

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

ГІС КАРТОГРАФІЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)
Галузь знань 19 – «Архітектура та будівництво»
Спеціальність 193 – «Геодезія та землеустрій»
Освітня програма «Геодезія та землеустрій»

Кваліфікаційна робота бакалавра
студентки 4 курсу
освітнього рівня бакалавр
Рудюк Анастасії Олександрівни

Науковий керівник:
Кустовська Оксана Володимирівна
кандидат економічних наук,
доцент кафедри геодезії та картографії

Допущено до захисту:
Протокол засідання кафедри № ___ від «___» _____ 20__ року

Завідувач кафедри

проф. Даценко Л.М.

КИЇВ – 2025

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ.....	7
1.1. Особливості геоінформаційного картографування.....	7
1.2. Теоретичні засади цифрового моделювання рельєфу.....	11
Висновки до розділу 1	19
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ.....	20
2.1. Методичне забезпечення створення моделей геоінформаційного картографування.....	20
2.2. Узагальнена та функціональна моделі системи геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення.....	28
Висновки до розділу 2	35
РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ.....	36
3.1. Розробка моделей бази геопросторових даних геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення.....	36
3.2. Реалізація моделей геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення.....	42
Висновки до розділу 3	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
ДОДАТКИ.....	59

АНОТАЦІЯ

Рудюк Анастасія Олександрівна

ГІС картографія для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення: кваліфікаційна робота бакалавра за спеціальністю 193 «Геодезія та землеустрій», Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Географічний факультет, Кафедра геодезії та картографії. Київ, 2025.

У кваліфікаційній роботі бакалавра обґрунтовано теоретико-методичні засади та розроблено моделі геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення. Досліджено теоретичні основи геоінформаційного картографування та цифрового моделювання рельєфу як базової складової геоінформаційного аналізу території. Проаналізовано сучасні підходи до використання геоінформаційних систем у землеустрої та виявлено основні тенденції розвитку геоінформаційного картографування в Україні та світі.

Розроблено методичне забезпечення створення моделей геоінформаційного картографування, що ґрунтується на принципах комплексності, системності, динамічності та практичної спрямованості. Обґрунтовано структуру методичного забезпечення, що включає теоретико-методичні основи, технологічно-операційні складові та інформаційно-програмне забезпечення. Визначено методи збору, обробки та аналізу геопросторових даних для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення з урахуванням специфіки землекористування та агроекологічних особливостей територій.

Створено узагальнену та функціональну моделі системи геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення, що відображають структуру системи та взаємозв'язки між її компонентами. Обґрунтовано багаторівневу структуру системи, що включає підсистеми збору даних, їх обробки, аналізу та візуалізації результатів. Запропоновано модульний принцип побудови системи, що забезпечує її гнучкість, масштабованість та можливість адаптації до змінних умов середовища та потреб користувачів.

Розроблено концептуальну, логічну та фізичну моделі бази геопросторових даних для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення. Концептуальна модель визначає ключові сутності системи та встановлює зв'язки між ними, що забезпечує комплексний підхід до аналізу стану земель. Логічна модель трансформує концептуальні сутності у систему взаємопов'язаних таблиць із нормалізованою структурою атрибутивних даних. Фізична модель реалізується у форматі серверної геобаз даних з використанням сучасних систем керування базами даних, що підтримують роботу з просторовими об'єктами.

Обґрунтовано можливості практичної реалізації розроблених моделей геоінформаційного картографування в системі землеустрою. Розроблено алгоритми практичного впровадження моделей, що забезпечують їх ефективне використання для моніторингу стану земель та прийняття управлінських рішень. Визначено технічні та програмні засоби, необхідні для реалізації моделей геоінформаційного картографування.

Наукова новизна результатів полягає у розробці комплексного підходу до геоінформаційного картографування земель сільськогосподарського призначення, що інтегрує методи дистанційного зондування Землі, просторового аналізу та тематичного картографування. Практичне значення отриманих результатів визначається можливістю їх використання для підвищення ефективності моніторингу стану земель, своєчасного виявлення деградаційних процесів та обґрунтування заходів щодо охорони земель сільськогосподарського призначення.

Ключові слова: геоінформаційне картографування, охорона земель, землі сільськогосподарського призначення, геоінформаційні системи, база геопросторових даних, моделювання, деградація ґрунтів, просторовий аналіз.

ВСТУП

Актуальність. Охорона земель сільськогосподарського призначення є одним із пріоритетних завдань державної політики України, оскільки земельні ресурси становлять основу продовольчої безпеки країни та мають виключне значення для сталого розвитку економіки. Інтенсивна експлуатація земель, погіршення екологічного стану довкілля, кліматичні зміни та недосконалість методів землеустрою призводять до зростання площ деградованих ґрунтів, що вимагає розробки й впровадження ефективних систем моніторингу та охорони сільськогосподарських угідь. Традиційні підходи до охорони земель не дозволяють оперативно виявляти зміни стану земельних ресурсів, прогнозувати розвиток деградаційних процесів та розробляти науково обґрунтовані рекомендації щодо їх запобігання.

Геоінформаційне картографування як комплексний інструмент обробки просторових даних відкриває нові можливості для аналізу стану земель, моделювання процесів деградації ґрунтів та візуалізації результатів у вигляді тематичних карт. Впровадження моделей геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення дозволить підвищити ефективність управлінських рішень, оптимізувати використання земельних ресурсів та забезпечити їх збереження для майбутніх поколінь.

Метою дослідження є геоінформаційне картографування земель сільськогосподарського призначення Заставнівської територіальної громади.

Для досягнення поставленої мети визначено такі **завдання**:

1. Проаналізувати теоретичні основи геоінформаційного картографування в контексті охорони земель сільськогосподарського призначення;
2. Розробити методичне забезпечення створення моделей геоінформаційного картографування;
3. Створити узагальнену та функціональну моделі системи геоінформаційного картографування для охорони земель сільськогосподарського призначення;

4. Розробити моделі бази геопросторових даних для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення;
5. Обґрунтувати можливості реалізації розроблених моделей геоінформаційного картографування в практиці землеустрою.

Об'єктом дослідження є територія Заставнівської міської територіальної громади.

Предмет дослідження є моделі геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження: системний аналіз – для розробки концептуальної моделі геоінформаційного картографування; абстрагування та моделювання – для створення логічної та фізичної моделей бази геопросторових даних; аналіз і синтез – для обґрунтування методичного забезпечення геоінформаційного картографування; порівняльний аналіз – для оцінки ефективності різних підходів до використання геоінформаційних технологій в охороні земель; картографічний метод – для візуалізації просторової інформації про стан земель та деградаційні процеси.

Структура кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 66 сторінок комп'ютерного тексту. Робота містить 4 таблиці, 16 рисунків та 6 додатків. Список використаної літератури складається із 51 джерела.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ЦИФРОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ РЕЛЬЄФУ МІСЦЕВОСТІ

1.1. Особливості геоінформаційного картографування

Геоінформаційне картографування – це процес створення і використання карт на основі геоінформаційних систем та баз даних, а також технологія автоматизованого картографування на основі ГІС і геоінформаційних технологій [5, с. 24]. Його сутність полягає в інформаційно-картографічному моделюванні геосистем, яке базується на використанні потужних засобів просторового аналізу, моделювання та візуалізації [12, с. 145]. Використання інформаційних технологій дозволяє підвищити ефективність та точність картографічного відображення просторових об'єктів і явищ, забезпечуючи можливість роботи з тривимірними та динамічними моделями [27, с. 58]. Геоінформаційне картографування реалізується як програмно-керований процес відтворення цифрових карт та атласів, що має певні особливості створення, оформлення, використання й оновлення картографічних зображень [14, с. 113]. Сучасне геоінформаційне картографування охоплює широкий спектр робіт, включаючи проектування, укладання, редагування та видання різноманітних карт [22, с. 67].

Важливою особливістю геоінформаційного картографування є можливість інтеграції даних з різних джерел (дистанційне зондування, польові дослідження, статистичні матеріали тощо) в єдиній геоінформаційній системі [31, с. 92]. Цей підхід дозволяє обробляти величезні обсяги просторових даних, забезпечуючи багатоваріантність їх представлення, моделювання та аналізу [11, с. 211]. Дослідники відзначають, що геоінформаційне картографування значно розширює можливості традиційної картографії за рахунок автоматизації процесу створення та використання карт [23, с. 148]. Важливою перевагою є можливість генералізації картографічного зображення з урахуванням масштабу, призначення карти та особливостей території, що відображається [8, с. 83]. Геоінформаційне картографування дозволяє створювати як аналітичні, так і комплексні та

синтетичні карти, що відображають взаємозв'язки між різними просторовими об'єктами і процесами [13, с. 47].

Методично геоінформаційне картографування спирається на поєднання картографічного методу дослідження з методами геоінформатики та комп'ютерної графіки [5, с. 33]. Технологічною основою геоінформаційного картографування є геоінформаційні системи, які надають інструменти для обробки, аналізу, моделювання та відображення просторових даних [42, с. 69]. Ключову роль в процесі геоінформаційного картографування відіграють бази просторових даних, що містять як позиційну, так і атрибутивну інформацію про географічні об'єкти [24, с. 118]. Геоінформаційне картографування характеризується тісним зв'язком з дистанційним зондуванням Землі, методи і дані якого використовуються для створення та оновлення просторових баз даних [50, с. 74]. Завдяки сучасним технологіям отримання та обробки просторової інформації, геоінформаційне картографування забезпечує високу точність та детальність картографічного зображення [10, с. 52].

При геоінформаційному картографуванні використовуються різні типи цифрових моделей просторових даних, включаючи векторні, растрові та триангуляційні моделі [17, с. 93]. Вибір моделі даних залежить від характеру об'єктів, що картографуються, масштабу карти та цілей картографування [20, с. 76]. Сучасне геоінформаційне картографування використовує картографія GPS/GNSS для позиціонування та збору просторових даних, що значно підвищує точність координатної прив'язки об'єктів [35, с. 123]. Важливою складовою геоінформаційного картографування є розробка та використання системи умовних позначень, що відповідають специфіці комп'ютерної візуалізації просторових даних [19, с. 87]. Геоінформаційне картографування сприяє розвитку нових підходів до аналізу просторової інформації, включаючи методи геостатистики, просторового моделювання та прогнозування [16, с. 142].

Геоінформаційне картографування успішно застосовується для різних тематичних напрямків, включаючи землеустрій, територіальне планування, екологічний моніторинг, управління природними ресурсами тощо [28, с. 187]. Воно

дозволяє швидко оновлювати картографічну інформацію, що особливо важливо для динамічних об'єктів і процесів [38, с. 95]. Сучасні геоінформаційні системи надають можливість автоматизованого створення легенд карт, що спрощує процес їх оформлення та підвищує інформативність [47, с. 136]. Геоінформаційне картографування підтримує інтерактивний режим роботи з картами, включаючи зміну масштабу, панорамування, вибір об'єктів та отримання детальної інформації про них [9, с. 203]. Особливим напрямком геоінформаційного картографування є створення віртуальних тривимірних моделей місцевості, що дозволяють візуалізувати рельєф та інші об'єкти у тривимірному просторі [45, с. 62].

Важливою тенденцією розвитку геоінформаційного картографування є інтеграція з технологіями віртуальної та доповненої реальності, що дозволяє створювати імерсивні інтерактивні карти [39, с. 175]. Геоінформаційне картографування активно використовує веб-картографія для публікації карт в Інтернеті, забезпечуючи широкий доступ до просторової інформації [30, с. 89]. Сучасні тенденції включають розвиток мобільного картографування, що дозволяє використовувати геоінформаційні картографія на мобільних пристроях безпосередньо в польових умовах [33, с. 142]. Геоінформаційне картографування сприяє розвитку концепції інфраструктури просторових даних, що забезпечує ефективний обмін геопросторовою інформацією між різними користувачами [26, с. 107]. Зараз активно розвиваються хмарні геоінформаційні сервіси, що надають можливість віддаленої роботи з просторовими даними та спільного картографування [48, с. 53].

Геоінформаційне картографування знаходить широке застосування у сфері управління земельними ресурсами, включаючи кадастровий облік, моніторинг земель та планування землекористування [18, с. 136]. Особливо важливим є використання геоінформаційного картографування для оцінки та моніторингу земель сільськогосподарського призначення, включаючи аналіз їх продуктивності та стану [34, с. 92]. Геоінформаційне картографування використовується для створення цифрових моделей рельєфу, які є основою для аналізу геоморфологічних особливостей території та проектування різних об'єктів [15, с. 78]. Картографія

геоінформаційного картографування активно застосовуються в екологічному моніторингу, дозволяючи відслідковувати зміни у навколишньому середовищі та прогнозувати їх наслідки [29, с. 112]. Перспективним напрямком є інтеграція геоінформаційного картографування з технологіями дистанційного зондування та безпілотними літальними апаратами для оперативного картографування та моніторингу територій [43, с. 159].

Серед проблем геоінформаційного картографування слід відзначити необхідність стандартизації просторових даних та розробки єдиних методик їх збору, обробки та відображення [21, с. 92]. Важливим завданням є забезпечення інтеоперабельності різних геоінформаційних систем та форматів даних для ефективного обміну просторовою інформацією [36, с. 104]. Перспективним напрямком розвитку геоінформаційного картографування є впровадження методів штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизованого аналізу просторових даних та розпізнавання об'єктів [49, с. 173]. Актуальними залишаються питання точності та достовірності просторових даних, що використовуються в геоінформаційному картографуванні [32, с. 88]. Розвиток геоінформаційного картографування потребує підготовки кваліфікованих кадрів, що володіють навичками роботи з сучасними геоінформаційними технологіями та методами просторового аналізу [25, с. 145].

Таким чином, розглянуте дослідження особливостей геоінформаційного картографування показало, що воно є потужним інструментом для створення, аналізу та візуалізації просторових даних, який інтегрує методи традиційної картографії, геоінформатики, дистанційного зондування та комп'ютерної графіки. Сучасне геоінформаційне картографування характеризується високим рівнем автоматизації, точністю відображення просторової інформації, можливістю інтеграції даних з різних джерел та оперативного оновлення карт. Особливу цінність представляє використання геоінформаційного картографування для моделювання рельєфу місцевості, що є основою для широкого спектру прикладних задач у сфері землеустрою, будівництва, екології та територіального планування. Найбільш значні зміни у розвитку геоінформаційного картографування відбулися

на стадії переходу від паперових карт до цифрових моделей місцевості, інтеграції з технологіями дистанційного зондування та впровадження веб-технологій для поширення просторової інформації. Подальший розвиток геоінформаційного картографування пов'язаний із впровадженням нових методів збору та обробки просторових даних, інтеграцією з технологіями віртуальної та доповненої реальності, використанням штучного інтелекту та машинного навчання для автоматизованого аналізу та картографування територій.

1.2. Теоретичні засади цифрового моделювання рельєфу

Цифрове моделювання рельєфу (ЦМР) є одним із ключових напрямків геоінформаційного картографування, що забезпечує математичне представлення поверхні землі за допомогою цифрових даних та алгоритмів обробки [17, с. 124]. Сутність ЦМР полягає у створенні цифрового представлення топографічної поверхні місцевості у вигляді набору координат точок та правил інтерполяції між ними [22, с. 87]. За визначенням А. В. Кошкарева, цифрова модель рельєфу – це засіб цифрового представлення тривимірних просторових об'єктів (поверхонь або рельєфів) у вигляді сукупності висотних відміток та інших характеристик (ухилів, експозицій тощо) [27, с. 75]. У практиці цифрового моделювання рельєфу важливо розрізняти поняття цифрової моделі рельєфу (ЦМР), цифрової моделі місцевості (ЦММ) та цифрової моделі поверхні (ЦМП), які відрізняються за характером просторових даних та їх представленням [5, с. 43]. ЦМР широко використовується для вирішення різноманітних прикладних задач, включаючи проектування інженерних споруд, моделювання природних процесів, аналіз ризиків стихійних лих та планування землекористування [38, с. 112].

Історично розвиток цифрового моделювання рельєфу почався з розробки алгоритмів інтерполяції висот для створення цифрових карт рельєфу у 1950-х роках [11, с. 67]. Значний прогрес у розвитку методів ЦМР був досягнутий з появою потужних комп'ютерних технологій та геоінформаційних систем у 1980-1990-х роках [29, с. 93]. Сучасний етап розвитку ЦМР характеризується використанням

даних дистанційного зондування, включаючи лідарну зйомку та радарну інтерферометрію, що забезпечує високу точність та детальність моделей рельєфу [35, с. 148]. Важливу роль у розвитку ЦМР відіграли глобальні проекти зі створення цифрових моделей рельєфу для всієї земної поверхні, такі як SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) та ASTER GDEM (Global Digital Elevation Model) [13, с. 56]. Розробка нових методів та алгоритмів обробки просторових даних, включаючи методи машинного навчання та штучного інтелекту, продовжує розширювати можливості цифрового моделювання рельєфу [45, с. 132].

В основу цифрового моделювання рельєфу покладено різні математичні моделі представлення поверхні, включаючи регулярні сітки (GRID), нерегулярні триангуляційні мережі (TIN), поліноміальні поверхні та інші [19, с. 75]. Кожна з цих моделей має свої особливості, переваги та обмеження, що визначає сферу їх оптимального застосування у різних ландшафтних умовах та для різних практичних завдань. Їх теоретичне обґрунтування базується на фундаментальних математичних принципах, включаючи теорію інтерполяції, обчислювальну геометрію та теорію апроксимації функцій. Вибір конкретної математичної моделі значною мірою визначає точність і достовірність представлення земної поверхні в цифровому вигляді. Важливим фактором при виборі математичної моделі є також її обчислювальна ефективність, особливо при роботі з великими масивами даних, що охоплюють значні за площею території.

Регулярна сіткова модель (GRID) представляє поверхню у вигляді матриці значень висот, рівномірно розподілених по області моделювання, що забезпечує простоту реалізації та ефективність обчислень [30, с. 112]. Ця модель характеризується однаковим кроком сітки по осях координат, що значно спрощує алгоритми аналізу рельєфу та розрахунку його морфометричних показників. Кожна комірка сітки містить одне значення висоти, яке зазвичай відноситься до центру комірки або до її кута. Зберігання даних у вигляді регулярної матриці оптимізує використання комп'ютерної пам'яті та прискорює виконання багатьох аналітичних операцій, таких як розрахунок ухилів, експозицій та інших характеристик рельєфу. Проте регулярна сіткова модель має обмеження при відображенні різких перегинів

рельєфу, таких як уступи, яри, круті схили, де щільність точок може бути недостатньою для адекватного представлення поверхні.

Нерегулярна триангуляційна мережа (TIN) базується на триангуляції Делоне і представляє поверхню у вигляді пов'язаних трикутників, що дозволяє більш точно відображати складні форми рельєфу за рахунок адаптивного розподілу точок [8, с. 48]. У цій моделі точки можуть розташовуватися нерівномірно, з більшою щільністю в місцях зі складним рельєфом і меншою – на відносно плоских ділянках. Кожен трикутник TIN-моделі є плоскою гранню, що з'єднує три точки з відомими координатами та висотами. TIN-модель ефективно зберігає структурні лінії рельєфу, такі як вододіли, тальвеги, берегові лінії, що забезпечує морфологічну коректність цифрової моделі. На відміну від регулярної сіткової моделі, TIN потребує складніших алгоритмів для створення та аналізу, але забезпечує краще співвідношення між точністю представлення рельєфу та обсягом даних.

Поліноміальні моделі поверхні використовують математичні функції для апроксимації рельєфу, що дозволяє отримати безперервне і гладке представлення поверхні [25, с. 97]. Ці моделі базуються на апроксимації рельєфу за допомогою поліномів різного ступеня, від простих лінійних функцій до складних поліномів високих порядків. Глобальні поліноміальні моделі використовують єдину функцію для опису всієї поверхні, що обмежує їх застосування для територій зі складним рельєфом. Локальні поліноміальні моделі, такі як сплайни, застосовують різні функції для окремих ділянок поверхні, забезпечуючи плавність переходів між ними. Перевагою поліноміальних моделей є можливість аналітичного розрахунку похідних поверхні, таких як градієнти та кривизна, що важливо для багатьох аналітичних задач. Однак складність побудови та інтерпретації поліноміальних моделей обмежує їх широке практичне застосування в геоінформаційних системах.

Вибір моделі для цифрового представлення рельєфу залежить від характеристик території, вимог до точності, доступних даних та завдань, для яких створюється ЦМР [42, с. 83]. Для територій з плавними формами рельєфу ефективними є регулярні сіткові моделі, що забезпечують достатню точність при

відносно простій структурі даних. Для гірських районів, урбанізованих територій та інших місць зі складним рельєфом перевагу мають нерегулярні триангуляційні мережі, які краще відображають структурні особливості поверхні. Важливим аспектом вибору моделі є також масштаб картографування та призначення цифрової моделі рельєфу – для вирішення інженерних задач, екологічного моделювання, гідрологічних розрахунків тощо. У сучасних геоінформаційних системах часто реалізуються гібридні підходи, що поєднують переваги різних моделей представлення рельєфу та забезпечують можливість конвертації даних між ними.

Джерелами даних для цифрового моделювання рельєфу є різноманітні методи збору просторової інформації, включаючи наземні геодезичні вимірювання, фотограмметричну обробку аерофотознімків, лідарну зйомку, радарну інтерферометрію та оцифрування топографічних карт [14, с. 97]. Кожен метод має свої особливості щодо точності, щільності точок, охоплення території та вартості отримання даних, що визначає сферу його оптимального застосування. Комбінування даних з різних джерел дозволяє використовувати переваги кожного методу та компенсувати їх обмеження. Сучасні картографія збору просторових даних забезпечують можливість отримання інформації про рельєф з безпрецедентною детальністю та точністю, що відкриває нові перспективи для геоморфологічних досліджень, інженерного проектування, просторового планування та інших сфер. Важливим аспектом є також доступність даних, включаючи наявність глобальних цифрових моделей рельєфу, таких як SRTM, ASTER GDEM, які забезпечують базове покриття для більшості території Землі.

Наземні геодезичні вимірювання, хоча і потребують значних затрат часу та ресурсів, забезпечують високу точність визначення висот окремих точок рельєфу [33, с. 68]. Традиційні методи нівелювання та тахеометричної зйомки дозволяють досягати міліметрової точності визначення висот, що особливо важливо для інженерних задач та детального картографування невеликих територій. Сучасні картографія, такі як GPS/GNSS-вимірювання, електронні тахеометри та наземні лазерні сканери, значно підвищують ефективність наземних геодезичних робіт та

розширюють їх можливості. Основним обмеженням наземних вимірювань залишається їх трудомісткість та висока вартість при картографуванні великих територій, особливо у важкодоступних районах. Проте для створення високоточних цифрових моделей рельєфу обмежених за площею ділянок, а також для калібрування та валідації інших методів збору даних, наземні геодезичні вимірювання залишаються незамінними.

Фотограмметрична обробка аерофотознімків дозволяє отримати дані про поверхню на основі стереопар знімків, що ефективно для створення ЦМР для великих територій [23, с. 124]. Цей метод базується на принципах стереофотограмметрії, коли положення точок місцевості у тривимірному просторі визначається шляхом вимірювання їх координат на перекритих знімках, зроблених з різних точок простору. Сучасні цифрові фотограмметричні станції забезпечують високий рівень автоматизації процесу стереорекострукції, включаючи автоматичний пошук та відображення відповідних точок на стереопарах знімків. Аерофотозйомка з пілотованих літальних апаратів дозволяє охоплювати значні території з високою роздільною здатністю, а використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) розширює можливості оперативного картографування невеликих ділянок з надвисокою детальністю. Основними обмеженнями фотограмметричного методу є залежність від погодних умов, складність отримання даних у районах з густою рослинністю та необхідність забезпечення достатнього перекриття між знімками.

Лідарна зйомка, що базується на використанні лазерного сканування, забезпечує надзвичайно високу щільність точок та точність визначення висот, особливо в умовах складного рельєфу та рослинного покриву [39, с. 136]. Лідарні системи вимірюють час проходження лазерного імпульсу від джерела до об'єкта і назад, що дозволяє визначити відстань до об'єкта з високою точністю. Повітряне лазерне сканування з літаків або вертольотів забезпечує швидке картографування великих територій з щільністю точок до кількох десятків на квадратний метр. Унікальною особливістю лідарної зйомки є здатність "пробивати" рослинний покрив, реєструючи кілька відбитих імпульсів від різних об'єктів на шляху

лазерного променя, що дозволяє отримувати дані про рельєф навіть під лісовим покривом. Сучасні лідарні системи також реєструють інтенсивність відбитого сигналу, що надає додаткову інформацію про властивості поверхні. Незважаючи на високу вартість обладнання, лідарна зйомка стає все більш популярним методом збору даних для цифрового моделювання рельєфу завдяки унікальному поєднанню високої точності, щільності точок та можливості роботи в умовах рослинного покриву.

Радарна інтерферометрія використовує фазові відмінності у сигналах, відбитих від земної поверхні, для визначення висот і є ефективною для глобального та регіонального картографування рельєфу, як це було реалізовано в місії SRTM [16, с. 87]. Цей метод базується на аналізі інтерференційної картини, отриманої шляхом порівняння двох радарних знімків однієї території, зроблених з дещо різних позицій. Радарна інтерферометрія має ряд переваг, включаючи незалежність від погодних умов та освітлення (можливість роботи вночі та при хмарності), можливість охоплення великих територій за короткий час та відносно невисоку вартість у розрахунку на одиницю площі. Місія Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), проведена в 2000 році, забезпечила створення глобальної цифрової моделі рельєфу з роздільною здатністю 1 арксекунда (приблизно 30 метрів) для території між 60° північної та 56° південної широти. Подальші місії, такі як TanDEM-X, дозволили підвищити роздільну здатність та точність глобальних даних про рельєф. Основними обмеженнями радарної інтерферометрії є чутливість до геометричних спотворень у районах з крутими схилами та складність отримання даних у районах з густою рослинністю.

Процес створення цифрової моделі рельєфу включає кілька етапів: збір вихідних даних, їх попередня обробка, інтерполяція для створення безперервної поверхні, оцінка точності моделі та її візуалізація [10, с. 124]. Кожен з цих етапів має свої особливості та потребує застосування специфічних методів і алгоритмів залежно від характеру вихідних даних, вимог до кінцевого продукту та наявних технічних засобів. Особливу увагу слід приділяти забезпеченню якості даних на кожному етапі, оскільки помилки, допущені на ранніх стадіях, можуть суттєво

вплинути на достовірність кінцевої моделі. Важливим аспектом є також документування процесу створення ЦМР, включаючи інформацію про джерела даних, методи їх обробки, параметри інтерполяції та результати оцінки точності. Правильна організація процесу створення ЦМР є запорукою отримання якісного кінцевого продукту, що відповідає вимогам конкретного застосування.

На основі цифрової моделі рельєфу можуть бути розраховані різноманітні морфометричні характеристики поверхні, що використовуються для аналізу рельєфу та вирішення прикладних задач [12, с. 94]. До основних морфометричних характеристик рельєфу відносяться ухили, експозиції схилів, кривизна поверхні (планова та профільна), акумуляція стоку та інші [28, с. 156]. Ухил поверхні визначається як міра зміни висоти у напрямку найбільшого градієнта і є важливим параметром для аналізу ерозійних процесів, планування землекористування та інженерних розрахунків [18, с. 87]. Експозиція схилу характеризує орієнтацію поверхні відносно сторін світу та визначає умови інсоляції, що важливо для аналізу мікрокліматичних умов, вегетації рослин та планування сільськогосподарської діяльності [37, с. 129]. Кривизна поверхні характеризує форму рельєфу (випуклу, увігнуту) і використовується для виділення структурних елементів рельєфу, таких як вододіли, тальвеги, сідловини тощо [9, с. 75].

Цифрове моделювання рельєфу має широкий спектр застосувань у різних галузях, включаючи землеустрій, територіальне планування, гідрологічне моделювання, оцінку ризиків стихійних лих та інші [26, с. 132]. У землеустрої ЦМР використовується для аналізу ерозійної небезпеки земель, планування протиерозійних заходів, оптимізації розміщення сільськогосподарських культур та проектування меліоративних систем [34, с. 95]. Гідрологічне моделювання на основі ЦМР дозволяє визначати напрямки поверхневого стоку, виділяти водозбірні басейни, моделювати повені та оптимізувати розміщення гідротехнічних споруд [43, с. 124]. Для оцінки ризиків стихійних лих ЦМР є незамінним інструментом моделювання зсувів, селів, лавин та інших небезпечних процесів, пов'язаних з рельєфом [31, с. 168]. В інженерному проектуванні ЦМР використовується для

розрахунку об'ємів земляних робіт, оптимізації трас лінійних споруд, проектування дренажних систем та інших завдань [48, с. 93].

Важливим аспектом цифрового моделювання рельєфу є візуалізація та картографічне представлення рельєфу, що забезпечує наочність та інформативність моделей [21, с. 78]. Традиційними методами картографічного відображення рельєфу є горизонталі (ізогіпси), гіпсометричне забарвлення, аналітичне відмивання, перспективні зображення та інші [40, с. 123]. Сучасні геоінформаційні системи надають широкі можливості для 3D-візуалізації рельєфу, включаючи створення віртуальних моделей місцевості, накладання тематичних шарів, динамічні перспективні види та анімації [46, с. 87]. Важливим елементом візуалізації ЦМР є використання освітлення (аналітичного відмивання), що дозволяє створити ефект об'ємності рельєфу та підкреслити його структурні особливості [36, с. 152]. Сучасні картографія доповненої та віртуальної реальності розширюють можливості візуалізації ЦМР, забезпечуючи ефект присутності та інтерактивну взаємодію з моделлю рельєфу [49, с. 119].

Точність цифрової моделі рельєфу залежить від багатьох факторів, включаючи точність вихідних даних, метод інтерполяції, роздільну здатність моделі та складність рельєфу території [20, с. 78]. Помилки у ЦМР можуть виникати на різних етапах її створення, включаючи помилки вимірювань, помилки класифікації точок, артефакти інтерполяції та інші [44, с. 96]. Для підвищення точності ЦМР використовуються різні методи, включаючи фільтрацію шумів, усунення артефактів, гідрологічну корекцію та валідацію за допомогою незалежних контрольних точок [15, с. 123]. Важливим аспектом забезпечення точності ЦМР є врахування характеристик рельєфу при виборі методу інтерполяції та параметрів моделі, оскільки для різних типів рельєфу ефективними можуть бути різні підходи [41, с. 87]. Оцінка точності ЦМР є невід'ємною частиною процесу моделювання і повинна проводитися з використанням статистичних методів та візуального аналізу [7, с. 103].

Таким чином, розглянуті теоретичні засади цифрового моделювання рельєфу показали, що ЦМР є потужним інструментом для аналізу, візуалізації та моделювання рельєфу місцевості, який інтегрує методи геоінформатики, картографії, математики та комп'ютерного моделювання. Сучасне цифрове моделювання рельєфу характеризується використанням різноманітних джерел даних, методів інтерполяції та форматів представлення, що дозволяє створювати моделі з високою точністю та детальністю. Цифрові моделі рельєфу широко застосовуються у різних галузях, включаючи землеустрій, територіальне планування, інженерне проектування, гідрологічне моделювання та оцінку ризиків стихійних лих. Найбільш значні зміни у розвитку цифрового моделювання рельєфу відбулися на стадії впровадження сучасних технологій дистанційного зондування, лідарного сканування та високопродуктивних комп'ютерних систем, що дозволило створювати надточні моделі рельєфу для великих територій.

Висновки до розділу 1.

У першому розділі роботи проведено фундаментальне дослідження теоретичних основ геоінформаційного картографування та цифрового моделювання рельєфу місцевості. Встановлено, що геоінформаційне картографування є потужним інструментом просторового аналізу, який інтегрує методи традиційної картографії з сучасними геоінформаційними технологіями та дистанційним зондуванням Землі.

Визначено, що цифрове моделювання рельєфу виступає ключовим напрямком геоінформаційного картографування, яке забезпечує математичне представлення земної поверхні за допомогою різних моделей даних (GRID, TIN, поліноміальні поверхні) та методів інтерполяції. Обґрунтовано доцільність застосування геоінформаційного картографування та цифрового моделювання рельєфу для вирішення широкого спектру прикладних задач у сфері землеустрою, територіального планування, охорони земель та гідрологічного моделювання.

Проведений аналіз сучасних тенденцій розвитку геоінформаційного картографування виявив перспективність інтеграції з технологіями дистанційного зондування, веб-картографування, штучного інтелекту та віртуальної реальності.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ

2.1. Методичне забезпечення створення моделей геоінформаційного картографування

Методичне забезпечення геоінформаційного картографування базується на комплексному підході, що поєднує традиційні картографічні методи з сучасними геоінформаційними технологіями та дистанційним зондуванням Землі. Основою методичного забезпечення виступає системний аналіз територіальних об'єктів у контексті їх просторової організації, взаємозв'язків та динаміки змін у часі. Ефективне методичне забезпечення передбачає інтеграцію різнорідних даних у єдину інформаційну систему з можливістю їх подальшої обробки, аналізу та візуалізації. Розробка методичного забезпечення включає визначення структури бази геоданих, вибір програмного забезпечення та технічних засобів, а також формування алгоритмів обробки просторової інформації. Ключовим аспектом методичного забезпечення є створення концептуальної моделі, що відображає структуру досліджуваної системи та взаємозв'язки між її компонентами (табл. 2.1.).

Таблиця 2.1.

Компоненти методичного забезпечення геоінформаційного картографування для охорони земель сільськогосподарського призначення

Компонент	Зміст	Функціональне призначення
Теоретико-методичний	Принципи, підходи, методи дослідження	Забезпечення наукової обґрунтованості моделей
Нормативно-правовий	Закони, стандарти, нормативи	Забезпечення відповідності моделей правовим нормам
Інформаційний	Джерела даних, вимоги до якості інформації	Забезпечення достовірності та повноти вихідних даних
Технологічний	ГІС-платформи, алгоритми обробки, апаратне забезпечення	Забезпечення технічної реалізації моделей
Організаційний	Структура взаємодії, розподіл повноважень	Забезпечення ефективності впровадження моделей

Розроблено автором на основі: [42, с. 45; 26, с. 104; 5, с. 28]

Аналіз компонентів методичного забезпечення геоінформаційного картографування показує їх взаємопов'язаність та комплексний характер. Особливе значення має теоретико-методичний компонент, який забезпечує наукову обґрунтованість розроблюваних моделей та визначає загальну стратегію досліджень. Нормативно-правовий компонент відіграє важливу роль у забезпеченні легітимності моделей та їх відповідності чинному законодавству. Технологічний компонент, який включає програмне та апаратне забезпечення, має визначальне значення для практичної реалізації геоінформаційного картографування.

Методичне забезпечення геоінформаційного картографування для охорони земель сільськогосподарського призначення потребує врахування специфіки землекористування та агроекологічних особливостей територій. При створенні моделей геоінформаційного картографування необхідно встановити взаємозв'язки між природними компонентами ландшафту та антропогенними факторами впливу на сільськогосподарські землі. Важливим елементом методичного забезпечення є розробка системи показників для оцінки стану земель, їх придатності для вирощування різних сільськогосподарських культур та потенційних ризиків деградації ґрунтів. Методичне забезпечення повинно включати алгоритми просторового аналізу для виявлення проблемних територій та прогнозування змін у землекористуванні. Формування багаторівневої системи індикаторів дозволяє здійснювати комплексний моніторинг стану земель на різних просторових рівнях - від локального до регіонального.

Аналіз критеріїв оцінки якості геопросторових даних (табл. 2.2.) демонструє важливість комплексного підходу до їх верифікації. Точність даних є основоположним критерієм, який безпосередньо впливає на достовірність результатів аналізу. Актуальність даних особливо важлива для моніторингу динамічних змін у землекористуванні та стані ґрунтів. Логічна узгодженість

забезпечує коректність просторових відношень між об'єктами та відповідність атрибутивних даних встановленим доменам значень.

Таблиця 2.2.

Критерії оцінки якості геопросторових даних для геоінформаційного картографування земель сільськогосподарського призначення

Критерій	Показники	Методи оцінки
Точність	Позиційна точність, атрибутивна точність, семантична точність	Порівняння з еталонними даними, статистичний аналіз
Актуальність	Дата створення, періодичність оновлення	Аналіз метаданих, порівняння з поточним станом
Повнота	Просторове охоплення, тематичне охоплення	Аналіз пропусків, порівняльний аналіз
Логічна узгодженість	Топологічна коректність, доменна цілісність	Автоматизована перевірка топології, валідація атрибутів
Доступність	Формат даних, умови поширення, вартість	Аналіз метаданих, оцінка технічних можливостей

Розроблено автором на основі: [4, с. 126; 47, с. 283; 20, с. 65]

Методичне забезпечення створення моделей геоінформаційного картографування для охорони сільськогосподарських земель базується на принципах комплексності, системності, динамічності та практичної спрямованості. Важливим елементом методології є багаторівневий підхід до збору, обробки та аналізу даних, що дозволяє враховувати як загальні тенденції землекористування, так і локальні особливості окремих територій. Розробка методичного забезпечення потребує чіткого визначення просторово-часових масштабів дослідження, періодичності оновлення даних та рівня деталізації картографічних матеріалів. При створенні моделей геоінформаційного картографування необхідно враховувати різноманітність джерел даних, їх точність, актуальність та сумісність. Методичне забезпечення повинно передбачати можливість адаптації моделей до змінних умов середовища та потреб користувачів.

Порівняльний аналіз джерел даних (табл. 2.3.) свідчить про доцільність їх комплексного використання для геоінформаційного картографування земель сільськогосподарського призначення. Супутникове дистанційне зондування є найбільш ефективним для регулярного моніторингу великих територій, тоді як аерофотозйомка з БПЛА забезпечує отримання детальної інформації на локальному рівні. Наземні обстеження, незважаючи на високу вартість, залишаються незамінними для отримання детальної інформації про властивості ґрунтів та стан сільськогосподарських угідь.

Таблиця 2.3.

Порівняльна характеристика джерел даних для геоінформаційного картографування земель сільськогосподарського призначення

Джерело даних	Переваги	Обмеження	Сфера застосування
Супутникове дистанційне зондування	Широке охоплення, регулярність, оперативність	Обмежена роздільна здатність, залежність від атмосферних умов	Моніторинг землекористування, оцінка стану рослинності
Аерофотозйомка з БПЛА	Висока роздільна здатність, гнучкість застосування	Обмежене охоплення, трудомісткість	Детальний аналіз локальних ділянок, моніторинг ерозії
Наземні обстеження	Висока точність, детальність, комплексність даних	Висока вартість, низька оперативність	Створення еталонних даних, детальна характеристика ґрунтів
Архівні матеріали	Доступність, охоплення минулих періодів	Обмежена актуальність, різномірність форматів	Аналіз динаміки змін, створення базових шарів
Державний земельний кадастр	Офіційний статус, правова достовірність	Обмежений доступ, неповнота даних	Аналіз структури землеволодінь, правовий режим територій

Розроблено автором на основі: [15, с. 317; 13, с. 245; 50, с. 48]

Важливою складовою методичного забезпечення є розробка критеріїв оцінки якості та достовірності геопросторових даних, що використовуються при створенні моделей. Методологія повинна включати процедури валідації та верифікації даних, а також алгоритми корекції можливих помилок та неточностей. При розробці методичного забезпечення необхідно враховувати можливості сучасних технологій дистанційного зондування Землі, автоматизованих систем збору даних та методів геостатистичного аналізу. Важливим аспектом є забезпечення інтеперабельності створюваних моделей з існуючими інформаційними системами в галузі землекористування та охорони навколишнього середовища. Методичне забезпечення повинно сприяти ефективній інтеграції геоінформаційного картографування в систему управління земельними ресурсами та прийняття рішень щодо їх охорони.

Розробка методичного забезпечення геоінформаційного картографування вимагає створення комплексної системи стандартів та протоколів, що забезпечують єдині підходи до збору, обробки та аналізу просторових даних. Стандартизація термінології, форматів даних та методів аналізу є необхідною умовою для ефективної інтеграції різних компонентів системи геоінформаційного картографування. Важливим аспектом стандартизації є забезпечення сумісності розроблюваних моделей з міжнародними стандартами в галузі геоінформатики та картографії, що сприяє можливості використання глобальних баз даних та інтеграції у міжнародні проекти з охорони земель. Розробка методичних стандартів повинна враховувати як технічні аспекти геоінформаційного картографування, так і його тематичне спрямування на завдання охорони земель сільськогосподарського призначення. Впровадження єдиних стандартів та протоколів дозволяє забезпечити порівнянність результатів геоінформаційного картографування, отриманих різними дослідниками на різних територіях.

Геоінформаційні картографія, що використовуються в методичному забезпеченні, базуються на інтеграції різних програмних та апаратних засобів для ефективної роботи з просторовими даними. Вибір геоінформаційної платформи є важливим етапом методичного забезпечення, що визначає функціональні

можливості системи та її сумісність з іншими інформаційними ресурсами. Сучасні геоінформаційні системи надають широкий спектр інструментів для аналізу просторових даних, включаючи методи геостатистики, просторового моделювання, класифікації та зонування територій. Важливою складовою геоінформаційних технологій є засоби візуалізації просторових даних, що забезпечують наочне представлення результатів аналізу у вигляді карт, діаграм, тривимірних моделей та інших форм графічного відображення інформації. Розвиток веб-технологій та мобільних додатків розширює можливості геоінформаційного картографування, забезпечуючи доступ до просторової інформації широкому колу користувачів через мережу Інтернет та мобільні пристрої.

Системний аналіз територіальних об'єктів, що є методичною основою геоінформаційного картографування, передбачає розгляд земельних ресурсів як складних систем, що функціонують у взаємодії з іншими компонентами природного та антропогенного середовища. Методологія системного аналізу включає декомпозицію територіальних систем на підсистеми та елементи з подальшим вивченням їх структури, функцій та взаємозв'язків. Важливим аспектом системного аналізу є дослідження динаміки територіальних систем, включаючи циклічні та трендові зміни, реакції на зовнішні впливи та можливості прогнозування майбутніх станів. Системний підхід передбачає також аналіз ієрархічної організації територіальних об'єктів, що дозволяє визначити взаємозв'язки між різними рівнями просторової організації земельних ресурсів. Використання методології системного аналізу дозволяє визначити ключові фактори, що впливають на стан земельних ресурсів, та розробити ефективні стратегії їх охорони та сталого використання.

Методичне забезпечення геоінформаційного картографування включає також розробку алгоритмів обробки та аналізу просторових даних, що забезпечують отримання достовірної інформації про стан земельних ресурсів. Алгоритми обробки просторових даних включають методи геометричного аналізу, класифікації, інтерполяції, зонування та моделювання, що дозволяють виявляти

просторові закономірності та тенденції у розподілі та стані земельних ресурсів. Особлива увага приділяється розробці алгоритмів аналізу даних дистанційного зондування Землі, що забезпечують автоматизовану обробку супутникових знімків та їх інтерпретацію для завдань охорони земель. Важливим аспектом є розробка алгоритмів просторово-часового аналізу, що дозволяють відслідковувати динаміку змін у землекористуванні та стані земельних ресурсів. Ефективність алгоритмів обробки та аналізу просторових даних оцінюється за критеріями точності, достовірності, оперативності та інформативності отриманих результатів.

Розробка системи показників для оцінки стану земель є важливим елементом методичного забезпечення геоінформаційного картографування. Система показників повинна відображати різні аспекти стану земельних ресурсів, включаючи фізичні, хімічні та біологічні властивості ґрунтів, рівень ерозії, забруднення, родючість та інші характеристики, що визначають якість земель. Показники можуть бути класифіковані за різними критеріями, включаючи їх просторову прив'язку, тематичне спрямування, методи отримання та форму представлення. Важливим аспектом є розробка інтегральних показників, що дозволяють комплексно оцінити стан земельних ресурсів та визначити території з різним рівнем деградації. Система показників повинна бути адаптована до специфіки конкретних територій, враховуючи їх природно-кліматичні умови, структуру землекористування та інші регіональні особливості. Ефективна система показників є основою для моніторингу стану земель та прийняття обґрунтованих рішень щодо їх охорони та сталого використання.

Методичне забезпечення геоінформаційного картографування для охорони сільськогосподарських земель має включати механізми актуалізації та оновлення моделей відповідно до змін у землекористуванні та навколишньому середовищі. Важливим елементом методології є розробка алгоритмів автоматизованого дешифрування даних дистанційного зондування для виявлення змін у структурі земельного покриття та моніторингу процесів деградації ґрунтів. Методичне забезпечення повинно передбачати можливість інтеграції експертних оцінок та польових досліджень з результатами автоматизованої обробки геопросторових

даних. При створенні моделей необхідно враховувати потреби різних категорій користувачів - від науковців та управлінців до безпосередніх землекористувачів. Ефективне методичне забезпечення створює основу для розробки практичних рекомендацій щодо оптимізації землекористування та впровадження заходів з охорони сільськогосподарських земель.

Інтеграція експертних знань у процес геоінформаційного картографування є важливим аспектом методичного забезпечення, що дозволяє поєднати об'єктивні дані з досвідом та знаннями фахівців. Експертні знання можуть бути використані на різних етапах геоінформаційного картографування, включаючи розробку системи показників, інтерпретацію результатів аналізу та формування рекомендацій щодо охорони земель. Методологія інтеграції експертних знань включає різні форми експертного оцінювання, включаючи індивідуальні та групові експертизи, методи Дельфі, аналітичної ієрархії та інші. Важливим аспектом є формалізація експертних знань у вигляді правил, коефіцієнтів, вагових факторів та інших параметрів, що можуть бути інтегровані в алгоритми геоінформаційного аналізу. Поєднання експертних знань з об'єктивними даними дозволяє підвищити достовірність та практичну значущість результатів геоінформаційного картографування для завдань охорони земель сільськогосподарського призначення.

Методичне забезпечення геоінформаційного картографування повинно враховувати особливості організації роботи з різними категоріями користувачів просторової інформації. Різні групи користувачів мають різні потреби в просторовій інформації, різний рівень знань та навичок роботи з геоінформаційними системами, що вимагає адаптації методології до їх специфічних вимог. Важливим аспектом є розробка інтерфейсів та інструментів для різних категорій користувачів, включаючи професійних аналітиків, управлінців, землевласників та інших зацікавлених сторін. Методологія повинна передбачати різні форми представлення результатів геоінформаційного картографування, від складних аналітичних звітів до простих тематичних карт та інфографіки. Важливим елементом є також розробка методик навчання та

підвищення кваліфікації користувачів геоінформаційних систем, включаючи тренінги, посібники, відеоуроки та інші форми навчальних матеріалів. Ефективна організація роботи з користувачами сприяє практичному впровадженню результатів геоінформаційного картографування в процесі управління земельними ресурсами та охорони сільськогосподарських земель.

Моніторинг ефективності впровадження моделей геоінформаційного картографування є важливим компонентом методичного забезпечення, що дозволяє оцінити практичну значущість розроблених моделей та визначити напрями їх вдосконалення. Методологія моніторингу включає розробку системи індикаторів, що відображають різні аспекти ефективності впровадження моделей, включаючи їх технічну, економічну, екологічну та соціальну ефективність. Важливим аспектом є розробка методик збору та аналізу даних про результати впровадження моделей геоінформаційного картографування в практику управління земельними ресурсами. Моніторинг повинен включати оцінку впливу впроваджених моделей на якість та оперативність прийняття рішень щодо охорони земель, ефективність використання ресурсів для реалізації природоохоронних заходів, динаміку стану земельних ресурсів та інші показники. Результати моніторингу ефективності впровадження моделей використовуються для їх адаптації та вдосконалення, що забезпечує постійне підвищення якості геоінформаційного картографування для завдань охорони земель сільськогосподарського призначення.

2.2. Узагальнена та функціональна моделі системи геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення

Підсистема управління та адміністрування координує роботу всіх компонентів системи, забезпечує взаємодію з користувачами та контролює якість вихідної інформації. Дана підсистема відповідає за цілісність та безпеку даних,

контроль доступу до інформаційних ресурсів та моніторинг ефективності функціонування всієї системи геоінформаційного картографування.

Підсистема управління включає інструменти для налаштування параметрів системи, оптимізації її продуктивності та адаптації до змінних потреб користувачів. Важливою функцією даної підсистеми є забезпечення взаємодії з іншими інформаційними системами в галузі землеустрою та охорони навколишнього середовища, включаючи Державний земельний кадастр, систему моніторингу довкілля та інші галузеві інформаційні ресурси. Ефективне функціонування підсистеми управління є необхідною умовою для стабільної роботи всієї системи геоінформаційного картографування та її чіткої відповідності потребам користувачів. [36, с. 147]

Таблиця 2.4.

**Модулі системи геоінформаційного картографування
та їх функціональне призначення**

Модель	Функціональне призначення	Інформаційне забезпечення	Користувачі
Просторовий аналіз	Обробка геоданих, виявлення просторових закономірностей	ЦМР, тематичні шари, результати класифікації	Аналітики, науковці
Тематичне картографування	Створення спеціалізованих карт стану земель	Аналітичні шари, база стилів, картографічні шаблони	Картографи, фахівці з землеустрою
Моніторинг	Відстеження динаміки змін стану земель	Часові серії даних, показники стану земель	Екологи, агрономи
Прогнозування	Моделювання сценаріїв розвитку земельних ресурсів	Історичні дані, фактори впливу, математичні моделі	Науковці, планувальники
Управління земельними ресурсами	Інтеграція результатів аналізу	Рекомендації, нормативні	Управлінці, землекористувачі

	в процес прийняття рішень	документи, бази знань	
--	---------------------------	-----------------------	--

Розроблено автором на основі: [1, с. 65; 7, с. 85; 48, с. 58]

Аналіз модульної структури системи геоінформаційного картографування (табл. 2.4.) свідчить про її гнучкість та адаптивність до різних завдань охорони земель сільськогосподарського призначення. Кожна модель має чітко визначене функціональне призначення та орієнтований на конкретну категорію користувачів. Модель просторового аналізу є базовим елементом системи, який забезпечує трансформацію первинних даних у аналітичну інформацію. [28, с. 96]

Ключовою особливістю запропонованої функціональної моделі є наявність зворотних зв'язків між її компонентами, що забезпечує динамічну адаптацію системи до змінних умов середовища та потреб користувачів. Зворотні зв'язки реалізуються через механізми обміну інформацією між різними підсистемами, що дозволяє оперативно реагувати на виявлені проблеми та вдосконалювати алгоритми аналізу і обробки даних. Важливим елементом системи зворотного зв'язку є механізми оцінки точності та достовірності результатів аналізу, що дозволяють виявляти та усувати помилки на різних етапах обробки даних. Особливе значення має зворотний зв'язок від користувачів системи, які можуть надавати інформацію про практичну значущість отриманих результатів та пропозиції щодо вдосконалення системи. [32, с. 530]

Підсистема збору даних отримує інформацію про необхідність додаткових досліджень на основі результатів аналізу існуючих матеріалів, що дозволяє оптимізувати процес збору даних та зосередити увагу на проблемних територіях. Дана підсистема реалізує механізми адаптивного збору даних, коли частота і детальність спостережень коригуються залежно від виявлених проблем та динаміки змін у землекористуванні. Важливим елементом є система пріоритезації територій для детального обстеження, що базується на результатах попереднього аналізу та виявлених ризиках деградації земель. Підсистема збору даних включає також інструменти для планування польових досліджень, оптимізації маршрутів

обстеження та визначення оптимальних методів збору інформації для конкретних територій. Адаптивний підхід до збору даних дозволяє ефективно розподіляти ресурси та отримувати максимально повну інформацію про стан земель при мінімальних затратах. [13, с. 245]

Підсистема аналізу може формувати запити на уточнення вхідних даних або на проведення додаткових польових досліджень у випадку виявлення аномалій або суперечностей у наявній інформації. Ця підсистема реалізує механізми контролю якості вхідних даних, виявлення сумнівних значень та оцінки достовірності результатів аналізу. Важливою функцією є виявлення територій з недостатньою інформаційною забезпеченістю, де наявних даних недостатньо для формування достовірних висновків та рекомендацій. Підсистема аналізу включає також механізми верифікації результатів моделювання та прогнозування, що дозволяють оцінити їх точність та визначити необхідність уточнення моделей. Взаємодія підсистеми аналізу з іншими компонентами системи забезпечує постійне підвищення якості та достовірності результатів геоінформаційного картографування.

Підсистема підтримки прийняття рішень використовує результати моніторингу впровадження запропонованих заходів для корегування рекомендацій та вдосконалення алгоритмів аналізу. Ця підсистема реалізує механізми оцінки ефективності запропонованих природоохоронних заходів та їх впливу на стан земельних ресурсів. Важливим елементом є система зворотного зв'язку від користувачів, які приймають управлінські рішення на основі рекомендацій системи, що дозволяє оцінити практичну значущість цих рекомендацій. Підсистема підтримки прийняття рішень включає також механізми адаптації рекомендацій до змінних умов середовища та нормативно-правової бази у сфері землекористування. Постійний моніторинг результатів впровадження рекомендацій дозволяє накопичувати досвід та вдосконалювати алгоритми прийняття рішень, підвищуючи їх ефективність та практичну значущість. [48, с. 58]

Підсистема візуалізації отримує від користувачів зворотний зв'язок щодо зручності використання та інформативності створених картографічних матеріалів.

Ця підсистема включає механізми оцінки ефективності візуального представлення інформації та її сприйняття різними категоріями користувачів. Важливим елементом є система збору та аналізу пропозицій користувачів щодо вдосконалення картографічних матеріалів, включаючи вибір умовних позначень, колірної гами, способів відображення динаміки змін та інших аспектів картографічного дизайну. Підсистема візуалізації реалізує також механізми адаптації форми представлення інформації до потреб конкретних користувачів, включаючи можливість налаштування інтерфейсу та вибору пріоритетних форм візуалізації. Зворотний зв'язок від користувачів дозволяє постійно вдосконалювати картографічні матеріали, підвищуючи їх інформативність, наочність та зручність використання.

Така організація функціональної моделі забезпечує її високу ефективність та здатність до самовдосконалення. Система зворотних зв'язків між різними підсистемами створює механізм саморегуляції, що дозволяє оперативно реагувати на зміни у зовнішньому середовищі та адаптуватися до нових вимог користувачів. Важливим аспектом є можливість поетапного впровадження системи, коли окремі модулі та підсистеми можуть функціонувати автономно та поступово інтегруватися в єдину систему. Здатність до самовдосконалення є ключовою характеристикою функціональної моделі, що забезпечує її тривалу ефективність та відповідність актуальним завданням охорони земель сільськогосподарського призначення.

Для ефективної реалізації узагальненої та функціональної моделей геоінформаційного картографування запропоновано використання модульного принципу побудови системи. Модельний підхід забезпечує гнучкість системи, можливість її поетапного впровадження та адаптації до специфічних умов конкретних територій та завдань. Кожна модель системи має чітко визначені функції, входи та виходи, що забезпечує їх ефективну взаємодію та інтеграцію в єдину систему. Важливою перевагою модельного підходу є можливість незалежного розвитку та вдосконалення окремих модулів без необхідності перебудови всієї системи. Модельна структура забезпечує також масштабованість

системи, можливість її розширення за рахунок додавання нових модулів та функцій в міру виникнення нових завдань та розвитку технологій. Ефективна взаємодія між модулями досягається за рахунок стандартизації інтерфейсів та форматів обміну даними. [10, с. 372]

Модель просторового аналізу забезпечує обробку геоданих з використанням алгоритмів класифікації, кластеризації, інтерполяції та просторового моделювання для виявлення проблемних територій та факторів деградації земель. Цей модель реалізує методи геостатистичного аналізу, що дозволяють виявляти просторові закономірності у розподілі показників стану земель та їх взаємозв'язки з іншими факторами. Важливою функцією модуля є просторова інтерполяція даних, що дозволяє отримати безперервне поле значень на основі точкових вимірювань та створити тематичні карти різних показників стану земель. Модель просторового аналізу включає також методи класифікації та зонування територій за комплексом показників, що дозволяє виділяти однорідні за певними характеристиками ділянки та розробляти для них диференційовані рекомендації. Результати роботи модуля є основою для виявлення проблемних територій, оцінки ризиків деградації земель та розробки рекомендацій щодо їх охорони.

Модель тематичного картографування відповідає за створення серій карт, що відображають різні аспекти стану сільськогосподарських земель - від фізико-географічних характеристик до соціально-економічних факторів та правових аспектів землекористування.

Модель моніторингу забезпечує регулярне оновлення інформації про стан земель, виявлення динаміки змін та оцінку ефективності впроваджених природоохоронних заходів. Цей модуль реалізує методи аналізу часових рядів, що дозволяють відслідковувати тенденції у зміні різних показників стану земель та виявляти аномальні значення, що можуть свідчити про розвиток деградаційних процесів. Важливою функцією модуля є порівняльний аналіз даних за різні періоди, що дозволяє оцінювати динаміку змін у землекористуванні та стані земельних ресурсів. Модель моніторингу включає також інструменти для оцінки ефективності впроваджених природоохоронних заходів шляхом порівняння фактичних змін з

прогнозованими. Результати роботи модуля є основою для оперативного виявлення негативних тенденцій у стані земель та прийняття своєчасних рішень щодо їх запобігання.

Модель прогнозування дозволяє моделювати сценарії розвитку земельних ресурсів під впливом різних природних та антропогенних факторів. Важливою функцією модуля є розробка та аналіз альтернативних сценаріїв розвитку територій, що дозволяє оцінити можливі наслідки різних управлінських рішень та вибрати оптимальну стратегію землекористування. Модель прогнозування включає також інструменти для оцінки ризиків деградації земель та моделювання поширення деградаційних процесів у просторі і часі. Результати роботи модуля є основою для превентивного підходу до охорони земель, коли заходи спрямовані на запобігання потенційним проблемам, а не на усунення їх наслідків.

Модель управління земельними ресурсами забезпечує інтеграцію результатів геоінформаційного картографування в практику прийняття управлінських рішень на різних адміністративних рівнях. Важливою функцією модуля є формування комплексних рекомендацій щодо охорони земель з урахуванням екологічних, економічних та соціальних аспектів. Модель управління земельними ресурсами включає також інструменти для оцінки ефективності різних природоохоронних заходів та оптимізації розподілу ресурсів для їх реалізації. Результати роботи модуля є основою для практичного впровадження результатів геоінформаційного картографування в систему управління земельними ресурсами.

Інтеграція різних модулів в єдину систему геоінформаційного картографування забезпечується через стандартизацію форматів даних, інтерфейсів та протоколів обміну інформацією. Кожна модель має чітко визначені входи та виходи, що дозволяє використовувати результати роботи одного модуля як вхідні дані для інших. Важливим аспектом інтеграції є забезпечення семантичної узгодженості даних, коли різні модулі використовують єдину систему класифікаторів, кодифікаторів та термінології. Особлива увага приділяється забезпеченню синхронізації часових параметрів у різних модулях, що дозволяє коректно відслідковувати динаміку змін та встановлювати причинно-наслідкові

зв'язки між різними процесами. Важливим елементом інтеграції є також розробка єдиної системи метаданих, що дозволяє відслідковувати походження, якість та актуальність інформації на всіх етапах її обробки.

Висновки до розділу 2.

Другий розділ роботи присвячено методичному забезпеченню та розробці моделей геоінформаційного картографування для охорони земель сільськогосподарського призначення. Обґрунтовано комплексний підхід до методичного забезпечення, який включає теоретико-методичний, нормативно-правовий, інформаційний, технологічний та організаційний компоненти, що в сукупності формують цілісну систему наукового обґрунтування геоінформаційного картографування.

Проведено критичний аналіз джерел даних для геоінформаційного картографування земель сільськогосподарського призначення, визначено їх переваги, обмеження та сфери оптимального застосування, що дозволяє обґрунтовано підходити до вибору методів збору просторової інформації. Розроблено узагальнену та функціональну моделі системи геоінформаційного картографування, які базуються на модельному принципі побудови із виділенням п'яти основних модулів (просторового аналізу, тематичного картографування, моніторингу, прогнозування, управління земельними ресурсами).

Особливістю запропонованих моделей є наявність зворотних зв'язків між їх компонентами, що забезпечує динамічну адаптацію системи до змінних умов середовища та потреб користувачів, сприяючи її ефективному функціонуванню та самовдосконаленню.

РОЗДІЛ 3. ОБГРУНТУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОГО КАРТОГРАФУВАННЯ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОХОРОНИ ЗЕМЕЛЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

3.1. Розробка моделей бази геопросторових даних геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення

Формування сталої системи охорони сільськогосподарських земель Заставнівської міської територіальної громади вимагає побудови ґрунтової бази геопросторових даних, яка забезпечить комплексну обробку інформації про наявний стан земельних ресурсів та динаміку їх змін. Інтегральний підхід до розробки такої бази передбачає створення трирівневої архітектури, яка складається з концептуальної, логічної та фізичної моделей, кожна з яких забезпечує вирішення специфічних завдань щодо структуризації та організації геопросторових даних.

Концептуальна модель визначає фундаментальні сутності системи – земельні ділянки сільськогосподарського призначення, сільськогосподарські угіддя, меліоративні споруди, агровиробничі групи ґрунтів, природоохоронні об'єкти та інші просторові елементи Заставнівської міської громади, формуючи загальне бачення системи на високому рівні абстракції. Вона встановлює основні зв'язки між цими сутностями та визначає їх ключові атрибути без прив'язки до конкретної програмної реалізації, забезпечуючи незалежність моделі від технологічних обмежень.

Логічна модель трансформує концептуальні сутності у взаємопов'язану систему таблиць з нормалізованою структурою атрибутивних даних. Цей рівень моделювання забезпечує мінімізацію дублювання інформації, оптимізацію процесів зберігання та обробки даних, формування цілісної структури зв'язків між різними компонентами системи. Логічна модель визначає структуру таблиць, типи даних, первинні та зовнішні ключі, індекси та інші елементи, які забезпечують ефективне функціонування бази даних.

Фізична модель реалізує логічну структуру в середовищі конкретної геоінформаційної системи та системи керування базами даних з урахуванням їх особливостей і обмежень. На цьому рівні визначаються деталі технічної реалізації – формати зберігання просторових даних, особливості індексації, механізми оптимізації продуктивності, параметри безпеки та інші аспекти, що забезпечують ефективне функціонування системи в реальних умовах експлуатації.

Для ефективного управління та охорони земель сільськогосподарського призначення важливо мати чітке уявлення про адміністративно-територіальні межі досліджуваної території. На рис. 3.1 представлено новостворені адміністративні райони Чернівецької області, серед яких знаходиться Заставнівська міська територіальна громада.

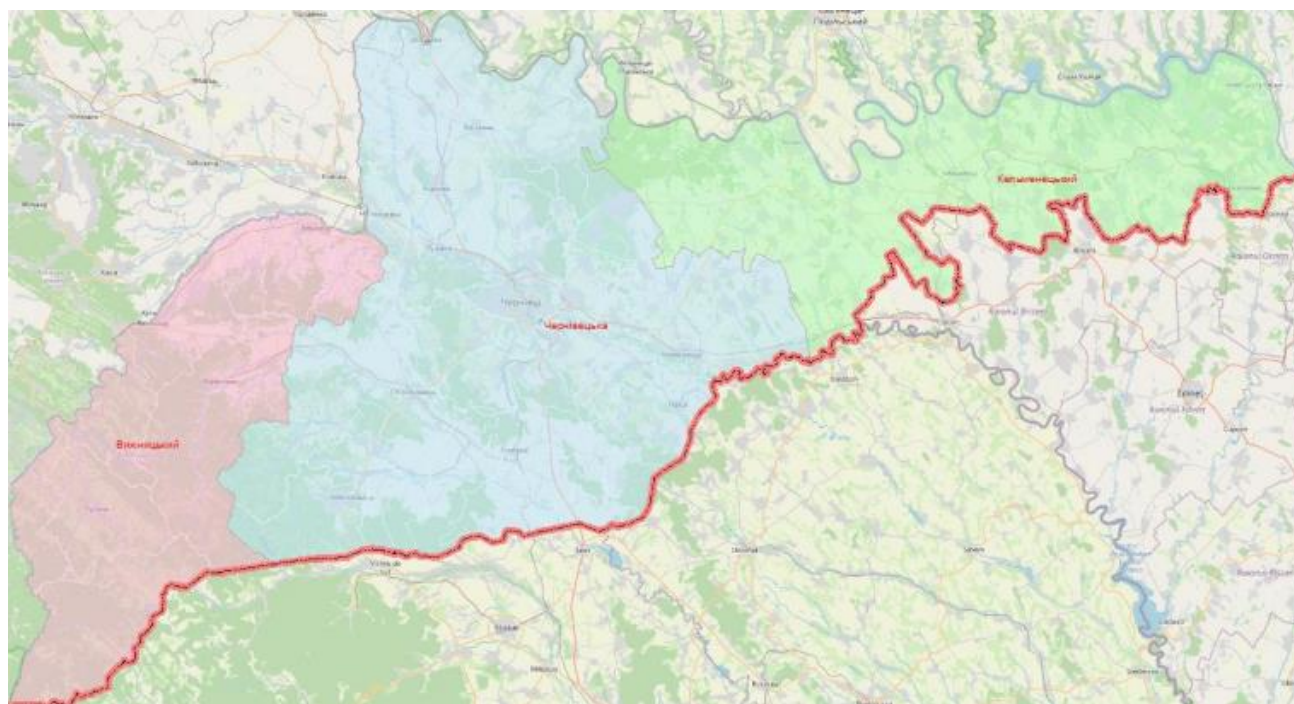


Рис. 3.1. Новостворенні адмінрайони Чернівецької області

*[Розроблено автором на основі даних Держгеокадастру
станом на 2023-2024 рр.]*

Географічне положення Заставнівської міської територіальної громади показано на рис. 3.2, що дозволяє оцінити її просторове співвідношення з

прилеглими територіями та визначити важливі природно-географічні фактори, які впливають на стан земель сільськогосподарського призначення.

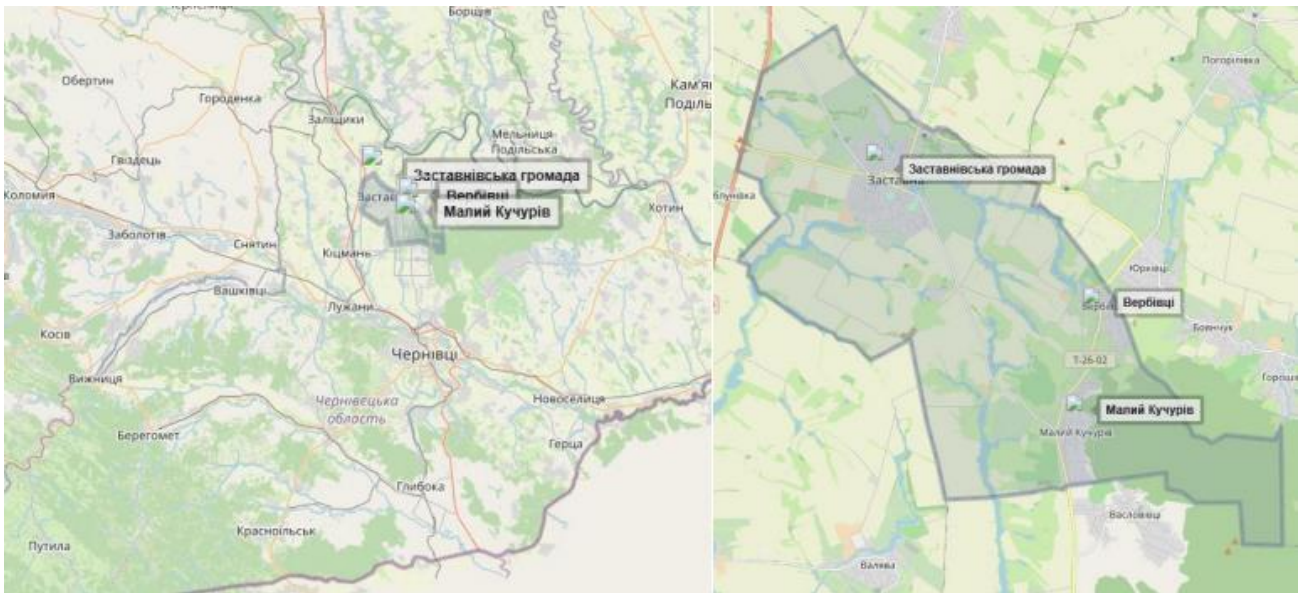


Рис. 3.2. Географічне положення Заставнівської міської громади

[Розроблено автором з використанням даних Держгеокадастру та відкритих картографічних джерел, 2023-2024 рр.]

Важливим компонентом моделі бази геопросторових даних є сутність "Деградаційні процеси", яка містить інформацію про ерозію, засолення, забруднення та інші негативні процеси, що впливають на якість земель сільськогосподарського призначення Заставнівської міської громади. Ця сутність має зв'язки з сутностями "Захисні заходи" та "Рекультиваційні роботи", що дозволяє не лише фіксувати наявні проблеми, але й планувати та відслідковувати впровадження заходів з охорони земель і відновлення їх продуктивних властивостей.

Загальний вигляд Заставнівщини на оглядовій карті, включаючи просторовий розподіл сільськогосподарських угідь, представлено на рис. 3.3.

Для забезпечення часової динаміки та можливості аналізу змін стану земель у модель включено сутність "Моніторингові спостереження", яка містить дані про періодичні обстеження земель з прив'язкою до конкретних часових періодів. Це

дозволяє відслідковувати тренди змін різних показників стану земельних ресурсів Заставнівської міської громади, оцінювати ефективність впроваджених заходів з охорони земель та прогнозувати подальший розвиток ситуації.

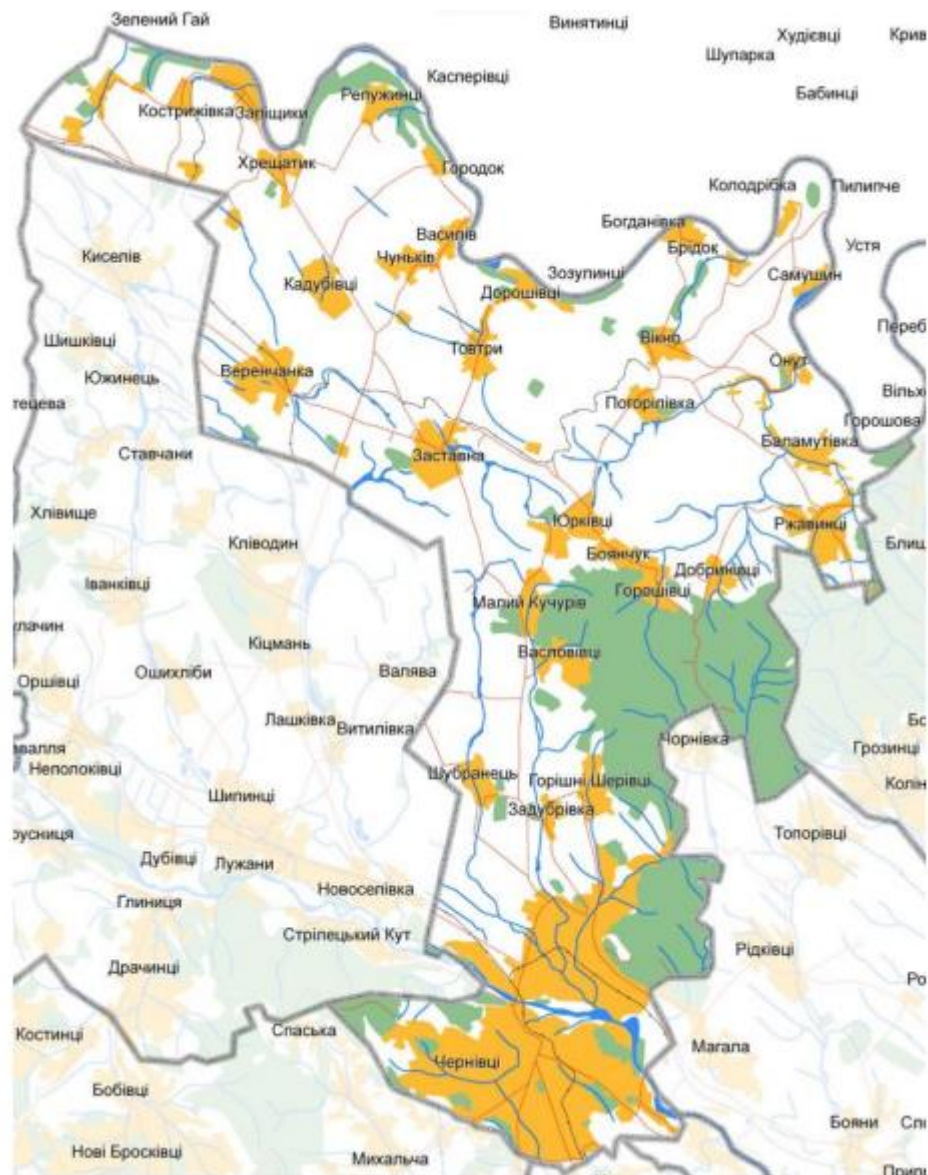


Рис. 3.3. Вигляд Заставнівщини на оглядовій карті
 [Розроблено автором на основі даних Держгеокадастру
 та матеріалів космічної зйомки, 2023-2024 рр.]

Основою для просторового аналізу земель сільськогосподарського призначення є топографічні карти. На рис. 3.4 представлено результат прив'язки

аркушів топографічної карти, що покривають територію Заставнівської міської громади та виділення растру за межами територіальної громади.



Рис. 3.4. Прив'язаний та вирізаний за контуром громади аркуш топографічної карти М 1:100 000

[Розроблено автором з використанням топографічних карт та програмного забезпечення ArcGIS Pro, 2023-2024 рр].

Важливим елементом моделі бази геопросторових даних є інформація про суміжні адміністративно-територіальні одиниці, що впливають на охорону земель сільськогосподарського призначення на приграничних територіях. Результат їх позначення представлено на рис. 3.5.

Також для коректного аналізу статистичних даних та історичних матеріалів важливо враховувати колишній адміністративний поділ території. На рис. 3.6 представлено межі колишніх сільських рад у структурі Заставнівської міської територіальної громади.



Рис. 3.5. Векторизовані суміжні громади

[Розроблено автором на основі даних Держгеокадастру та матеріалів космічної зйомки, 2023-2024 рр].



Рис. 3.6. Межі колишніх сілрад

[Розроблено автором на основі архівних даних та сучасних матеріалів Держгеокадастру, 2023-2024 рр].

3.2. Реалізація моделей геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення

Впровадження моделей геоінформаційного картографування у практику землеустрою Заставнівської міської територіальної громади передбачає трансформацію теоретичних концепцій у функціональні інформаційні системи, здатні забезпечити комплексний аналіз стану земельних ресурсів та ефективно планування заходів з їх охорони. Цей процес вимагає залучення різноманітних програмно-технічних засобів, кваліфікованих фахівців та організаційних ресурсів.

Для формування актуальної растрової основи було використано сервіс SAS Planet, що дозволив отримати високоякісні підкладки для подальшої векторизації та аналізу земель сільськогосподарського призначення (рис. 3.7).

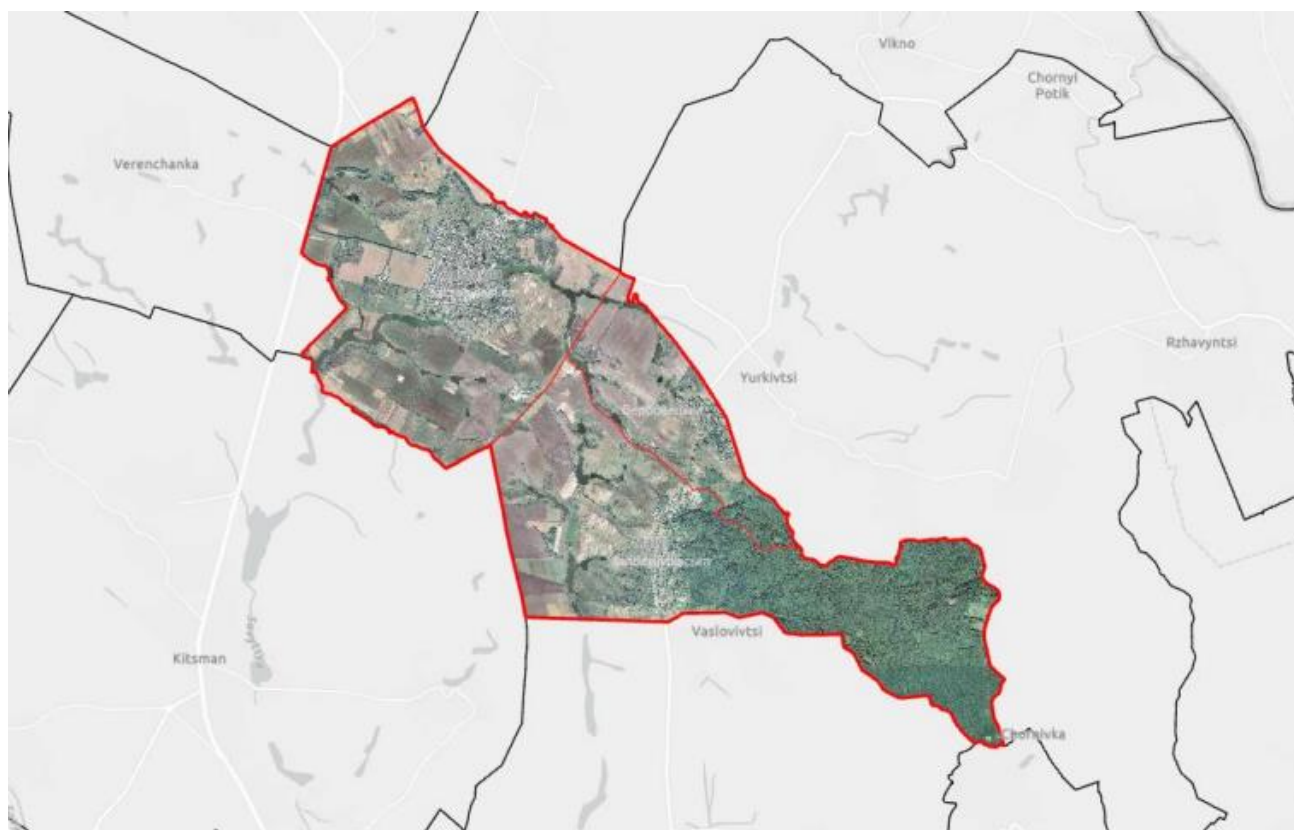


Рис. 3.7. Робочий растр отриманий за допомогою SAS Planet

Розроблено автором з використанням відкритих картографічних даних та SAS Planet, 2023-2024 рр.

Умовні позначення:

- Сільськогосподарські угіддя (світло-коричневий, бежевий колір)
- Лісові масиви (темно-зелений колір)
- Населені пункти (сірий колір)
- Водні об'єкти (синій колір)
- Дороги (білі та жовті лінії)
- Межі територіальної громади (червона лінія)

Для забезпечення належної охорони земель сільськогосподарського призначення необхідно враховувати транспортну доступність територій. На рис. 3.8 представлено мережу автомобільних шляхів Заставнівської міської територіальної громади з диференціацією за типом покриття. Загальна протяжність доріг: 283,1 км.



Рис. 3.8. Відкартографовані автомобільні шляхи Заставнівської ТГ

*Розроблено автором на основі даних OpenStreetMap
та матеріалів польових обстежень, 2023-2024 рр*

Класифікація доріг за типом покриття:

- Автошляхи державного значення (червоні лінії) - 12,5 км
- Автошляхи обласного значення (помаранчеві лінії) - 8,3 км

- Місцеві дороги з твердим покриттям (жовті лінії) - 45,7 км
- Ґрунтові дороги (коричневі пунктирні лінії) - 127,2 км
- Польові дороги (тонкі коричневі лінії) - 89,4 км

Важливим аспектом охорони земель сільськогосподарського призначення є контроль за розширенням населених пунктів. На рис. 3.9 показано результати векторизації меж населених пунктів Заставнівської міської територіальної громади. Загальна кількість населених пунктів – 46.

Структура населених пунктів наступна:

- Міста - 2,2% (1 н.п.)
- Селища - 4,4% (2 н.п.)
- Села - 93,4% (43 н.п.)

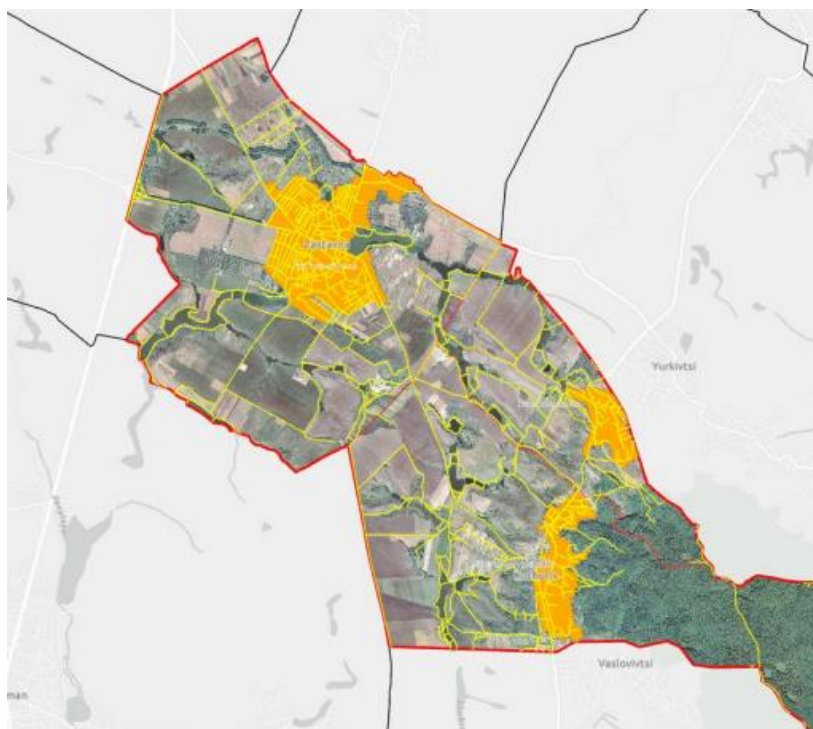


Рис. 3.9. Віддешифровані межі населених пунктів

Розроблено автором на основі даних Держгеокадастру та результатів дешифрування космічних знімків, 2023-2024 рр.

Умовні позначення:

- Міські населені пункти (помаранчевий колір) - м. Заставна
- Селищні населені пункти (жовтий колір) - 2 селища
- Сільські населені пункти (світло-жовтий колір) - 43 села

Для забезпечення точної просторової прив'язки об'єктів у процесі геоінформаційного картографування було використано пункти державної геодезичної мережі (рис. 3.10). Щільність геодезичної мережі: 2,6 пункти на 1 км²

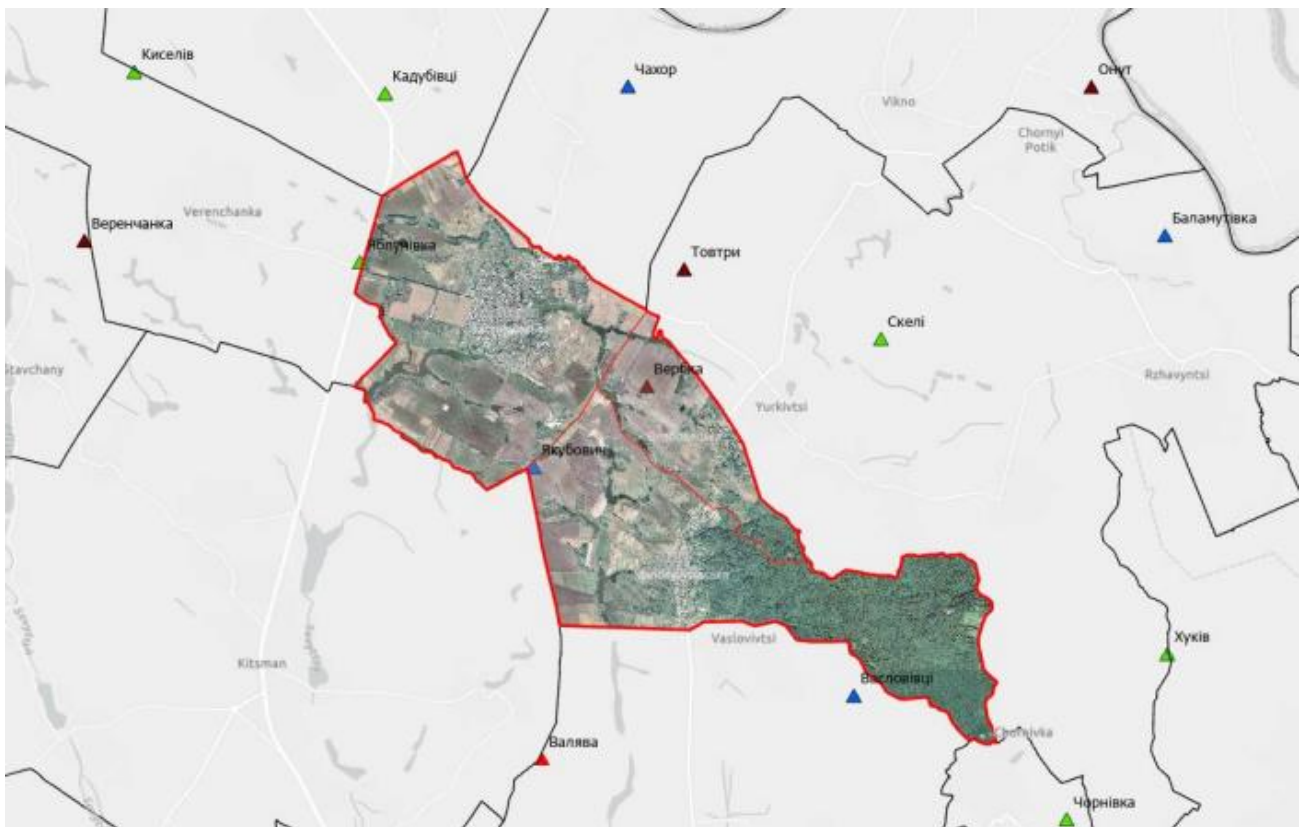


Рис. 3.10. Державна геодезична мережа на території та довкола громади
Розроблено автором на основі даних Держгеокадастру, 2023-2024 рр

Умовні позначення:

- Пункти триангуляції I класу (червоні трикутники) - 4 пункти
- Пункти триангуляції II класу (помаранчеві трикутники) - 7 пунктів
- Пункти триангуляції III класу (жовті трикутники) - 12 пунктів

- Пункти полігонометрії (зелені кружечки) - 18 пунктів
- Висотні репери (сині квадрати) - 23 пункти

Для тематичного картографування земель сільськогосподарського призначення важливо використовувати актуальні дані дистанційного зондування Землі.

Для оптимального відображення стану земель сільськогосподарського призначення було проведено спектральний аналіз супутникових знімків з використанням різних комбінацій каналів (рис. 3.11).

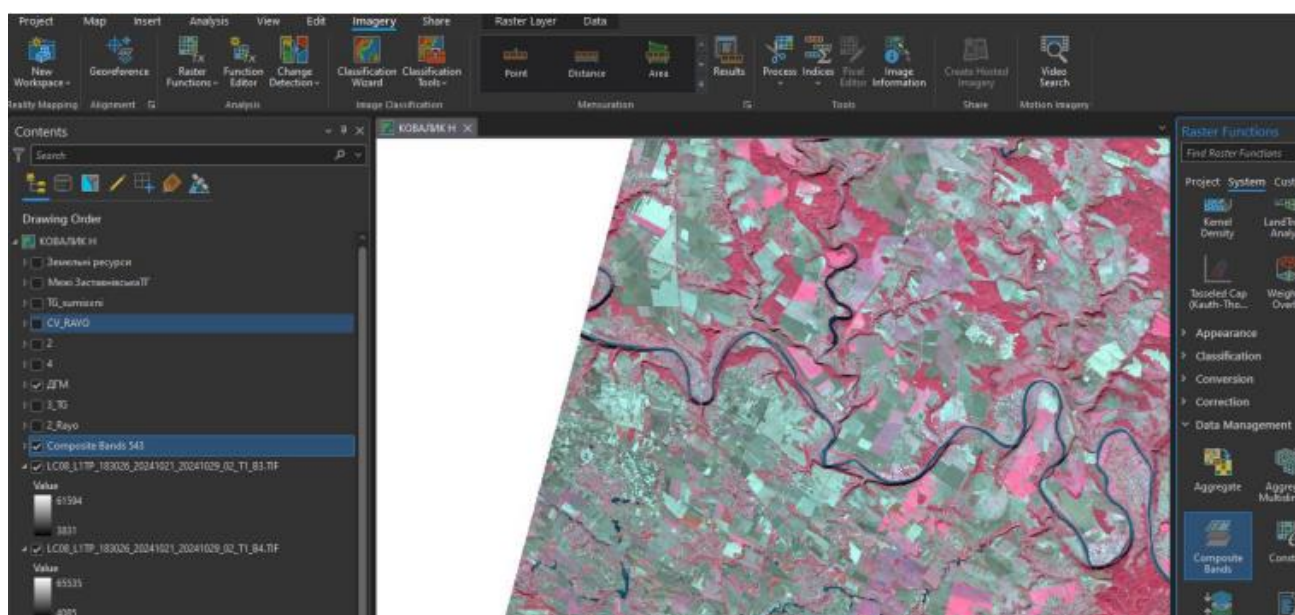


Рис. 3.11. Вигляд синтезованих каналів у додатку ArcGIS Pro
[Розроблено автором з використанням даних Landsat 8
та ArcGIS Pro, 2023-2024 pp].

Результати обробки мультиспектральних зображень з фокусом на території Заставнівської міської територіальної громади представлено на рис. 3.12.

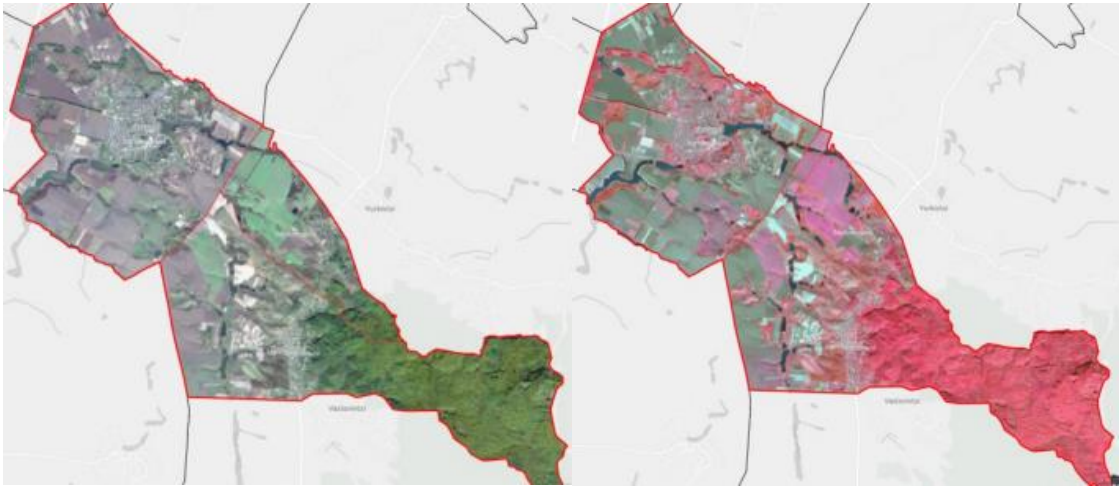


Рис. 3.12. Мультиспектральні зображення на територію Заставнівської ТГ
Розроблено автором з використанням даних Landsat 8, 2023-2024 рр.

Спектральні комбінації каналів:

- **Ліва карта (природні кольори): RGB 4-3-2**
 - Рослинність (зелений колір)
 - Ґрунти (коричневий колір)
 - Водні об'єкти (темно-синій колір)
- **Права карта (штучні кольори): RGB 5-4-3**
 - Активна рослинність (яскраво-червоний колір)
 - Сільськогосподарські угіддя (рожевий колір)
 - Забудовані території (сіро-блакитний колір)

Для автоматизованого дешифрування типів земельного покриву було використано інструменти класифікації зображень (рис. 3.13), що дозволило виділити основні категорії земель сільськогосподарського призначення. Точність класифікації складає 87,3%.

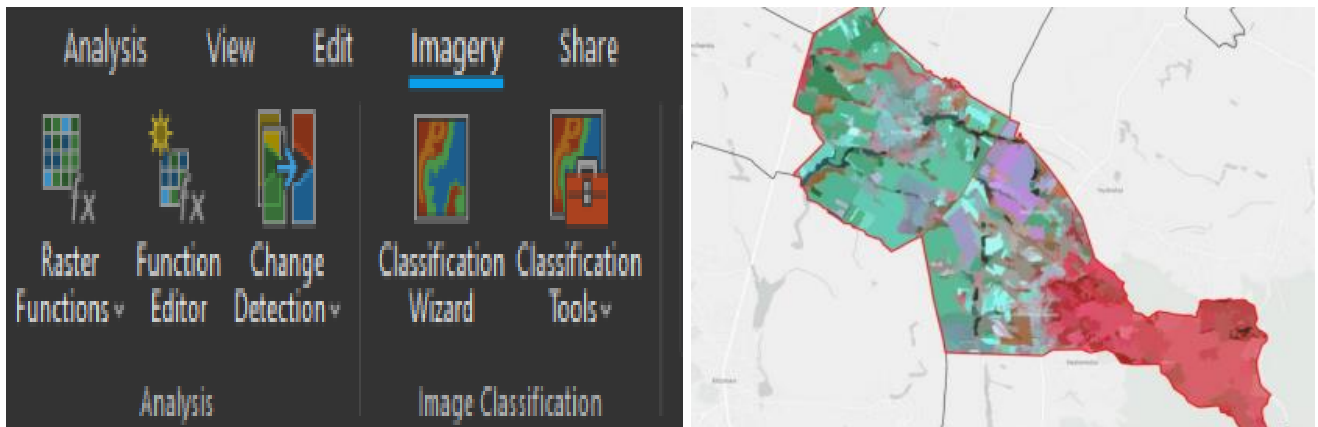


Рис. 3.13. Функція Image Classification та результати роботи із нею

Розроблено автором з використанням інструментів ArcGIS Pro та даних Landsat 8, 2023-2024 рр.

Результати автоматизованої класифікації:

- Лісова рослинність (темно-зелений) - 31,2%
- Сільськогосподарські культури (світло-зелений) - 28,7%
- Орні землі (коричневий) - 16,8%
- Водні об'єкти (синій) - 8,2%
- Населені пункти (червоний) - 7,3%
- Пасовища та луки (світло-зелений) - 4,9%
- Дороги та інфраструктура (сірий) - 2,9%

Важливим аспектом охорони земель сільськогосподарського призначення є контроль за станом водних об'єктів, які мають суттєвий вплив на якість сільськогосподарських угідь. На рис. 3.14 представлено результати картографування водного фонду Заставнівської міської територіальної громади. Загальна площа земель водного фонду: 2015,6 га (8,2% території).

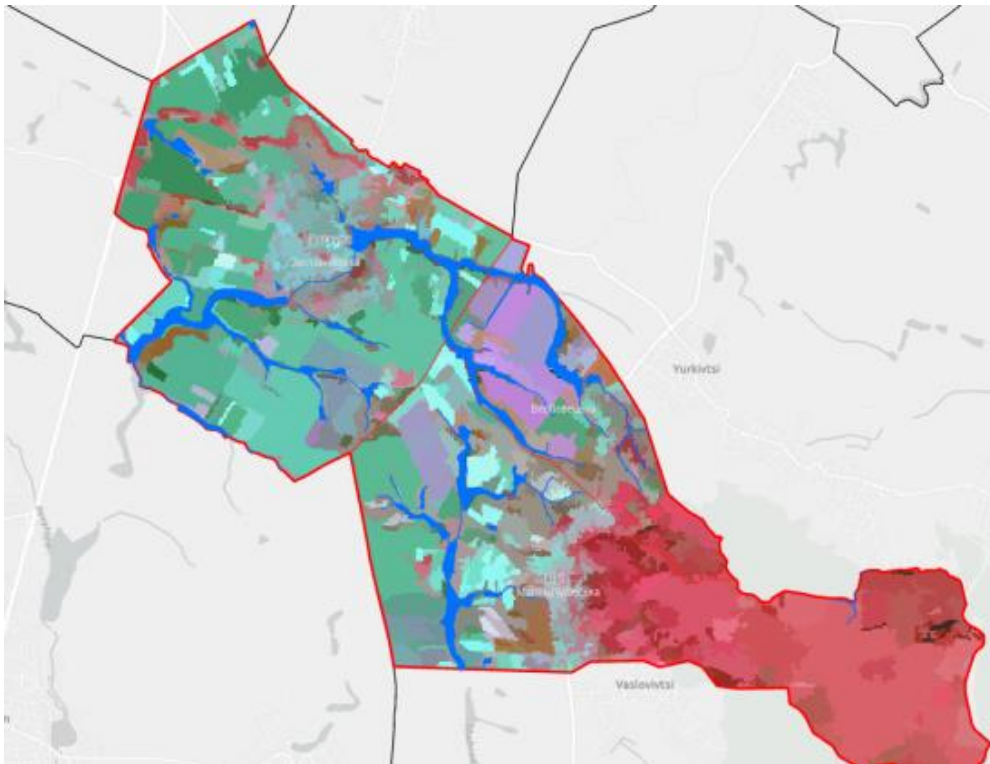


Рис. 3.14. Землі водного фонду громади

Розроблено автором на основі даних топографічних карт та результатів дешифрування космічних знімків, 2023-2024 рр.

Структура земель водного фонду:

- Річки та струмки (сині лінії) - 45,2 км довжини
- Ставки та водойми (темно-сині полігони) - 187,3 га
- Водно-болотні угіддя (блакитний колір) - 94,7 га
- Прибережні захисні смуги (світло-блакитний) - 412,8 га
- Гідротехнічні споруди (фіолетові точки) - 23 об'єкти

Лісові масиви відіграють важливу роль у захисті сільськогосподарських земель від ерозії та формуванні сприятливого мікроклімату. На рис. 3.15 представлено розподіл лісового фонду на території Заставнівської міської громади. Лісистість території: 42,0% Загальна площа лісового фонду: 10344,1 га.

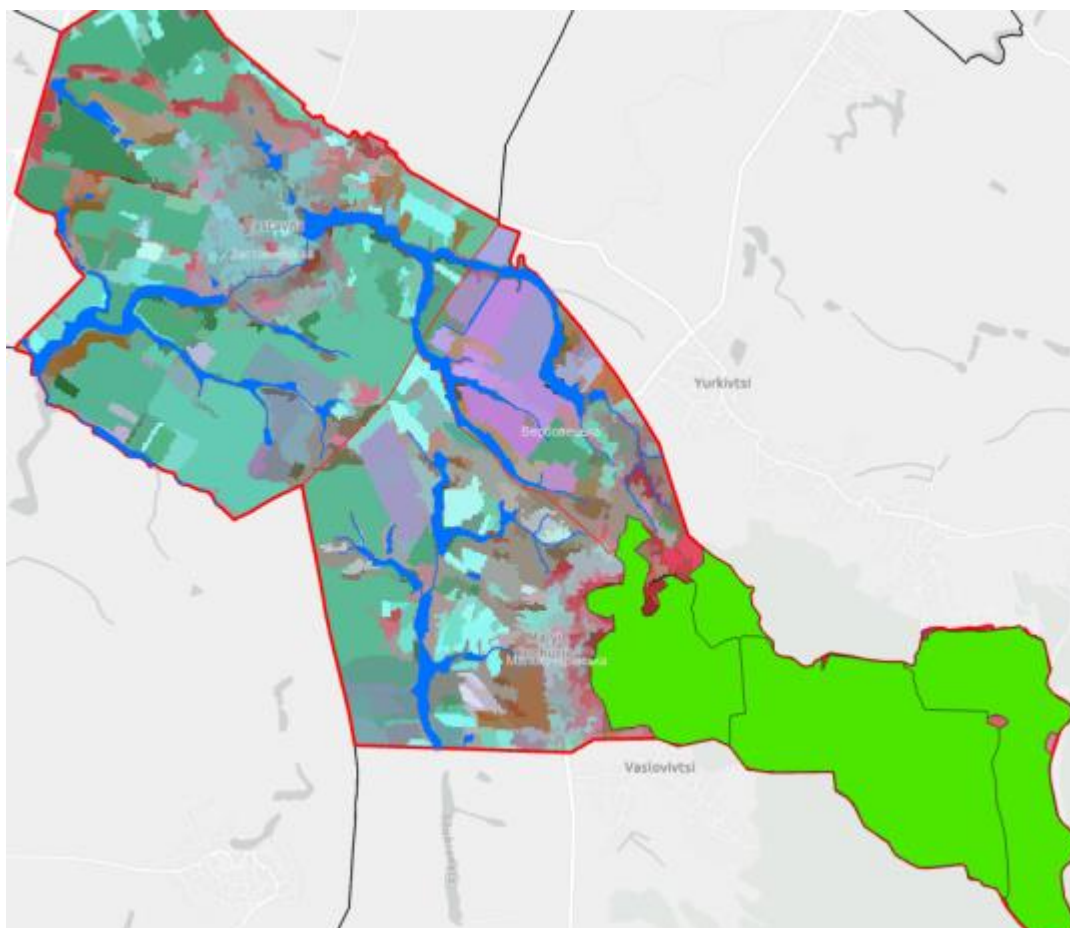


Рис. 3.15. Землі лісового фонду Заставнівської міської територіальної громади

Розроблено автором на основі даних лісового кадастру та результатів дешифрування космічних знімків, 2023-2024 рр.

Класифікація лісових земель:

- Хвойні ліси (темно-зелений) - 3847,2 га (37,2%)
- Листяні ліси (світло-зелений) - 4521,8 га (43,7%)
- Мішані ліси (середньо-зелений) - 1876,4 га (18,1%)
- Лісові культури (яскраво-зелений) - 98,7 га (1,0%)

Загальна площа територіальної громади складає 24583,0 га. Для комплексного представлення структури земельного фонду та розробки заходів з охорони земель сільськогосподарського призначення було створено інтегральну карту (рис. 3.16), що відображає просторовий розподіл різних категорій земель.

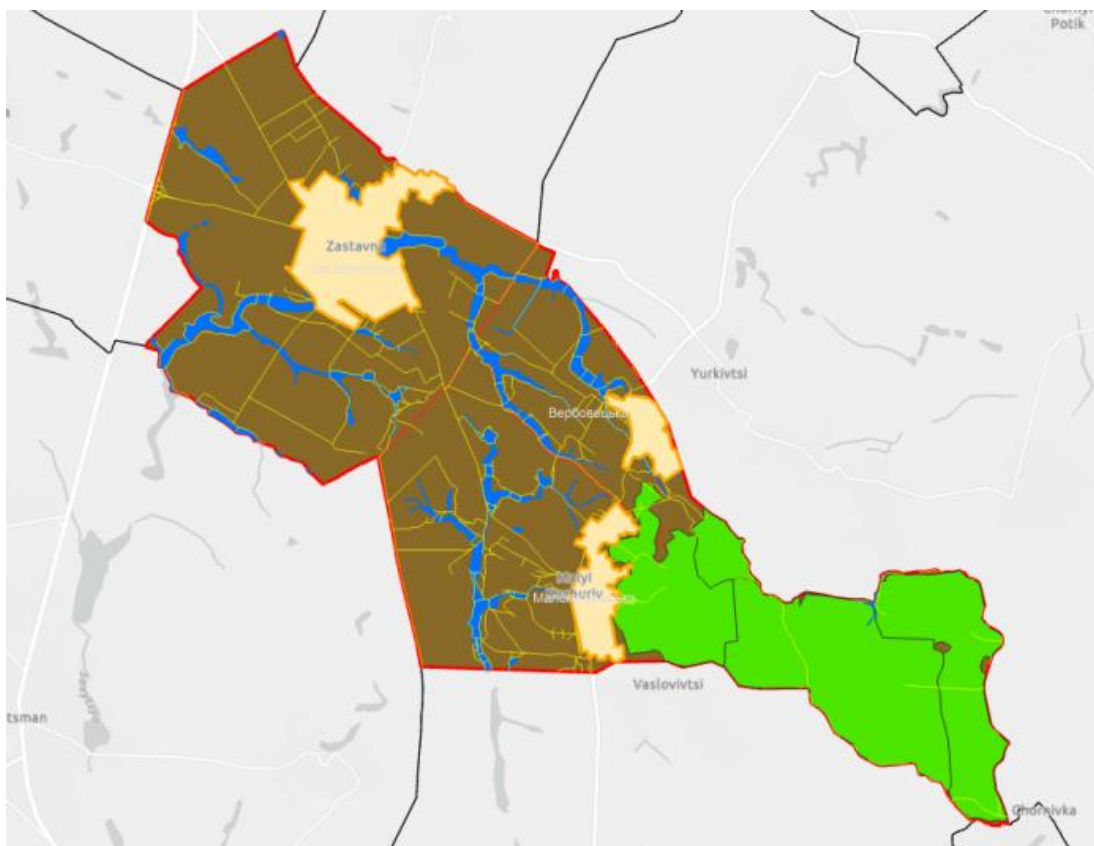


Рис. 3.16. Земельний фонд Заставнівської міської територіальної громади
Розроблено автором на основі даних Держгеокадастру та результатів ГІС-аналізу, 2023-2024 рр.

Структура земельного фонду за категоріями:

- Сільськогосподарські землі (коричневий) - 11115,4 га (45,2%)
- Лісові землі (зелений) - 10344,1 га (42,0%)
- Землі водного фонду (синій) - 2015,6 га (8,2%)
- Землі населених пунктів (жовтий) - 762,3 га (3,1%)
- Землі промисловості (сірий) - 294,8 га (1,2%)
- Землі транспорту (червоний) - 36,9 га (0,15%)
- Інші землі (білий) - 13,9 га (0,05%)

Висновки до розділу 3.

Геоінформаційно-картографічне моделювання стану і використання земельних ресурсів Заставнівської міської територіальної громади є важливим

інструментом для ефективного управління земельними ресурсами на місцевому рівні. Таке моделювання дозволяє аналізувати, візуалізувати та оптимізувати використання землі, враховуючи як природні, так і соціально-економічні фактори.

У ході дослідження було розроблено трирівневу модель бази геопросторових даних, що включає концептуальний, логічний та фізичний рівні, які забезпечують комплексний підхід до організації інформації про земельні ресурси. Центральним елементом розробленої моделі виступає сутність "Земельна ділянка", яка має зв'язки з сутностями "Ґрунтовий покрив", "Рослинність", "Агрохімічні показники", "Деградаційні процеси", "Захисні заходи", що забезпечує комплексний опис стану земельних ресурсів та заходів з їх охорони.

Проведений аналіз показав, що значну частину території громади займають лісові угіддя (42%) та водні об'єкти (8,2%), які мають безпосередній вплив на стан та використання сільськогосподарських земель. Розроблений комплекс тематичних карт дозволяє визначити просторовий розподіл різних категорій земель, аналізувати їх взаємозв'язки та виявляти проблемні ділянки, що потребують особливої уваги.

Геоінформаційно-картографічне моделювання є ключовим інструментом для забезпечення ефективного управління землями сільськогосподарського призначення, збереження природних ресурсів та сталого розвитку Заставнівської міської територіальної громади. Розроблені моделі та картографічні матеріали можуть бути використані для планування заходів з охорони земель, оптимізації структури земельного фонду та підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва з урахуванням екологічних обмежень.

ВИСНОВКИ

1. Проаналізовано теоретичні основи геоінформаційного картографування в контексті охорони земель сільськогосподарського призначення. Виявлено, що геоінформаційні технології забезпечують інтеграцію просторового аналізу, дистанційного зондування, моделювання рельєфу та тематичного картографування, що суттєво підвищує ефективність землеустрою та екологічного моніторингу.

2. Розроблено методичне забезпечення створення моделей, яке включає концептуальні, нормативно-правові, інформаційні, технологічні та організаційні компоненти. Це забезпечує науково обґрунтований та структурований підхід до проєктування ГІС-моделей для охорони земель.

3. Створено узагальнену та функціональну моделі системи геоінформаційного картографування, що базуються на модульному принципі. Виділено п'ять основних модулів: просторового аналізу, тематичного картографування, моніторингу, прогнозування та управління земельними ресурсами.

4. Розроблено моделі бази геопросторових даних, що включають концептуальний, логічний та фізичний рівні. Центральною сутністю моделі виступає "Земельна ділянка", що пов'язана з даними про ґрунтовий покрив, агрохімічні властивості, рослинність, деградаційні процеси та заходи охорони.

5. Обґрунтовано можливості реалізації розроблених моделей на практиці, продемонстровано застосування ГІС для оцінки земель, дешифрування супутникових знімків, класифікації земельного покриву та створення тематичних карт. Запропоновані рішення можуть бути інтегровані у діяльність органів місцевого самоврядування, землевпорядних і екологічних служб.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аліярова А. В. Геодезичні вимірні системи та ГІС-картографія у формуванні земельної ділянки. Київ : НТУ, 2023. 112 с.
2. Атлас України. Пілотний проект електронної версії Національного атласу України / Інститут географії НАН України. Київ : ТОВ «Інтелектуальні системи ГЕО», 2000. 148 с.
3. Бабій В., Манцевич Ю. Застосування ГІС в навчальному процесі під час воєнного стану. Містобудування та територіальне планування. 2024. № 87. С. 388–399.
4. Банки екологічної інформації / Самойленко Н. М., Рогозинський М. С., Масікевич Ю. Г. та ін. Чернівці : Книги–ХХІ, 2009. 304 с.
5. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. Москва : Изд–во Моск. ун–та, 1997. 64 с.
6. Браславська О. В., Рожі Т. А. Використання сучасних технологій у землеустрої. Луцьк : ФОП Мажула Ю. М., 2021. 178 с.
7. Браславська О. В., Озерова Л. А. Особливості використання геоінформаційних систем в землеустрої. Редакційна колегія. Черкаси, 2023. С. 83–87.
8. Brown M. Satellite Remote Sensing in Agriculture and Food Security Assessment. *Procedia Environmental Sciences*. 2015. № 29. С. 307–315. DOI: 10.1016/j.proenv.2015.07.278
9. Булишева Д. В., Константинова О. В., Дрич Д. А., Сидоренко В. Д. Програмне забезпечення створення та використання географічних інформаційних систем для сталого землеустрою. Науково-практична конференція науково-педагогічних працівників. Одеса : ОДАУ, 2022. С. 331–335.
10. Бунь Р. А. Комп'ютерна система розподіленої інвентаризації парникових газів як засіб прийняття ефективних управлінських рішень. *Искусственный интеллект*. 2006. № 4. С. 368–376.

11. Вольська С. Ю., Маргаф О., Руденко Л. Г. Геоінформаційна технологія: етапи розвитку, стан в Україні. Український географічний журнал. 1993. № 4. С. 6–14.
12. Геоінформаційні системи в агросфері : навч. посіб. / Морозов В. В., Шапоринська Н. М., Морозов О. В., Пічура В. І. Київ : Аграрна освіта, 2010. 269 с.
13. Геоинформатика : учеб. для студ. вузов / Е. Г. Капралов, А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др. ; под ред. В. С. Тикунова. Москва : Издательский центр «Академия», 2005. 480 с.
14. Geospatial information for sustainable food systems. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2020. 86 p.
15. Герасимчук О., Гой В., Харів В. Використання сучасних геодезичних технологій для проведення оцінки земельних ресурсів у віддалених районах. Технічні науки та картографія. 2024. № 4 (38). С. 313–324.
16. Гой В., Мамонов К., Харів В. Використання технологій блокчейну для покращення аутентифікації та захисту даних у геодезії та землеустрої. Містобудування та територіальне планування. 2024. № 85. С. 67–81.
17. Горгоц А. ГІС-технологія як інструмент управління аграрними виробничими системами. Актуальні питання використання та охорони земельних ресурсів. Київ, 2021. С. 15–18.
18. Горгоц А. О. Проект землеустрою щодо відведення земельних ділянок у власність членами селянського (фермерського) господарства «Прогрес культури». Миколаїв : МНАУ, 2021. 82 с.
19. Горгоц А. О., Смирнова С. М. ГІС картографія в землеустрої. Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі. Херсон, 2021. С. 99–102.
20. Горковчук Ю. В., Кінь Д. О. Інструментальні ГІС : конспект лекцій. Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2024. 120 с.
21. Данкевич В. Є., Данкевич Є. М., Чайкін О. В., Кравчук І. А. Вплив інновацій та інтернету речей на підвищення економічної ефективності управління

земельними ресурсами аграрних підприємств. Актуальні проблеми економіки. 2024. № 5 (275). С. 41–49. DOI: 10.32752/1993-6788-2024-1-275-41-49

22. ДеМерс М. Н. Географические информационные системы. Москва : Изд-во СП Дата+, 1999. 491 с.

23. Домбровська О. А. Інтелектуальна власність у сфері землеустрою, геодезії та кадастру. Харків : ХНАДУ, 2024. 215 с.

24. Зейлер М. Моделирование нашего мира. Руководство ESRI по проектированию баз геоданных. Москва : Дата+, 2001. 254 с.

25. Іванов Г. М. Досвід використання геоінформаційних технологій для розробки проєктів закладання багаторічних насаджень мигдалю. Херсон : ХДАУ, 2023. 58 с.

26. Інформаційні системи і картографія : навч. посібник для студ. вищ. навч. закл. / С. Г. Карпенко, В. В. Попов, Ю. А. Тарновський, Г. А. Шпортюк. Київ : МАУП, 2004. 192 с.

27. Казаченко Л. М., Анненков О. О., Казаченко Д. А., Шеверя М. Ю., Мітяєв М. І. ГІС-картографія у формуванні земельних ділянок в державному земельному кадастрі. Харків : ХНАДУ, 2024. 126 с.

28. Кльоц Р. П. Аналіз програмного забезпечення для виконання кадастрових робіт : дис. ... канд. техн. наук. Тернопіль : ЗУНУ, 2024. 184 с.

29. Коваль В. А., Гусєв М. О. Геоінформаційних технологій в системі державного управління земельним фондом. Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі. Херсон, 2021. С. 56–58.

30. Кохан С. С. Географічні інформаційні системи : посібник / за ред. М. Ван Мервіна. Київ : НАУ, 2003. 206 с.

31. Кошкарев А. В., Тикунов В. С. Геоинформатика / под ред. Д. В. Лисицкого. Москва : Картогеоцентр–Геодезиздат, 1993. 213 с.

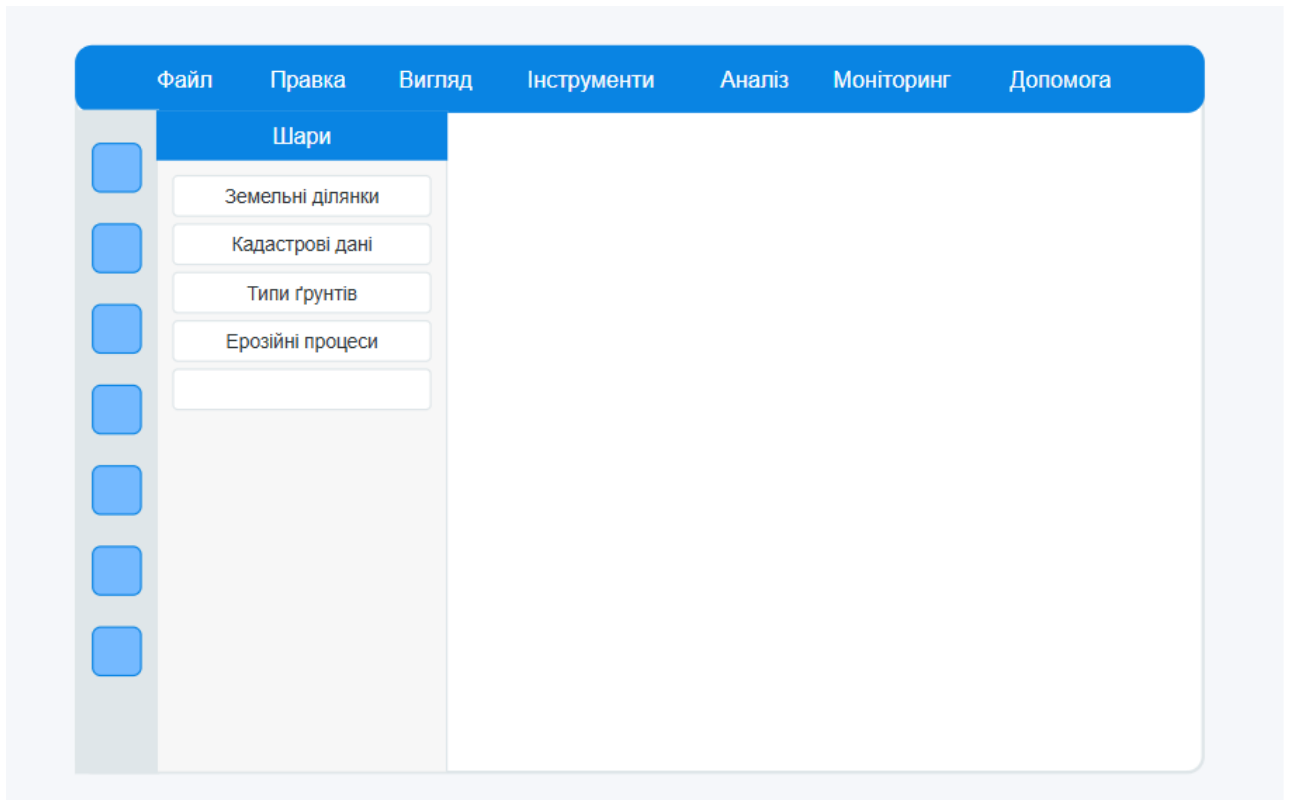
32. Кричківська Л. В., Бушев О. І. Застосування нових технологій в землеустрої. The 12th International scientific and practical conference "Perspectives of contemporary science: theory and practice" (January 13-15, 2025). Lviv : SPC "Sci-conf.com.ua", 2025. С. 528–534.

33. Кушнір О. М. Обґрунтування використання ГІС при відведенні земельних ділянок різного цільового призначення. Чернівці : ЧНУ ім. Ю. Федьковича, 2023. 96 с.
34. Лавренко Н. М., Арнаутова О. Ю. Актуальність використання ГІС та ДЗЗ в галузі землеустрою. Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі. Херсон, 2021. С. 74–77.
35. Мартинов Д. В. Інтеграція ГІС у проектування топографічного плану місцевості на основі тахеометричної зйомки. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2024. 86 с.
36. Маслов В. П. Інформаційні системи і картографія в економіці : навчальний посібник. Київ : "Слово", 2005. 264 с.
37. Мацинський Н. Ю. Використання ГІС-технологій в шкільній програмі : дис. ... канд. пед. наук. Тернопіль, 2021. 196 с.
38. Мацієвич Т. О., Магальяс В. А. Сучасний стан і перспективи використання ГІС-технологій у землеустрої: дискурс в теорію. Управління та раціональне використання земельних ресурсів в новостворених територіальних громадах: проблеми та шляхи їх вирішення. Херсон, 2021. С. 202–205.
39. Мацієвич Т. О., Сеїтов С. Ю. Особливості застосування ГІС-технологій при геодезичних роботах. Вісник ХНАДУ. 2021. № 92. С. 98–103.
40. Мельник А. А., Дарчук К. В. Матеріали студентської наукової конференції Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича. Природничі науки (секція географічні науки, підсекції: геодезія та землеустрій, картографія та ГІС-картографія). Чернівці : Видавництво та друкарня Чернівецького національного університету, 2023. 168 с.
41. Митчелл Э. Руководство по ГИС–анализу. Ч. 1: Пространственные модели и взаимосвязи / пер. с англ. Київ : ЗАО ЕСОММ Со; Стилос, 2000. 198 с.
42. Мкртчян О. С. Геоінформаційне моделювання в конструктивній географії : навч. посібник. Львів : Видавничий центр ЛНУ ім. І. Франка, 2010. 119 с.

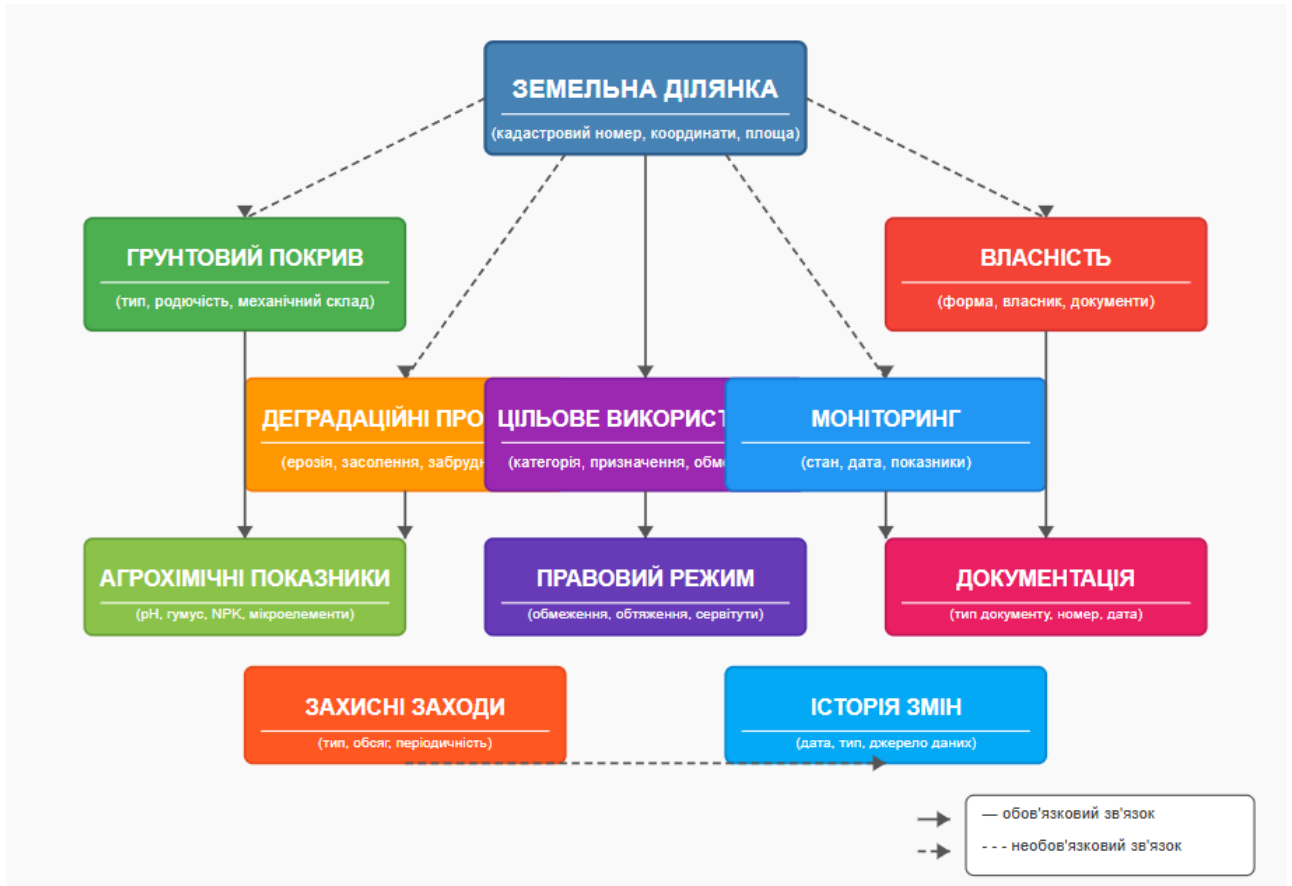
43. Морозов В. В. ГІС в управлінні водними і земельними ресурсами : навч. посіб. Херсон : Вид-во ХДУ, 2006. 91 с.
44. Нарadowий Б. О., Рожі І. Г. Використання гіс-технологій для геодезичної оцінки земельних ресурсів та кадастрової діяльності. Науково-виробничий журнал. 2023. № 2. С. 40–45.
45. Нестеренко С. Г., Афанасьєв О. В., Мироненко М. Л. Сучасні дистанційні методи та геоінформаційні картографія в дослідженні територій : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 128 с.
46. Ничвид М. Р., Ваш Я. І. Основи автоматизації робіт з кадастру та землеустрою. Ужгород : УжНУ, 2022. 144 с.
47. Основи інформаційних систем : навч. посібник. – Вид. 2–ге, перероб. і доп. / В. Ф. Ситник, Т. А. Писаревська, Н. В. Єрьоміна, О. С. Краєва ; за ред. В. Ф. Ситника. Київ : КНЕУ, 2001. 420 с.
48. Петренко Б. О. Застосування ГІС-технологій у визначенні геопросторових даних межі населених пунктів для уведення до бази даних Державного земельного кадастру. Одеса : ОДАБА, 2024. 76 с.
49. Петрова О. М., Живюк Р. Р., Якимчук Д. М. Геоінформаційні картографія та картографічне моделювання при здійсненні землеустрою. Формування сталого землекористування: проблеми та перспективи : матеріали ІV Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 16-17 листопада 2023 р.). Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2023. С. 191–195.
50. Пілічева М. О. Сучасні картографія геоінформатики, фотограмметрії та дистанційного зондування : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2023. 96 с.
51. Плахотнюк І. М. ГІС-картографія у встановленні меж земельних ділянок приватної власності. Київ : НУБіП України, 2024. 72 с.

ДОДАТКИ

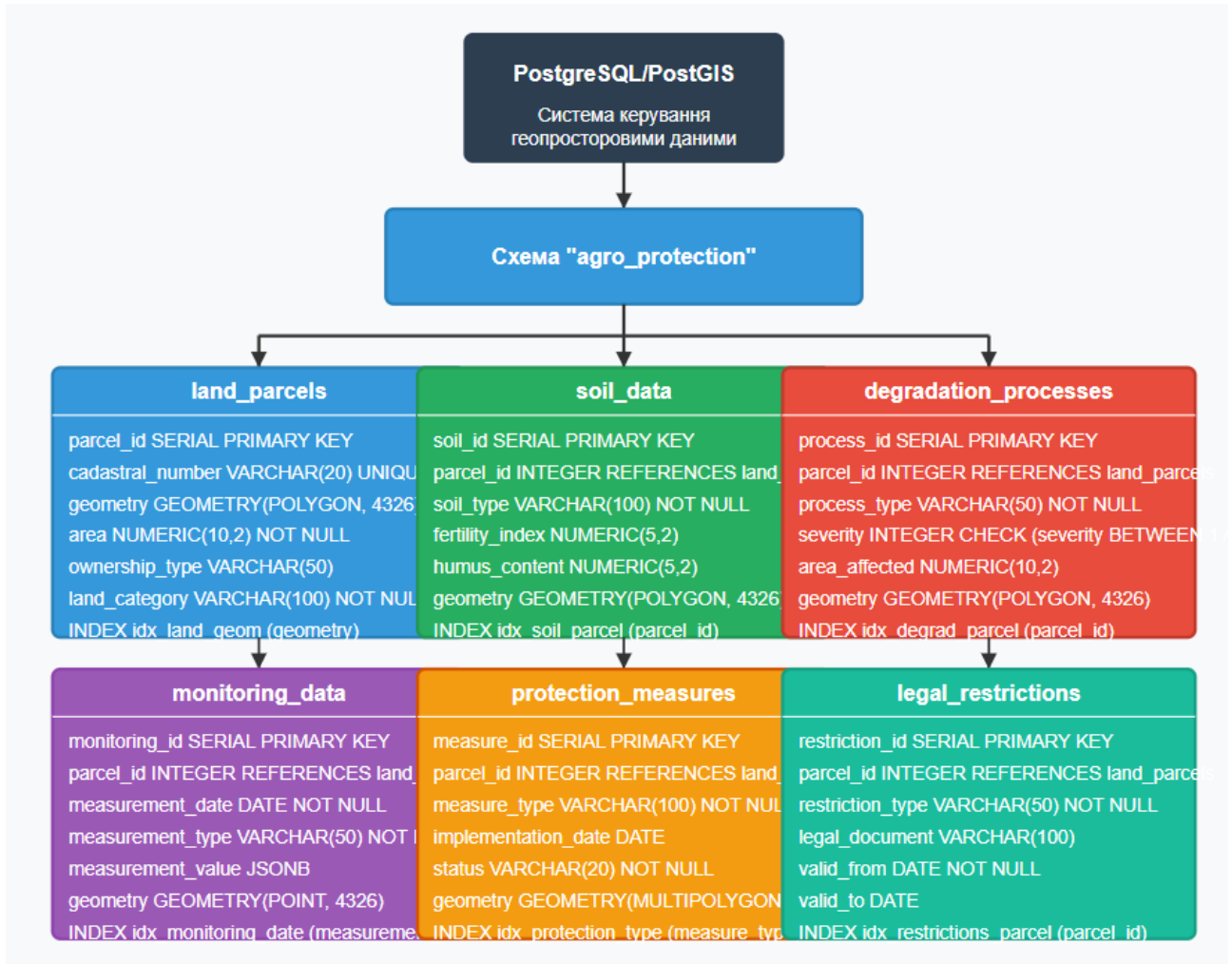
**Модель програмного забезпечення
геоінформаційного картографування для охорони земель**



Концептуальна модель бази геопросторових даних



Фізична модель бази геопросторових даних



Програмне забезпечення геоінформаційного картографування для охорони земель сільськогосподарського призначення



Алгоритм реалізації моделей геоінформаційного картографування для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення

1. Аналіз вихідних даних та інформаційних потреб користувачів
2. Розробка концептуальної моделі бази геопросторових даних
 - 2.1. Визначення базових сутностей
 - 2.2. Встановлення зв'язків між сутностями
 - 2.3. Визначення атрибутів сутностей
3. Трансформація концептуальної моделі в логічну
 - 3.1. Створення структури таблиць
 - 3.2. Визначення первинних та зовнішніх ключів
 - 3.3. Встановлення обмежень цілісності даних
4. Реалізація фізичної моделі в середовищі ГІС
 - 4.1. Вибір програмного забезпечення
 - 4.2. Створення бази геопросторових даних
 - 4.3. Налаштування системи прав доступу
5. Наповнення бази даних інформацією
 - 5.1. Збір даних з різних джерел
 - 5.2. Валідація даних
 - 5.3. Інтеграція даних у базу
6. Розробка тематичних картографічних матеріалів
7. Створення та впровадження аналітичних модулів
8. Розробка та реалізація системи моніторингу
9. Апробація та вдосконалення моделей
10. Інтеграція з існуючими інформаційними системами

Додаток Е

**Приклад структури таблиць бази геопросторових даних
для забезпечення охорони земель сільськогосподарського призначення**

Таблиця В.1. Структура таблиці "Земельні ділянки"

Назва поля	Тип даних	Опис	Обмеження
ID_ділянки	Integer	Унікальний ідентифікатор земельної ділянки	Первинний ключ
Кадастровий_номер	String(20)	Кадастровий номер земельної ділянки	Унікальний, Not Null
Геометрія	Polygon	Просторове представлення меж ділянки	Not Null
Площа	Float	Площа ділянки в гектарах	> 0
Форма_власності	String(50)	Форма власності на земельну ділянку	Домен: "державна", "комунальна", "приватна"
Цільове_призначення	String(100)	Цільове призначення земельної ділянки	Not Null
Категорія_земель	String(100)	Категорія земель за цільовим призначенням	Not Null
НГО	Float	Нормативна грошова оцінка, грн/га	>= 0
ID_власника	Integer	Ідентифікатор власника/користувача	Зовнішній ключ
Дата_реєстрації	Date	Дата реєстрації права власності	Not Null
Примітки	String(255)	Додаткова інформація	-

Таблиця В.2. Структура таблиці "Ґрунти"

Назва поля	Тип даних	Опис	Обмеження
ID_ґрунту	Integer	Унікальний ідентифікатор запису	Первинний ключ
ID_ділянки	Integer	Ідентифікатор земельної ділянки	Зовнішній ключ

Геометрія	Polygon	Просторове представлення контуру ґрунту	Not Null
Тип_ґрунту	String(100)	Назва типу ґрунту	Not Null
Механічний_склад	String(50)	Механічний склад ґрунту	Not Null
Вміст_гумусу	Float	Вміст гумусу, %	0-15
pH	Float	Кислотність ґрунту	3-9
Вміст_NPK	String(50)	Вміст азоту, фосфору, калію	-
Бонітет	Integer	Бонітет ґрунту, балів	0-100
Дата_обстеження	Date	Дата останнього обстеження	Not Null
Примітки	String(255)	Додаткова інформація	-