роль, забезпечуючи виконання шести базових операцій з просторовими даними:

- **введення** – забезпечення надходження даних у цифровій формі;
- **обробка** – трансформація інформації відповідно до потреб аналізу;
- **керування** – використання реляційних баз даних для упорядкування великих інформаційних масивів;
- **запит** – оперативне отримання необхідної інформації;
- **аналіз** – поєднання та синтез різнорідних джерел даних;

- **візуалізація** – відображення результатів у вигляді картографічних матеріалів, таблиць, діаграм, графіків або мультимедійних елементів. [41]

Однією з вагомих переваг сучасних геоінформаційних систем є здатність генерувати, порівнювати й аналізувати велику кількість альтернативних проектних рішень. Це стосується питань просторової оптимізації, охорони земельних ресурсів, впровадження принципів сталого землекористування, відновлення природних ландшафтів, а також прогнозування і моніторингу стану територій.

Водночас, на практиці управлінські рішення у сфері землекористування нерідко приймаються неефективно — переважно на основі суб'єктивних оцінок або за допомогою застарілих моделей, які не відповідають сучасним вимогам управлінської діяльності. Це створює бар'єри для автоматизації процесів та формує розрив між наявним методичним інструментарієм і необхідною оперативністю й точністю у сфері прийняття рішень щодо земельних ресурсів. [40]

Серед найбільш актуальних проблем земельного управління можна виокремити такі: потреба в повноцінній інвентаризації земель; подолання диспропорцій у просторовому розподілі територій; вдосконалення механізмів контролю за станом земельного фонду. Вирішення зазначених проблем слід розглядати через функціональні завдання, які повинні реалізовувати ГІС у цій сфері, а саме: забезпечення доступу до даних для всіх зацікавлених структур; уніфікація форматів обміну просторової інформації; запровадження систем класифікації та засобів захисту даних; підтримка цілісності та безпеки інформаційних ресурсів. [40]

Інструменти геоінформаційних систем надають можливість здійснювати всебічний аналіз стану земельних угідь, виявляти наявні порушення та неточності, а також оперативно формувати інформаційні бази і систематизовані дані про земельні ділянки.

Одним із ключових елементів системи управління земельними ресурсами виступає інформація Державного земельного кадастру (ДЗК). У зв'язку з цим стратегічним пріоритетом державної земельної політики стало створення автоматизованої кадастрової системи, що включає: реєстраційний облік земельних

ділянок, цифрові кадастрові карти, інформаційні масиви про землевласників і землекористувачів, а також дані, отримані в результаті топографо-геодезичних, аерофотознімальних та інших видів знімачів. [40]

У сфері земельної оцінки геоінформаційні системи відіграють ключову роль, забезпечуючи не лише збереження і регулярне оновлення інформаційних баз, а й здійснення розрахунків оціночних показників. Завдяки застосуванню інструментів множинного регресивного та факторного аналізу, ГІС дозволяють створювати моделі оцінки, які дають змогу оперативно формувати вибірки даних щодо вартості конкретних ділянок.

Використання геоінформаційних технологій у процесах аналізу та оцінки земель набуває особливого значення, що підтверджується широким впровадженням відповідного програмного забезпечення. Такі системи істотно прискорюють виконання об'ємних завдань, пов'язаних з обліком і визначенням вартості земель різного функціонального призначення. [41]

У сільському господарстві впровадження ГІС забезпечує якісно новий рівень ухвалення управлінських рішень у сфері землевпорядкування. Це сприяє зменшенню ймовірності помилок, підвищенню продуктивності праці та, як наслідок, зростанню обсягів сільськогосподарського виробництва, що має позитивний вплив на економіку держави загалом.

Геоінформаційні системи формують єдину інформаційну платформу для управління земельними ресурсами, інтегруючи функції, пов'язані з податковим адмініструванням, реєстрацією прав власності та забезпеченням прозорості ринку земель. [41]

Отже, ГІС-технології забезпечують не лише формування, але й багатофакторний аналіз широкого спектра проектних рішень. Вони сприяють створенню рекомендаційних і управлінських карт різного рівня — від загальнодержавного до локального. Це дозволяє знаходити найбільш обґрунтовані з еколого-економічної точки зору рішення щодо організації території, охорони земель і впровадження принципів сталого землекористування. Серед пріоритетних завдань — оперативний контроль за використанням земель, моніторинг

агрolandшафтів, прогнозування ерозійних загроз, проектування протиерозійної структури територій, а також виявлення, облік та науково обґрунтована консервація деградованих і низькопродуктивних земель.

1.5 Визначення завдань та користувачів ГІС-підходів у забезпеченні раціонального використання та охорони земель

Охорона земель є ключовим і невід'ємним складником у системі раціонального землекористування. Її роль полягає в створенні базових умов для забезпечення стійкого функціонування земельного фонду, запобігання його деградації та зниження впливу деструктивних природних і антропогенних чинників. Основне призначення заходів охорони земель — підтримання продуктивного потенціалу сільськогосподарських угідь, підвищення їх екологічної стабільності та родючості, а також впровадження принципів економного та виваженого використання земельних ресурсів. [2]

Важливо наголосити, що охоронна діяльність передбачає комплекс превентивних і відновлювальних заходів, спрямованих на запобігання таким негативним процесам, як ерозія, заболочення, виснаження та структурна деградація ґрунтів. Окрім цього, особлива увага приділяється мінімізації наслідків антропогенного впливу, зокрема техногенного забруднення, що дозволяє забезпечити екологічно збалансоване та ефективне землекористування. [3]

Норми чинного законодавства формують цілісну систему заходів, спрямованих на забезпечення ефективної охорони земельних ресурсів. До складу цієї системи входять:

- створення державної інтегрованої системи моніторингу стану земель;
- розроблення національних і регіональних стратегічних програм щодо раціонального використання та охорони земельного фонду;
- підготовка землеустрою з акцентом на природоохоронні аспекти;
- формування та розвиток екологічної мережі як просторової основи збереження ландшафтного різноманіття;

- здійснення комплексного природно-сільськогосподарського, еколого-економічного, протиерозійного та інших видів функціонального районування територій;
- впровадження економічних стимулів для збереження родючості ґрунтів та забезпечення екологічно безпечного землекористування;
- установлення нормативів і стандартів, що регламентують вимоги до охорони земель у національному законодавстві. [2]

Держава надає пріоритетне значення охороні земель сільськогосподарського призначення, розглядаючи цю сферу як стратегічно важливу для продовольчої безпеки та екологічної стабільності. Реалізація відповідної політики передбачає системне впровадження комплексу заходів, спрямованих на збереження продуктивності аграрних угідь, підвищення рівня їх екологічної стійкості й родючості, а також обмеження необґрунтованого вилучення чи викупу таких земель для неаграрного використання. Відповідальність за забезпечення сталого функціонування цього ресурсу покладена на державу, яка має розробляти й впроваджувати ефективні нормативно-правові акти та відповідну адміністративну політику.

Охорона сільськогосподарських земель потребує цілісного підходу, що охоплює як профілактичні, так і відновлювальні заходи. До основних напрямів належать: захист територій від ерозійних процесів, заболочення, засолення, зсувів, ущільнення ґрунтів, а також від забруднення техногенного характеру, зокрема промисловими, радіоактивними та хімічними речовинами. Важливу роль відіграють рекультивація порушених земель, консервація малопродуктивних і деградованих ділянок, поліпшення агрохімічних властивостей угідь, створення полезахисних лісосмуг і ґрунтозахисних лісонасаджень. [2]

Необхідною умовою ефективного управління цими процесами є впровадження систематичного моніторингу, який дозволяє відстежувати стан використання земель і динаміку зміни їх родючості. Особливої уваги заслуговує ґрунтовий покрив, що виступає головним об'єктом охорони та відіграє критично

важливу роль у забезпеченні довготривалої продуктивності й стійкості агроландшафтів. [2]

У результаті аналізу чинного законодавства та наукових джерел, присвячених проблематиці раціонального землекористування й охорони земель, можна виокремити низку фундаментальних принципів, які формують основу функціонування відповідної системи. До таких базових засад належать: комплексна оцінка стану земель, запобігання ерозійним процесам, а також забезпечення збереження земельного потенціалу.

Оцінювання стану земель у сільськогосподарському секторі передбачає аналіз кількісних і якісних характеристик використання земельного фонду. Серед індикаторів, що мають діагностичне значення, виділяють: рівень розораності, ступінь лісистості, показники полезахисного лісонасадження, рівень освоєння земель сільськогосподарського призначення, коефіцієнти екологічної стійкості та антропогенного навантаження. [3]

Окрему групу заходів становить захист ґрунтів від ерозійних процесів, включаючи як водну, так і вітрову ерозію. З метою протидії водній ерозії передбачено реалізацію комплексу агротехнічних і лісомеліоративних заходів, зокрема: покращення родючості ґрунтів, створення захисних та водорегулюючих лісосмуг, залісення балок, ярів, берегових зон, рекультивацію піщаних масивів, а також будівництво терас та протиерозійних гідротехнічних споруд.

Для протидії вітровій ерозії земної поверхні необхідно впроваджувати технології агрообробітку та сівозміни, що сприяють збереженню оптимального рівня вологості ґрунтового шару. Зокрема, ефективними є агротехнічні заходи, що базуються на впорядкованому смуговому чергуванні парових ділянок і посівів, а також застосування ґрунтозахисних сівозмін. Доцільним є створення куліс, висів багаторічних трав і озимих культур у вигляді буферних смуг, формування систем снігозатримання, закладка штучних водойм, ставків, а також будівництво та розширення мережі полезахисних лісосмуг. Особливу увагу слід приділяти рекультивації та фітомеліорації земель, непридатних для агровикористання, зокрема фіксації та залісенню піщаних ділянок. [14]

Одним із пріоритетних завдань у діяльності сільськогосподарських підприємств є досягнення максимальної ефективності у використанні наявних земельних ресурсів за умови мінімізації витрат як матеріального, так і енергетичного характеру. Досягнення цього можливе за умови ретельно спланованого підходу до організації простору та оптимального балансу між різними видами угідь.

Паралельно з потребою підвищення ефективності землекористування, не менш важливим є забезпечення охорони земельного фонду, зокрема — запобігання розвитку ерозійних процесів і забруднення водних ресурсів продуктами ґрунтового змиву. Реалізація інтенсивних підходів до використання земель має ґрунтуватися на принципах розумного і науково обґрунтованого планування структури землеволодіння. [2]

Забезпечення стабільної продуктивності агроландшафтів значною мірою залежить від упередження ерозійних змін, що досягається впровадженням комплексу землеробських технологій. До таких методів належать: мульчування, контурне оброблення ґрунту, системи агротехнічних прийомів, спрямованих на стабілізацію ґрунтового покриву. Застосування подібних заходів сприяє збереженню структури ґрунтів, зменшенню втрат гумусу та поживних елементів, а також підвищенню екологічної стійкості аграрного виробництва. [3]

Кожен суб'єкт землекористування, незалежно від форми власності чи типу господарювання, повинен володіти достовірною, повною та актуальною інформацією щодо стану раціонального використання і охорони земель. Така інформація є базисом для ефективного управління територіальними ресурсами.

Серед основних користувачів цієї інформації – центральні органи виконавчої влади, зокрема Державна установа «Інститут охорони ґрунтів України», Державне агентство лісових ресурсів, Державне агентство водних ресурсів, Державна служба з питань геодезії, картографії та кадастру, а також землевласники, землекористувачі й аграрні підприємства. Для всіх цих суб'єктів доступ до детальних даних про стан ґрунтів і земель є критично важливим. [3]

Ці дані використовуються з різноманітними цілями: визначення впливу хімічних речовин і природних факторів на посіви; планування графіків внесення пестицидів і добрив; актуалізація відомостей про морфологічну структуру ґрунтового покриву. Завдяки цій інформації агровиробники отримують змогу оцінювати потреби в агрохімікатах, здійснювати прогнозування врожайності, планувати обсяги фінансових та трудових витрат, а також ухвалювати ефективні рішення у виробничій діяльності. [2]

Висновки до розділу 1

У першому розділі здійснено ґрунтовний аналіз теоретичних основ, необхідних для подальшого дослідження та формування проєктних рішень у сфері геоінформаційного моделювання для раціонального використання та охорони земель в умовах цифрової трансформації. Було розглянуто низку наукових публікацій, методичних посібників і фахових праць, що висвітлюють ключові положення щодо побудови та функціонування геоінформаційних систем (ГІС), а також розкрито концептуальні підходи до їх практичного застосування в межах земельного управління.

Окрім того, обґрунтовано, що впровадження ГІС у процес управління земельними ресурсами на всіх рівнях — від місцевого до національного — відіграє вирішальну роль у підвищенні ефективності реалізації державної політики у земельній сфері. Сучасні геоінформаційні технології не лише забезпечують інструментарій для прийняття обґрунтованих управлінських рішень, але й сприяють формуванню загальнодержавної інформаційної інфраструктури. Це, у свою чергу, є запорукою збалансованого розвитку природо-господарських систем, забезпечуючи екологічну рівновагу, економічну результативність і соціальну стабільність.

Встановлено нагальні завдання для забезпечення охорони земель засобами геоінформаційного картографування в наступних розділах:

- створення узагальненої та функціональної моделей геоінформаційного картографування
- методологічне забезпечення створення моделей геоінформаційного картографування
- розробка моделей бази знань
- реалізація розробки на прикладі Луцького району Волинської області

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ГІС-ПІДХОДІВ ДО РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ

2.1. Методи комплексного аналізу геопросторових даних та оцінки раціональності землекористування

Методи аналізу геопросторових даних

Аналітичний модуль геоінформаційних систем (ГІС) охоплює широкий спектр інструментів, що дають змогу виконувати операції з просторовими об'єктами різної природи. Водночас, відсутність уніфікованої класифікації цих методів зумовлює значну кількість варіативних підходів і трактувань, які відображають різні концепції розуміння самого процесу просторового аналізу. Одну з відомих класифікацій запропоновано дослідниками А.В. Кошкарєвим і В.С. Тикуновим. Вони систематизують існуючі аналітичні прийоми обробки геоданих згідно з логікою дій, що їх зазвичай виконує аналітик у межах просторового аналізу. [35]

У відповідності до цього підходу, усі аналітичні операції можна умовно поділити на такі категорії:

- **переформатування даних**, що включає конверсію між різними форматами, зокрема між векторним і растровим поданням;
- **перетворення проєкцій і трансформації координатних систем**;
- **методи обчислювальної геометрії**, пов'язані з просторовою логікою і топологічними залежностями;
- **операції накладання шарів**, що використовуються для аналізу взаєморозміщення об'єктів;
- **аналітичні та графоаналітичні прийоми**, орієнтовані на кількісне оцінювання;
- **моделювання**, яке передбачає створення абстрактних представлень реальних процесів і об'єктів для прогнозного аналізу. [35]

Попри всеосяжність запропонованої класифікаційної схеми, що охоплює широкий спектр процедур, її структурна побудова викликає певні методологічні

застереження. Зокрема, об'єднання під єдиною категорією рутинних етапів підготовки просторових даних із власне аналітичними процедурами виглядає не зовсім обґрунтованим з точки зору системної логіки. У цьому контексті вагомий інтерес становить класифікаційна система, запропонована Енді Мітчеллом. Вона не обмежується сухим переліком інструментальних засобів для аналізу, як у деяких попередніх підходах, а, навпаки, акцентує увагу на функціональному призначенні кожного з методів, що значно розширює контекст їх практичного застосування в межах ГІС.

У межах цієї типології найпростіші види просторового аналізу можна згрупувати за напрямками, які розкривають запитуваний аспект просторової інформації, а саме:

- відображення просторового розташування явищ та об'єктів (Mapping where things are);
- визначення зон максимальної чи мінімальної інтенсивності просторових характеристик (Mapping the most and least);
- оцінювання щільності розміщення об'єктів (Mapping density);
- аналіз вмісту замкнених просторових меж (Finding what's inside);
- виявлення об'єктів у безпосередній близькості до заданих елементів (Finding what's nearby);
- фіксація та візуалізація динамічних змін у просторі (Mapping change). [34]

У більш широкому теоретико-практичному вимірі аналітичні інструменти, що застосовуються до географічних об'єктів у ГІС, можуть бути умовно класифіковані за такими категоріями:

- просторово-геометричний аналіз об'єктів;
- оцінювання їх місцеположення у координатному середовищі;
- використання методів дистанційного зондування для отримання параметричних характеристик;
- тематична класифікація просторових одиниць;
- реалізація накладання цифрових картографічних шарів (map overlay);

- моделювання й аналіз поверхонь, що описують рельєфні чи інші безперервні просторові явища [34]

Методи, що використовуються у сучасному геоінформаційному аналізі й моделюванні, охоплюють як елементарні, так і складні підходи. До простих операцій належать, зокрема, накладання картографічних шарів для створення нових тематичних карт, розрахунків площ і периметрів об'єктів, визначення найкоротших відстаней або пошук найближчих об'єктів у просторі. Такі аналітичні дії дозволяють безпосередньо встановлювати кількісні або якісні характеристики окремих об'єктів або процесів. Вони є доцільними при дослідженні явищ із простими причинно-наслідковими зв'язками, що зумовлені обмеженим набором детермінуючих факторів. Наприклад, це може стосуватися визначення меж адміністративної одиниці або обрахунку середньої щільності населення в межах певної території. [35]

У випадках, коли задача вимагає глибшого аналізу складних взаємозв'язків, застосовуються більш потужні засоби, які дозволяють відтворювати фрагменти реальної дійсності через інтеграцію багатьох інформаційних шарів у межах єдиної багатовимірної структури. Такий підхід відкриває можливість моделювання складних просторових ситуацій і переходу від традиційного аналізу до повноцінного просторового моделювання.

Ключові етапи реалізації аналітичного процесу в ГІС

1. Первинна оцінка наявних вхідних даних

На початковому етапі аналітик має чітко ідентифікувати обсяг та якість доступної інформації, а також з'ясувати, які саме дані необхідно додатково зібрати або сформуванню нових масивів інформації може призвести як до розширення атрибутивної таблиці новими колонками, так і до створення нових картографічних шарів. Саме оцінювання вхідних даних виступає одним із найбільш критичних етапів усього процесу аналізу, оскільки саме на цьому етапі встановлюється, чи є технічно та

методологічно можливою реалізація обраного напрямку аналізу з дотриманням необхідного рівня точності та надійності результатів. [34]

2. Вибір аналітичного підходу (методики аналізу)

У більшості випадків для досягнення певного результату існує кілька альтернативних методів обробки. Якщо на першому плані стоїть необхідність оперативного прийняття управлінських рішень або швидкого орієнтування в ситуації, застосовують прості, апробовані на практиці методики, що не потребують значного обсягу додаткових даних. [35]

Перевага надається підходам, які спираються на мінімальний набір вхідних параметрів, передбачають використання базових, уже наявних у складі ГІС функціональних можливостей і дозволяють здійснювати розрахунки з невеликою затратною часу. Водночас подібні методи характеризуються відносно низьким рівнем точності, обмеженою деталізацією та орієнтацією на генералізовані характеристики процесів, що аналізуються. [35]

3. Етап оброблення просторової інформації

На цьому етапі критично важливо визначити відповідну модель представлення даних, яка буде застосовуватись для візуалізації тематичних шарів. Аналітик має прийняти рішення щодо доцільності використання векторного чи растрового формату для кожного з інформаційних шарів. Сучасні геоінформаційні системи володіють гнучкими інструментами, що дозволяють поєднувати обидва типи даних у межах одного проєкту, а при потребі – здійснювати взаємне перетворення форматів за допомогою вбудованих засобів конверсії. [34]

Векторні структури даних і сфера їх застосування. Векторна модель передбачає репрезентацію географічних об'єктів у вигляді точок, ліній та полігонів, кожен з яких має чітко визначене просторове положення та геометричні межі. Такий формат особливо ефективний при потребі фіксації високоточної локалізації об'єктів, моделювання мережевих структур або роботи з чіткими адміністративно-територіальними межами, наприклад, державними кордонами.

Растрові структури даних і їх функціональність. Растрова модель передбачає зображення просторових явищ у вигляді мозаїки дискретних осередків (пікселів), де кожна клітинка містить числове значення параметра. Таке представлення утворює регулярну сітку, яка в геоінформатиці часто іменується терміном «грід» (від англ. *grid* – сітка). Кожна комірка має визначене положення на площині, що фіксується за координатами початкової точки, розміром пікселя та індексами рядків і стовпців. Така структура даних особливо придатна для роботи з безперервними явищами, зокрема при аналізі рельєфу, температурних градієнтів або рівня забруднення. [35]

4. Інтерпретація результатів і візуалізація даних

Завершальна стадія аналітичного процесу передбачає оцінювання адекватності отриманих результатів, зокрема щодо точності, повноти та відповідності поставленій меті дослідження. У разі виявлення недоліків або нестачі інформації, аналітик може прийняти рішення про коригування параметрів дослідження, повторний запуск аналізу або використання альтернативного методу.

Функціональні можливості сучасних ГІС забезпечують швидке внесення змін до вихідних умов задачі та отримання нових варіантів результатів. Це дозволяє не лише оперативно оновлювати аналітичні підходи, а й порівнювати ефективність різних методів між собою.

Завдяки розвинутим засобам візуалізації, ГІС відкривають широкий спектр форм подання результатів: від тематичних карт і цифрових моделей поверхні до графіків, діаграм та табличних звітів. Проте ефективність використання навіть найсучасніших інструментів безпосередньо залежить від компетентності користувача й коректності їх застосування в контексті конкретного завдання. [35]

Методи оцінки раціональності землекористування

На сучасному етапі розвитку земельних відносин сформовано цілу низку методів до оцінювання вартості земельних ділянок. Серед найпоширеніших — методи порівняльного аналізу угод купівлі-продажу, а також метод розподілу, що ґрунтуються переважно на принципах порівняльного підходу. Застосовується

також метод зонування, який поєднує елементи як порівняльної, так і витратної концепцій. Крім того, значного поширення набули метод капіталізації земельної ренти та метод прогнозного використання територій, що базуються на поєднанні прибуткового і витратного підходів. [36]

Ретельний аналіз переваг і обмежень кожного з вищезазначених підходів дозволив зробити висновок про доцільність використання саме прибуткового методу. Він передбачає визначення як кадастрової, так і ринкової вартості земель шляхом капіталізації потенційного або розрахункового рентного доходу. Такий підхід виявився найбільш адекватним при вирішенні задач, пов'язаних з економічним обґрунтуванням ефективності землекористування. З позицій комплексного аналізу ефективності функціонування земельного фонду важливою є категорія "ресурсний потенціал", що виступає інтегральною економічною характеристикою, здатною відображати як кількісні, так і якісні параметри використання земельних ресурсів. [36]

Категорія природно-ресурсного потенціалу має розглядатися у тривимірному аспекті, що включає кілька ключових підходів. Перший — ресурсний, який передбачає здатність природного середовища забезпечувати суспільне виробництво енергетичними, мінерально-сировинними та іншими видами ресурсів. Другий — екологічний, що фокусується на здатності природного середовища задовольняти базові життєві потреби населення поза виробничою діяльністю: у чистому повітрі, воді, сприятливих умовах для праці, рекреації та духовного розвитку. Третій підхід пов'язаний із потенціалом екосистемної стійкості та регенерації, тобто здатністю природних комплексів підтримувати свою функціональну та структурну цілісність, а також самовідновлюватися після впливу антропогенних чинників. [36]

Незважаючи на складність і багатовимірність цієї категорії, у сучасній практиці оцінки земель переважає використання окремих індикаторів, що характеризують лише конкретні групи ресурсів. Внаслідок цього кадастрова оцінка земельних ділянок, як правило, не враховує інтегральний стан ґрунтового покриву та його економічну значущість. Такий підхід призводить до викривлення уявлення

про фактичну природно-ресурсну вартість земель, що, своєю чергою, ускладнює реалізацію політики сталого землекористування. [36]

Серед усіх типів землекористування пріоритетне економічне значення мають землі сільськогосподарського призначення, що відведені для забезпечення потреб аграрного сектору. У процесі оцінювання таких територій ключовою складовою виступає визначення їхнього ресурсного потенціалу, що безпосередньо корелює зі ступенем ефективності та збалансованості експлуатації ґрунтових ресурсів. [36]

Сьогодні спостерігається стійка тенденція до зниження природної родючості ґрунтів, що є наслідком нераціонального землекористування та ігнорування екологічних норм. Погіршення агровиробничих властивостей ґрунтів обумовлюється низкою чинників, зокрема:

- надмірною розораністю територій, що сприяє інтенсифікації процесів ерозії;
- порушенням оптимальної структури сівозмін;
- прогресуючим дефіцитом основних поживних елементів та органічної речовини, внаслідок чого відбувається зменшення їхніх запасів у ґрунтовому середовищі;
- зниженням мікробіологічної активності, яка є основою ґрунтоутворювальних процесів;
- розповсюдженням площ із підвищеною кислотністю ґрунтів;
- збільшенням щільності ґрунтового профілю, що знижує водопроникність і водоутримуючу здатність;
- повільним упровадженням інноваційних технологій ґрунтозахисного обробітку. [36]

У межах дослідження ефективності використання земель сільськогосподарського фонду об'єктом аналізу обрано територію Луцького району Волинської області, що дозволяє здійснити комплексну оцінку сучасного стану та перспектив сталого землекористування в регіональному розрізі.

2.2. Методи інтеграції різнорідних геопросторових даних у системі раціонального землекористування

Сучасний стан довкілля характеризується значним навантаженням на природні ресурси, що вимагає негайного реагування в напрямі розробки актуальних інформаційно-аналітичних інструментів. У цьому контексті особливої важливості набуває створення інформаційних баз даних, розвиток прикладних геоінформаційних систем, а також активне застосування ПС-технологій для вирішення комплексу завдань, пов'язаних з оптимізацією землекористування та забезпеченням екологічної безпеки. [37]

У сфері економічного оцінювання якості земель за допомогою геоінформаційних засобів можлива реалізація низки ключових функцій, серед яких:

- генерація картосхем різного рівня деталізації, що відображають актуальний стан земельного фонду за окремими характеристиками або за інтегральними показниками в межах адміністративно-територіальних одиниць;
- оцінювання сучасного стану й просторово-часової динаміки трансформацій ґрунтового покриву, зокрема щодо таких явищ, як ерозія, засолення, хімічне забруднення тощо;
- визначення якісних показників земельних угідь, у тому числі їхньої агровиробничої придатності та фактичної продуктивності;
- прогнозування змін стану ґрунтів за сценаріями різного рівня екологічного навантаження;
- розрахунок економічних втрат, спричинених деградацією земель внаслідок впливу повітряних, водних та інших чинників забруднення;
- просторове моделювання екологічних процесів, що охоплюють різноманітні аспекти взаємодії природних і антропогенних факторів у системі землекористування. [38]

Організація раціонального землекористування та ефективної охорони земель потребує наявності експертної інформації та проведення комплексних системних досліджень. Зібрані дані мають бути належно збережені в інформаційних базах для

подальшого аналізу, перевірки обґрунтованості прийнятих рішень та накопичення знань для майбутнього використання. В цьому контексті ключову роль відіграє впровадження сучасних геоінформаційних технологій (ГІС), що дають змогу відслідковувати зміни у процесі моделювання структури оптимального землекористування, здійснювати контроль за реалізацією рішень і своєчасно вносити необхідні корективи.

Практика багатьох зарубіжних країн підтверджує: автоматизація управлінських функцій у сфері землекористування значно підвищує рівень уніфікації процедур збору, обробки та збереження кадастрової інформації. Це забезпечує прискорення процесів реєстрації земель, зменшення витрат на обслуговування інформаційних ресурсів, усунення дублювання даних, підвищення відкритості й доступності інформації про земельні ділянки та пов'язані з ними права. Крім того, автоматизовані системи скорочують час і вартість операцій з передачею прав власності, оптимізують оцінку ринкової та орендної вартості землі, полегшують створення резервних копій реєстрів і формують внутрішні інструменти контролю якості даних. [38]

Реалізацію екологічного ГІС-проєкту доцільно структурувати за такою схемою:

- збір і систематизація доступної вхідної інформації;
- виявлення та опис екологічних проблем на основі аналізу зібраних даних, з побудовою попередніх оглядових схем;
- створення тематичних карт, що відображають стан компонентів навколишнього середовища й дозволяють зіставити наявні екологічні виклики з управлінськими завданнями природоохоронного характеру;
- проведення типологічного зонування адміністративно-територіальних одиниць, із використанням обраних тематичних критеріїв, відображених на схематичних і комплексних картах;
- підготовка рекомендацій для розв'язання управлінських задач, включаючи експертну оцінку ефективності впроваджених пріоритетів охорони земель;

- економічне обґрунтування ефективності застосованих природоохоронних заходів;
- ревізія і коригування діючих програм землеохоронного спрямування;
- представлення підсумкових результатів у формі, що відповідає вимогам користувачів – землевласників та землекористувачів.

Сучасні геоінформаційні системи (ГІС) відкривають широкі можливості для формування земельно-інформаційних систем (ЗІС), які можуть ефективно функціонувати на різних рівнях управлінської ієрархії — від операційного до стратегічного. Завдяки інтеграції просторових і атрибутивних даних, ЗІС дозволяють здійснювати комплексну обробку великих обсягів інформації, що стосується стану, структури та динаміки земельного фонду. [38]

Використання таких систем забезпечує підґрунтя для прийняття виважених, оптимальних управлінських рішень, спрямованих на підвищення ефективності використання земельних ресурсів, а також забезпечення їх довготривалої охорони та екологічної стійкості. У перспективі це сприятиме більш раціональному й збалансованому використанню земельно-ресурсного потенціалу України на національному, регіональному та місцевому рівнях. [38]

2.3. Методи створення моделей ГІС-підходів до раціонального землекористування

ГІС-підходи, що набувають дедалі більшої значущості в сучасних умовах, концептуалізуються як процес побудови картографічних моделей, заснованих на структурованих базах геопросторових даних. У межах цієї парадигми виокремлюються три фундаментальні положення. По-перше, будь-який картографічний матеріал розглядається як результат системної обробки та графічного представлення просторової інформації, що зберігається у відповідних базах геоданих. По-друге, рівень інформативності, точність і надійність отриманого картографічного продукту є безпосередньо залежними від повноти, внутрішньої структури та якісних характеристик джерельної бази даних. І, по-

третє, робота з цифровими картами в межах комп'ютерного середовища невідривно пов'язана зі збереженням постійного зв'язку із джерелом геоданих, що забезпечує можливість інтегрованого виконання аналітичних процедур, просторової ідентифікації об'єктів та підтримки актуальності інформаційного наповнення. [8]

Процес створення картографічного продукту розпочинається із формування відповідної бази даних (БД), яка слугує структурним фундаментом для подальших операцій. Джерельна інформація може бути імпортована безпосередньо в БД або ж пройти етап попередньої генералізації з метою усунення надмірної деталізації, яка не відповідає масштабним або функціональним вимогам майбутньої карти. Наступним кроком є послідовна обробка даних, що охоплює декілька фаз: повторна генералізація, тематичний аналіз, а також поглиблена деталізація об'єктів до рівня, що відповідає поставленим цілям картографування.

На основі сформованої БД відбувається компіляція картографічного зображення. Початковий етап передбачає інтерактивне узагальнення змісту: здійснюється селекція найбільш інформативних об'єктів, їх тематична класифікація та групування з подальшим призначенням однакової символіки. Після цього відбувається візуалізація просторових даних згідно з затвердженою системою умовних позначень, що дозволяє сформувати карту в її завершеному вигляді.

Виконання візуального аналізу отриманого зображення дає змогу не лише уточнити або скоригувати поставлені завдання, а й ідентифікувати потрібні об'єкти, простежити просторові закономірності та сформулювати обґрунтовані аналітичні висновки. У результаті створюється картографічний продукт, який відображає геопросторову інформацію у форматі, зручному для сприйняття та подальшого використання.

У контексті картографічного моделювання реальності виокремлюють два ключові типи моделей, що застосовуються для репрезентації просторових об'єктів. Першим є цифрова модель, яка існує в електронному вигляді та зберігається в машинно-кодованій формі в пам'яті комп'ютерних систем. Важливою умовою її сприйняття є процес візуалізації — перетворення цифрової інформації на доступне

для людини графічне уявлення шляхом її відображення на моніторі або іншому пристрої виведення зображень. Тобто цифрова карта як така не сприймається безпосередньо, а набуває змістового вигляду лише в процесі відтворення її графічного еквівалента.

Другим типом є аналогова модель, що постає у вигляді традиційного картографічного образу, закріпленого в матеріальній формі — на паперових або інших носіях. Вона є результатом графічного втілення просторової інформації та сприймається безпосередньо візуально, без необхідності цифрового декодування.

[20]

У науковій роботі будуть використані саме ці дві моделі.

Сутність геосистемного підходу до моделювання простору ґрунтується на дотриманні низки ключових принципів, що забезпечують цілісність і функціональність побудови територіальних моделей. Насамперед, модельне представлення просторової організації має бути системно орієнтованим, тобто охоплювати всі релевантні компоненти, їх структурні зв'язки та взаємозалежності в межах геосистеми.

Важливою умовою є формалізований характер такого представлення, який дає змогу інтегрувати його в цифрові обчислювальні процеси, забезпечуючи можливість автоматизованого аналізу, обробки та візуалізації просторової інформації. Ще одним невід'ємним критерієм є прив'язка моделі до єдиної державної системи координат, що гарантує точність геопросторової локалізації та сумісність з іншими джерелами геоданих, зокрема при інтеграції у національні чи регіональні ГІС-ресурси.

Геомодель виступає складною багаторівневою системою відкритого типу, яка характеризується внутрішньою ієрархічною структурою та наявністю численних взаємозв'язків. Вона охоплює низку взаємодіючих замкнених підсистем, кожна з яких може функціонувати автономно, проте в межах загальної архітектури підтримує інформаційний обмін з іншими компонентами. Важливою особливістю геомоделі є функціонування механізмів зворотного зв'язку, що

забезпечує динамічну адаптацію моделі до змінних умов та інтеграцію нових джерел інформації. [20]

Ця модель поєднує як конкретні об'єкти фізико-географічного простору, так і абстрактні концепції, формуючи цілісне, комплексне уявлення про досліджувану територію. Для її реалізації використовуються різнотипні бази даних: растрові, векторні та атрибутивні, а також структуровані банки знань, доповнені спеціалізованою геомовою. Сукупність зазначених елементів розширює інформаційну ємність геомоделі та підвищує її аналітичний потенціал у процесі дослідження геопросторових явищ.

Сучасні досягнення у сфері цифрових технологій відкривають широкі можливості для інтеграції первинних картографічних, фотограмметричних, геодезичних та тематичних матеріалів в єдину, цілісну і логічно впорядковану систему – базу даних. Така структура слугує фундаментом для ефективної обробки цифрових картографічних зображень, супутникових або аерофотознімків, таблиць, каталогів та інших джерел інформації. Очевидно, що оперування подібним обсягом інформації потребує високого рівня спеціалізованої підготовки та фахових знань. [20]

База даних у геоінформаційному моделюванні виступає не просто як накопичувач інформації, а як концептуальна модель реального світу, яка забезпечує аналітичну основу для дослідження просторових процесів і явищ. Вона має ієрархічну структуру, де кожен рівень формує окрему підсистему, пов'язану з накопиченням та впорядкуванням знань. Змістовно такі знання поділяються на три основні блоки: фундаментальні, тематичні та процедурно-технологічні.

У межах цієї структури знання також класифікуються за ступенем абстрагування – від базових аксіом до ймовірнісних і гіпотетичних уявлень, а за якісною ознакою – від перевірених емпіричних закономірностей до статистично узагальнених тенденцій і гіпотез. Такий підхід створює підґрунтя для системного пізнання просторової організації території й формування комплексного бачення об'єкта дослідження. [21]

У межах геомодельовання надзвичайно важливе значення має поняття геомови — спеціалізованої мови опису, що виконує ключову функцію інтерпретації, структуризації та передачі інформації про просторові об'єкти, розміщені на поверхні Землі. Геомова є базовим інструментом у процесі створення цифрових моделей територій, слугуючи засобом формалізованого опису просторових характеристик.

Структура геомови включає кілька основоположних компонентів:

- параметри, що описують геопросторові властивості об'єктів;
- класифікаційно-кодувальні системи для уніфікації описів;
- набір правил, що регламентують цифровий опис об'єктів;
- формат подання інформації у вигляді структурованих цифрових даних;
- бібліотеку умовних картографічних символів, яка забезпечує графічну інтерпретацію інформації.

Одним із ключових напрямів застосування геомодельовання є створення картографічних продуктів, що розглядаються як особливий тип геоінформаційної моделі. Карта в цьому контексті виконує подвійну функцію: з одного боку, вона є пізнавальним засобом для дослідження та розуміння навколишнього середовища, з іншого — виступає у ролі інструмента аналогового моделювання реальності, що водночас забезпечує цифрову передачу просторової інформації. [21]

У межах функціонування географічних інформаційних систем (ГІС) картографічні дані виступають як базовий масив просторової інформації, що відіграє визначальну роль у забезпеченні вхідних параметрів для формування цифрових просторових моделей. Саме ця інформація є невід'ємним інформаційним ресурсом, який слугує основою для аналізу, моделювання та візуалізації територіальних явищ і процесів.

На сьогоднішньому етапі розвитку ГІС-технологій значний обсяг картографічного матеріалу зберігається у форматі електронних баз даних, які активно інтегруються в геоінформаційні середовища. Формально ці дані можуть бути представлені у двох основних форматах – векторному або растровому. Проте векторна структура даних виявляється більш придатною для реалізації аналітичних

і моделюючих процедур, оскільки забезпечує високий рівень точності при описі геометричних характеристик об'єктів та їх атрибутивної інформації. [22]

Картографічне зображення можна інтерпретувати як двовимірну проекцію складної тривимірної поверхні земної кулі. Побудова такої моделі потребує трансформації просторових тривимірних характеристик у площинне представлення, що досягається шляхом застосування математичних засобів моделювання. В основі цього процесу лежить використання фізико-геометричних підходів, що формалізуються за допомогою відповідних рівнянь, які дозволяють точно описати процес перенесення об'єктів реального простору на площину карти.

У рамках картографічного моделювання виокремлюються три ключові групи інформаційних моделей. Перша група орієнтована на характеристику об'єктів, що відображаються: кожна територіальна одиниця чи географічний об'єкт має притаманні лише йому властивості, які репрезентуються за допомогою умовних позначень, палітри кольорів чи інших візуальних елементів. [21]

Друга група моделей зосереджена на систематизації й логічному впорядкуванні інформації. У цьому випадку дані повинні мати чітку структуру і взаємозв'язки, що дозволяє передавати комплексні інформаційні патерни у вигляді узгоджених картографічних шарів.

Третя ж група інформаційних моделей визначає специфіку самого картографічного формату подання даних. Тут ключовими є методологічні та технічні аспекти – вибір відповідної проекції, дотримання масштабних співвідношень, типи умовних знаків, способи кодування й візуального відображення додаткових атрибутивних характеристик. Сукупність цих параметрів забезпечує цілісне, коректне й інформативне відтворення реальності у площинній формі. [21]

Геоінформаційна модель виконує ключову функцію у процесах просторової візуалізації та аналітичної інтерпретації географічних об'єктів. Основним її завданням є формалізоване представлення структури моделюваного об'єкта та встановлення ієрархії й взаємозв'язків між його окремими складовими. Стрижнем

такої моделі виступають тривимірні просторово-часові параметри, що фіксуються у вигляді впорядкованих інформаційних масивів. [22]

Ці структуровані масиви охоплюють широкий спектр даних, які репрезентують не лише загальну сутність об'єкта, а й сукупність його морфологічних, функціональних і просторових характеристик, а також відображають логіку зв'язків між його елементами. У рамках моделі передбачено класифікацію різноманітних ознак — як фізичних, так і логічних — що дозволяє формалізовано включати їх до системи понять. Це стосується, зокрема, тополого-геометричних властивостей та особливостей просторової структури.

Інформаційна модель такого типу значно розширює можливості вивчення об'єктів географічного простору, дозволяючи здійснювати їх детальний аналіз, реконструкцію внутрішньої організації та моделювання міжелементних зв'язків. Такий підхід створює ґрунт для прийняття раціональних і науково обґрунтованих рішень у сфері управління територіями та розвитку геопросторових систем.

Завдяки поєднанню аналітичної точності з високим рівнем наочності, геоінформаційна модель є незамінним інструментом при дослідженні складних просторових структур і взаємодій у тривимірному середовищі. [19]

1. Методи побудови цифрових моделей рельєфу поділяються на дві основні категорії, залежно від природи вихідної інформації: моделювання на основі дискретних точкових даних та моделювання за ізолініями. Перший підхід, що базується на числових значеннях у конкретних координатах, є більш ґрунтовно опрацьованим як у теоретичному, так і в прикладному аспектах.

2. У контексті створення геоінформаційних картографічних матеріалів, процес генералізації виконує ключову функцію, особливо при розробці мультимасштабних моделей. Генералізація дозволяє адаптувати рівень деталізації картографічного зображення відповідно до масштабних характеристик. Для досягнення узгодженого візуального та інформативного ефекту застосовуються спеціалізовані методи обробки растрових структур на основі принципів генералізації.

3. Візуалізація цифрової моделі рельєфу реалізується шляхом використання двох великих класів алгоритмічних рішень: інструментів просторового аналізу та засобів комп'ютерної графіки. Перша група включає алгоритми обчислення морфометричних характеристик, вилучення структурних елементів рельєфу, використання інтерполяційних підходів і просторових фільтрів. Ці засоби дозволяють сформувати аналітично достовірне цифрове уявлення про рельєфну поверхню. Друга група алгоритмів зосереджується на візуальній інтерпретації — зокрема, йдеться про розрахунок освітленості, ефекти туману, прозорості, кольорову диференціацію та проєктивну трансформацію, що забезпечує отримання завершеного візуального образу на дисплеї або іншому пристрої виводу.

4. Для підвищення гнучкості у використанні моделей, побудованих з різним рівнем деталізації, доцільним є їх інтеграція у формат єдиної мультимасштабної структури. Така структура повинна забезпечувати динамічну зміну рівнів узагальнення — як вибір одного з наперед визначених, так і формування проміжного рівня за потреби. Основу цієї гнучкості становить концепція адаптивного масштабування, що передбачає зміну складу інформаційних шарів, рівня узагальнення, локалізаційних параметрів та дизайнерських рішень відповідно до масштабу візуалізації. [21]

Мультимасштабна картографія виступає ефективним засобом інтеграції картографічних матеріалів, створених у різних масштабах, зокрема включаючи детальні топографічні зображення. Завдяки цій технології відкриваються широкі можливості для дослідження географічних об'єктів, що належать до різних рівнів просторової ієрархії, від локальних до регіональних і національних структур.

Одним із центральних завдань у межах мультимасштабного підходу є проектування послідовних, зорво узгоджених і концептуально зв'язаних картографічних уявлень, здатних адаптуватися до численних масштабів відповідно до аналітичних або візуалізаційних цілей. Формування таких багаторівневих карт потребує не лише технічної точності, а й ретельно розробленої методології генералізації даних. [9]

Класифікацію всіх моделей мультимасштабного картографування можна подати наступним чином:

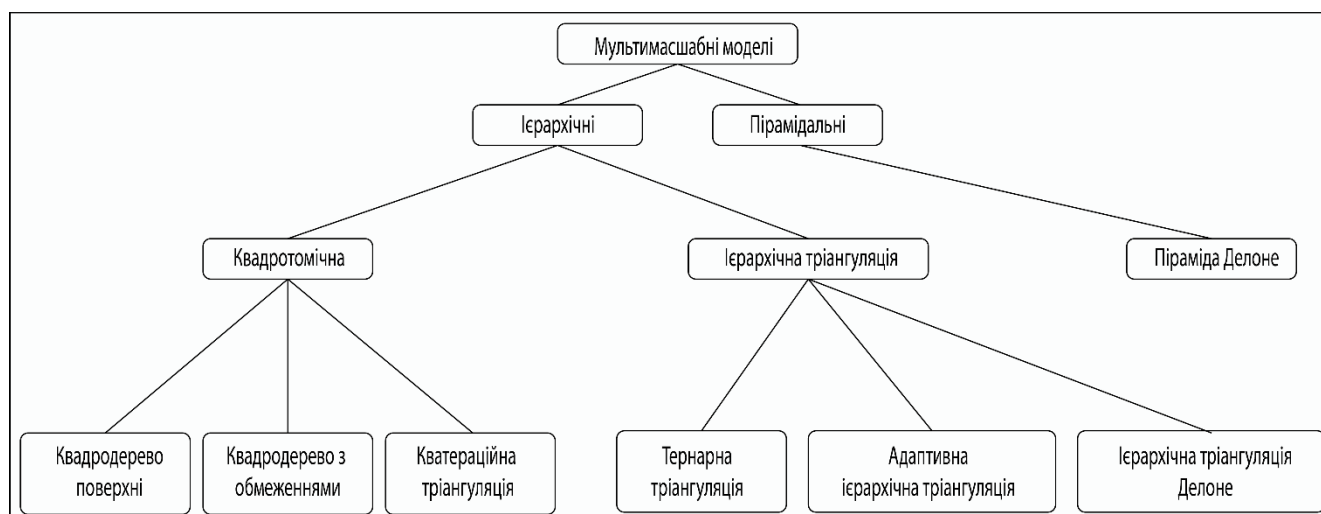


Рис 2.3.1. Класифікація мультимасштабних моделей рельєфу (авторська розробка)

2.4. Узагальнена та функціональна моделі системи ГІС-підходів для забезпечення раціонального використання та охорони земель

Геоінформаційні системи (ГІС) виступають потужним інструментом у забезпеченні охорони земельних ресурсів, оскільки дозволяють здійснювати комплексне збирання, зберігання, аналіз і візуалізацію просторово-часової інформації щодо стану земель, характеру їх використання та змін, що відбуваються у динаміці. За допомогою ГІС можливо інтегрувати різноманітні типи даних, зокрема: картографічну інформацію, відомості про функціональне використання територій, показники забрудненості та ерозійних процесів, а також характеристики рослинного покриву.

Застосування ГІС у сфері охорони земель передбачає вирішення широкого спектра завдань, серед яких можна виокремити такі ключові напрями:

- здійснення постійного моніторингу екологічного та функціонального стану земельного фонду;

- підтримка процесів територіального планування й управління землекористуванням на різних адміністративних рівнях;
- моделювання можливих наслідків змін у структурі використання земельних ділянок;
- контроль дотримання законодавства у сфері забудови та експлуатації земель, зокрема виявлення порушень і відхилень від затверджених схем землекористування.

Узагальнене уявлення про геоінформаційну систему (ГІС) передбачає її трактування як багаторівневої інтегрованої структури, яка поєднує в собі інформаційні ресурси, спеціалізовані програмні засоби та технічні компоненти для реалізації функцій збирання, збереження, обробки, аналізу, візуалізації та поширення просторово-координованої інформації.

Сучасна методологія дослідження природного середовища та земельного фонду широко застосовує різноманітні моделі, серед яких геомодельовання виступає як одна з базових технологічних платформ для реалізації аналітичного підходу. Геомодель у цьому контексті постає як складна, багатоетапна система відкритої природи, що містить в собі замкнені функціональні підсистеми та побудована з урахуванням зворотних логічних зв'язків між її елементами.

Характерною рисою геомоделі є її здатність репрезентувати як реальні геооб'єкти, так і абстрактні просторові категорії. Її структура формується на основі декількох типів баз даних — растрових, векторних та атрибутивних, які взаємодіють із базою знань і підтримуються за допомогою спеціалізованої геомови, що забезпечує формалізоване управління просторовою інформацією.

Забезпечення ефективної охорони земельних ресурсів неможливе без доступу до широкого спектра різноманітної інформації, що охоплює природні, екологічні, соціально-економічні та правові аспекти. Однак сам процес збирання, структурування та інтерпретації таких даних є вкрай складним і ресурсомістким. Саме тому виникає необхідність у створенні цілісної системи інформаційного

забезпечення, що спирається на сучасні обчислювальні технології та автоматизовані інструменти обробки просторових даних.

Одним із найбільш перспективних варіантів реалізації такої системи виступає геоінформаційне картографування. Його структура базується на кількох ключових компонентах: базах геопросторових даних, що акумулюють відомості про об'єкти природного середовища та їхні характеристики; банках знань, які містять інформацію про попередній досвід, прецеденти рішень та нормативно-правові засади; а також наборах інструментів для просторового аналізу, моделювання та прогнозування.

Застосування такої інтегрованої інформаційної платформи дозволяє значно підвищити ефективність прийняття рішень у сфері охорони земель, оптимізувати процеси збору та обробки даних і забезпечити їх практичне використання в управлінні територіями.



Рис. 2.4.1. Схема забезпечення геоінформаційного картографування охорони земель (авторська розробка)

Процес створення комплексних цифрових тематичних карт, що відображають якісний стан земель сільськогосподарського призначення, реалізується на основі структурованої бази знань, сформованої з картографічних даних у середовищі ГІС. Така база забезпечує можливість формування

формалізованих і стандартизованих картографічних наборів, які виступають незамінним інструментом для організації системи охорони аграрних земель. У рамках побудови цифрових тематичних карт бібліотеки змінних, що використовуються у геоінформаційному картографуванні, упорядковуються відповідно до типології об'єктів, яка ґрунтується на каталозі елементів і їхніх атрибутивних характеристик, визначених у концептуальній моделі. Такий підхід забезпечує системність, узгодженість і структурну логіку при створенні геокартографічної продукції. Роль цих цифрових карт не обмежується лише візуалізацією — вони мають критичне значення для процесів планування просторового розвитку, ухвалення управлінських рішень щодо використання сільськогосподарських угідь, а також для екологічного моніторингу. Інформаційна повнота та аналітична глибина, властиві таким картам, дозволяють не лише здійснювати якісну оцінку земель, а й виявляти закономірності у розподілі природних ресурсів та формувати ефективні стратегії їхнього раціонального використання.

База знань у системі геоінформаційного картографування містить структуровану загальнодовідкову інформацію, яка охоплює усереднені характеристики об'єктів, елементи просторової диференціації та інтеграції, а також нормативно-регламентуючу складову у вигляді методичних і правових документів. Аналіз існуючого нормативно-методичного забезпечення у сфері охорони земель засвідчив, що кожен об'єкт у межах ГІС має чітко визначені правила опису, методику визначення, формат картографічного відображення та набір алгоритмів просторового аналізу. Для ефективного функціонування такої системи кожне завдання потребує залучення відповідної сукупності знань і метаданих, а також реалізації процесів їх збору, збереження, пошуку, аналізу та практичного застосування в межах геоінформаційного середовища.

Побудова дієвої системи підтримки прийняття рішень передбачає необхідність забезпечення доступу до бази даних, що містить всебічну, структуровану та узгоджену інформацію, придатну для формування обґрунтованих сценаріїв і рекомендацій. Центральною складовою такої бази виступають

картографічні дані, представлені у вигляді тематичних шарів однорідної просторової інформації та відповідних атрибутивних характеристик, які відображають особливості конкретної території або заданої точки спостереження.

Кожен об'єкт, що входить до цієї системи, має чітке атрибутивне наповнення, просторову локалізацію та часову прив'язку. Стандарти просторового подання ґрунтуються на системі класифікації та опису метрики, семантичних властивостей і взаємозв'язків географічних об'єктів. Атрибутивна частина бази включає якісні (семантичні) ознаки об'єктів і кількісні (статистичні) показники, які можуть бути виражені у числовій або текстовій формі. Семантика, як інформаційна складова, відіграє важливу роль у визначенні сутнісних характеристик і функціональних особливостей просторових одиниць.

Сконструйована модель бази картографічних даних забезпечує можливість просторового накладання тематичних шарів із подальшою їх прив'язкою до обраної системи координат. Такий підхід дає змогу здійснювати аналіз факторів, що впливають на стан земель, досліджувати взаємозв'язки між деградацією ґрунтів та продовольчою безпекою, а також враховувати вплив окремих природно-географічних компонентів на структуру господарської діяльності. Крім того, модель дозволяє оцінювати ступінь вразливості ґрунтів до забруднення та надає основу для прийняття обґрунтованих управлінських рішень.

Розроблена система геоінформаційного картографування забезпечує комплексне інформаційне середовище, яке сприяє швидкому й точному ухваленню управлінських рішень, пов'язаних з охороною земель. При її проектуванні використовується уніфікована мова моделювання UML, яка дозволяє формалізувати не лише структуру, але й динамічну поведінку елементів системи. Це значно підвищує точність та повноту аналітичних результатів, необхідних для ефективного управління станом земельних ресурсів.

Функціональна модель геоінформаційної системи являє собою структурований опис основних функцій і процесів, які забезпечують її цілісне функціонування. У межах методологічного підходу до геоінформаційного картографування, спрямованого на планування заходів щодо охорони земель,

можна сформулювати узагальнений алгоритм дій, який складається з послідовних етапів (див. рис. 2.4.2.).

Під час постановки задач у межах цієї моделі важливо враховувати дуальну природу земель: як об'єкта природокористування, що потребує екологічного захисту, так і як ресурсу господарської діяльності, що підлягає економічному управлінню.

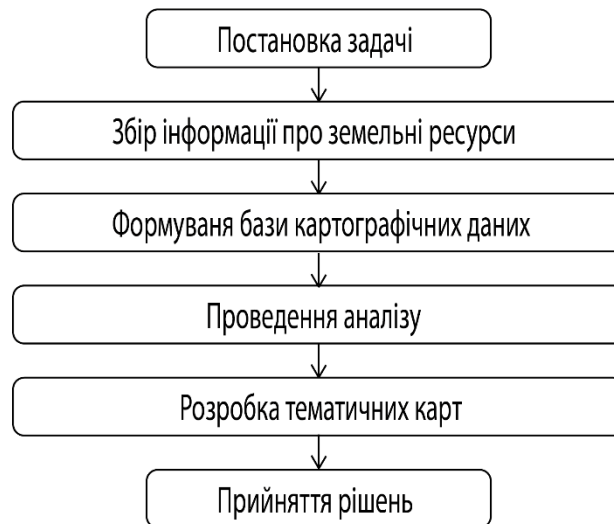


Рис. 2.4.2. Функціональна модель дій для планування охорони земель (авторська розробка)

На початковому етапі реалізації функціональної моделі, після попереднього аналізу стану територіальних земельних ресурсів, здійснюється збір, систематизація та інтеграція вхідних даних. Далі формується база картографічних знань і модель бази картографічних даних, які потім реалізуються у відповідному програмному середовищі. База знань містить інформацію про чинники, що мають як деструктивний, так і стабілізуючий вплив на охорону й ефективне використання земель: кліматичні умови, напрям і швидкість вітру, кількість опадів, характер рельєфу, наявність захисних лісосмуг, особливості агротехнічних заходів, видовий склад вирощуваних культур тощо.

У базі геопросторових даних зберігається комплекс інформації у вигляді просторових і атрибутивних елементів, які включають статистичні дані, результати розрахунків, а також відповідні аналітичні коефіцієнти.

Функціональна модель дає змогу чітко визначити послідовність операцій, необхідних для створення науково обґрунтованих картографічних матеріалів, що є основою для прийняття ефективних рішень у сфері збереження та раціонального використання земельних і ґрунтових ресурсів. Успішне виконання цього процесу передбачає комплексну обробку як просторової, так і непросторової інформації задля отримання результатів високої точності та достовірності.

Висновки до розділу 2

Розглянуто методичні основи ГІС-підходів як ключового інструменту для забезпечення раціонального використання земель. Визначено сучасні методи інтеграції різнорідних геопросторових даних, що є основою для побудови ефективних інформаційних моделей. Розкрито підходи до аналізу вихідних даних, вибору алгоритмів обробки та візуалізації результатів, що дозволяють отримати точну картографічну інформацію про стан земель.

Розроблено концептуальні, функціональні та узагальнені моделі системи ГІС-картографування, які структурно описують зв'язки між даними, процесами й інструментами. Окрема увага приділена побудові баз знань та геопросторових даних, що охоплюють фактори деградації ґрунтів, природні умови, сільськогосподарські особливості та нормативно-методичне забезпечення охорони земель.

У результаті розділу сформовано комплексний фундамент методів, який слугуватиме основою для подальшої практичної реалізації моделей ГІС у дослідженні, моніторингу й управлінні земельними ресурсами, зокрема на прикладі Луцького району Волинської області.

РОЗДІЛ 3. ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ГІС-ПІДХОДІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ТА ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ

3.1. Розробка моделей бази геопросторових даних геоінформаційного картографування для забезпечення раціонального землекористування (на прикладі Луцького району)

Концептуальне моделювання посідає провідне місце в сучасних підходах до створення інформаційних систем, слугуючи фундаментом для формування логічно структурованих уявлень про досліджувану предметну область. Відповідно до усталеного наукового визначення, концептуальна модель репрезентує формалізовану інтерпретацію об'єктів реального світу на рівні понять і категорій, без урахування технічних аспектів їх реалізації. Основна увага зосереджується не на програмних чи технологічних деталях, а на ідентифікації сутностей, визначенні їх властивостей та встановленні між ними логічних і функціональних зв'язків у межах абстрактної системи понять. [13]

У межах побудови геоінформаційних систем розроблення концептуальної моделі є вихідним етапом для проектування бази геопросторових даних. Така модель виконує роль логічного каркасу, який дозволяє систематизувати та класифікувати просторові об'єкти відповідної території, описати їх через атрибути (тобто властивості з визначеним типом, назвою та доменом допустимих значень), а також визначити типи зв'язків між ними. Встановлення цих зв'язків — критично важливий етап, що забезпечує цілісність і функціональність структури даних. [13]

Загалом, концептуальне моделювання забезпечує перехід від постановки завдань і опису вимог до логічної структури бази геоданих, що є основою для подальшої технічної реалізації в середовищах ГІС.

У процесі розробки концептуальної моделі бази геопросторових даних для реалізації системи геоінформаційного картографування було визначено три основні сутності, кожна з яких супроводжується відповідним набором атрибутів і взаємозв'язків. Структура моделі охоплює 18 класів об'єктів та 21 логічний зв'язок

між ними, що дозволяє адекватно відобразити інформаційне представлення досліджуваних об'єктів у рамках предметної області. Моделювання здійснювалося у візуальному середовищі DiaPortable, що надало змогу графічно формалізувати структуру системи. Назви класів і атрибутів були подані українською мовою, з метою відображення узагальненого змісту відповідних об'єктів і полегшення подальшої інтерпретації при реалізації моделі.

Відповідно до стандартів UML-нотації, найменування класів подається з великої літери, причому кожне наступне слово в багатослівних назвах також починається з великої літери, без використання пробілів (наприклад, ОхороннаЗона). Для атрибутів застосовується правило "camelCase": перше слово починається з малої літери, а кожне наступне — з великої (наприклад, кодОб'єкта). Така уніфікована система іменування сприяє підвищенню читаємості моделі, її масштабованості та логічній цілісності.

У моделі бази геопросторових даних для системи геоінформаційного картографування охорони земель розроблено наступні класи: МежіОбластей, МежіРайонів, МежіГромад, МежіНаселенихПунктів, ВисотніТочки, Горизонталі, РастроваМодель, Схили, АгровиробничіГрупи, ПричиниДеградації, ВидДеградації, ТипДеградації, Культура, ВидСівозміни, ТипСівозміни.

Після створення концептуальної моделі та визначення головних просторових відношень, було розроблено логічну модель бази даних геопросторової інформації. Опис цієї моделі було здійснено методом об'єктно-орієнтованого моделювання даних за допомогою універсальної мови моделювання UML.

Модель бази даних геопросторової інформації для картографування геоінформаційних даних земельних ділянок, видів та груп угідь, типів та факторів деградації, які призводять до зменшення родючості ґрунтів та послаблення їх екологічних функцій, була створена. Розроблена модель бази даних зображена (на рисунку 2.4.2.) з відповідними атрибутними значеннями даних відповідно до запроєктованого каталогу об'єктів та атрибутів.

Класи МежіОбластей, МежіРайонів та МежіГромад характеризують місцезнаходження відповідної необхідної території.

Клас МежіНаселенихПунктів можна віднести до попередніх, але також додати, що клас дозволяє визначати ґрунти та деградації в межах та за межами населених пунктів.

Класи Горизонталі та ВисотніТочки зображають всю складність рельєфу місцевості на карті. Відносяться до побудови цифрової моделі рельєфу для охарактеризування земель. Містять всі необхідні дані для детального опису рельєфу місцевості

Клас РастроваМодель – цифрова модель рельєфу а растровому вигляді, побудована на основі даних з класів Горизонталі та ВисотніТочки.

Клас Схили - це клас, що визначає характеристики рельєфу, нахилу та орієнтації схилів на певній території. Згідно з вимогами контурно-меліоративної організації земель, існують чотири технологічні групи земель: перша група включає ділянки зі схилами від 0 до 3 градусів, друга - від 3 до 7 градусів, третя - з нахилом понад 7 градусів, а четверта - землі в заплавах річок. [11]

Клас АгровиробничіГрупи - це класифікаційна категорія ґрунтів, що об'єднує землі, які мають подібні генетичні, агроєкологічні та агрономічні властивості. Вона грає важливу роль у формуванні геоінформаційної бази для охорони земельних ресурсів, зокрема ґрунтів. Перелік агровиробничих груп ґрунтів затверджений у Порядку ведення Державного земельного кадастру, що було схвалено Постановою Кабінету Міністрів України № 1051 від 17.10.2012 року. [10]

Клас ПричиниДеградації - належить до категорії, яка досліджує головні причини деградації якості ґрунту, та поділяє їх на позитивні та негативні фактори.

Класи ВидДеградації та ТипДеградації - описується система критеріїв та ступенів пошкодження території внаслідок негативних геологічних процесів. Ця система включає, згідно з ДСТУ 7874:2015, 6 типів та 20 видів деградації ґрунтів, які детально описуються і проілюстровані. Там описані критерії та ступені ураженості дають можливість оцінити рівень пошкодження ґрунтів та визначити стратегії збереження і відновлення природних екосистем.

Клас Культура – враховує здатність певних груп культур до захисту ґрунту від деградації в рамках системи землеробських виробництв. Клас Тип Сівозміни

включає в себе різні дані класу Вид Сівозміни, які призначені для поліпшення стійкості ґрунтів до ерозії. Визначення виду сівозміни залежить від типу рослинної продукції (зернові, технічні культури, корми, овочі тощо). Вид Сівозмін поділяються на групи культур, що відрізняються за біологічними характеристиками, технологією обробітку та впливом на родючість ґрунту. Сівозміна передбачає опис чергування культур у просторі та часі.

Сучасні наукові підходи до екологічного оцінювання земельних ресурсів базуються на різноманітних методологічних засадах і концепціях. Однією з ключових характеристик, що використовується для визначення рівня екологічної стабільності території, є ступінь розораності земель. Встановлено, що угіддя з високим рівнем розораності мають знижену стійкість до антропогенних навантажень, порівняно з менш трансформованими типами земель, зокрема луками, пасовищами, лісовими площами, чагарниковими зонами та болотистими ділянками.

Для комплексної оцінки екологічної стійкості земель та їх здатності протистояти техногенним чинникам широко застосовуються спеціалізовані методики. Зокрема, ефективною вважається методика, запропонована А.М. Третьяком, яка передбачає розрахунок коефіцієнта антропогенного навантаження — показника, що відображає інтенсивність впливу людської діяльності на структуру та функціонування земельного фонду. Такий підхід дозволяє не лише здійснити порівняльний аналіз різних типів землекористування, а й сформулювати науково обґрунтовані висновки щодо рівня екологічної стійкості ландшафтів. [12]

У результаті дослідження була сформована модель бази геопросторових даних, орієнтована на реалізацію задач геоінформаційного картографування з метою забезпечення охорони земель. Така модель виступає джерелом структурованої просторової інформації, яка може ефективно застосовуватися в різних сферах наукових і прикладних досліджень — від територіального планування до землеустрою та геоекологічного аналізу. [12]

Основою для проектування цієї моделі було використано методологічний підхід каталогізації об'єктів, запропонований А.А. Лященком, який передбачає

систематизацію просторових явищ шляхом формування класифікованих переліків об'єктів та їх атрибутів. Такий підхід дозволяє забезпечити логічну узгодженість і цілісність при створенні геоінформаційної бази даних. [13]

При розробці структури та змісту моделі враховано положення міжнародного стандарту ISO 19110, що регламентує принципи опису об'єктів у цифровому форматі в межах геоінформаційних систем. Було здійснено аналіз параметрів, які стосуються формування об'єктної множини, їх класифікаційних груп, атрибутивного складу, а також правил кодування. [13]

На завершальному етапі було сформовано систематизований перелік об'єктів, необхідних для реалізації завдань охорони земель у рамках геоінформаційного картографування. Всі об'єкти були згруповані за класифікаційними ознаками та забезпечені відповідними кодами, що полегшує їх інтеграцію у цифрову систему та уможливорює подальше масштабування моделі.

Таблиця 3.1.1. (авторська розробка)

Групи об'єктів

Код групи об'єктів	Назва групи об'єктів
1	Адміністративні Межі
2	Рельєф
3	Ґрунти
4	Сівозміна

Крім коду групи об'єктів в каталозі визначено порядковий номер типу об'єктів (табл. 3.1.2)

Таблиця 3.1.2. (авторська розробка)

Типи об'єктів бази даних геоінформаційного картографування

Номер	Назва	Код
Адміністративні межі		
1.1	МежіОбластей	11
1.2	МежіРайонів	12

1.3	МежіГромад	13
1.4	МежіНаселенихПунктів	14
Рельєф		
2.1	ВисотніТочки	21
2.2	Горизонталі	22
2.3	РастроваМодель	23
2.4	Схили	24
Ґрунти		
3.1	АгровиробничіҐрупи	31
3.2	ПричиниДеградації	32
3.3	ВидДеградації	33
3.4	ТипДеградації	34
Культури		
4.1	Культура	41
4.2	ВидСівозміни	42
4.3	ТипСівозміни	43

Опис класу АгровиробничіҐрупи по його атрибутам для прикладу наведено у таблиці 3.1.3.

Таблиця 3.1.3. (авторська розробка)

Атрибути класу АгровиробничіҐрупи у каталозі об'єктів

Назва поля	агровиробничаҐрупаҐрунту
Визначення	Назва агровиробничої групи відповідно до шифру
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	311
Назва поля	шифр
Визначення	Номер агровиробничої групи відпоівдно до законів
Од. вимірювання	немає

Тип	Текст
Код	312
Назва поля	бонітет
Визначення	Показник якості ґрунтів
Од. вимірювання	бал
Тип	ShortIn
Код	313
Назва поля	площа
Визначення	Площа конкретної оцифрованої ділянки ґрунту
Од. вимірювання	га
Тип	Float
Код	314

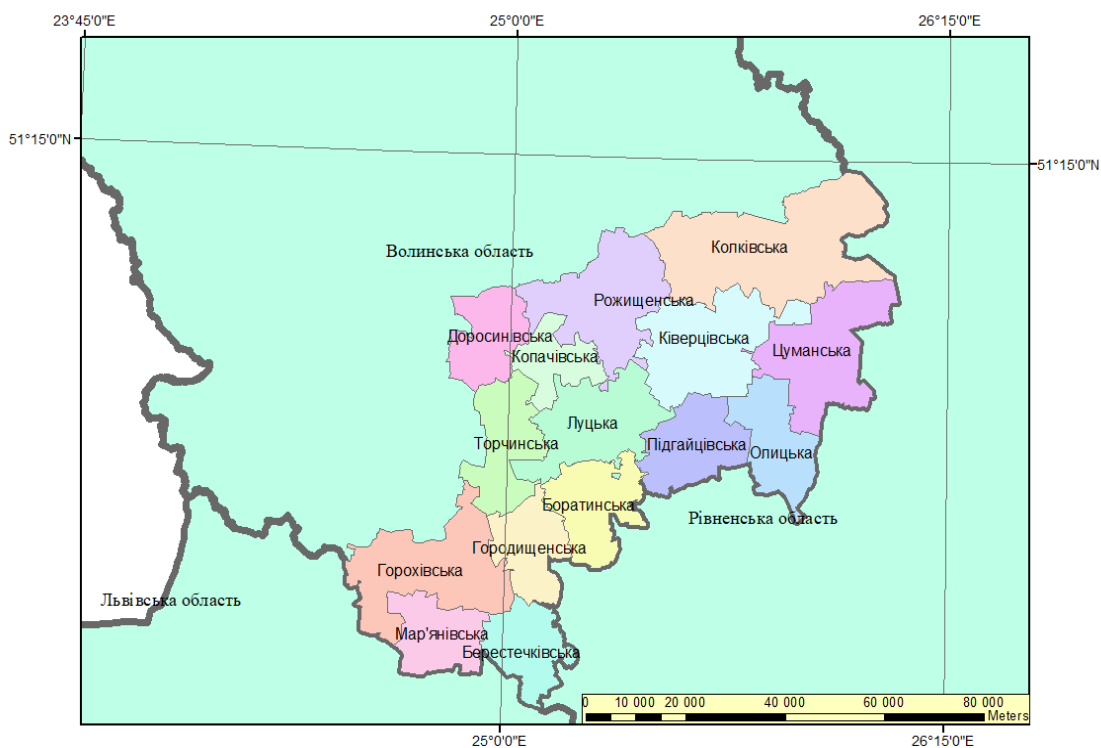
Опис всіх атрибутів усіх класів об'єктів подано у додатку А.

3.2. Розробка серії тематичних карт для забезпечення раціонального використання земель різного призначення

З метою практичної реалізації моделей геоінформаційного картографування в межах дослідження було обрано територію Луцького району Волинської області як об'єкт просторового аналізу. Район було утворено відповідно до Постанови Верховної Ради України № 807-ІХ від 17 липня 2020 року в рамках адміністративно-територіальної реформи. До складу новоутвореної адміністративної одиниці увійшли: Луцька, Берестечківська, Горохівська, Ківерцівська, Рожищенська міські; Мар'янівська, Олицька, Цуманська, Торчинська, Колківська селищні; Боратинська, Городищенська, Підгайцівська, Доросинівська, Копачівська сільські територіальні громади (див. рис. 3.2.1.).

Загальна чисельність населення району - 457 тисяч осіб, площа - 5249,1 км². Адміністративний центр – м. Луцьк. До складу району входять 351 населений

пункт (рис. 3.2.2.), що створює передумови для комплексного застосування ГІС-моделей у різних просторових, соціальних та господарських контекстах.



*Рис. 3.2.1. Межі територіальних громад Луцького району Волинської області
(авторська розробка)*

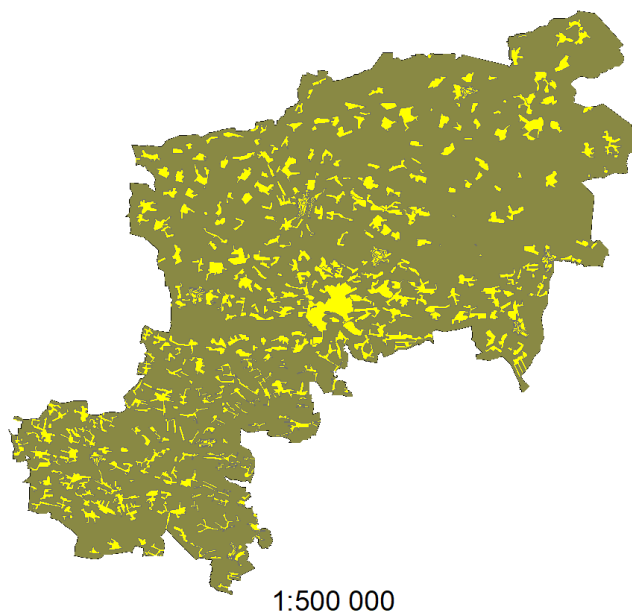


Рис. 3.2.2. Межі населених пунктів Луцького району (авторська розробка)

Рельєф Луцького району характеризується здебільшого рівнинною морфоструктурою з наявністю незначних підвищень, переважно в західній та південно-західній частинах території. Район розташований у межах природних зон лісостепу та змішаних лісів, що створює сприятливі умови для розвитку лісового господарства та рекреаційно-туристичної діяльності. Вздовж усієї території простягається природний регіон Полісся, який визначає характер ландшафтів. Гідрографічна мережа району включає велику кількість річок, озер і заплавних лісів, що формує потенціал для розвитку рибного господарства та водно-болотних екосистем. Клімат Волинської області належить до помірно-континентального типу з м'якими зимами та теплим літом. Середні температурні показники коливаються в межах $-6...-8^{\circ}\text{C}$ у січні та $+17...+19^{\circ}\text{C}$ у липні, а річна сума опадів зазвичай становить від 600 до 700 мм.

Крім того, територія Луцького району багата на поклади корисних копалин, серед яких — глини, кварцити, вапняки, пісок і гравій. Наявність таких ресурсів формує міцну сировинну базу для розвитку будівельної індустрії та видобувної промисловості в регіоні.

Територія Луцького району загалом має рівнинний характер, однак у її морфоструктурі простежуються локальні відмінності, обумовлені геоморфогенезом. Північні ділянки району характеризуються наявністю підвищених форм рельєфу — пагорбів і моренних утворень, які виникли під впливом льодовикових процесів останнього зледеніння. Ці елементи належать до Поліської височини, що є складовою частиною Волинської височинної системи.

На півдні району рельєф менш згладжений, з більшою кількістю ерозійно сформованих форм, що пов'язано з активним впливом водної ерозії та гідрографічної діяльності. Тут поширені численні річки, штучні й природні водойми, а також водно-акумулятивні ландшафти. У структурі поверхні трапляються ізольовані морено-зандрові гребені, що формувалися в умовах льодовикового рельєфоутворення та можуть зустрічатися як на підвищеннях, так і в межах понижених ділянок. Суттєва геоморфологічна розчленованість та різноманітність ґрунтових умов зумовлюють розвиток природних деградаційних

процесів, таких як водна ерозія, дефляція, кислотність ґрунтів, а також створюють передумови для проявів потенційно небезпечних геодинамічних явищ — зсувів, обвалів та ерозійних проривів.

ЦМР місцевості, зображену на рис. 3.2.3., було створено на основі даних висотної зйомки SRTM. Вихідні дані були отримані з відкритого джерела — геопорталу USGS Earth Explorer, що забезпечує вільний доступ до глобальних супутникових даних. Обробка та візуалізація висотних значень здійснювалися за допомогою програмного середовища ArcGIS, яке забезпечує функціональні можливості для побудови цифрових моделей рельєфу та їх подальшого аналітичного використання.

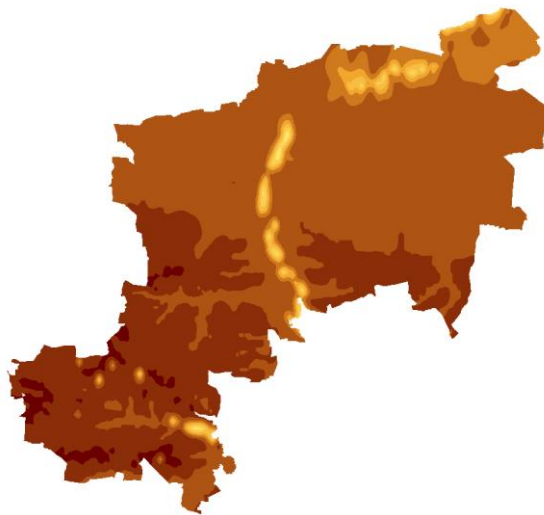
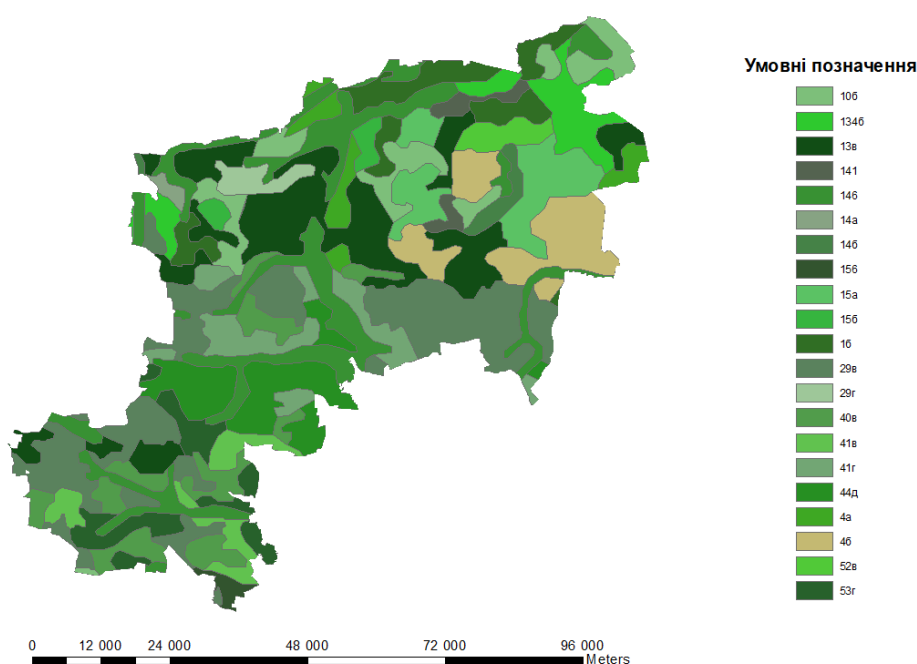


Рис. 3.2.3. Цифрова модель рельєфу досліджуваної території (авторська розробка)

Ґрунтовий покрив Луцького району представлений різноманітними типами ґрунтів, серед яких переважають дерново-підзолисті, опідзолені, чорноземні та болотні ґрунти. У меншій мірі поширені лучні ґрунти та піщані утворення. Така строкатість ґрунтів зумовлена складною ландшафтною структурою території та різнотипністю природних умов — кліматичних, гідрологічних і геоморфологічних. На формування ґрунтового профілю значний вплив має і сільськогосподарська діяльність, зокрема внесення мінеральних добрив, використання пестицидів і меліоративні процеси. Серед усіх типів ґрунтів окрему групу становлять найбільш

продуктивні й агрономічно цінні, які активно залучаються до сільськогосподарського обробітку — передусім як рілля для вирощування культур. У межах Поліської зони особливу значущість мають дерново-підзолисті ґрунти, які не лише є найбільш поширеними, але й мають вагомое господарське значення. В агровиробничому класифікаторі вони охоплюють групи з шифром від 1б до 28е включно, що засвідчує їхню багатоваріантність за родючістю та придатністю до використання в агросекторі



*Рис. 3.2.4. Карта агровиробничих груп ґрунтів досліджуваної території
(авторська розробка)*

Агропромисловий комплекс Луцького району характеризується значною структурною різноманітністю та активною господарською діяльністю. До основних суб'єктів цього сектору належать аграрні підприємства, фермерські господарства, а також приватні селянські об'єднання. Основними напрямками сільськогосподарського виробництва є вирощування зернових, бобових і олійних культур, ягідництво, молочне тваринництво, розведення великої рогатої худоби,

овочівництво та бджільництво. Близько 90 % сільськогосподарських товаровиробників району зосереджені саме у цьому секторі.

Ключовими культурами є пшениця, кукурудза, ріпак, соняшник і соя. У 2020 році середня врожайність зернових культур сягала приблизно 80 ц/га, тоді як бобові забезпечували близько 50 ц/га. Найбільші обсяги оброблюваних земель зосереджені в таких підприємствах, як СВК «Урожай» (с. Забороль), ТОВ «Кріс-Віт Україна», ТОВ «Терра Гарден» (м. Луцьк), а також ФГ «Боміс» (с. Озерце). Серед провідних виробників зерна, що формують основу аграрного потенціалу району, варто відзначити підприємства «Городище», «Дружба», «П'ятидні», «Рать», «Україна-Баїв» і «Лище». На їхню частку припадає 57 % від загального виробництва зерна в районі, причому врожайність на цих господарствах перевищує 3 тонни з гектара, що свідчить про високий рівень агротехнологічного забезпечення та продуктивності. [14]

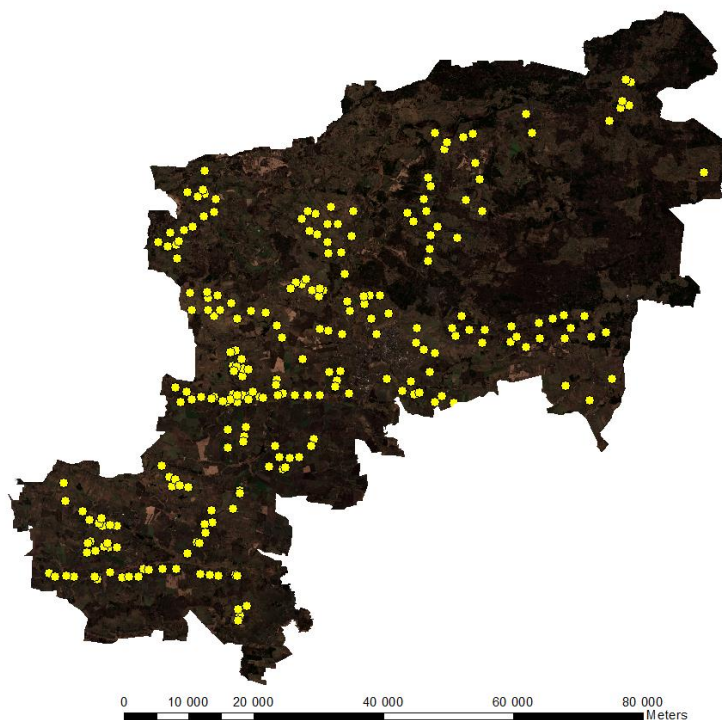
У структурі тваринництва Луцького району домінуючими напрямками є вирощування великої рогатої худоби м'ясного та молочного напрямку, а також свинарство. Господарства, що спеціалізуються на утриманні ВРХ, демонструють вищі показники за чисельністю поголів'я, обсягами реалізації продукції на забій та виробництва молока у порівнянні з іншими аграрними підприємствами району. На їх частку припадає близько третини загального виробництва м'яса великої рогатої худоби та молока, що робить ці господарства ключовими гравцями аграрного ринку регіону.

У рамках дослідження було здійснено фізичну реалізацію експериментального прототипу геоінформаційної системи картографування, яка базується на використанні просторових і атрибутивних даних, актуальних для обраної території. Для її реалізації було застосовано програмне середовище ArcGIS 10.4, з використанням інструментів просторового аналізу, таких як перекласифікація, буферизація, накладання шарів (overlay) та операції перетину (intersection). У результаті виконаних процедур були створені тематичні карти, що відображають ключові характеристики досліджуваного середовища.

Попри те, що отримані картографічні матеріали дозволяють здійснювати загальний огляд стану земельних ресурсів, їхня ефективність як інструменту прийняття рішень на рівні окремих агровиробничих одиниць залишається обмеженою. Для забезпечення високої точності у визначенні заходів з охорони та раціонального використання земель необхідна глибша деталізація вхідних даних і адаптація аналітичних моделей відповідно до конкретних умов господарювання.

Одним з дієвих способів протидії вітровій ерозії на території Полісся є використання полезахисних лісосмуг. Середня висота таких насаджень становить приблизно $H = 18$ м, а зона їх ефективного захисного впливу сягає до $25H$, що еквівалентно близько 450 метрів. Це дозволяє сформувати значні захищені простори, що особливо актуально для відкритих агроландшафтів.

Для оцінки актуального просторового розміщення полезахисних смуг було використано супутникове знімання з космічної місії Sentinel, датоване 17 березня 2023 року. На основі цих даних (див. рис. 3.2.5.) були ідентифіковані зони впливу лісосмуг, що стало основою для подальших заходів оцінки їх ґрунтозахисного ефекту. [28]



*Рис. 3.2.5. Карта концентрації полезахисних насаджень у Луцькому районі
(авторська розробка)*

Аналіз просторових даних, представлений на рис. 3.5, дозволяє зробити висновок, що частина орних земель Луцького району залишається недостатньо захищеною від впливу вітрової ерозії через фрагментарне розміщення полейзахисних лісосмуг. Візуалізація кольорової палітри дає змогу оцінити варіативність рівнів ґрунтової родючості, які охоплюють приблизно половину всієї площі досліджуваних рілельних угідь.

Загальна площа ріллі на території району становить 13 528,79 га, з яких лише 43 % мають умовний захист від ерозійних процесів за рахунок наявних лісосмуг. Ступінь захищеності варіюється в межах від 0 до 43 %, залежно від просторового розміщення насаджень та щільності їх розподілу в межах окремих ділянок.

Однак, попри аналітичну інформативність цього показника, він не може слугувати єдиною підставою для прийняття управлінських рішень щодо запровадження термінових протиерозійних заходів. Для комплексної оцінки ризику вітрової ерозії необхідно враховувати додаткові фактори, зокрема гранулометричний склад ґрунтів, що представлений на рис. 3.2.6., а також морфологічні особливості території та агротехнічні характеристики її використання.

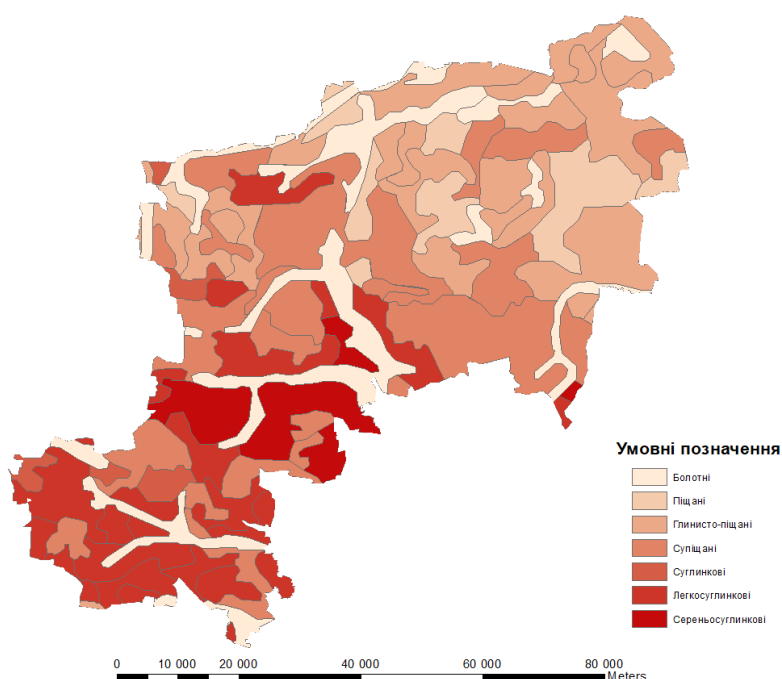


Рис 3.2.6. Гранулометричний склад ґрунтів Луцького району (авторська розробка)

Дефляційні процеси можуть активізуватися навіть за умов відносно низької швидкості вітру, залежно від типу ґрунту. Так, на супіщаних ґрунтах вітрова ерозія починає проявлятися вже при швидкості повітряних потоків 3–4 м/с, на легкосуглинкових — 4–6 м/с, на важкосуглинкових — 5–7 м/с, а на глинистих — лише за умов 7–8 м/с. Для переміщення частинок піску фракцією 0,05–0,10 мм достатньо швидкості 3–3,5 м/с, що є критичним порогом для запуску дефляційного механізму.

На території Луцького району домінують глинисто-піщані та легкосуглинкові ґрунти, які належать до категорії вразливих до вітрової ерозії вже при середніх показниках швидкості вітру. Згідно з даними Українського гідрометеорологічного центру ДСНС України, середньорічна швидкість вітру в регіоні коливається в межах 2,4–4,9 м/с, що свідчить про наявність перманентної загрози дефляції на окремих ділянках сільськогосподарських угідь навіть у звичайних кліматичних умовах.

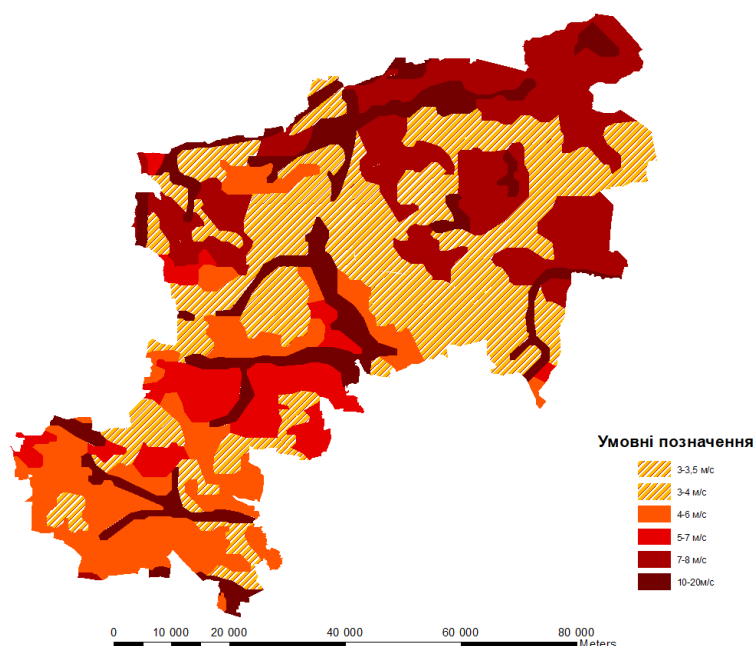


Рис. 3.2.7. Поширення вітрової ерозії досліджуваної території (авторська розробка)

На основі створеного картографічного зображення проведено просторову ідентифікацію територій, які потенційно піддаються дефляційним процесам за умови характерної для регіону швидкості вітру та за відсутності рослинного покриву. Такі ділянки потребують особливої уваги під час розробки заходів із охорони земель. Важливим чинником стабілізації ситуації є впровадження високої культури землеробства, зокрема раціонального обробітку ґрунтів і грамотного підбору сільськогосподарських культур, що сприятимуть підвищенню врожайності й стійкості агросистем.

Оцінка агровиробничої придатності ґрунтів для вирощування різних сільськогосподарських культур передбачає використання спеціалізованого класифікатора, який базується на комплексному урахуванні таких параметрів, як ухили місцевості (рис. 3.2.8), агровиробничі групи ґрунтів та їх належність до сільськогосподарських провінцій. Ухил поверхні розраховується на основі цифрових моделей рельєфу, отриманих з супутникової місії Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), що дозволяє отримати точну топографічну інформацію для цілей просторового аналізу. [27]

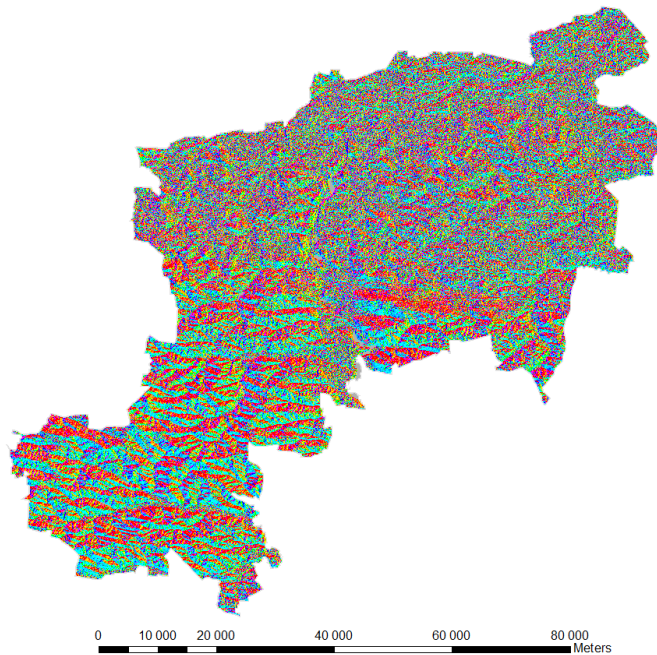


Рис. 3.2.8. Ухили поверхні досліджуваної території (авторська розробка)

Оскільки ерозійні процеси характеризуються високою просторово-часовою мінливістю, ключовим завданням геоінформаційного картографування у контексті охорони земель від деградації є створення ефективної інформаційної бази для прийняття обґрунтованих агротехнічних рішень. Згідно з положеннями "Методичних рекомендацій щодо розроблення проектів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь", агротехнологічна класифікація земель здійснюється за критерієм кута нахилу поверхні: I група — до 3° , II група — $3-7^\circ$, III група — понад 7° . Для кожної з цих категорій визначено оптимальні ґрунтозахисні технології вирощування культур.

У ході дослідження проведено аналіз ухилів місцевості та придатності ґрунтів на основі агропромислових класифікаторів, що дозволило визначити потенціал вирощування основних сільськогосподарських культур у межах досліджуваної території. За результатами цього аналізу були сформовані окремі тематичні картографічні матеріали для кожної культури, які наведено у додатках Б – Е. Ці карти слугують інструментом просторового планування для аграрних підприємств і сприяють раціоналізації використання земельного фонду з урахуванням природно-географічних умов.

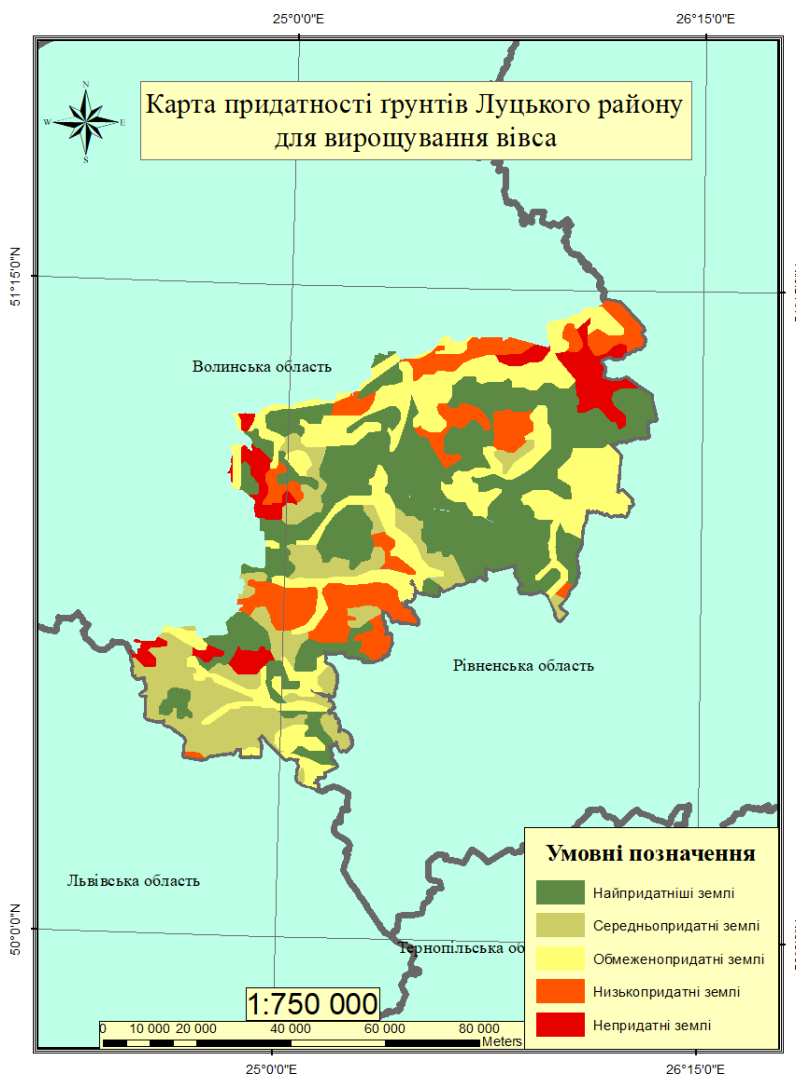


Рис. 3.2.9. Придатність ґрунтів для вирощування вівса (авторська розробка)

На основі результатів просторово-картографічного аналізу встановлено, що територія дослідження характеризується високим рівнем придатності для вирощування таких сільськогосподарських культур, як озимі зернові (овес, ячмінь) та цукрові буряки. Отримані тематичні карти підтверджують агровиробничу доцільність цієї території для ведення інтенсивного землеробства, а також є важливим аналітичним інструментом для обґрунтованого планування сівозмін. Використання таких карт забезпечує підвищення ефективності аграрного виробництва та сприяє довгостроковій стійкості агроландшафтів.

Одним із ефективних способів запобігання деградації ґрунтового покриву, поряд із функціонуванням полезахисних лісосмуг, є використання технологій покриття поверхні полів поживними рештками або сидеральними культурами.

Такі біологічні засоби істотно зменшують випаровування вологи, стримують водну ерозію під час сніготанення, а також пом'якшують вплив крапель дощу й вітру. Найвищий захист забезпечують багаторічні трави, тоді як зернові культури володіють середньою ерозійною стійкістю. Просапні ж культури, як-от кукурудза та цукровий буряк, у період вегетації залишають ґрунт значною мірою відкритим, що знижує його захисні властивості.

Проектуючи сівозміни, необхідно враховувати комплекс агроекологічних параметрів: агровиробничу придатність ґрунтів, їхню вологість і забезпеченість поживними елементами, морфологічні особливості території (зокрема ухили поверхні), а також ступінь лісосмугової захищеності. Крім того, значний вплив на успішність посівних кампаній можуть мати метеорологічні чинники, зокрема коливання погодних умов, що часто є непередбачуваними й потребують оперативної адаптації сільськогосподарських заходів.

3.3. Аналіз ефективності впровадження розроблених моделей ГІС-підходів

У результаті впровадження моделей ГІС-підходів на території Луцького району вдасться суттєво підвищити оперативність ухвалення рішень щодо раціонального використання земельних ресурсів. Розроблені геопросторові бази даних та тематичні картографічні матеріали дозволять місцевим органам управління точніше та швидше оцінювати ситуацію на місцевості, враховуючи при цьому як природні чинники, так і антропогенні впливи. Використання цих інструментів посприє покращенню ефективності землепорядних робіт, уможливить своєчасне виявлення нецільового використання земельних ділянок і, як наслідок, оптимізує витрати на земельний моніторинг та контрольні заходи.

Застосування розроблених моделей також буде мати позитивний вплив на інформаційну прозорість і доступність просторових даних. Створена система дозволить об'єднати різноманітні геопросторові дані у єдиний інтегрований

інформаційний ресурс, що значно полегшить процес обміну інформацією між різними користувачами, такими як землевпорядні служби, органи місцевого самоврядування та державні установи екологічного контролю. Крім того, використання систематизованих геопросторових даних алогічно буде сприяти підвищенню якості просторового планування території

Цікаво тут буде спробувати передбачити «до» та «після»

До (тобто зараз) впровадження моделей ГІС-підходів процедура управління земельними ресурсами характеризується недостатньою ефективністю та значними витратами часу і трудових ресурсів на обробку просторових даних. Інформація, яка використовується землевпорядними органами і місцевою адміністрацією отримується з різних, часто неузгоджених джерел, а це призводило до низької точності оцінок та ускладнювало процес прийняття обґрунтованих рішень. Крім того, картографічні матеріали переважно паперові, що обмежує можливість їх оперативного оновлення та використання для аналізу поточного стану територій.

Після впровадження запропонованих моделей ситуація може кардинально змінитись. Завдяки інтеграції геопросторових даних у єдину цифрову базу буде можливим швидко отримувати актуальну, детальну і узгоджену інформацію, необхідну для вирішення конкретних землевпорядних задач. Використання інтерактивних тематичних карт, які дозволяють здійснювати комплексний просторовий аналіз, значно прискорить та підвищить ефективність процесу прийняття рішень. Таким чином, якщо зараз на підготовку та аналіз необхідних матеріалів витрачалися дні чи навіть тижні, то після реалізації запропонованих підходів ці процеси скоротяться до кількох годин.

Важливо зазначити, що підвищиться якість прийнятих рішень завдяки точному врахуванню просторових особливостей та екологічних ризиків. Раніше недостатня деталізація картографічних даних призводила до ігнорування важливих факторів, таких як ерозійна небезпека чи ризики підтоплення. Реалізовані в геоінформаційних системах моделі дозволять виявляти та своєчасно реагувати на

потенційні загрози, ефективно використовуючи при цьому земельні ресурси з урахуванням їх екологічного стану.

Оцінка економічного ефекту

У сучасному землекористуванні впровадження моделей ГІС дозволяє не лише покращити ведення просторових даних, але й отримати відчутний економічний ефект. Впровадження ГІС-технологій дає змогу виконувати багато трудомістких завдань у сфері земельного адміністрування значно ефективніше, усуваючи дублювання робіт і зменшуючи обсяг ручної праці. Традиційні підходи до кадастрового картографування та інвентаризації земель зазвичай потребували значних затрат часу й ресурсів, тоді як автоматизація цих процесів за допомогою ГІС знижує операційні витрати. Внаслідок цього органи управління земельними ресурсами спостерігають пряму економію коштів, зокрема завдяки скороченню витрат на польові обстеження та швидшому опрацюванню земельної документації.

Однією з показових сфер застосування ГІС є сільське господарство, де геоінформаційні системи підтримують раціональне використання сільськогосподарських угідь через точне планування сівозмін та ефективне управління ресурсами. Шляхом аналізу карт ґрунтів, кліматичних даних та статистики врожайності в просторовому аспекті аграрії можуть оптимально визначати, які культури висівати на конкретних ділянках, підтримуючи родючість ґрунтів і уникаючи деградації земель. Дослідження показують, що часткове впровадження технологій точного землеробства (які базуються на ГІС) забезпечує відчутне підвищення ефективності: урожайність зростає приблизно на 4%, а використання добрив і пестицидів скорочується на 7–9%, що означає економію витрат на ресурси. Збереження родючості ґрунтів завдяки обґрунтованому чергуванню культур також означає меншу потребу в дорогих заходах рекультивації в майбутньому, адже деградація земель запобігається і продуктивний потенціал ґрунтів зберігається. Такі покращення безпосередньо підвищують прибутковість

агросектору та демонструють економічну цінність геопросторових інструментів у землекористуванні.

У сфері територіального планування застосування геоінформаційних моделей забезпечує обґрунтований підхід, що дозволяє максимізувати економічну віддачу від використання земель. Інструменти ГІС дають можливість планувальникам оцінювати декілька сценаріїв розвитку, накладаючи шари даних про інфраструктуру, демографію та довкілля і додаючи економічні показники до кожного сценарію. Така інтеграція підтримує проведення аналізу «витрати–вигоди»: наприклад, можна порівняти фінансові витрати на переведення сільськогосподарських угідь під міську забудову з очікуваними вигодами у вигляді економічного зростання або врахувати витрати на природоохоронні заходи. Візуалізація подібних альтернатив у ГІС дозволяє ідентифікувати рішення, що мінімізують видатки (скажімо, вибір місця для нового об'єкта з найменшою потребою в додатковій інфраструктурі та мінімальним впливом на цінні землі). Крім того, завдяки ГІС ризики, як-от підтоплення чи ерозія, можуть бути виявлені на етапі планування, що дає змогу запобігти надзвичайним ситуаціям і уникнути витрат на ліквідацію наслідків. Загалом планування, орієнтоване на дані ГІС, веде до більш раціональної структури землекористування, зменшує непотрібні витрати та підвищує економічну стійкість розвитку територій.

Економічний ефект від впровадження геоінформаційних технологій проявляється як у безпосередній економії коштів, так і у довгостроковому зростанні ефективності використання земельних ресурсів. Замість загальних тверджень про корисність ГІС наведені приклади свідчать про конкретні вигоди геоінформаційних підходів: істотне скорочення витрат на кадастрові роботи, оптимізацію агротехнологій у землеробстві, а також підвищення економічної ефективності інфраструктурних проєктів завдяки кращому плануванню. Отже, використання моделей геоінформаційного картографування стає ключовим чинником раціоналізації землекористування, що підтверджується як практичними результатами, так і аналітичними оцінками.

Проблеми та перспективи подальшого впровадження

Під час практичного впровадження розроблених моделей ГІС було виявлено низку проблемних аспектів, що певною мірою впливали на ефективність реалізації проекту. Серед ключових труднощів слід зазначити недостатній рівень цифровізації та інтеграції даних у державних та регіональних структурах. Це створює перешкоди для оперативного оновлення геопросторових баз даних, що інколи знижує актуальність картографічних матеріалів і ускладнює процес обміну інформацією між різними структурами та користувачами. Крім того, значною перешкодою є недостатня кваліфікація персоналу, що унеможлиблює швидке впровадження новітніх технологічних рішень на всіх рівнях управління.

Іншим викликом є фінансова складова реалізації геоінформаційних проектів. Незважаючи на те, що впровадження таких моделей має суттєвий економічний потенціал, на початковому етапі потрібні значні інвестиції у відповідну апаратну базу, програмне забезпечення та навчання фахівців. Ці затрати можуть бути проблематичними для територіальних громад та місцевих органів влади, особливо у невеликих населених пунктах і громадах, які мають обмежені фінансові можливості.

Попри зазначені труднощі, перспективи подальшого розвитку та впровадження геоінформаційного картографування виглядають досить сприятливими. Важливою передумовою для цього є поступове підвищення рівня цифрової компетентності спеціалістів та активізація державної політики щодо підтримки цифровізації земельних відносин. Наступним кроком у перспективі може бути розширення спектру завдань, які вирішуються за допомогою ГІС, зокрема впровадження технологій точного землеробства та інтеграція моделей прогнозування екологічних ризиків.

Перспективним напрямом також є створення інтегрованої цифрової платформи на національному рівні, яка б забезпечувала вільний доступ до геопросторових даних для широкого кола користувачів, що дозволить суттєво

поліпшити управлінські рішення у сфері землекористування, екологічного контролю та планування територій. Таким чином, незважаючи на окремі труднощі, подальший розвиток геоінформаційних технологій має значний потенціал для покращення економічних, екологічних та соціальних показників у сфері раціонального використання земельних ресурсів.

Таким чином, комплексне впровадження моделей геоінформаційного картографування підтвердило свою ефективність як з точки зору підвищення оперативності та якості прийняття управлінських рішень, так і з позицій економічної доцільності та екологічної стабільності землекористування. Отримані результати дають підстави рекомендувати подальше поширення розроблених моделей на інші території з аналогічними природно-господарськими умовами

Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської роботи реалізовано прикладну частину дослідження, яка полягала в створенні функціональної бази геопросторових даних. Було сформовано систематизований перелік об'єктів та їхніх атрибутів, що лягли в основу просторової структури моделі. На підставі розроблених концептуальних і функціональних положень здійснено фізичну реалізацію бази даних у відповідному програмному середовищі.

Предмет просторового аналізу – сільськогосподарські землі Луцького району Волинської області. Під час дослідження було створено низку картографічних моделей, що відображають просторово-структурні та агроекологічні характеристики території. Зокрема, було розроблено наступні тематичні шари:

- модель адміністративного поділу за громадами та населеними пунктами;
- цифрову модель рельєфу на основі даних висот;
- карту полезахисних насаджень та рівнів потенційної дефляції ґрунтів;

- модель агровиробничої класифікації ґрунтів;
- карту гранулометричного складу ґрунтового покриву;
- модель ухилів поверхні;
- серію спеціалізованих карт, що відображають ступінь придатності ґрунтів до вирощування окремих сільськогосподарських культур.

Обґрунтовано ключові напрями та потенційні шляхи раціонального використання сільськогосподарських угідь на досліджуваній території. Результати моделювання засвідчили доцільність впровадження адаптивного підходу до планування сівозмін, що дозволяє оптимізувати структуру посівів і підвищити ефективність аграрного виробництва з урахуванням ґрунтово-кліматичних особливостей.

У процесі аналізу було враховано природні та фізико-географічні характеристики Луцького району. Було встановлено, що більшість території характеризується незначними ухилами поверхні, що є сприятливим чинником для ведення агровиробництва. Основними типами ґрунтів у регіоні є дернові та дерново-підзолисті, які, попри відносно невисоку природну родючість, активно використовуються завдяки застосуванню мінеральних та органічних добрив. Сільське господарство, завдяки значній кількості агропідприємств і фермерських господарств, залишається провідною галуззю економіки Луцького району, а результати моделювання сприяють формуванню практичних рекомендацій щодо ефективного землекористування. Невисока родючість ґрунтів регіону компенсується добривами, які вносять в ґрунт.

Оцінені ГІС-підходи як інструмент для автоматизації складних процесів, пов'язаних із захистом земель. Його використання дозволяє здійснювати оцінку різних просторових аспектів деградаційних процесів, що відбуваються на землі. Зокрема, можна визначити площу земель, що постраждали, а також тип деградації, що стався. Крім того, картографування надає зручні інструменти для підрахунку різних параметрів земель, що дозволяє здійснювати більш точні розрахунки. Геоінформаційне картографування також забезпечує швидку і ефективну підготовку карт для забезпечення охорони земель. За допомогою цього інструменту

можна досліджувати багато різних варіантів розвитку деградаційних процесів і відповідних захисних заходів. Оперативність підготовки карт дозволяє проводити більш глибокий аналіз сценаріїв розвитку деградації та забезпечує більш точне прийняття рішень для забезпечення охорони земель.

Проведений аналіз ефективності впровадження геоінформаційних моделей засвідчив значні позитивні зміни у землекористуванні району. Зокрема, відбулося скорочення часових витрат на збирання та аналіз даних, значно підвищилася точність і достовірність отримуваної інформації, що покращило якість та швидкість прийняття управлінських рішень. Крім того, завдяки комплексному використанню геопросторових даних з'явилася можливість точніше планувати розвиток території, уникати негативних наслідків ерозійних та інших деградаційних процесів і в результаті знижувати витрати на земельні та екологічні заходи.

Водночас, у ході впровадження моделей було виявлено певні перешкоди, такі як недостатня кваліфікація персоналу і низький рівень технічного оснащення в окремих адміністративних одиницях, що свідчить про необхідність додаткового навчання спеціалістів та інвестування в апаратно-технічну базу. Подальші перспективи використання розроблених моделей пов'язані із створенням загальнонаціональної геоінформаційної платформи, розширенням функціональності систем, залученням ширшого кола користувачів та інтеграцією додаткових даних, що дозволить підвищити ефективність і масштабність застосування геоінформаційного картографування у практиці землекористування.

ВИСНОВКИ

Оцінено позиції ГІС-підходів для забезпечення раціонального використання земель в умовах цифрової трансформації в ході написання кваліфікаційної роботи магістра. Були детально проаналізовані особливості та визначені основні завдання, що стосуються раціонального використання земель сільськогосподарського призначення. У рамках дослідження були розглянуті теоретичні аспекти, які пов'язані з цією проблемою. Окрім того, проведено аналіз наявного стану геоінформаційних технологій, з урахуванням результатів досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених. Було виявлено переваги використання геоінформаційного моделювання для забезпечення раціонального землекористування. Отримані результати підтвердили переваги використання геоінформаційного моделювання для забезпечення раціонального землекористування. Дані інструменти надають можливість оцінити просторові аспекти розвитку деградаційних процесів.

Наведено методологічні вказівки для роботи з геоінформаційними та геопросторовими даними. Розроблені узагальнена та функціональна моделі геопросторових даних. Було охарактеризовано запропоновані моделі для забезпечення раціонального землекористування. Викладено необхідний теоретичний матеріал для продовження роботи та розробки проекту, висвітлено суть геоінформаційного моделювання для забезпечення охорони земель.

Розроблено моделі геоінформаційного моделювання, спрямовані на забезпечення раціонального використання, збереження та відновлення родючості ґрунтів у Луцькому районі. Результати дослідження вказують на необхідність розробки спеціальних геоінформаційних моделей, які б дозволили ефективно вирішувати завдання з підтримки якісного та стійкого розвитку земельних ресурсів у регіоні. Використання таких моделей дозволить покращити якість землекористування та забезпечити довготривалу стійкість території, зберігаючи при цьому високу родючість ґрунтів.

Запропоновано функціональну модель дій для планування охорони земель, на основі всебічного аналізу підходів ГІС картографування та використання земельних ресурсів було, яка включає наступні етапи: постановка задачі; збір

інформації про земельні ресурси; формування бази картографічних даних; проведення аналізу; розробка тематичних карт; прийняття рішень. На основі запропонованого алгоритму планування охорони земель було розроблено концептуальну модель структури бази геопросторових даних, що включає наступні класи: МежіОбластей, МежіРайонів, МежіГромад, МежіНаселенихПунктів, ВисотніТочки, Горизонталі, РастроваМодель, Схили, АгровиробничіГрупи, ПричиниДеградації, ВидДеградації, ТипДеградації, Культура, ВидСівозміни, ТипСівозміни.

Побудовано ЦМР, модель схилу місцевості, агровиробничих ґрунтів, гранулометричного складу ґрунтів, полезахисних насаджень регіони, дефляції ґрунтів, з використанням приладного програмного продукту ArcGIS. З метою оптимізації земельних ресурсів та реалізацію завдань з моніторингу та охорони земель Луцького району, на основі створених моделей було розроблено та запропоновано тематичні карти придатності ґрунтів для вирощування господарських культур. Запропоновані моделі та карти можуть бути використані контролюючими службами, які можуть висувати певні вимоги щодо землекористувачів, які мають на меті усунення порушень у галузі використання та охорони земель.

Проведений аналіз ефективності впровадження геоінформаційних моделей засвідчив значні позитивні зміни у землекористуванні району. Зокрема, відбулося скорочення часових витрат на збирання та аналіз даних, значно підвищилася точність і достовірність отримуваної інформації, що покращило якість та швидкість прийняття управлінських рішень. Крім того, завдяки комплексному використанню геопросторових даних з'явилася можливість точніше планувати розвиток території, уникати негативних наслідків ерозійних та інших деградаційних процесів і в результаті знижувати витрати на земельні та екологічні заходи.

Водночас, у ході впровадження моделей було виявлено певні перешкоди, такі як недостатня кваліфікація персоналу і низький рівень технічного оснащення в окремих адміністративних одиницях, що свідчить про необхідність додаткового навчання спеціалістів та інвестування в апаратно-технічну базу. Подальші

перспективи використання розроблених моделей пов'язані із створенням загальнонаціональної геоінформаційної платформи, розширенням функціональності систем, залученням ширшого кола користувачів та інтеграцією додаткових даних, що дозволить підвищити ефективність і масштабність застосування геоінформаційного картографування у практиці землекористування.

Отже, раціональне землекористування має ключове значення для взаємин між владою, бізнесом та місцевим населенням. Геоінформаційне моделювання відіграє важливу роль у створенні набору тематичних карт, які можуть бути використані для обґрунтування рішень, пов'язаних з охороною земель. Цей підхід забезпечує необхідну інформацію для прийняття рішень з питань земельних ресурсів та забезпечення оперативного використання земельних ділянок, надає можливість створювати всі необхідні моделі та тематичні карти.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Про землеустрій: Закон України від 22.05.2003 №858-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text>
2. Про охорону земель: Закон України від 19.06.2003 №962-IV [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text>
3. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи і бази даних : монографія. – Кн. 2 / В. І. Зацерковний, В. Г. Бурачек, О. О. Железняк, А. О. Терещенко. – Ніжин : НДУ ім. М. Гоголя, 2017. – 237 с.
4. Білоус Л.Ф. Цифрова модель рельєфу й геоінформаційному просторі / Л.Ф. Білоус, 2008. – 11 с.
5. Морозов В. В. Геоінформаційні технології в агросфері / В. В. Морозов, К. С. Лисогоров, Н. М. Шпоринська. – Херсон : ХДУ, 2007. – 223 с.
6. Опара В.М. Особливості застосування геоінформаційних систем в організації раціонального використання та охорони земель населених пунктів / В.М. Опара, С.О. Винограденко. – Харків : ХНАУ, 2012 – С. 87-90.
7. Морозов В.В. ГІС в управлінні водними і земельними ресурсами : Навчальний посібник. – Херсон : Вид-во ХДУ, 2006. - 91 с.
8. Петренко. О.Я. Побудова електронної карти засобами ArcGIS: Навчальний посібник / О.Я. Петренко. – К: ІПДО НУХТ, 2015. – 96 с.
9. Безтяпко Ю. Програма розвитку агропромислового комплексу Луцької міської територіальної громади на 2021–2025 роки / Безтяпко Ю. – Луцьк, 2022 – 15с.
10. Про затвердження Порядку введення Державного земельного кадастру: Постанова Кабінету Міністрів України від 17.10.2012 №1051 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1051-2012-%D0%BF#Text>
11. Наказ України «Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розроблення проектів землеустрою, що забезпечують еколого-економічне обґрунтування сівозміни та впорядкування угідь» / Державне агентство земельних

ресурсів України, 2013. - №396 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0396821-13#Text>

12 Третяк А.М. Методичні рекомендації оцінки екологічної стабільності агроландшафтів та сільськогосподарського землекористування / А.М. Третяк, Р.А. Третяк, М.І. Шквар. – К : Ін-н землеустрою УААН, 2011. – 7 с.

13. Карпінський Ю.О. Еталонна модель бази топографічних даних / Ю.О. Карпінський, А.А. Лященко, Р.В. Рунець. – Вісник геодезії та картографії, 2010. – С. 28-36.

14. Про невідкладні заходи по захисту ґрунтів від вітрової і водної ерозії : ЦК КП України і Ради Міністрів Української РСР від 16.05.1967 №320 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/320-67-%D0%BF#Text>

15. Бондаренко Е. Л. Геоінформаційне картографування екологічної якості природного середовища Часопис картографії / Е.Л. Бондаренко – 2008, Вип. 13. С. 36-48.

16. Козаченко Т. І. Геоінформаційне картографування малих підприємств України Вісник геодезії та картографії / Т.І. Козаченко, Т.С. Цокало – 2009, № 4. С. 17-27.

17. Пересадько В.А. Проектування картографічної бази даних для створення регіональної еколого-природоохоронної ГІС Проблеми безперервної картографічної освіти і картографії / В.А. Пересадько – 2013. Вип. 17. С. 34-40.

18. Актуальні питання атласного картографування стану і використання земельних ресурсів адміністративного району Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник / І.П. Ковальчук, Т.О. Євсюков, О.В. Вакуленко, Н.М. Ліщук, В.П. Скавронський, І.І. Тарасова –Випуск 77. 2012. С.14-18.

19. Даценко Л.М. Картографічне моделювання на базі ГІС-технологій в екологічних дослідженнях ґрунтів: автореф. дис. канд. геогр. наук: 11.00.12 / Л.М. Даценко – НАН України; Ін-т геогр. К., 2000. 20 с.

20. Козаченко Т.І. Картографічне моделювання: Навчальний посібник/ Т.І. Козаченко, Г.О. Пархоменко, А.М. Молочко - Вінниця: ТОВ "Антекс". - УЛТД, 1999. - 320 с.

21. Козаченко Т.І. Методи моделювання і моделі в геоінформаціоному картографуванні / Т.І. Козаченко – Вісник геодезії та картографії. - 2008. - №3(54). - С. 11-18.

22. Світличний О.О. Основи геоінформатики : [навч. посібн.] / О.О. Світличний, С.В. Плотницький / за ред. О.О. Світличного. - Суми : ВТД "Університетська книга", 2006. - 295 с.

23. Давидчук В. Методи ландшафтного картографування з використанням ГІС та інших комп'ютерних технологій / В. Давидчук, Л. Сорокіна, В. Родіна // Вісник Львів. ун-ту. Серія географ. - Львів : Вид-во Львів. ун-ту, 2004. - Вип. 31. - С. 263-270.

24. Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://land.gov.ua/>

25. Офіційний сайт Луцької міської ради [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lutskrada.gov.ua/about>

26. Державна служба статистики України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>

27. USGS: science for a changing world. EarthExplorer [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.usgs.gov/>

28. EO Browser – Sentinel Hub [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sentinel-hub.com/explore/eobrowser/>

29. The ArcGIS Book Environmental System Research [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://learn.arcgis.com/en/arcgis-book/>

30. Moskalenko A. Geoinformation mapping for providing the rational use and protection of soil. Mechanization in agriculture & Conserving of the resources Vol.65. Issue: 5, 2019, Pages: 186-189.

31. ДСТУ ISO 191 10:2017 Географічна інформація. Методологія каталогізації об'єктів (ISO 19110:2016, IDT) – Київ, 2017.

32. Географічні карти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://geomap.land.kiev.ua/index.html>
33. Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» від 19 червня 2003 року.
34. Путренко В.В. Системні основи інтелектуального аналізу геопросторових даних / 2015 – С. 20-33
35. Іщук О.О. Коржнев М.М., Кошляков О.Є. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС: Навчальний посібник / - Київ: Видавничо-поліграфічний центр “Київський університет”, 2003 – 200с.
36. Євтушенко М.В. Дослідження наукових засад раціонального землекористування / Харківська національна академія міського господарства – 3с.
37. Зацерковний В.І. Застосування геоінформаційних систем у задачах ефективного землекористування / Національний авіаційний університет, м. Київ, 2015 – С. 14-20.
38. Опара В.М., Вионграденко С.О. Особливості застосування геоінформаційних систем в організації раціонального використання та охорони земель населених пунктів / Харківський національний аграрний університет, м. Харків, 2012 – С. 87-90.
39. Мамонов К.А. Застосування веб геоінформаційних систем для розподілу та використання земель / Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків, 2016 – С. 132-135
40. Навчально-науковий інститут природничих і аграрних наук: Дні науки – 2024: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції / ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка»: Мацай Н. Ю., Кирпичова І. В., Березенко К. С. – Полтава, 2024. – 188 с.
41. Бабченко О.А. Застосування геоінформаційних систем в управлінні земельними ресурсами / Часопис картографії: Збірник наукових праць. – К. : КНУ ім. Тараса Шевченка, 2018. Вип. 18. – С. 17-23
42. Зацерковний В.І. Геоінформаційні системи і системи дистанційного зондування землі в задачах ефективного землекористування, 2014 – 9 с.

43. Земельний кодекс України від 25 жовтня 2001 року.// Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2002, № 3-4, ст.27.

ДОДАТКИ

Додаток А (авторська розробка)

Всі таблиці складено з використанням джерела [31]

Атрибути класу МежіОбласті у каталозі об'єктів

Назва поля	область
Визначення	Назва адміністративної області
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	111
Назва поля	коатuu
Визначення	Унікальний номер КОАТУУ - I рівень
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	112

Атрибути класу МежіРайонів у каталозі об'єктів

Назва поля	район
Визначення	Назва адміністративного району
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	121
Назва поля	область
Визначення	Назва області, до якої належить адміністративний район
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	122
Назва поля	коатuu
Визначення	Унікальний номер КОАТУУ - II рівень
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	123

Атрибути класу МежіГромад у каталозі об'єктів

Назва поля	територіальнаГромада
Визначення	Назва об'єднаної територіальної громади
Од. вимірювання	немає

Тип	Текст
Код	131
Назва поля	район
Визначення	Назва району, до якої належить громада
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	132
Назва поля	типГромади
Визначення	Тип даної територіальної громади(сільська, селищна, міська)
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	133

Атрибути класу МежіНаселенихПунктів у каталозі об'єктів

Назва поля	населенийПункт
Визначення	Назва населеного пункту
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	141
Назва поля	тип
Визначення	Тип населеного пункту(місто, село, селище)
Од. вимірювання	немає
Тип	текст
Код	142
Назва поля	площа
Визначення	Загальна площа в межах населеного пункту
Од. вимірювання	га
Тип	Float
Код	143

Атрибути класу ВисотніТочки у каталозі об'єктів

Назва поля	код
Визначення	Код нумерації висотної точки
Од. вимірювання	немає
Тип	ShortIn
Код	211
Назва поля	абсолютнаВисота
Визначення	Абсолютна висота вказаної точки висоти

Од. вимірювання	м
Тип	ShortIn
Код	212

Атрибути класу Горизонталі у каталозі об'єктів

Назва поля	код
Визначення	Код нумерації горизонтальної лінії
Од. вимірювання	немає
Тип	ShortIn
Код	221
Назва поля	абсолютнаВисота
Визначення	Рівень абсолютна висота вказаної горизонтальної лінії
Од. вимірювання	м
Тип	ShortIn
Код	222

Атрибути класу Схили у каталозі об'єктів

Назва поля	код
Визначення	Номер схилу
Од. вимірювання	немає
Тип	ShortIn
Код	241
Назва поля	крутизна
Визначення	Кут нахилу схилу до горизонтальної площити
Од. вимірювання	градуси
Тип	Текст
Код	242
Назва поля	експозиція
Визначення	Орієнтація схилів по відношенню до сторін горизонту
Од. вимірювання	градуси
Тип	Текст
Код	243

Атрибути класу ПричиниДеградації у каталозі об'єктів

Назва поля	код
Визначення	Номер фактору деградації
Од. вимірювання	немає

Тип	ShortIn
Код	321
Назва поля	позитивнийФактор
Визначення	Фактор, який позитивно впливає на землі
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	322
Назва поля	негативнийФактор
Визначення	Фактор, який негативно впливає на землі
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	323

Атрибути класу ВидДеградації у каталозі об'єктів

Назва поля	вид
Визначення	Назва виду деградації в залежності від типу
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	331
Назва поля	ступінь
Визначення	Показник ураженості ґрунтів
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	332

Атрибути класу ТипДеградації у каталозі об'єктів

Назва поля	код
Визначення	Код типу деградації
Од. вимірювання	немає
Тип	ShortIn
Код	341
Назва поля	тип
Визначення	Назва типу деградації в залежності від факторів
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	342

Атрибути класу Культура у каталозі об'єктів

Назва поля	код
Визначення	Номер культури
Од. вимірювання	немає
Тип	ShortIn
Код	411
Назва поля	культура
Визначення	Назва рослини певного ботанічного таксону, яку вирощують
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	412

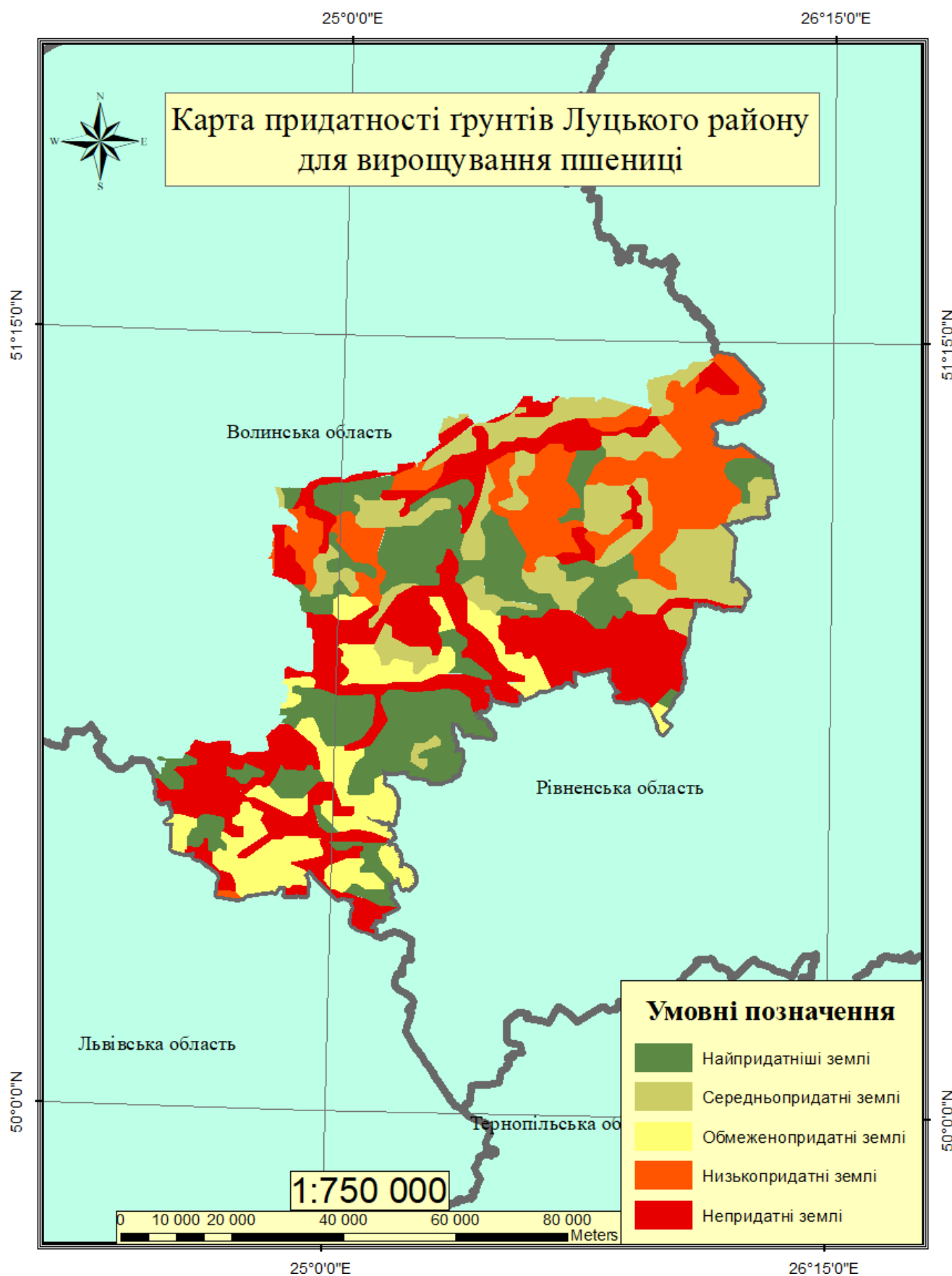
Атрибути класу ВидСівозміни у каталозі об'єктів

Назва поля	вид
Визначення	Назва виду сівозміни певного типу
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	421
Назва поля	площа
Визначення	Площа конкретної оцифрованої ділянки виду сівозміни
Од. вимірювання	га
Тип	Float
Код	422

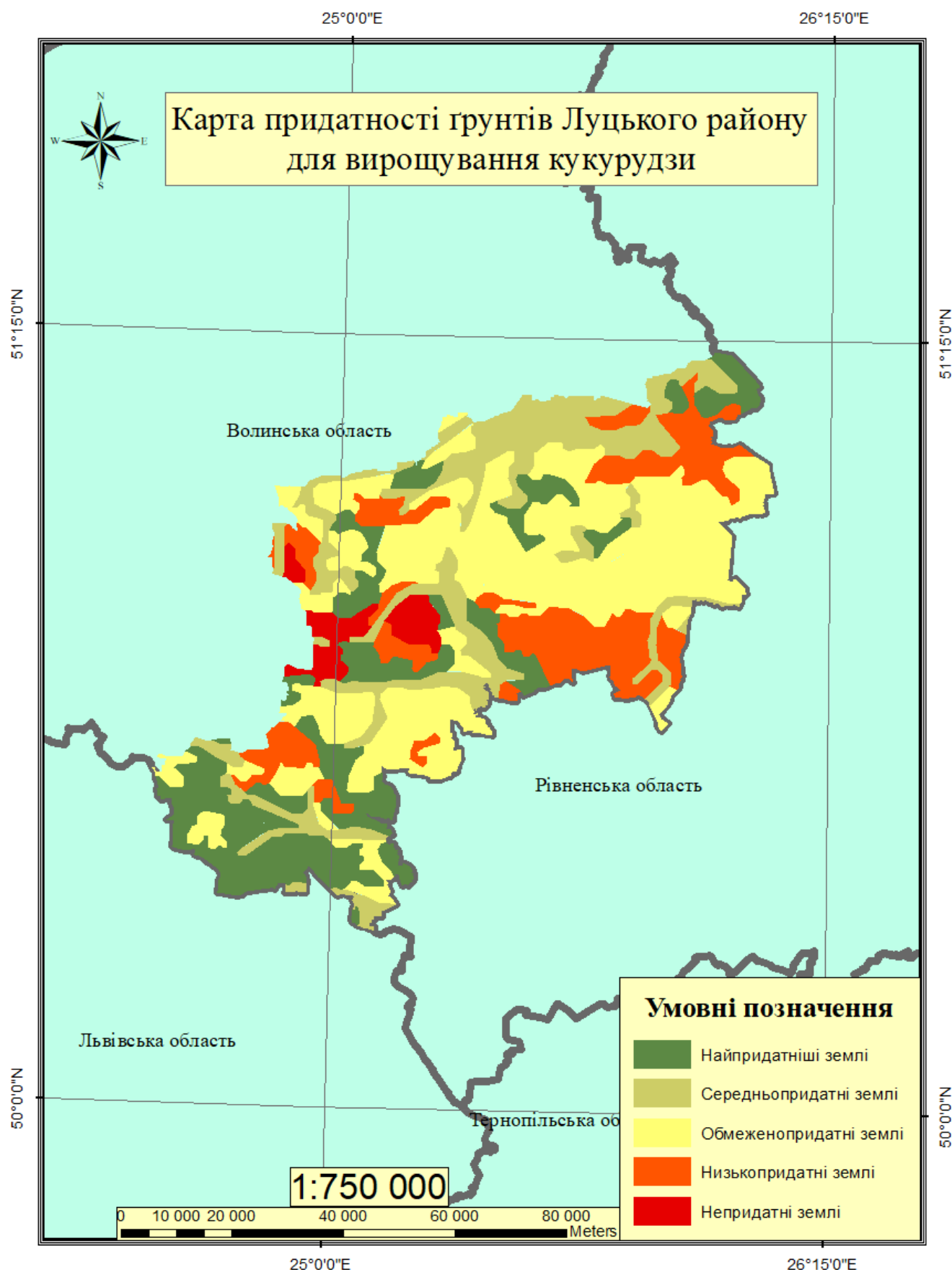
Атрибути класу ТипСівозміни у каталозі об'єктів

Назва поля	тип
Визначення	Назва типу сівозміни різного виробничого призначення
Од. вимірювання	немає
Тип	Текст
Код	431
Назва поля	площа
Визначення	Площа конкретної оцифрованої ділянки типу сівозміни
Од. вимірювання	га
Тип	Float
Код	432

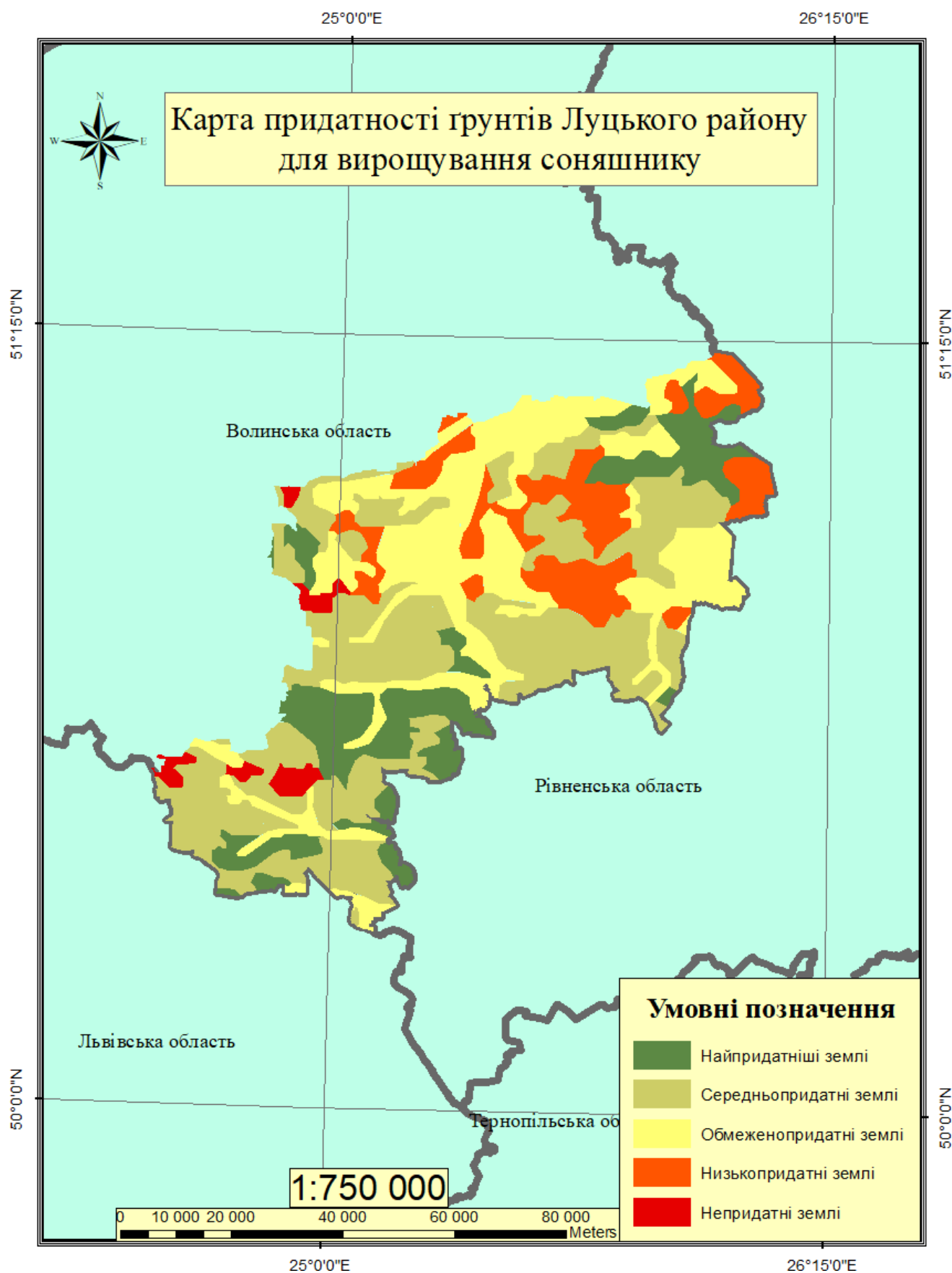
Додаток Б (авторська розробка)



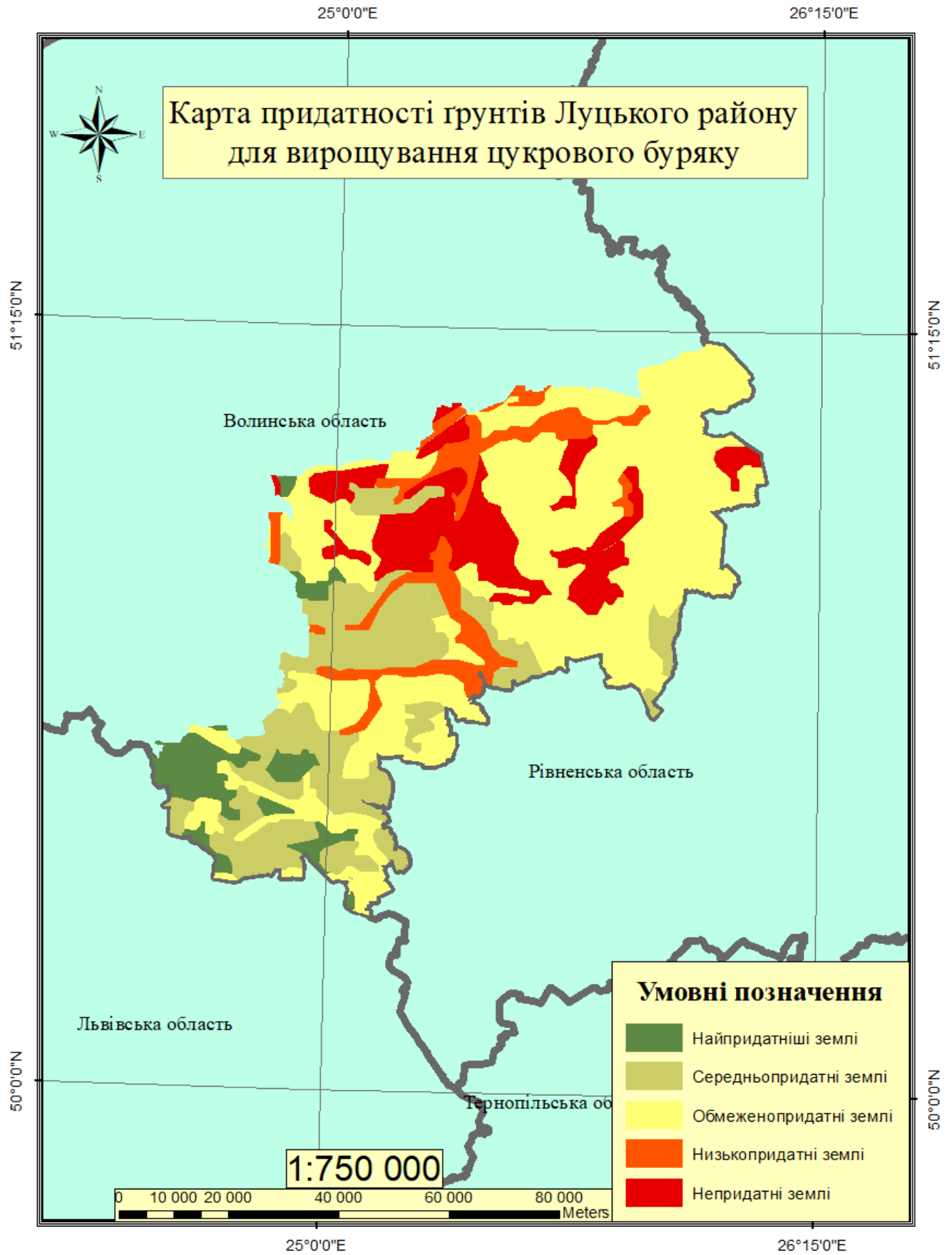
Додаток В (авторська розробка)



Додаток Г (авторська розробка)



Додаток Д (авторська розробка)



Додаток Е (авторська розробка)

